TESE
1155

ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ

Proposta de automação de caldeiras aplicando controle distribuído - Fieldbus

Raphael Alarcón Cottallat

ITAJUBÁ - MG
2001

ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBA
Biblioteca
MAUÁ
BIM
UNIFEI

Proposta de automação de caldeiras aplicando controle distribuído - Fieldbus

Raphael Alarcón Cottallat

ITAJUBÁ - MG
2001

CLASS. 621.18:004.420(043.2)
C. TUR. C846p
TOMBO. 1155

EFEI
Escola Federal de Engenharia de Itajubá

Proposta de automação de caldeiras aplicando controle distribuído – Fieldbus

Dissertação apresentada à Escola Federal de Engenharia de Itajubá como parte dos requisitos para obtenção do grau de Mestre em Ciências em Engenharia Elétrica

Orientador:
Prof.: Dra.Lucia R. H. R. Franco

Itajubá - MG
2001

AGRADECIMENTOS

A meus pais, que sempre me apoiaram.

A Jeannette minha esposa pela paciencia, acompanhamento e apoio nas situações difíceis.

A Profa. Lúcia Regina Horta Rodrigues Franco, pelas sugestões pertinentes, esclarecimentos e opiniões profissionais tão importantes.

Ao Prof. Electo Silva e ao Núcleo de Estudos Térmicos NEST pelo apoio para a realizacão do trabalho.

A meus amigos Jorge, Ricardo, Ramiro, Benjamín pela convivência e pelo humor no día a día.

Aos funcionários da EFEI pela atenção.

Dedicatória

Aos meus pais e a minha esposa

Sumário

Agradecimentos iii
Sumário iv
Lista de Figuras vii
Lista de Tabelas ix
Resumo x
Abstract xi

Capítulo 1 Introdução 1
1.1 Considerações Iniciais 1
1.2 Objetivos 3
1.3 Motivação 4
1.4 Estrutura do Trabalho 4

Capítulo 2 Geradores de Vapor 6
2.1 Introdução 6
2.2 Definições 7
2.3 Classificação 8
2.4 Componentes 10
2.5 Caraterística da combustão 14
2.5.1 Combustíveis 14
2.5.2 Detalhe da combustão 15

Capítulo 3 Gerador de Vapor da EFEI 17
3.1 Introdução 17
3.2 Laboratório de sistemas de vapor 18
3.3 Descrição da instalação 20
3.4 Instrumentação e acessórios 22
3.4.1 Pressostatos 23
3.4.2 Queimador 24
3.4.2.1 Programador de Combustão 26
3.4.3 Controlador de nível de água 27

Capítulo 4 Estratégia de Controle..... 28
4.1 Introdução..... 28
4.2 Justificativas para automação da planta..... 29
4.3 Projeto de automação da caldeira..... 30
4.3.1 Controlador lógico programável..... 30
4.3.2 Otimização da eficiência..... 30
4.3.2.1 Controle de O_2 na queima..... 32
4.4 Controle do processo de combustão..... 33
4.4.1 Malha de controle..... 33
4.4.2 Analise da malha..... 35
4.4.3 Simulação da malha..... 37
4.5 Controle do nível de água no tubulão..... 40
4.5.1 Malha de controle..... 40
4.6 Seqüência e intertravamento..... 42
4.6.1 Sistema de segurança..... 42
4.6.2 Seqüência..... 43
4.6.3 Intertravamento..... 44

Capítulo 5 Controle Distribuído: Tecnologia Fieldbus..... 45
5.1 Introdução..... 45
5.2 Definições..... 46
5.3 Histórico da Tecnologia..... 48
5.4 Benefícios do Fieldbus..... 52
5.5 Estado da arte da tecnologia..... 55
5.6 Controle de caldeiras com Fieldbus..... 58

Capítulo 6 Arquitetura do Sistema..... 60
6.1 Introdução..... 60
6.2 Especificações da instrumentação..... 61
6.3 Elementos e características da rede fieldbus..... 64
6.3.1 Arquitetura SYSTEM302..... 64
6.3.2 Especificações da rede..... 64
6.3.3 Blocos funcionais..... 65

6.3.4 Componentes da rede..... 65
6.4 Implementação do controle com Fieldbus..... 67
6.4.1 Implementação das malhas de controle..... 67
6.4.2 Monitoramento de sinais..... 70
6.5 Comentários sobre a instalação e instrumentação..... 71

Capítulo 7 Conclusões e Trabalhos Futuros..... 73
7.1 Conclusão..... 73
7.2 Trabalhos futuros..... 75

Anexo A Lista de sinais e instrumentos requeridos..... 76
Anexo B Diagrama de instrumentação e controle no laboratório de sistemas térmicos a vapor..... 81
Anexo C Símbolos e funções do controle de processos..... 83

Referências Bibliográficas 86

Lista de Figuras

Capítulo 2

Figura 2-1 Corte de uma Unidade Geradora de Vapor aquotubular..... 6
Figura 2-2 Perspectiva de uma Unidade Geradora de Vapor aquotubular..... 7
Figura 2-3 Esquema Básico de uma caldeira Fogotubular 10
Figura 2-4 Partes constitutivas de uma Unidade Complexa..... 11
Figura 2-5 Processo de combustão em geradores de vapor..... 12

Capítulo 3

Figura 3-1 Laboratório de Sistemas Térmicos a Vapor..... 23
Figura 3-2 Vista Geral do gerador de Vapor da EFEI..... 26
Figura 3-3 Partes integrantes do queimador Weishaupt..... 28
Figura 3-4 Regulagem de potência a dois estágios..... 28
Figura 3-5 Coluna de água do regulador de nível..... 29

Capítulo 4

Figura 4-1 Curvas de perdas na combustão..... 45
Figura 4-2 Malha de Controle de Combustão..... 46
Figura 4-3 Relação entre a carga da caldeira e o excesso de oxigênio..... 48
Figura 4-4 Diagrama da simulação SIMULINK..... 49
Figura 4-5 Resultado da simulação..... 50
Figura 4-6 Controle de nível 1 elemento..... 51
Figura 4-7 Controle de nível 3 elementos..... 54

Capítulo 5

Figura 5-1 Caraterísticas dos sistemas de controle de processo..... 62

Figura 5-2 Evolução dos sistemas de controle..... 65

Figura 5-3 Diferenças entre o DCS e o FCS..... 67

Capítulo 6

Figura 6-1 Sensor termoresistivo PT-100..... 65

Figura 6-2 Sensor de vazão de vapor..... 67

Figura 6-3 Arquitetura da rede fieldbus no LSTV..... 62

Figura 6-4 Malha de controle de combustão usando blocos funcionais..... 65

Figura 6-5 Malha de controle de nível a 3 elementos usando blocos funcionais..... 67

Anexo A

Figura A-1 Detalhe da instrumentação do LSTV..... 62

Anexo B

Figura B-1 Diagrama de instrumentação e controle (P&ID) do LSTV..... 92

Anexo C

Figura C-1 Símbolos gerais para instrumento ou função programada (ISA)..... 92

Lista de Tabelas

Capítulo 5

Tabela 5-1 Redes Industriais de comunicação existentes no mercado..... 62

Capítulo 6

Tabela 6-1 Conjunto de elementos da rede Fieldbus..... 67

Anexo A

Tabela A-1 Lista de sinais e instrumentos requeridos..... 67
Tabela A-2 Lista de sinais e instrumentos requeridos..... 67
Tabela A-3 Lista de sinais e instrumentos requeridos..... 67

Anexo C

Tabela C-1 Letras de identificação para instrumento ou função programada... 92

RESUMO

O presente trabalho propõe uma arquitetura de controle e automação de uma planta de geração de vapor, utilizando a tecnologia Fieldbus. Pretende-se expor as vantagens decorrentes do uso daquela tecnologia frente a antigos e tradicionais sistemas de controle de caldeiras.

Para isto uma descrição dos componentes do sistema de controle é mostrada, além de apresentar a configuração das estratégias de controle através de ferramentas de programação no sistema Fieldbus chamadas de blocos funcionais. As mencionadas estratégias foram discutidas e analisadas no seu funcionamento, procurando sempre a otimização da eficiência da caldeira e da planta.

ABSTRACT

This work proposes an architecture for the control and automation of a steam power plant using Fieldbus technology. It presents the advantages on using that technology compared to previous and traditional boiler control systems.

It is presented a description of the control system components. It is also shown the control configuration strategies through the Fieldbus systems programming tools, which are called function blocks. The strategies are discussed and analyzed in terms of operation, and the boiler and power plant efficiency optimization was a main goal.

1.INTRODUÇÃO

1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Sistemas de instrumentação e controle representam uma parte fundamental de toda instalação industrial. Constituem os meios efetivos pelos quais é possível manter os parâmetros de uma planta dentro de faixas estreitas de tolerância, conseguindo minimizar as perdas, reduzir a incidência de falhas e aumentar a confiabilidade da instalação.

No caso das caldeiras, os sistemas de controle empregados vão desde um simples controle até o sofisticado sistema de controle de grande porte, onde são envolvidas dezenas ou, às vezes, centenas de instrumentos. Caldeiras usadas em usinas de geração elétrica são usualmente de maior capacidade que as das indústrias.

Os sistemas de controle de caldeiras tem o grau de sofisticação relacionado ao tamanho e complexidade do equipamento a ser controlado. Geralmente, aqueles de uma sofisticação maior podem controlar com mais precisão e estar mais perto dos objetivos de projeto do sistema; mas uma sofisticação deste tipo significa geralmente um custo inicial mais elevado, sendo necessário compreender a relação existente entre o incremento de custos para a sofisticação do controle e as economias que resultam de sua aplicação.

O advento da tecnologia da eletrônica digital levou a natureza das aplicações práticas do controle de caldeiras para além de toda expectativa. No desenvolvimento do controle da caldeira, suas ações de controle analógico eram executadas por placas eletrônicas que processavam os sinais analógicos. Os procedimentos de partida e de parada programada, assim como os de intertravamento de segurança, são ações que envolvem equipamentos para controle discreto.

O advento do controle digital distribuído baseado em microprocessador revolucionou o equipamento de controle e possibilitou integrar corretamente as funções discretas e analógicas em um único sistema de controle de caldeiras. Quase todas as instalações atuais de controle, sejam elas novas ou antigas que foram modernizadas, estão usando agora sistemas digitais de controle distribuído.

Com os diversos dispositivos que compõem os atuais sistemas de controle, é importante que as comunicações entre eles sejam seguras e suficientemente velozes para controlar devidamente o sistema dentro dos limites estabelecidos. Além disso um sistema de controle eficiente incorpora diversos elementos destinados a distribuir as funções de controle necessárias no dispositivo mais elementar possível.

Os custos da instalação podem variar enormemente devido aos diferentes métodos de conexão da fiação de campo que envolve e interliga as entradas e saídas ao sistema. Em instalações com numerosas caldeiras controladas a partir de uma instalação distribuída, o uso de uma linha de comunicação de dados reduz em muito os custos da instalação de campo através do aglomerado local de fiação fixa num módulo entrada/saída local, ou através de uma rede de comunicação entre os mesmos sensores microprocessados.

Os requerimentos mencionados são cobertos de maneira satisfatória pelos sistemas de controle baseados no Fieldbus, conhecido também como barramento de campo. Os sensores que integram estes sistemas representam o máximo nível de distribuição do controle que se pode obter em uma planta.

As funções de controle são processadas no próprio sensor localizado no chão da fábrica, e as velocidades de comunicação de dados obtidas no uso da tecnologia mencionada alcançam até vários Mbit/s. Além disso a fiação é drasticamente diminuída já que todos os sensores Fieldbus podem ser conectados em paralelo na rede que percorre todo o chão da fábrica.

1.2. OBJETIVOS

O presente trabalho de dissertação de mestrado procurou atingir três objetivos básicos:

- Apresentar uma proposta para aplicação da tecnologia Fieldbus – chamada também de barramento de campo– no projeto de automação da caldeira existente no Laboratório de Sistemas Térmicos a Vapor da Escola Federal de Engenharia de Itajubá. A mencionada aplicação visa expor as vantagens decorrentes do uso desta tecnologia frente a antigos e tradicionais sistemas de controle de caldeiras.

- Apresentar e justificar a escolha das estratégias de controle a serem aplicadas, através do estudo do funcionamento das mesmas, e da constatação do cumprimento satisfatório dos objetivos básicos nas caldeiras de vapor, a saber:

(1) fazer com que a caldeira forneça uma fonte contínua de vapor na condição desejada de pressão e de temperatura;

(2) operar continuamente a caldeira com o custo mais baixo possível considerando o combustível e suas outras despesas, de acordo com o seu tempo de vida e com os mais altos níveis de segurança alcançáveis com sua operação;

(3) ter arranque e parada com segurança;

(4) permitir operação monitorada "on line";

(5) detectar situações inseguras e solucioná-las através de ações seguras durante todo o tempo de execução.

- Elaborar um registro documental do levantamento da instrumentação, dos equipamentos necessários para a aplicação das estratégias e das estratégias adequadas ao controle, permitindo levar a cabo a implementação do projeto numa fase seguinte, dado que o projeto deve ser continuado por outra equipe.

1.3. MOTIVAÇÃO

Nos últimos anos o desenvolvimento de novas tecnologias no controle de processos vem se dando de maneira vertiginosa. Cada novo equipamento preconiza ter maiores vantagens que os seus predecessores e, no meio caminho desta evolução, encontra-se a última tecnologia disponível, que vem ganhando cada dia mais adeptos: o Fieldbus.

A principal motivação do presente trabalho foi a de introduzir os conceitos e aplicações de uma tecnologia relativamente nova no campo de controle de processos, como é o Fieldbus. E ao mesmo tempo servir de meio de divulgação para os estudantes e pesquisadores em geral, do lado prático da tecnologia, ao ser aplicada na caldeira da EFEI.

1.4. ESTRUTURA DO TRABALHO

Para atender à proposta deste trabalho, o texto está estruturado em sete capítulos incluindo esta introdução, e três anexos.

O capítulo 2 apresenta uma descrição sobre o funcionamento, os tipos, os componentes (equipamentos e acessórios) e o processo de combustão das caldeiras em geral.

O capítulo 3 descreve a caldeira existente no Laboratório de Sistemas Térmicos a Vapor da EFEI, enfatizando a descrição da instrumentação existente.

No capítulo 4 é apresentado o detalhe das malhas de controle a serem implementadas, justificando a sua implementação através de estudos de desempenho das malhas e da apresentação das limitações do controle atual.

No capítulo 5 apresenta-se uma introdução aos conceitos da tecnologia Fieldbus, passando por sua evolução histórica até as vantagens advindas de sua utilização.

O capítulo 6 apresenta o projeto proposto para a aplicação da tecnologia Fieldbus na automação da referida caldeira. Detalham-se a instrumentação necessária , os componentes de rede Fieldbus e a configuração das estratégias nos referidos equipamentos.

O capítulo 7 apresenta as conclusões e recomendações finais para os futuros trabalhos baseados na implementação do projeto proposto por esta dissertação.

2. GERADORES DE VAPOR

2.1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo aborda-se o funcionamento básico dos geradores de vapor, os seus tipos, suas partes constituintes, seus acessórios, suas características operacionais, de segurança e construtivas.

Um dos objetivos básicos das caldeiras de vapor visa melhorar a eficiéncia das características de um gerador de vapor através de malhas de controle. Pretende-se também relacionar e comentar as caraterísticas referentes aos combustíveis e a combustão que ocorre na fornalha. Não se pretende neste capítulo estabelecer um texto completo sobre geradores de vapor e seu comportamento termodinâmico, mas sim estabelecer conceitos e pontos de concentração das malhas a serem elaboradas.

Este capítulo servirá como base para a descrição detalhada da caldeira do Laboratório de Geração Termelétrica da EFEI que será feita no capítulo 3 desta dissertação.

2.2. DEFINIÇÕES

De uma maneira geral, os textos sobre geradores de vapor os definem como trocadores de calor que produzem vapor de água sob pressões superiores à atmosférica a partir da energia térmica de um combustível, constituídos por diversos equipamentos associados, para permitir a obtenção do maior rendimento térmico possível [11].

A principal utilidade para os geradores de vapor de água - conhecidos como caldeiras - era captar a energia liberada pelo combustível numa unidade central e distribuí-la aos pontos de consumo da empresa. A idéia evoluiu e, nos dias de hoje, o vapor de água tornou-se indispensável em diversos setores industriais.

Essencialmente uma caldeira é um recipiente no qual a água é introduzida e continuamente evaporada pela aplicação de calor. Primitivamente montada sobre uma estrutura de tijolos o combustível era queimado sobre uma grelha situada no interior da estrutura, sendo o calor direcionado diretamente para a parte inferior do recipiente antes de sair em grande proporção para a atmosfera pela chaminé. Os projetistas prontamente compreenderam que a transmissão de calor, mesmo para um simples recipiente de água, por este método, era absolutamente ineficiente. Seria então necessário proporcionar ao gerador de vapor um contato mais íntimo entre a água e os gases de combustão [12].

Uma das formas de realizá-lo foi a de direcionar os produtos quentes da combustão através de tubos dispostos no interior do invólucro da caldeira, devidamente intercomunicados, dentro dos quais percorre a água a ser vaporizada, estando a quase totalidade da superfície externa dos tubos em contato com as chamas ou gases de combustão.

2.3. CLASSIFICAÇÃO

De maneira geral, as caldeiras podem ser classificadas em:

- Aquotubulares
- Flamotubulares

As caldeiras **aquotubulares** tem uso mais abrangente, atendendo, desde pequenas fábricas, até grandes centrais termelétricas. Nestas caldeiras a água circula por dentro de tubos. Estes tubos são normalmente conectados entre dois ou mais tubulões cilíndricos de água chamados de tubulão superior e tubulão inferior, devido ao seu posicionamento na caldeira. À medida que ocorre a liberação de vapor, adiciona-se água fria no tubulão superior. Devido à diferença de densidade, essa água fria desce para o tubulão inferior e a água quente sobe para o tubulão superior enquanto a água fria entrar no processo. As Fig. 2-1 e 2-2 mostram a estrutura desse modelo de caldeira.

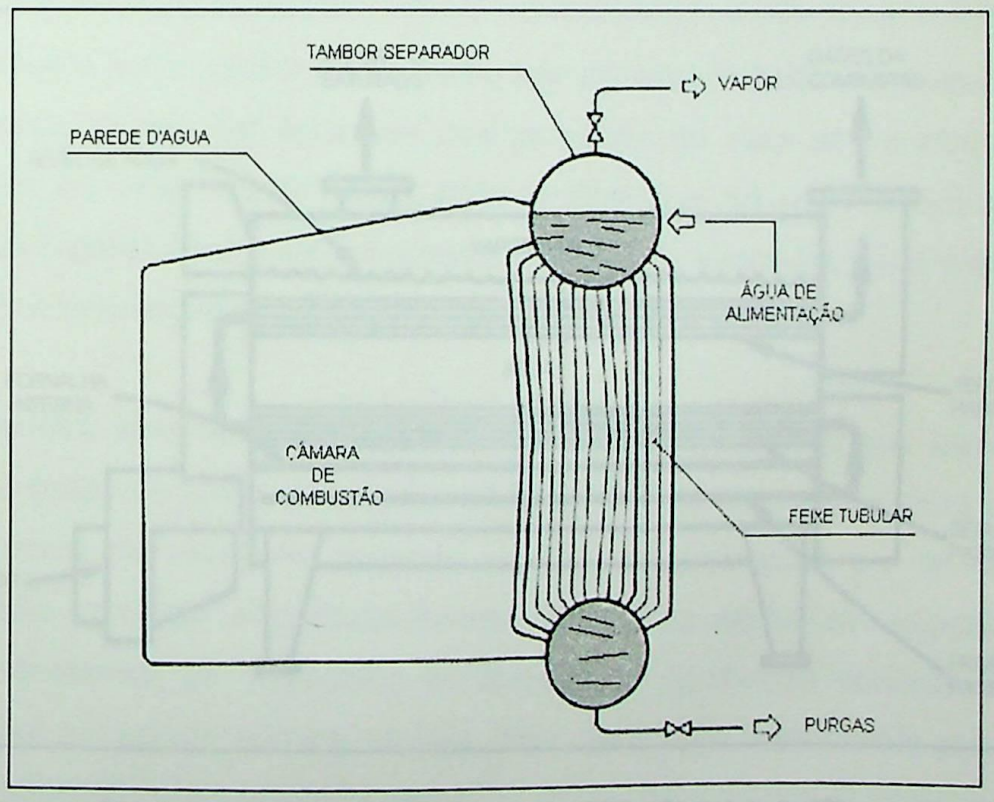


Figura 2-1 – Corte de uma Unidade Geradora de Vapor aquotubular

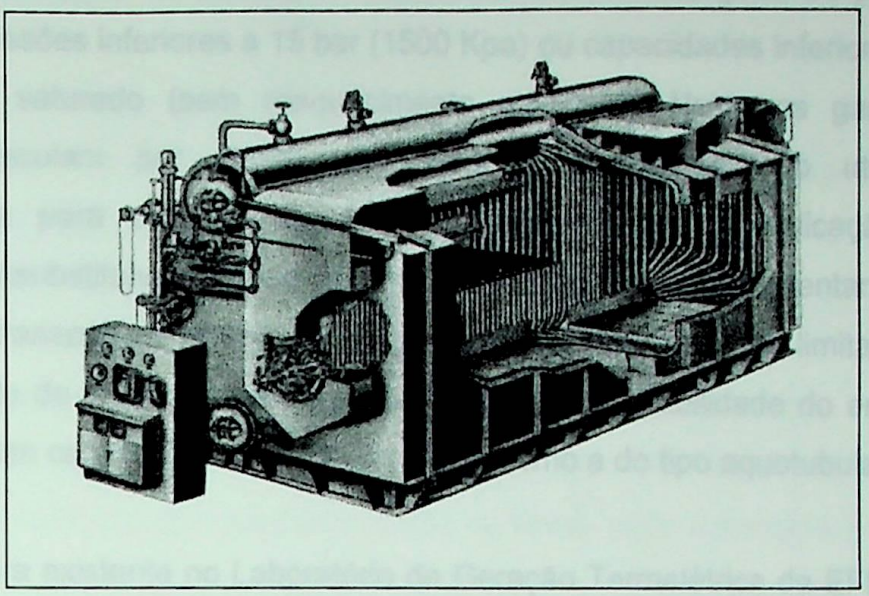


Figura 2-2 – Perspectiva de uma Unidade Geradora de Vapor aquotubular [11]

Nas caldeiras **flamotubulares**, os gases de combustão atravessam toda a caldeira pelo interior de tubos cedendo calor à água contida no corpo que envolve os tubos. A Fig.2-3 mostra a estrutura esquemática desse modelo de caldeira.

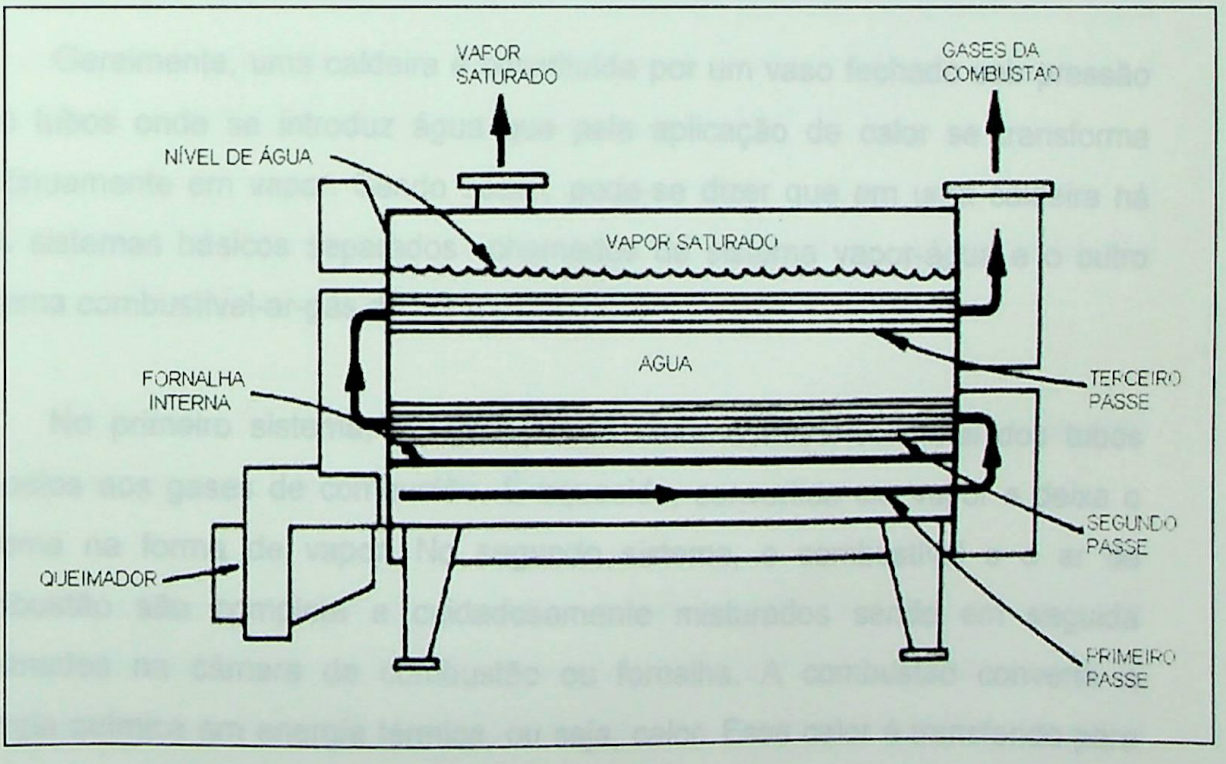


Figura 2-3 – Esquema Básico de uma caldeira flamotubular [2]

As caldeiras flamotubulares têm uso limitado às instalações de pequeno porte, com pressões inferiores a 15 bar (1500 Kpa) ou capacidades inferiores a 15 t/h de vapor saturado (sem reaquecimento adicional). Nelas os gases de combustão circulam por dentro de tubos e, em geral, são utilizadas industrialmente para produzir vapor para calefação. Nessa aplicação são praticamente insubstituíveis devido as inúmeras vantagens que apresentam como facilidade de transporte e instalação. A principal desvantagem é a limitação na sua capacidade de produção de vapor, descartando a possibilidade do emprego de unidades com capacidade maior de produção como a do tipo aquotubular.

A caldeira existente no Laboratório de Geração Termelétrica da EFEI é do tipo aquotubular e, embora existam caraterísticas comuns entre os dois tipos de caldeiras, o presente estudo centra-se sobre as aquotubulares.

2.4. COMPONENTES

Geralmente, uma caldeira é constituída por um vaso fechado sob pressão com tubos onde se introduz água que pela aplicação de calor se transforma continuamente em vapor. Sendo assim, pode-se dizer que em uma caldeira há dois sistemas básicos separados chamados de sistema vapor-água e o outro sistema combustível-ar-gás da combustão [2].

No primeiro sistema, a água recebe calor através do metal dos tubos expostos aos gases de combustão. É aquecida, convertida em vapor e deixa o sistema na forma de vapor. No segundo sistema, o combustível e o ar de combustão são completa e cuidadosamente misturados sendo em seguida queimados na câmara de combustão ou fornalha. A combustão converte a energia química em energia térmica, ou seja, calor. Esse calor é transferido para o sistema vapor-água para geração de vapor.

Caldeiras pequenas estarão compostas por 4 partes essenciais, descritas a seguir:

Fornalha.- Compreende o local onde se desenvolve a queima de combustível. Quando a caldeira queima combustíveis líquidos, gases ou produtos pulverizados, a fornalha é constituída por uma câmara, no interior da qual, e mediante combustores ou *queimadores* é injetado o combustível. Este combustível queima ao entrar em contato com o ar comburente que entra na fornalha através de portas especiais (Esse é o caso da caldeira da EFEI). Existem outras caldeiras que queimam carvão ou lenha, onde a fornalha compõe-se de grelhas sobre as quais o carvão ou lenha é queimado, e dispõe de um espaço embaixo das grelhas pelo qual penetra o ar necessário à combustão.

Caldeira.- Compreende as partes onde ocorre mudança de fase de água do estado líquido para o vapor. As paredes d'água e o tambor ilustrados na fig. 3-1 fazem parte da caldeira. As paredes d'agua se constituem de diversos tubos dispostos um ao lado do outro, revestindo as paredes da fornalha. A água circula livremente por diferença de densidades e o vapor formado (saturado) é acumulado na parte superior do tambor separador.

Canais de Gases.- São trechos intermediários ou finais, de circulação dos gases de combustão até a chaminé.

Chaminé.- É a parte que garante a circulação dos gases quentes da combustão através de todo o sistema pelo processo de tiragem.

Geradores de vapor de grande porte são constituídos de uma série de componentes adicionais que visam melhorar a eficiência do sistema baseando-se no reaproveitamento de calor residual existente nos gases de exaustão, que saem pela chaminé. Tomando por base a unidade aquotubular mais complexa da fig. 2-4, contendo fornalha para queima de lenha em toras, os componentes já descritos assim como aqueles adicionais que melhoram o rendimento podem ser identificados.

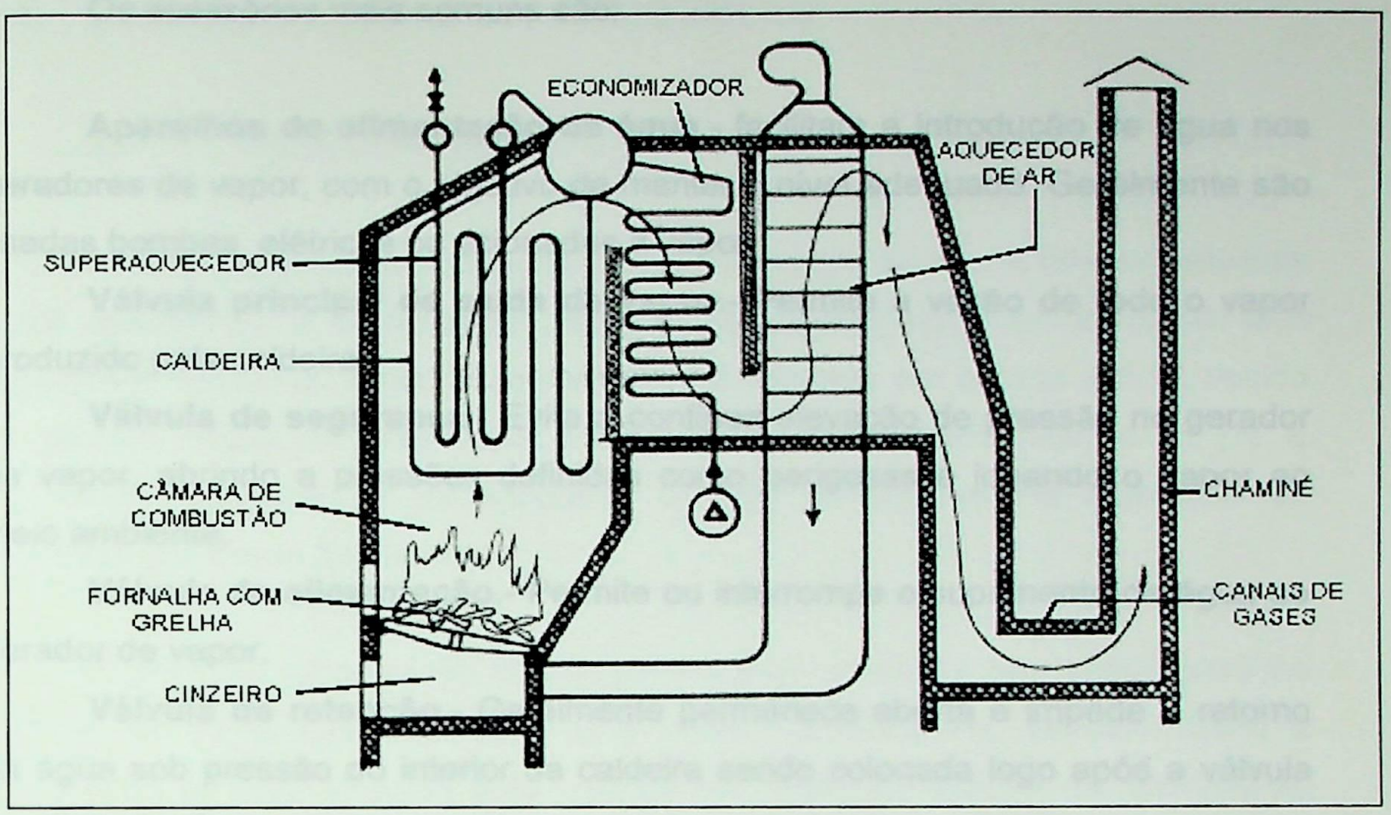


Figura 2-4 – Partes constitutivas de uma Unidade Complexa [11]

Superaquecedor.- Consiste de um o mais feixes tubulares, destinados a aumentar a temperatura do vapor saturado gerado na caldeira.

Economizador.- Pre-aquece a água de alimentação e é normalmente instalado após os superaquecedores.

Aquecedor de ar.- Aproveita o calor residual dos gases de combustão, pre-aquecendo o ar utilizado na queima de combustível.

Além dos componentes acima descritos as caldeiras apresentam acessórios que garantem sua operação, seu controle e sua segurança, realizando esta função junto com os instrumentos de medida.

Os acessórios mais comuns são:

Aparelhos de alimentação de água.- facilitam a introdução de água nos geradores de vapor, com o objetivo de manter o nível adequado. Geralmente são usadas bombas elétricas ou acionadas a vapor.

Válvula principal de saída de vapor.- Permite a vazão de todo o vapor produzido pela caldeira.

Válvula de segurança.- Evita a continua elevação de pressão no gerador de vapor, abrindo a pressões definidas como perigosas e jogando o vapor ao meio ambiente.

Válvula de alimentação.- Permite ou interrompe o suprimento de água ao gerador de vapor.

Válvula de retenção.- Geralmente permanece aberta e impede o retorno da água sob pressão do interior da caldeira sendo colocada logo após a válvula de alimentação.

Válvula de descarga.- Também é conhecida como válvula de dreno, permite uma espécie de purga intermitente da caldeira e é geralmente localizada nas partes inferiores da instalação .

Válvula de escape de ar.- Controla a entrada de ar na caldeira no início e no final da operação.

Os instrumentos de medidas atuam como indicadores numéricos variáveis do processo e servem para monitoramento e controle. No Capítulo 6 tem-se a descrição dos instrumentos que farão a leitura das grandezas envolvidas no processo.

2.5. CARATERISTICAS DA COMBUSTÃO

2.5.1. COMBUSTÍVEIS

O rendimento térmico de uma caldeira depende de vários fatores, entre os quais destaca-se o combustível utilizado, que pode ser definido como toda substância natural ou artificial, encontrada na natureza em estado sólido, líquido ou gasoso, capaz de reagir com o oxigênio do ar liberando calor e luz [1]. É importante conhecer as propriedades de um combustível na operação de unidades geradoras de vapor.

A principal propriedade de um combustível, devido a sua importância na análise da transmissão de calor é o *poder calorífico* P_C, definido como a quantidade de calor liberada pela unidade de massa ou volume do combustível submetido a combustão completa, e é expresso em Kcal/Kg para combustíveis sólidos e Kcal/m^3 para gases.

Os tipos de combustíveis sólidos mais utilizados em caldeiras são a turfa, e a lenha de eucalipto e do pinho. A lenha tem a vantagem de ter um P_C alto, porém é um combustível sujeito a escassez contínua. Entre os combustíveis líquidos, destaca-se o petróleo e seus derivados como diesel, gas e o óleo combustível. O mais utilizados é o óleo combustível principalmente devido a fatores atraentes como oferta abundante, suprimento seguro, facilidade de manuseio e estocagem.

Todos os tipos de combustíveis descritos são compostos principalmente de carbono, hidrogênio e de quantidades variáveis de enxofre, oxigênio, nitrogênio e água, junto com matérias inorgânicas, resíduos da combustão como escórias e cinzas. O carbono e o hidrogênio são os maiores responsáveis pela formação de calor no combustível sendo que o enxofre participa em pequena parcela. Por exemplo cada quilograma de carbono queimado segundo a reação $C + O_2 \rightarrow CO_2$ libera 8100 Kcal/Kg, enquanto o hidrogênio em $H_2 + ½O_2$ libera 33900 kcal/kg.

2.5.2. DETALHE DA COMBUSTÃO

Combustão é uma reação química, relativamente veloz, com notável desenvolvimento de calor que se dá em fase gasosa, entre os produtos combustíveis e o comburente oxigênio [11]. O processo de combustão envolve a oxidação dos elementos constituintes do combustível que podem ser oxidados e portanto, ser representados por uma equação química.

A combustão raramente acontece de maneira espontânea, ocorrendo a ignição através da introdução de uma mecha ou tocha no combustível ou ainda por meio de uma centelha ou faísca entre dois eletrodos ligados a um transformador de alta tensão ou bobina, semelhante ao sistema de ignição do motor de combustão interna de automóveis.

A Fig. 2-5 fornece esquematicamente o processo de combustão com a formação dos gases da combustão, que são chamados de produtos da combustão, transportando calor que em contato com a água, a transforma em vapor.

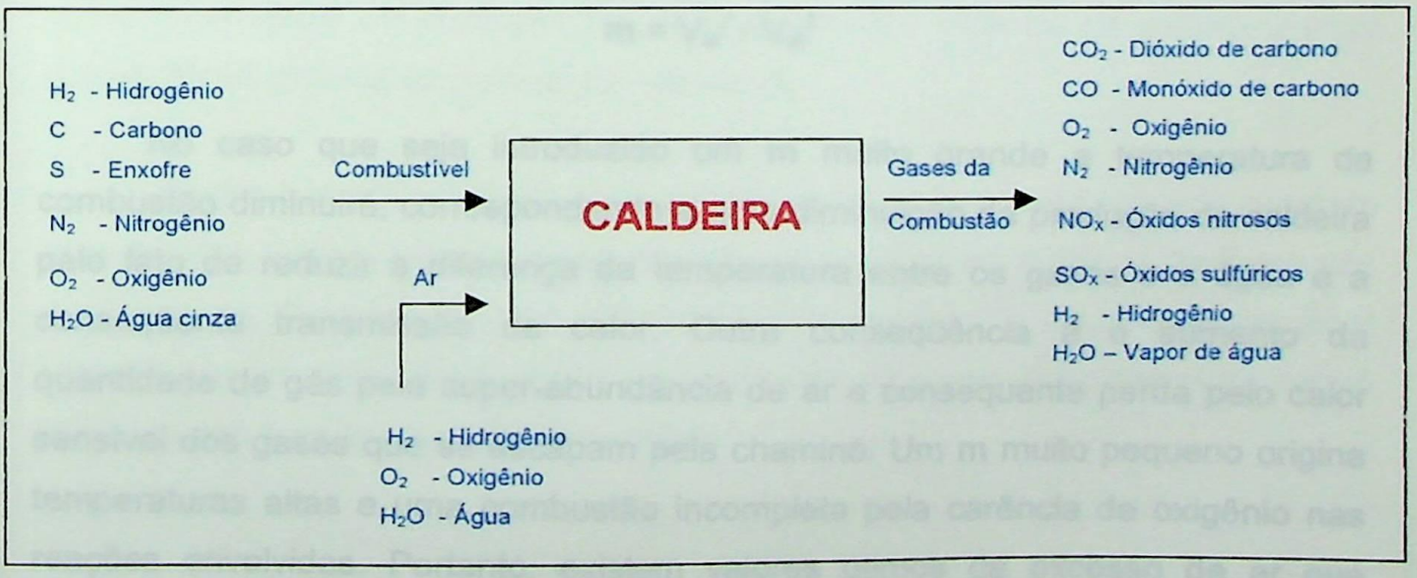


Figura 2-5 – Processo de combustão em geradores de vapor [2]

Nos processos industriais utiliza-se o queimador como dispositivo para a combustão. Este dispositivo mistura o combustível e o ar de combustão em proporções ideais (o qual é chamado de mistura *estequiométrica* para combustão), possibilitando a ignição e a manutenção permanente da combustão. Um combustível líquido para ser queimado deve ser vaporizado ou atomizado facilitando assim o contato com o ar de combustão.

Para se obter combustão completa é necessário, antes de tudo, fornecer suficiente quantidade de ar, isto é de oxigênio. Uma reação química qualquer só ocorre quando as moléculas dos reagentes se encontram nas proporções exatas, e devido a granulometría do combustível, seu estado de divisão, e o sistema de injeção de ar, dificilmente será obtido o aproveitamento máximo do combustível caso se forneça somente a quantidade de ar exata denominada de volume de ar teórico V_{ar}^{t} (definida pela reação química).

Desta forma, há necessidade de que seja introduzido um excesso de ar no processo de combustão, chamado de volume de ar real V_{ar}^{r} e é efetivamente a quantidade de ar que na prática utilizada na fornalha. Define-se **m** como o fator de excesso de ar:

$$\mathbf{m} = V_{ar}^{r} / V_{ar}^{t}$$

No caso que seja introduzido um **m** muito grande a temperatura da combustão diminuirá, correspondendo a uma diminuição da produção da caldeira pelo fato de reduzir a diferença da temperatura entre os gases e a água e a conseqüente transmissão de calor. Outra conseqüência é o aumento da quantidade de gás pela super-abundância de ar e consequente perda pelo calor sensível dos gases que se escapam pela chaminé. Um **m** muito pequeno origina temperaturas altas e uma combustão incompleta pela carência de oxigênio nas reações envolvidas. Portanto, existem valores ótimos de excesso de ar que devem ser utilizados para que não ocorram perdas e combustão incompleta.

3. GERADOR DE VAPOR DA EFEI

3.1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo detalharemos o sistema de geração de vapor existente no Laboratório de Sistemas Térmicos a vapor da EFEI.

Este detalhamento compreende uma descrição geral do Laboratório, os objetivos do mesmo, as caraterísticas da instalação, e as especificações dos equipamentos acessórios existentes. As especificações técnicas da caldeira tais como capacidade de produção de vapor e pressão máxima de trabalho, entre outras, foram obtidas do manual do fabricante.

Devido à sua importância para o sucesso do projeto, será relatado o estudo feito sobre a instrumentação existente com a descrição de todos os instrumentos e acessórios. O objetivo desse estudo foi o de verificar a disponibilidade atual visando à automação. Para alguns equipamentos da planta essa descrição estará baseada nas funções que desempenham.

3.2. LABORATORIO DE SISTEMAS DE VAPOR

O gerador de vapor é o componente principal do **Laboratório de Sistemas Térmicos a Vapor,** cujo objetivo principal é atender às necessidades dos cursos de graduação e pós-graduação em Engenharia Mecânica e Engenharia em Energia da EFEI, fornecendo uma forte base prática e experimental em áreas tais como geração elétrica e cogeração industrial.

Também são objetivos do laboratório a realização de treinamentos teórico-práticos para o corpo técnico de concessionárias, centrais termelétricas e da indústria em geral, e a realização de atividades de desenvolvimento tecnológico e de pesquisa.

As atuais condições operacionais do Laboratório impossibilitam alcançar os objetivos mencionados pelo fato de alguns equipamentos que o integram serem obsoletos. Sendo assim uma substituição, reparo e um posterior processo de verificação do correto funcionamento de seus componentes tornam-se imperativos, considerando o tempo de inatividade das instalações.

Para uma visualização do Laboratório, na fig.3-1 apresenta-se o diagrama completo do mesmo. Todos os equipamentos no desenho estão atualmente disponíveis, mas terão que passar pelo processo mencionado no parágrafo anterior.

Por não estar incluso no diagrama, vale ressaltar que será instalado um super aquecedor, responsável pela transferência de calor dos gases de combustão para o vapor de saída, atuando assim sobre a temperatura deste vapor, transformando-o de saturado para vapor superaquecido. Desta maneira teremos maior rendimento no sistema turbo gerador.

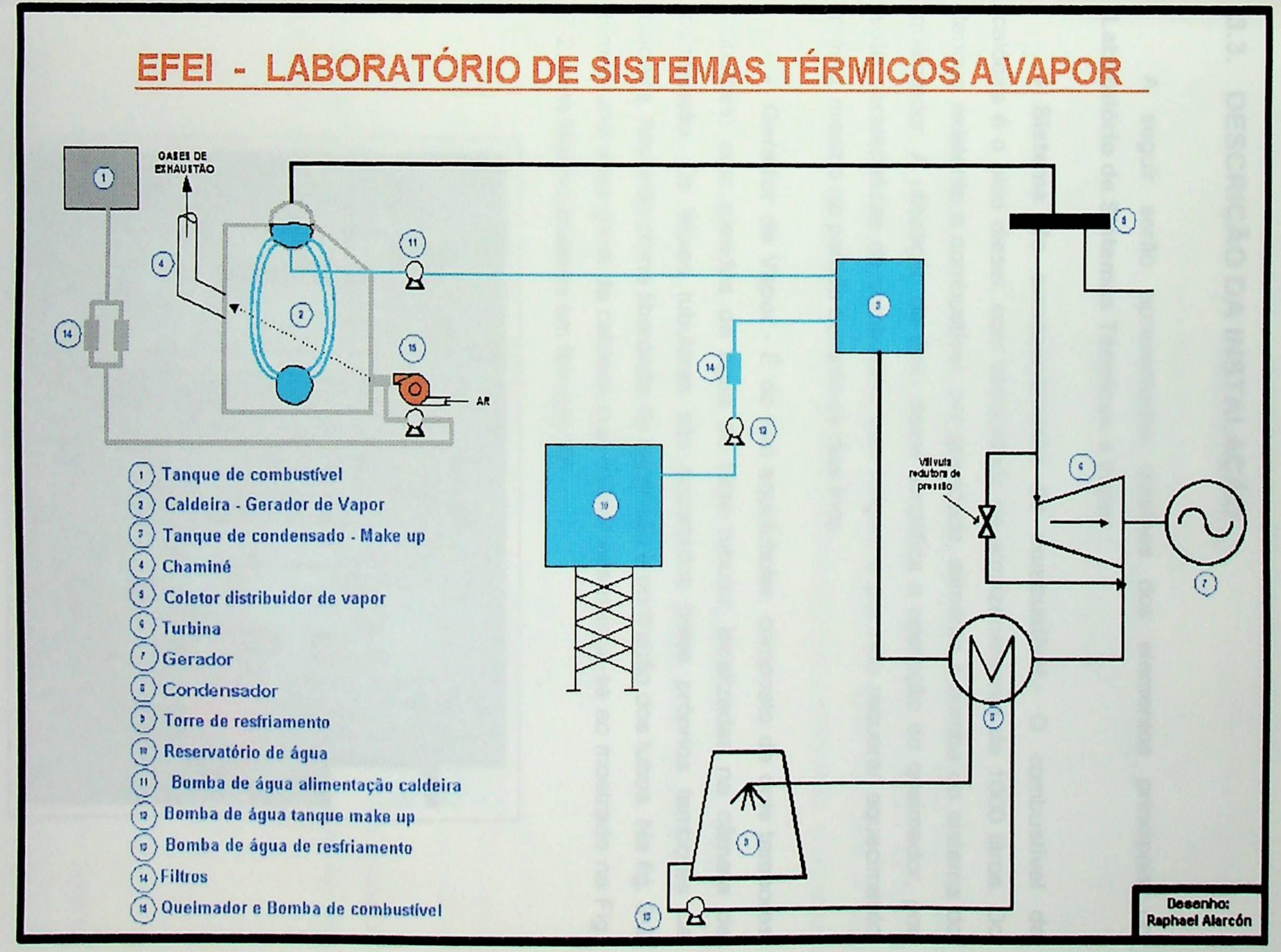


Figura 3-1 – Laboratório de Sistemas Térmicos a Vapor

3.3. DESCRIÇÃO DA INSTALAÇÃO

A seguir serão apresentados detalhes dos elementos principais do **Laboratório de Sistemas Térmicos a Vapor** :

- **Sistema de armazenamento de combustível.-** O combustível da caldeira é o óleo diesel, com capacidade de armazenamento de 1000 litros. Do tanque existente o combustível, por gravidade, alimenta a bomba do sistema do queimador. A utilização de óleo diesel simplifica a operação do queimador, por suas caraterísticas de combustão sem fuligem e por não requerer aquecimento prévio, mesmo na partida durante os dias frios.

- **Gerador de Vapor**.- É do tipo aquotubular, composto de dois tambores (tubulões) com paredes de água de feixe tubular, localizadas na câmara de combustão. Os feixes tubulares são suportados pelos próprios tambores da caldeira, havendo plena liberdade de expansão e contração dos tubos. Na fig. 3-2 temos uma vista geral da caldeira cujo interior assemelha-se ao mostrado na Fig. 2-2, com feixes tubulares em formato "D".

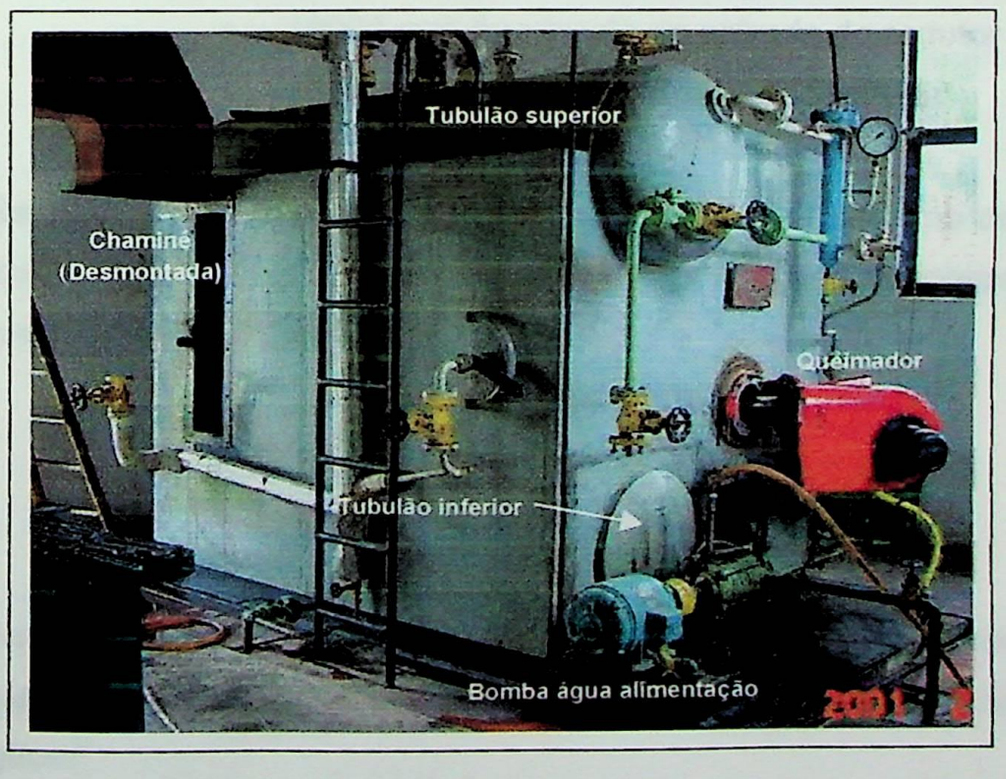


Figura 3-2 Vista Geral do gerador de Vapor da EFEI

A caldeira apresenta as seguintes especificações técnicas:

- Marca: CONTERMA
- Ano fabricação: 1967
- Pressão máxima de trabalho: 15 Kgf/cm^2
- Pressão Hidráulica: 22 Kgf/cm^2
- Produção de vapor: 1200 Kg/h
- Área de aquecimento: 40 m^2

- **Tanque de condensado (make-up)** - É o depósito de água proveniente do condensador e que alimenta o tubulão superior da caldeira atraves da bomba de água de alimentação. A tarefa dele e manter a água estocada a uma temperatura maior que a água do reservatório principal melhorando a eficiência do sistema.

- **Turbina** - Turbina a vapor Brown Boveri, com multiválvulas, roda Curtis, vedação por labirinto e controle hidráulico. Possui as seguintes caraterísticas:
  - 81 KW de potência
  - 12 Kgf/cm^2 de pressão de trabalho
  - 183 ° C de temperatura de vapor
  - 10000 rpm de rotação na entrada do redutor
  - 1800 rpm de rotação na saída do redutor

- **Gerador** - Gerador síncrono trifásico, marca WEG, sistema de excitação sem escovas, com regulador eletrônico de tensão, carcaça de chapas de aço. Pssui as seguintes caraterísticas:
  - 112 KVA de potência em 380 V
  - 60 Hz de freqüência
  - 0.8 a 1.0 de fator de potência

- **Condensador** - Condensa o fluxo de vapor consumido pela turbina, operando em contrapressão variável, para simular distintas condições variando de 1,5 a 3 kgf/cm^2.

- **Torre de Resfriamento** - Atende a dissipação de calor cedido pelo vapor no condensador, sendo do tipo ar induzido, com ventilador axial montado na lateral.

- **Reservatório de água** - Considerando a pressão de operação da caldeira, os requisitos para a qualidade da água não são rigorosos, sendo utilizada diretamente a água recebida da COPASA.

- **Bomba de água de alimentação** - Moto – bomba centrífuga, pressão de operação de 21 kgf/cm^2, vazão 400 litros/hora.

- **Superaquecedor** - O superaquecedor a ser instalado terá uma capacidade de descarga máxima de 1600 kg/h.

3.4. INSTRUMENTAÇÃO E ACESSÓRIOS

Instrumentação e controle são partes essenciais de toda instalação industrial, permitindo garantir uma operação segura, econômica e confiável [2]. Neste item serão descritos os instrumentos e acessórios acoplados à caldeira da EFEI. Nessa descrição será incluído também o funcionamento da caldeira enfatizando a ação da instrumentação atual.

O gerador de vapor da EFEI apresenta instrumentação que atende *parcialmente* os seguintes objetivos:

- Controle de pressão no interior da caldeira
- Controle da combustão
- Controle de alimentação de água

O termo *parcialmente* é aplicável devido ao fato de serem controles que trabalham só em determinados pontos do processo, em detrimento da eficiência do processo naqueles pontos não considerados.

Para alcançar uma automação total da planta é imperativa a aquisição de controladores, sensores e atuadores que possibilitem aplicar os laços de controle apresentados no Capítulo 4. A lista dos equipamentos necessários é apresentada no Capítulo 6.

Os principais equipamentos que realizam os mencionados controles são os apresentados a seguir.

3.4.1. PRESSOSTATOS

O controle de pressão no interior do tubulão é feito mediante dos pressostatos Zurich com as seguintes funções:

Pressostato "domo alarma" :

Sua função é enviar uma sinal (contato fechado) quando a pressão do vapor no tubulão atinge um valor de configuração (setup), considerado de risco para o processo. O valor de setup é de 12 kgf/cm^2.

Pressostato "domo disparo" :

Sua função é desligar o sistema de combustão quando a pressão de vapor no interior da caldeira atingir o valor máximo de trabalho admissível. Sua ação é exercida desligando a linha de alimentação de corrente elétrica do sistema automático de combustão composto pelo queimador e programador de combustão, que serão descritos ainda neste texto. O valor de pressão para este setup é de 15 kgf/cm^2.

3.4.2. QUEIMADOR

Parte fundamental do processo de combustão é o queimador, onde o diesel é nebulizado e misturado com o ar, de forma de assegurar uma chama estável. O combustível deve ser nebulizado de maneira a se transformar no maior número de gotas possível e, consequentemente, garantir maior área de contato com o ar de combustão.

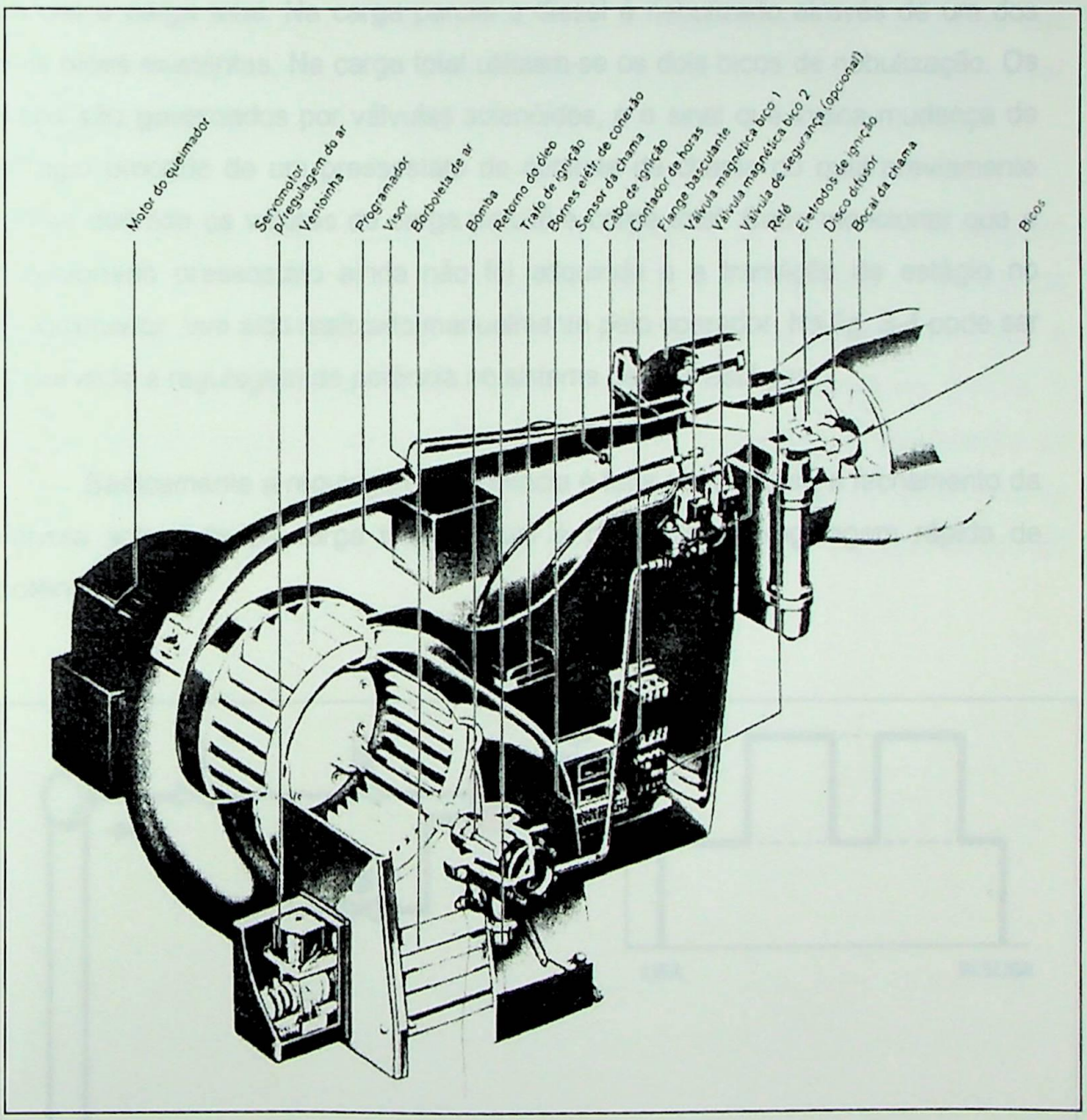


Figura 3-3 – Partes integrantes do queimador Weishaupt [14]

O gerador de vapor da EFEI possui um Queimador Weishaupt modelo L7Z, de tipo horizontal alimentado com combustível óleo diesel, que tem como acessório de potência um motor que impele através de um eixo a ventoinha de ar para combustão e a bomba de combustível. Na fig. 3-3 os elementos que constituem do queimador podem ser apreciados.

O controle de combustão é feito num sistema de dois estágios: carga parcial e carga total. Na carga parcial o diesel é nebulizado através de um dos dois bicos existentes. Na carga total utilizam-se os dois bicos de nebulização. Os bicos são governados por válvulas solenóides, e o sinal que indica mudança de estágio procede de um pressostato de controle de chama no qual previamente temse definido os valores de carga parcial e carga total. Cabe mencionar que o mencionado pressostato ainda não foi adquirido e a transição de estágio no programador tem sido realizado manualmente pelo operador. Na fig. 3-4 pode ser observada a regulagem de potência no sistema de dois estágios.

Basicamente a regulagem de potência é feita por abertura e fechamento da válvula solenóide de carga total, a qual é chamada de regulagem rápida de potência.

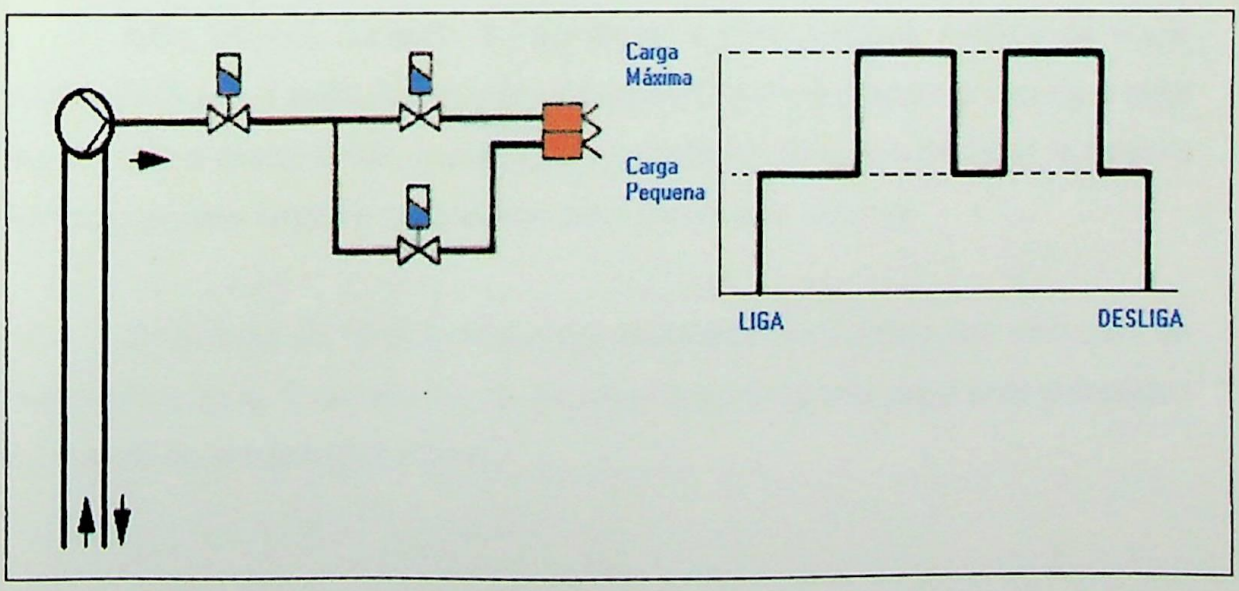


Figura 3-4 – Regulagem de potência a dois estágios [14]

3.4.2.1. PROGRAMADOR DE COMBUSTÃO

O queimador Weishaupt modelo L7Z vem acompanhado de um programador de combustão que é um circuito eletrônico cuja função é efetuar a partida da caldeira e levar o sinal do pressostato de modulação para as válvulas.

Ele não permite a ignição da caldeira caso esteja ocorrendo algum problema no sistema de combustão. No início da operação e após verificação das condições de segurança e de pré-ventilação, o programador liga o motor principal processando o fogo mínimo através da abertura da válvula de fogo mínimo.

O programador, recebendo sinal de claridade de chama do fotoresistor fixado no queimador, liga o bico de carga total já que a pressão no interior da caldeira é nula pois ainda não há produção de vapor. No momento em que a pressão atinge a regulagem definida no pressostato de controle de chama, o programador processa novamente o fogo mínimo, permitindo a nebulização do diesel somente pelo bico de carga parcial. Dado o início da combustão, cessa-se a ignição piloto e o fotoresistor reage dando por terminada a programação de partida.

3.4.3. CONTROLADOR DE NÍVEL DE ÁGUA

A sua função é manter o nível estabelecido de água no interior da caldeira, comandando, para atingir essa finalidade, a ação da bomba de alimentação de água. É composto de duas partes que são a coluna de água e o controle de nível. A coluna de nível é uma garrafa colocada na lateral da caldeira com 3 elementos de nível (eletrodos). A Fig. 3-5 mostra essa coluna com a indicação dos eletrodos.

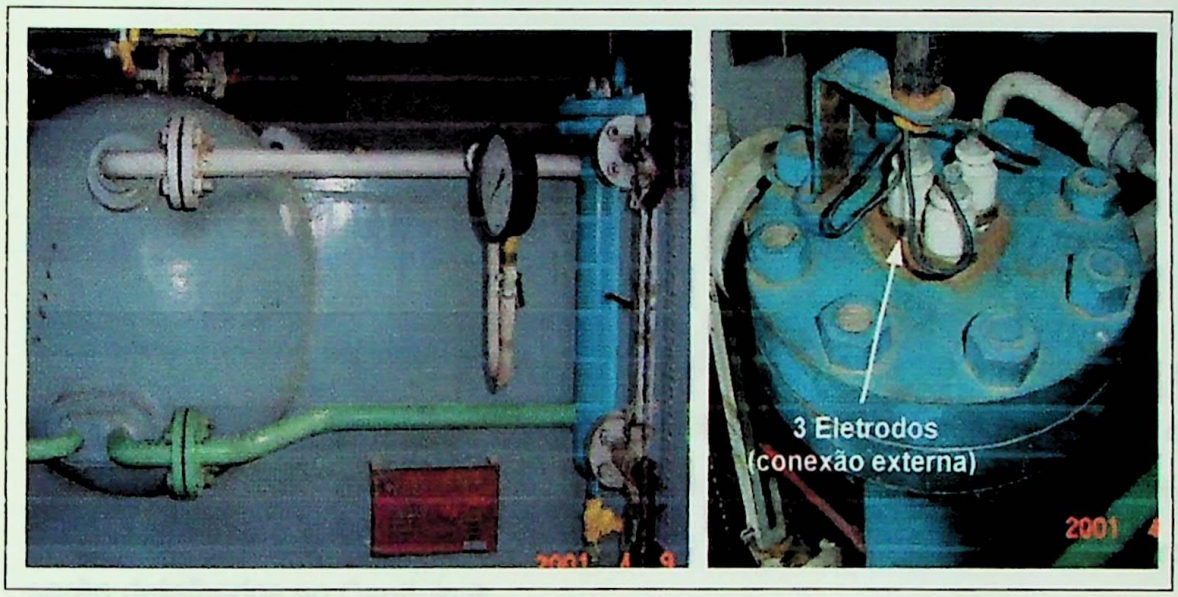


Figura 3-5 – Coluna de água do regulador de nível

Este sistema consiste em aproveitar a condutividade elétrica da água, com o auxílio de 3 eletrodos de aço inoxidável. O eletrodo menor comanda o nível superior. O eletrodo médio comanda o nível inferior. Em caso de falha, o terceiro eletrodo (o mais longo) é programado para desativar a caldeira.

O controle do nível funciona por intermédio do contato dos eletrodos de nível com a água. É constituído de um transformador e três relés acondicionados no interior do armário de controle.

4. ESTRATÉGIA DE CONTROLE

4.1. INTRODUÇÃO

Este capítulo pretende expor o projeto de controle da caldeira da EFEI em relação ao detalhamento das malhas, abordando as estratégias escolhidas e o sistema de segurança envolvido nas operações. Todos os equipamentos, instrumentos e acessórios que constituem o sistema de supervisão e controle serão detalhados no Capítulo 6.

Primeiramente pretende-se descrever as necessidades que originaram a aplicação das mencionadas estratégias de controle, expondo algumas deficiências do sistema atual de controle. As soluções para corrigir tais deficiências são analisadas, enfatizando as vantagens advindas de sua aplicação.

Posteriormente procurou-se determinar três campos de ação para o controle de geração de vapor que são: controle da combustão, controle de nível de água no tubulão e funções de intertravamento. Para uma melhor visualização do funcionamento da malha de combustão, foi feita uma simulação da mesma utilizando o software SIMULINK-MATLAB.

4.2. JUSTIFICATIVAS PARA AUTOMAÇÃO DA PLANTA

Com a instrumentação e mecanismos existentes pode-se dizer que a caldeira opera semi-automatizada em se tratando de controle da combustão, controle de nível de água de alimentação e em situações de emergência, cabendo ao operador tarefas constantes de observação da instrumentação para supervisionar o processo.

O controle de combustão através do programador de combustão, sensor de chama e válvulas solenóides, permite o controle apenas em três níveis denominados de fogo máximo, fogo mínimo e desligado. Sendo este controle bastante simples, pode-se verificar que ele apresenta algumas deficiências. Uma delas é devido ao ajuste da relação ar/combustível ser feito atuando-se manualmente sobre chaves de cames no servomotor do queimador, que opera as borboletas de ar. Estes ajustes são válidos só para as condições em que foram realizados. Portanto, caso ocorressem variações nas condições atmosféricas ou nas caraterísticas do combustível, o rendimento da caldeira sofreria queda, comprometendo a instalação. Além disto nas transições de estágio os ajustes perderiam toda validade e a caldeira diminuiria ainda mais a sua eficiência.

Nas atuais condições são feitos dois ajustes, um para carga parcial e outro para carga total, tendo como parâmetro de referência a quantidade de oxigênio existente nos gases de exaustão, de forma que obedeça a valores ótimos [3].

Outra importante observação é que toda vez que o nível de água dentro da caldeira ficar abaixo do limite, a bomba de água de alimentação é ligada pelo sistema de controle de nível e desligada quando o nível de trabalho é atingido. Em funcionamento contínuo de produção de vapor, esta bomba poderá ficar ligando e desligando em curtos intervalos de tempo, acarretando, a cada acionamento, um grande consumo de energia da rede elétrica. Considerando a instalação como um todo, a eficiência será baixa, ou seja, gasta-se muita energia para produzir vapor.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAIUBA
Biblioteca
MAUÁ
BIM

4.3. PROJETO DE AUTOMAÇÃO DA CALDEIRA

4.3.1. CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL

As funções de intertravamento e os procedimentos de operação realizados pelo programador de combustão, poderão ser feitos por um controlador lógico programável, CLP. Embora o sistema instalado seja capaz de trabalhar adequadamente, ele é rígido e não apresenta flexibilidade para alterações que poderiam ocorrer como, por exemplo, mudança no tempo de purga ou mudança em alguma seqüência de operação.

Em um CLP, isso é facilmente conseguido com alteração de linhas no programa interno. O CLP poderá ser instalado sem a retirada do sistema já instalado, podendo inclusive ter a flexibilidade de se operar com um ou outro sistema. Soma-se a todas estas vantagens o fato de servir também como interface para a elaboração do sistema supervisório para monitoramento do sistema.

4.3.2. OTIMIZAÇÃO DA EFICIÊNCIA

A otimização da eficiência é o principal objetivo de um projeto de controle e automação de uma caldeira. Para se atingir este objetivo é necessário, como visto na seção 2.5.2, otimizar a relação ar/combustível. Uma quantidade mais adequada de ar, de acordo com a quantidade de combustível, demanda de vapor e conseqüente pressão de vapor, é a principal fonte de atuação para se conseguir melhorar o rendimento da caldeira. Sendo assim, é necessário dotar a caldeira de sensores e transmissores de pressão de vapor, de vazão de combustível e vazão de ar. Para receber os sinais coletados destes sensores e realizar as ações de controle, de acordo com estratégias a serem definidas, precisa-se de controladores eletrônicos, tarefa que, como mostrado no Capítulo 6, será feita pelos próprios sensores inteligentesfieldbus que já possuem o controlador embutido.

Propõe-se como elementos atuadores para as variáveis de vazão de ar e combustível as alternativas descritas a seguir:

A mudança do servo-motor instalado para controle das borboletas de somente duas posições fixas, para outro com mais posições intermediárias. A saída do controlador irá atuar nesse servo-motor que por sua vez controlaria a posição da borboleta do ventilador, e também o controlador atuaria numa válvula de comando de fogo que substituiria as válvulas solenóides existentes na alimentação dos bicos.

No entanto, existe outra alternativa que apresenta melhores resultados [4], em instalações cujo queimador possui motores independentes para o fornecimento de ar e do combustível. Consiste em controlar a vazão de ar e óleo através do controle de velocidade dos motores do ventilador e da bomba de óleo. O que pode ser conseguido com a colocação de sistemas inversores de potência na alimentação alternada dos motores. Com os inversores pode-se alterar a velocidade, sendo que esta velocidade pode ser determinada pelo controlador eletrônico através das vazões de ar e combustível. Esta alternativa é mais atraente pois pode proporcionar adicionalmente uma economia de energia já que os motores funcionarão na velocidade máxima somente quando for necessário.

O queimador WEISHAUPT existente na caldeira da EFEI não possui motores independentes, já que o seu motor aciona através do mesmo eixo, a ventoinha de ar para combustão e a bomba de combustível. Deste modo, não consegue agir sobre as vazões de ar e combustível independentemente. Precisa-se, então, da aquisição de um motor que trabalhando com a bomba de combustível permita desvincular a mesma do eixo do queimador e desta forma controlar as duas vazões separadamente com os inversores de potência.

Pode ser feito também um controle na velocidade do motor da bomba de água de alimentação com um sistema semelhante ao sugerido na segunda alternativa, procurando sempre aumentar o rendimento da instalação como um todo.

4.3.2.1. CONTROLE DE O_2 NA QUEIMA

Na queima de óleos leves, tais como o diesel, a chama deve ser limpa, sem o aparecimento de fagulhas. A fumaça na chaminé deve ser teoricamente invisível. É fácil identificar o que acontece numa caldeira quando os gases de combustão são cinzentos e fuliginosos. Neste caso uma parte do combustível não queima e isso representa perda de energia.

Porém, uma vez transparentes, os gases não oferecem referência visual do teor de oxigênio que influencia a regulagem da combustão, e mesmo um operador experiente dificilmente conseguirá operar economicamente um sistema de queima com simples observação da chama [3]. Considerando tudo isto é interessante que seja feita uma análise dos gases de combustão que trabalhando na malha de controlem poderá fazer parte do projeto enviando a sua informação a um controlador eletrônico que atuará nas vazões de ar e combustível.

É importante destacar que as perdas por excesso de ar aumentam em proporção muito menor que as perdas por combustível não queimado; por isto sempre se trabalha com ar em excesso nos processos de combustão industrial [2], o qual pode ser observado na Fig. 4-1.

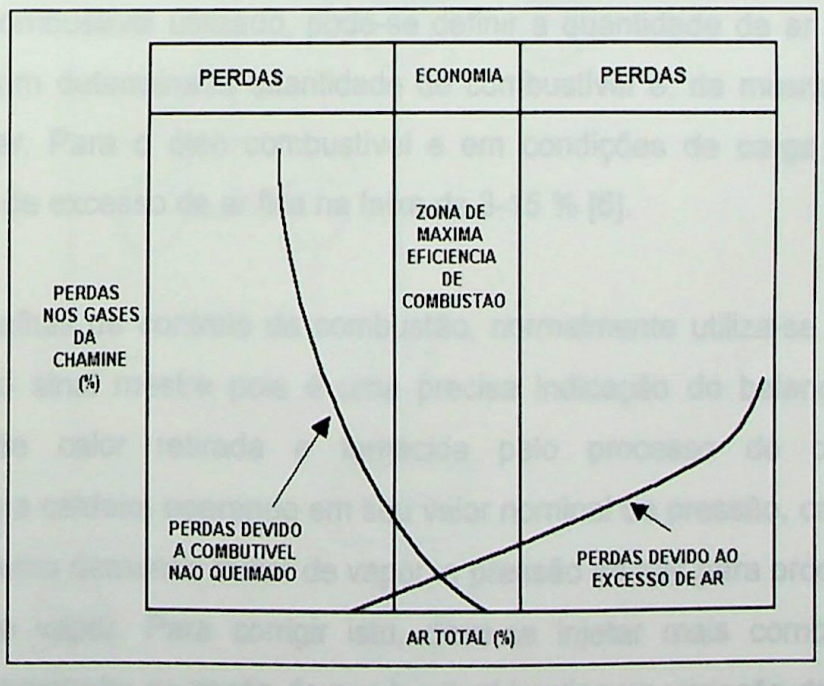


Figura 4-1 – Curvas de perdas na combustão [2]

4.4. CONTROLE DO PROCESSO DE COMBUSTÃO

4.4.1. MALHA DE CONTROLE

O controle do processo de combustão visa atingir o máximo rendimento térmico da caldeira, sendo que os fatores que interferem diretamente para que se alcancem estes objetivos são: a quantidade de combustível utilizado, a quantidade de ar necessário para combustão e a análise dos gases de combustão.

Procura-se manter a pressão de vapor constante, variando a vazão de combustível e do ar de combustão injetados no queimador. Quanto maior a vazão de combustível e de ar de combustão, maior a troca de calor e, consequentemente, maior a produção de vapor. Esta malha procura também manter a relação ar/combustível na zona de máxima eficiência de combustão pois, conforme visto na Fig. 4-1, o excesso de ar influencia grandemente no rendimento da caldeira.

De acordo com os cálculos estequiométricos, baseados na composição química do combustível utilizado, pode-se definir a quantidade de ar necessária para reagir com determinada quantidade de combustível e, da mesma forma, o excesso de ar. Para o óleo combustível e em condições de carga máxima a porcentagem de excesso de ar fica na faixa de 3-15 % [6].

Nas malhas de controle de combustão, normalmente utiliza-se o sinal de pressão como sinal mestre pois é uma precisa indicação do balanço entre a quantidade de calor retirada e fornecida pelo processo de combustão. Considerando a caldeira operando em seu valor nominal de pressão, caso ocorra, por exemplo, uma demanda maior de vapor, a pressão irá cair para produzir maior quantidade de vapor. Para corrigir isto, deve-se injetar mais combustível na caldeira. A intervenção na vazão de combustível implica na variação da vazão de ar, no caso, aumento de vazão, para manter a combustão completa.

Por outro lado, um aumento na pressão de vapor implica excesso de combustível, devendo neste caso, reduzir sua vazão e também a do ar. Nas condições de aumento ou diminuição de carga, sempre dever-se-á garantir um excesso de ar para evitar uma mistura rica demais em combustível, o qual comprometeria a segurança da instalação. Considerando principalmente este último fator, foi escolhida, após o estudo e análise dos quatro modelos de estratégias de controle descritas em [2], uma malha de controle que permite sempre ter excesso de ar nos transientes, aplicando o controle de realimentação, o controle em cascata e a técnica dos "**Limites Cruzados**" [6]. A malha é ilustrada na Fig. 4-2 usando a simbologia padronizada pela ISA (The Instrumentation, Systems, and Automation Society) e explicada no Anexo C.

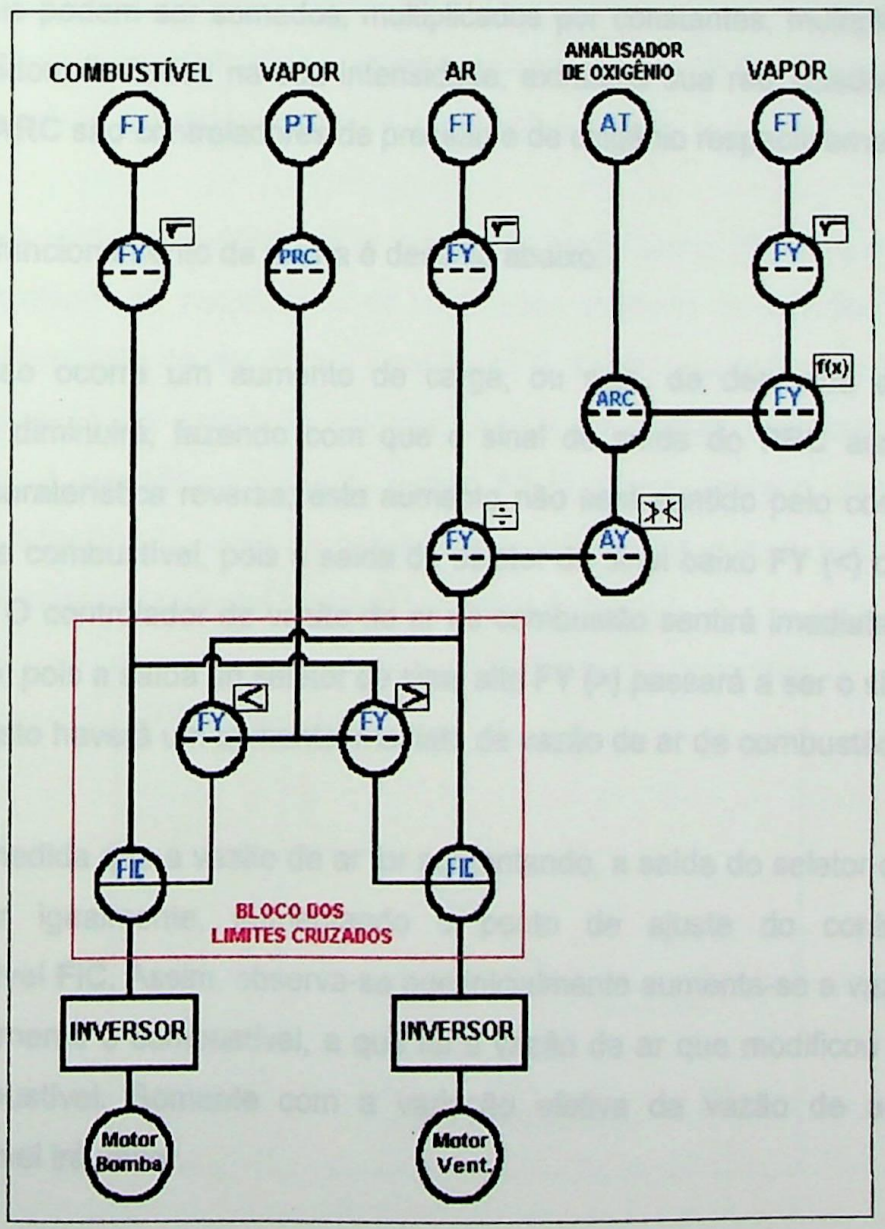


Figura 4-2 – Malha de Controle de Combustão [2]

4.4.2. ANÁLISE DA MALHA

A malha recebe cinco sinais de entrada, sendo três transmissores de vazão **FT**: de combustível, ar e vapor; um transmissor de pressão **PT** e um transmissor de teor de oxigênio **AT**, chamado também de Analisador de Oxigênio. Possui duas saídas atuando nos inversores, que por sua vez atuam sobre os motores do ventilador e da bomba de combustível. Estas saídas são definidas pelos controladores de ar e de combustível **FIC**.

Os **FY** e **AY** representam blocos de funções configuráveis, que executam uma variedade de cálculos e computações com os sinais analógicos de controle. Os sinais podem ser somados, multiplicados por constantes, multiplicados entre si, divididos, limitados na sua intensidade, extraídos sua raiz quadrada, etc. Os **PRC** e **ARC** são controladores de pressão e de oxigênio respectivamente.

O funcionamento da malha é descrito abaixo:

Caso ocorra um aumento de carga, ou seja, da demanda de vapor, a pressão diminuirá, fazendo com que o sinal de saída do **PRC** aumente, pois possui caraterística reversa; este aumento não será sentido pelo controlador de vazão de combustível, pois a saída do seletor de sinal baixo **FY (<)** continuará a mesma. O controlador de vazão do ar de combustão sentirá imediatamente este aumento, pois a saída do seletor de sinal alto **FY (>)** passará a ser o sinal do PRC , e com isto haverá um aumento imediato de vazão de ar de combustão.

À medida que a vazão de ar for aumentando, a saída do seletor de baixa irá aumentar igualmente, aumentando o ponto de ajuste do controlador de combustível **FIC**. Assim, observa-se que inicialmente aumenta-se a vazão de ar e posteriormente o combustível, e que foi a vazão de ar que modificou o *set-point* do combustível. Somente com a variação efetiva da vazão de ar é que o combustível irá variar.

Numa descida de carga, o funcionamento é similar. Neste caso, a pressão aumenta e o sinal diminuído do controlador de pressão vai ser enviado pelo seletor de baixa atuando no *set-point* do controlador da vazão de combustível que irá enviar um sinal ao atuador para diminuir a quantidade de combustível injetada na fornalha. O sinal de vazão diminuído vai ser comparado no seletor de alta com o sinal do controlador de pressão também diminuído. O maior dos dois, mas ainda menor que o sinal original, vai diminuir o *set-point* do controlador de ar. Verifica-se novamente que primeiro diminui-se o combustível e em seguida o ar, pois foi a queda da vazão de combustível que provocou a alteração no *set-point* do controlador de ar. Com este sistema garante-se o excesso de ar, tanto na subida como na descida da carga.

O controle estudado também possui ajuste automático da relação ar/combustível, cujo funcionamento explica-se a seguir.

Na malha secundária de ar tem-se um bloco divisor **FY** entre o transmissor e o controlador de vazão de ar de combustão. A saída do mencionado bloco é dada pela relação: vazão de ar / sinal do **ARC**. O sinal de vazão de vapor, que é uma indicação da carga da caldeira, depois de passar pelo extrator de raiz quadrada, é enviado ao bloco de função **FY [f(x)]**, programado com a equação f(x) que relaciona o ponto de ajuste ótimo do oxigênio com a porcentagem da carga da caldeira conforme mostrado na fig. 4-3.

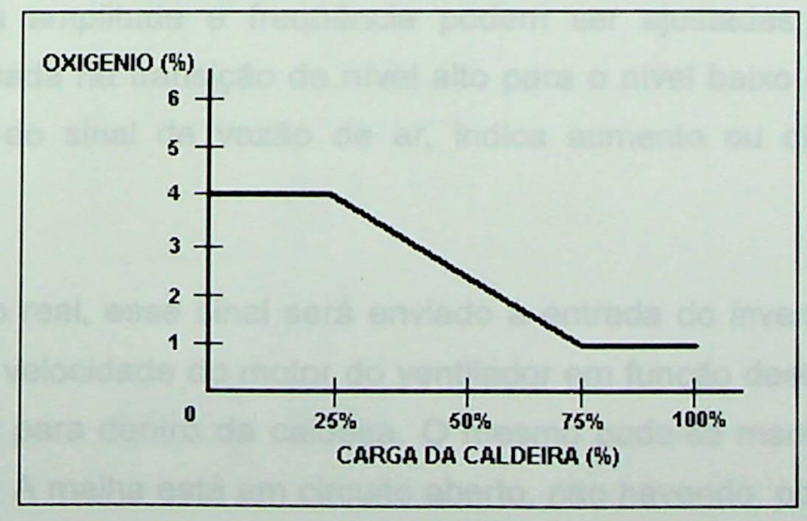


Figura 4-3 – Relação entre a carga da caldeira e o excesso de oxigênio [2]

O ponto de ajuste definido pela fig.4-3 (teor de oxigênio vs. % carga) e programado no bloco **FY [f(x)]** é enviado ao controlador de oxigênio **ARC**, que ao comparar com o sinal **AT** medido, enviará sua saída para o bloco divisor **FY**, fazendo um ajuste automático na razão.

Previamente ao divisor temos um **AY** que limita a influência do analisador de oxigênio na malha de controle, pois ele é utilizado apenas para os ajustes finos.

4.4.3. SIMULAÇÃO DA MALHA

Para simulação da malha de controle de combustão foi utilizado o software SIMULINK. Devido a sua importância para o perfeito funcionamento da malha de controle, foi realizada a simulação somente do bloco dos " Limites Cruzados", referente à fig.4-2. A fig.4-4 representa o diagrama do SIMULINK com a implementação do referido bloco e a fig.4-5 mostra o resultado da simulação.

A razão de realizar a simulação dessa malha é para mostrar a eficiência da técnica de limites cruzados na manutenção de excesso de ar dentro das caldeiras nas transições do valor de pressão.

Na simulação, o sinal de pressão é proporcionado por um gerador de onda quadrada, cuja amplitude e freqüência podem ser ajustadas. A variação de pressão é indicada na transição de nível alto para o nível baixo ou vice-versa. A representação do sinal de vazão de ar, indica aumento ou diminuição dessa vazão.

No caso real, esse sinal será enviado à entrada do inversor que por sua vez irá variar a velocidade do motor do ventilador em função deste sinal, atuando na vazão de ar para dentro da caldeira. O mesmo pode-se mencionar da vazão de combustível. A malha está em circuito aberto, não havendo, portanto, correção de sinal de pressão com a variação de vazão de ar e de combustível.

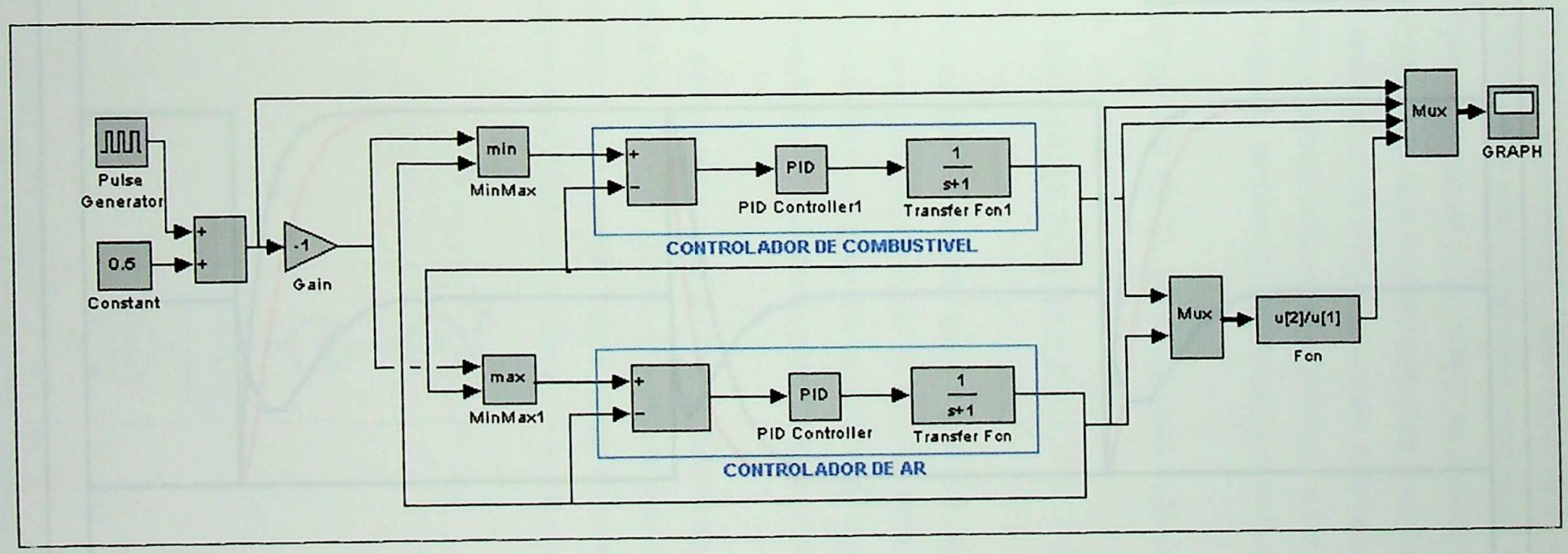


Figura 4-4 – Diagrama da simulação SIMULINK (cte. de tempo é referencial)

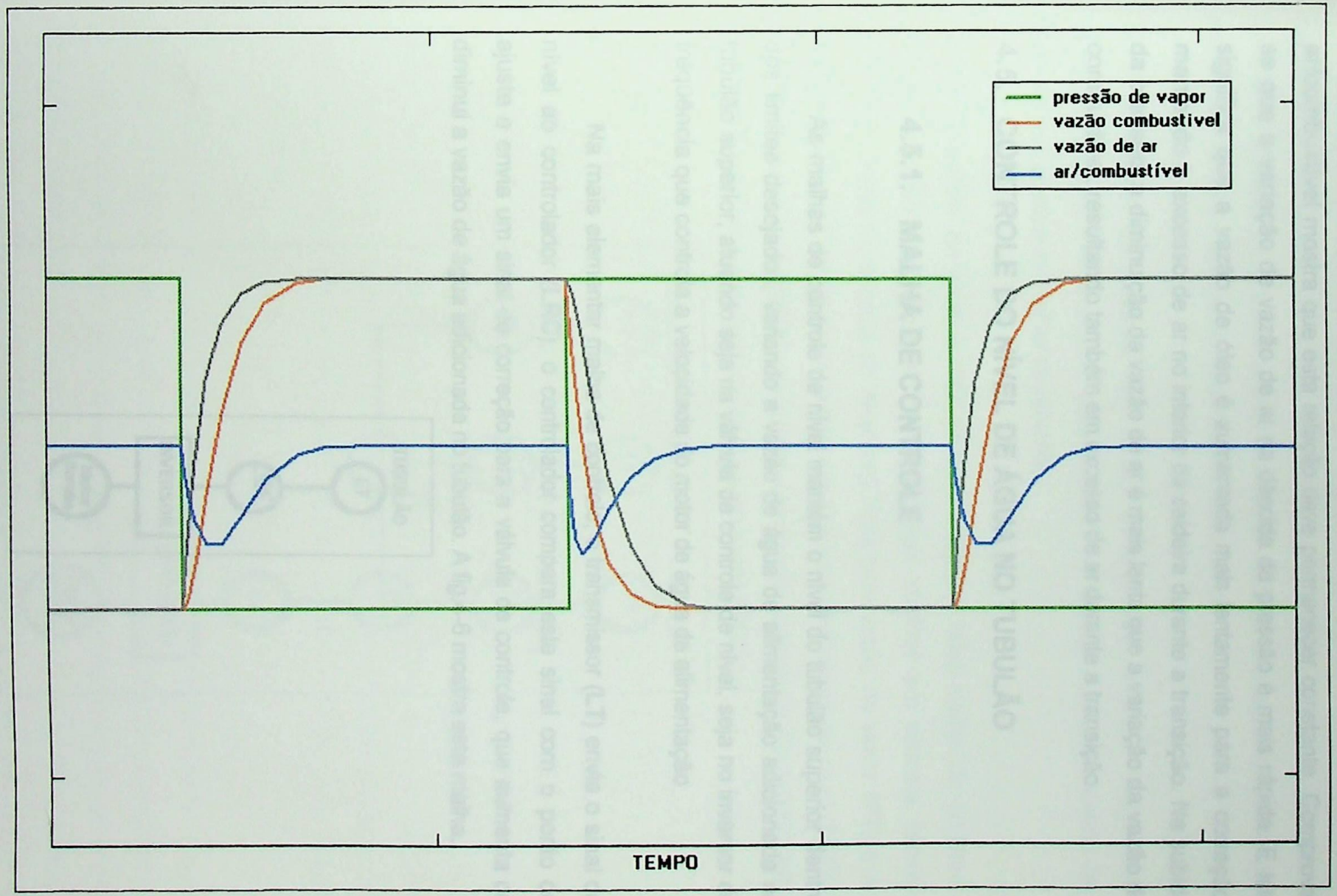


Figura 4-5 – Resultado da simulação

Do resultado da simulação observa-se que o sinal da relação ar/combustível mostra que esta relação deve permanecer constante. Comprova-se que a variação de vazão de ar na descida da pressão é mais rápida. E isto significa que a vazão de óleo é aumentada mais lentamente para a correção, mantendo o excesso de ar no interior da caldeira durante a transição. Na subida da pressão, a diminuição da vazão de ar é mais lenta que a variação da vazão de combustível, resultando também em excesso de ar durante a transição.

4.5. CONTROLE DO NÍVEL DE ÁGUA NO TUBULÃO

4.5.1. MALHA DE CONTROLE

As malhas de controle de nível mantém o nível do tubulão superior dentro dos limites desejados, variando a vazão de água de alimentação adicionada no tubulão superior, atuando seja na válvula de controle de nível, seja no inversor de freqüência que controla a velocidade do motor de água de alimentação

Na mais elementar malha de controle, o transmissor (**LT**) envia o sinal de nível ao controlador (**LRC**), o controlador compara este sinal com o ponto de ajuste e envia um sinal de correção para a válvula de controle, que aumenta ou diminui a vazão de água adicionada no tubulão. A fig.4-6 mostra esta malha.

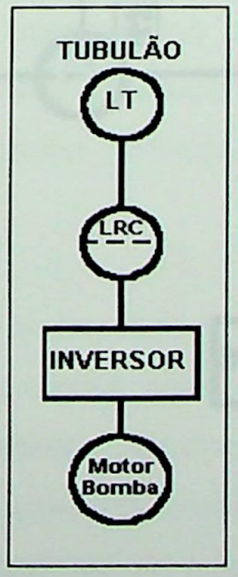


Figura 4-6 – Controle de nível 1 elemento

Como neste caso está se utilizando uma malha comum com realimentação negativa, o controlador só corrigirá a vazão de água de alimentação depois que o nível tiver variado. Esta malha terá sua utilização limitada aos casos de caldeiras pequenas, onde o nível não é uma variável muito crítica.

No caso da caldeira da EFEI, embora não alcance dimensões significativas, por fins didáticos, será proposta a utilização de uma malha de controle que apresente melhor rendimento.

O controle de nível a três elementos [2][6] é uma malha de controle antecipativo com realimentação, combinado com controle em cascata. Neste caso, a correção antecipada do nível será feita pela vazão de vapor (**FT**) e a realimentação será feita pelo transmissor (**LT**) e pelo controlador de nível (**LRC**). A vazão de água será mantida pela malha escrava de controle de água (**FIC**), em função do ponto de ajuste recebido do bloco somador (**FY**).

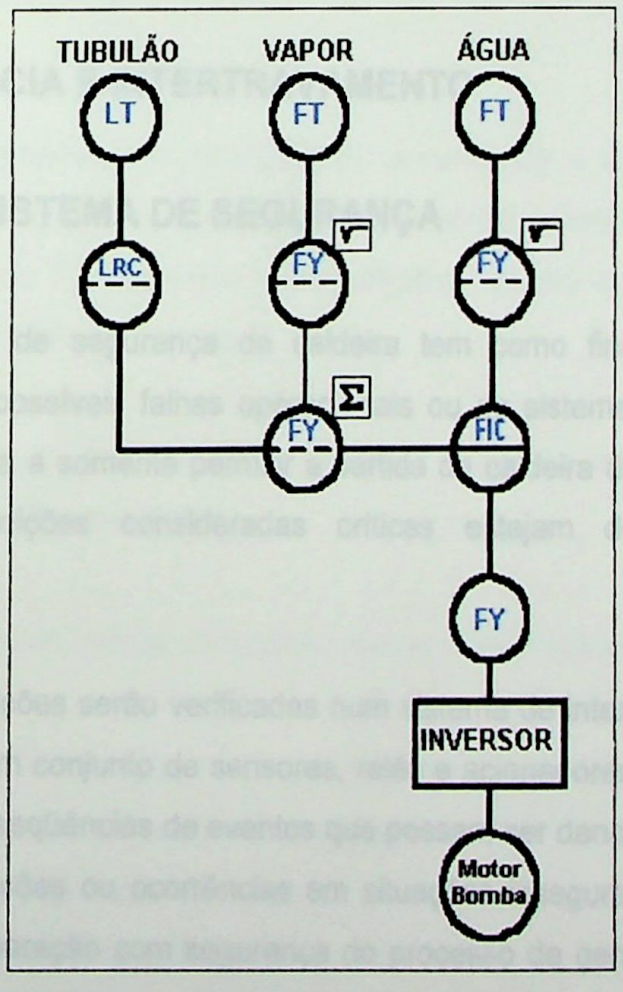


Figura 4-7 – Controle de nível 3 elementos [2]

Nesta malha (fig.4-7), a saída do bloco somador será função do sinal recebido do transmissor de vazão de vapor enquanto o nível estiver no ponto de ajuste. Uma vez nestas condições, a saída do **LRC** ficará estável. Caso o nível saia do ponto de ajuste, a saída do **LRC** variará e, consequentemente, a saída do somador passará a ser função dos sinais recebidos do **FT** e do **LRC**; isto irá ocorrer até que o sistema volte às condições de equilíbrio, ou seja, até que o nível volte ao ponto de ajuste.

O controlador (**FIC**) da malha escrava de vazão de água de alimentação atuará no inversor de freqüência (que por sua vez fará o mesmo no motor da bomba de água de alimentação), de forma a manter a vazão de água de alimentação adicionada à caldeira, de acordo com o ponto de ajuste recebido do somador. No Anexo B desta dissertação podem ser observadas as malhas de controle estudadas, com a localização dos sensores detalhada no chão da planta a través do diagrama PID (Piping and Instrumentation Diagram).

4.6. SEQÜÊNCIA E INTERTRAVAMENTO

4.6.1. SISTEMA DE SEGURANÇA

O sistema de segurança da caldeira tem como finalidade proteger o equipamento de possíveis falhas operacionais ou do sistema de controle. Será projetado de forma a somente permitir a partida da caldeira depois que todas as variáveis e condições consideradas críticas estejam dentro dos limites estabelecidos.

Estas condições serão verificadas num sistema de intertravamento, o qual é constituído de um conjunto de sensores, relés e acionadores que asseguram a prevenção contra seqüências de eventos que possam ser danosos para caldeiras, evitando as operações ou ocorrências em situações inseguras. É esse sistema que garantirá a operação com segurança do processo de geração em situações tais como durante a ignição, as paradas e situações de emergências.

4.6.2. SEQÜÊNCIA

Basicamente, as funções seqüenciais da caldeira da EFEI são exercidas pelo equipamento denominado de programador de combustão, localizado no armário de controle. Pode-se relacionar as funções exercidas por este equipamento, como abaixo:

- Período de purga (pré-ventilação)

O ventilador é ligado durante 22,5 segundos com sua velocidade máxima para purgar os gases existentes na câmara de combustão.

- Ignição piloto

Após o período da purga, liga-se a ignição piloto composto da válvula solenóide do bico 1(carga mínima) e o transformador de ignição. Este passo tem uma duração de 10 segundos.

- Chama piloto

Após iniciado o processo de ignição piloto e verificada a existência de chama através do sensor de chama, liga-se também a válvula solenóide do bico 2 (carga máxima). Depois de 7,5 segundos o programador passará a ser controlado pelo pressostato de controle de chama.

A operação e funcionamento normal, só serão efetuados se forem cumpridas as seguintes condições:

- O nível de água no interior da caldeira estiver dentro dos limites especificados de segurança.
- Verificação do nível de água no tanque de alimentação da bomba.
- Verificação do nível de óleo diesel no reservatório.
- Pressostato de segurança não ativo.
- Térmico do ventilador não ativo.
- Foto célula "vendo" chama na fornalha.

4.6.3. INTERTRAVAMENTO

Para realizar as funções de intertravamento pode-se utilizar um controlador lógico programável, CLP, em substituição ao programador de combustão. O programador de combustão é uma caixa fechada que não permite acesso pelos alunos, professores ou operadores. Os intervalos de tempo, seqüências de operações e níveis de alarmes são fixos, não permitindo alterações.

Esta falha pode ser corrigida com um CLP que permite implementar todas as funções realizadas pelo programador de combustão além de ter a vantagem de permitir as alterações de seqüências de operações e a temporização de eventos.

5. CONTROLE DISTRIBUÍDO: TECNOLOGIA FIELDBUS

5.1. INTRODUÇÃO

Este capítulo pretende expor os conceitos fundamentais da tecnologia fieldbus. Pretende-se descrever o que é uma rede fieldbus, dando particular importância ao surgimento da instrumentação digital como impulsionadora da tecnologia. Em seguida descrevem-se brevemente os principais elementos que integram uma rede fieldbus.

A evolução da tecnologia é abordada partindo dos inícios históricos do controle de processos, passando pelo padrão 4-20 mA, até os atuais barramentos de campo, que constituem o maior grau de distribuição alcançado no chão da fábrica. Neste ponto procura-se caracterizar as diferenças entre os sistemas centralizados e os sistemas distribuídos, apresentando os benefícios obtidos pela aplicação do fieldbus frente aos controles centralizados.

O estado do desenvolvimento dos barramentos de campo é mostrado, expondo as diferentes redes fieldbus existentes. Finalmente comenta-se a aplicação do fieldbus nas instalações com caldeiras, detalhando os benefícios obtidos na área específica da geração de vapor.

5.2. DEFINIÇÕES

Existem diversas definições encontradas na literatura para o fieldbus, chamado também de barramento de campo. Pode-se dizer que o fieldbus é um sistema de comunicação digital bidirecional para interligar dispositivos instalados no campo, tais como, controladores, controladores lógicos programáveis, sensores e atuadores com os sistemas de controle geralmente localizados na sala de controle [10].

Outro conceito diz que o Fieldbus é uma rede local de tempo real do nível mais baixo na hierarquia de automação de fábrica, ligando os dispositivos de campo aos dispositivos de controle através de uma topologia de barramento, onde todas as informações são transmitidas serialmente e multiplexadas no tempo [8].

Fator importante para a evolução do fieldbus foi o aparecimento da instrumentação digital, cujo desenvolvimento dirigiu-se principalmente para a solução de deficiências da instrumentação convencional, na qual os sinais de medições realizadas por instrumentos de campo são transmitidos analógica e individualmente, estando sujeitos a ruídos causados por interferências. A instrumentação fieldbus constitui-se da transmissão digital de dados e processamento de dados distribuídos. Através desta tecnologia, cada elemento do sistema de controle faz parte de uma rede única de transmissão, sendo capaz de enviar e receber digitalmente valores associados à unidade da natureza medida, sem necessidade de conversão de sinal. As lógicas de controle podem ser distribuídas nos instrumentos de campo, que executam o auto-diagnóstico e o monitoramento dos status dos outros pontos da rede.

Resumindo o fieldbus é a extensão do conceito de redes de computadores levado para a interligação dos transmissores inteligentes no campo. Estes instrumentos agora com a comunicação digital podem realizar, além de suas funções originais básicas, mais funções como por exemplo: controle PID, totalizações, cálculos aritméticos, acionamento de válvulas, entre outras.

A implementação de redes de comunicação fieldbus envolve alguns elementos disponíveis no mercado. A seguir, alguns exemplos destes elementos.

Controladores Programáveis.

Equipamentos digitais que usam memória programável para armazenar instruções, para controlar por meio de módulos de entradas e saídas (digitais e/ou analógicas) diversos tipos de componentes, máquinas ou processos. Os CLPs podem ser modulares, com quantidades consideráveis de entradas e saídas, mas quando dotado de placas de comunicação para fieldbus, haverá considerável economia de módulos de entradas e saídas de sinais analógicos (partes onerosas que comumente queimam gerando maior custo de manutenção e substituição durante operação), pois os conversores análogo-digital já estão posicionados dentro dos transmissores e atuadores, além da economia na fiação e toda a parafernália necessária para a instalação da fiação de um CLP ligado aos atuadores e transmissores de forma tradicional.

Terminais de válvulas e sensores.

Permitem que um conjunto de válvulas e sensores se comuniquem com um processador distante, recebendo comandos e enviando informações.

Terminal inteligente de válvulas e sensores.

Contém uma CPU própria. Além de se comunicar em rede, executa programas localmente. Pode funcionar como um mestre, comandando outros terminais dentro de uma rede ou como escravo.

Sensores inteligentes.

É um conjunto formado por transdutor, condicionador, unidade de processamento e interface de comunicação [7]. A unidade de processamento permite realizar funções tais como totalizações, controle PID, combinação de grandezas, além de outras. A interface de comunicação permitiu levar a tecnologia de redes para os instrumentos de campo.

Conversores de protocolos.

São empregados para comunicar com o fieldbus outros meios de comunicação. Por exemplo há disponível no mercado conversores de fieldbus para RS-232, que possibilitam interligar a rede a um PC ou a qualquer dispositivo que possua interface RS-232.

5.3. HISTÓRICO DA TECNOLOGIA

No fim do século passado, com o surgimento e desenvolvimento da máquina a vapor e a posterior revolução industrial, viu-se o homem obrigado a desenvolver técnicas de medição. Em 1938, surgiram os instrumentos pneumáticos cuja transmissão de sinais foi feita usando-se fluidos compressíveis como ar comprimido limpo e seco ou gás inerte.

A partir da criação desta tecnologia, surgiu a técnica de transportar medições obtidas no processo à distância em função de um instrumento transmissor. Os instrumentos eram agrupados numa sala central para serem consultados mais rapidamente, possibilitando à operação uma visão conjunta do desempenho da unidade, além de permitir o acionamento de qualquer controle à distância. É o que atualmente conceitua-se como *controle centralizado*.

Com o advento dos semicondutores, os instrumentos eletrônicos tomaram amplo impulso no controle de processos. O sinal pneumático de padrão de 3-15 psi foi substituído pelo padrão 4-20 mA. Mas recentemente, por volta dos anos 70, iniciou-se, com bastante ênfase, a mescla de instrumentação eletrônica analógica acoplada ou interligada a computadores digitais, formando um sistema híbrido com grande poder de controle de processos industriais [16]. O desenvolvimento de processadores digitais facilitou o uso de computadores para monitoramento e controle dos instrumentos de uma sala central, continuando-se com o conceito de *controle centralizado*.

Com o avanço da eletrônica analógica e digital, a sala central foi ocupada por equipamentos de controle automático e posteriormente por computadores centrais de grande porte. Num contexto histórico, este sistema adquiriu o nome de Sistema de Controle Digital Direto (DDC - Direct Digital Control), onde todo o processamento era feito pelo computador central e interligado aos sensores e aos atuadores por ligações diretas. Todas as ligações percorriam a fábrica até o computador, o qual tinha que ser capaz, entre outras coisas, de trabalhar com

grande tráfego de dados, possuir grande capacidade de memória e grande velocidade de processamento.

Mas a tecnologia DDC, tinha as suas limitações. Se o computador parasse de funcionar, perder-se-ia o controle de toda uma planta. Foi então que no início da década de 70, e aproveitando o desenvolvimento da fabricação de microprocessadores em larga escala, o controle passou a ser distribuído em diversos equipamentos eletrônicos, geralmente interligados com pelo menos um equipamento de supervisão. Assim, se um dos equipamentos apresentasse um defeito e não fosse redundante perde-se-ia somente uma parte do controle da planta.

Desta forma foi introduzido o *controle distribuído*, chamado também de Sistema Digital de Controle Distribuído (SDCD ou Digital Control System DCS), apresentando consideráveis vantagens frente a seu predecessor, o DDC [9]. A saber:

- facilidade de substituição e alteração dos equipamentos;
- independência de cada equipamento do sistema como um todo;
- modularidade, facilitando as alterações e expansões de hardware;
- diminuição do cabeamento.

Num sistema DCS, os dispositivos de aquisição de dados, distribuídos pela fábrica, passam a ser controlados por microprocessadores que se comunicam entre si, por vias dedicadas de comunicação.

Em muitos destes sistemas, existiam alguns painéis de controle com contactores, etc que foram sendo então substituídos por equipamentos eletrônicos programáveis. A eles foi dado o nome de Controlador Lógico Programável conhecido pela sigla CLP.

Com a continuação da migração do controle para equipamentos mais distribuídos, estes equipamentos começaram a incorporar outras funções de controle, tais como implementação de algoritmos matemáticos, PID, etc. Como já não satisfaziam mais somente a programação lógica, seu nome foi alterado para Controlador Programável, apesar de seu primeiro nome ser mais usual

O DCS ganhou popularidade por causa de suas características, na época inovadoras. Tais características incluíam maior confiabilidade no sistema de controle, possibilidade de aumento modular gradativo, descentralização do processamento e acessibilidade da informação.

Entre tanto outras características passaram a ser desejadas, entre elas a necessidade de se comunicar em rede através de códigos digitais confiáveis.

Este desejo é justificável, uma vez que os sinais de entrada e saída já eram tratados digitalmente nos equipamentos distribuídos. Para manterem o equipamento de supervisão com informações atualizadas sem usarem a transmissão digital, precisariam tornar a converter os sinais de entrada para sinais analógicos, antes da transmissão para o equipamento de supervisão, que por sua vez ao recebê-los, deveria tornar a convertê-los em digital para tratá-los. O mesmo acontecendo no sentido inverso em se tratando de sinais enviados pelo equipamento de supervisão para os sinais de saída. Além de serem dispensáveis, com o uso da transmissão analógica, todas as conversões provocam erros de precisão e deveriam ser evitadas. Além disto sinais analógicos para transmissão não são confiáveis como os digitais que dispõem de codificações para identificação e correção de erros.

No entanto, não havia uma rede apropriada para o chão-de-fábrica. E então um novo modelo de conexão e operação para a instrumentação de plantas foi proposto: o barramento de campo, mais conhecido como fieldbus. Com o desenvolvimento do fieldbus, a tecnologia de rede é levada para os instrumentos de campo, e com a comunicação puramente digital, passou-se a utilizar toda a inteligência disponível nestes instrumentos.

O fieldbus, quando implementado com o protocolo Fieldbus Foundation é também chamado de Sistema de Controle de Campo (FCS – Fieldbus Control System) e elimina a maioria do hardware associado com o DCS, porque além de grande parte dos sub-sistemas Entradas/Saídas ter sido reduzida, os controladores são eliminados devido aos instrumentos fieldbus digitais implementarem parte de suas funções de controle e serem interconectados via rede diretamente às estações de operação. Isto pode ser visualizado na fig. 5-1.

Mesmo aonde o custo ainda não permitir a total implementação das funções do controle com instrumentos fieldbus, o uso dos mesmos, trata dados analógicos localmente, evitando-se com isto a necessidade do uso de cartões de entrada/saída nos controladores.

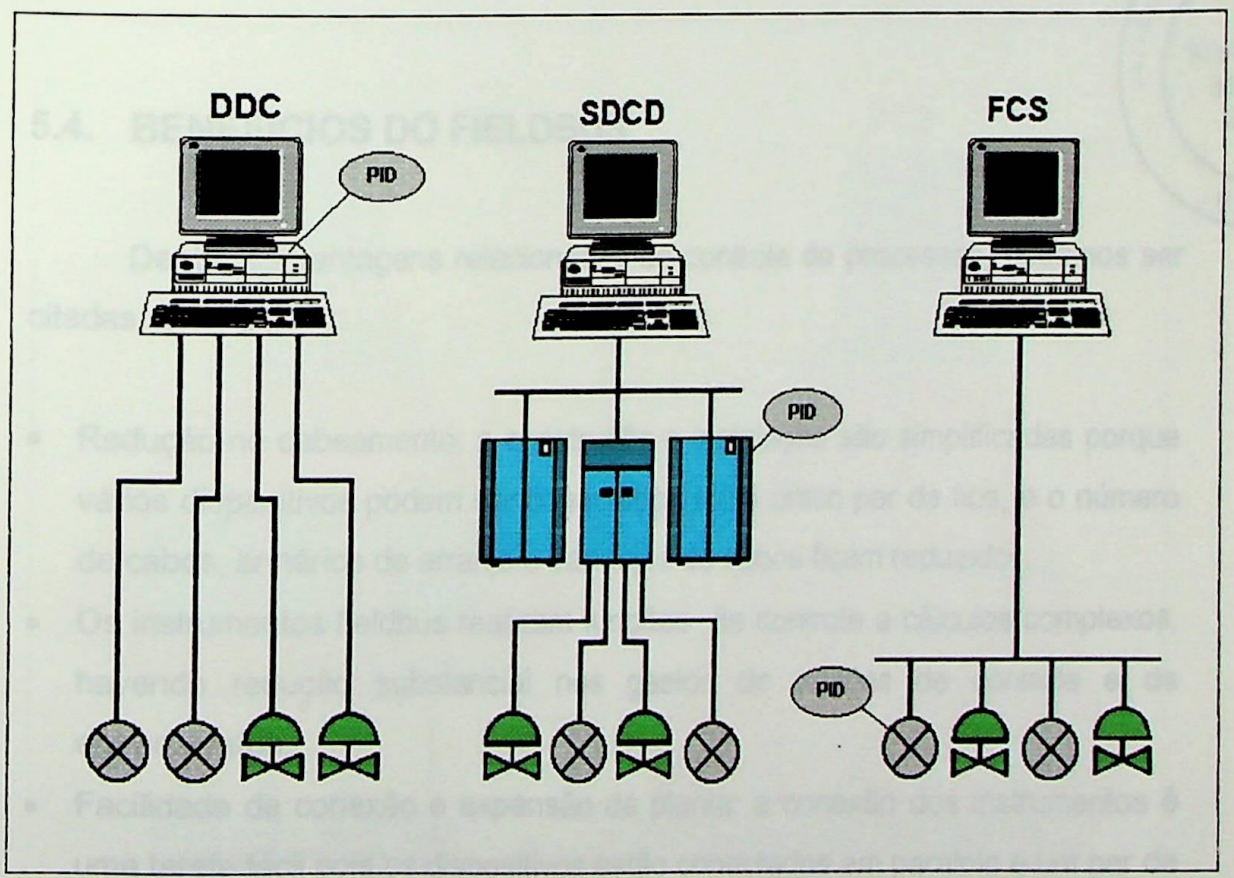


Figura 5-1 – Caraterísticas dos sistemas de controle de processo[17]

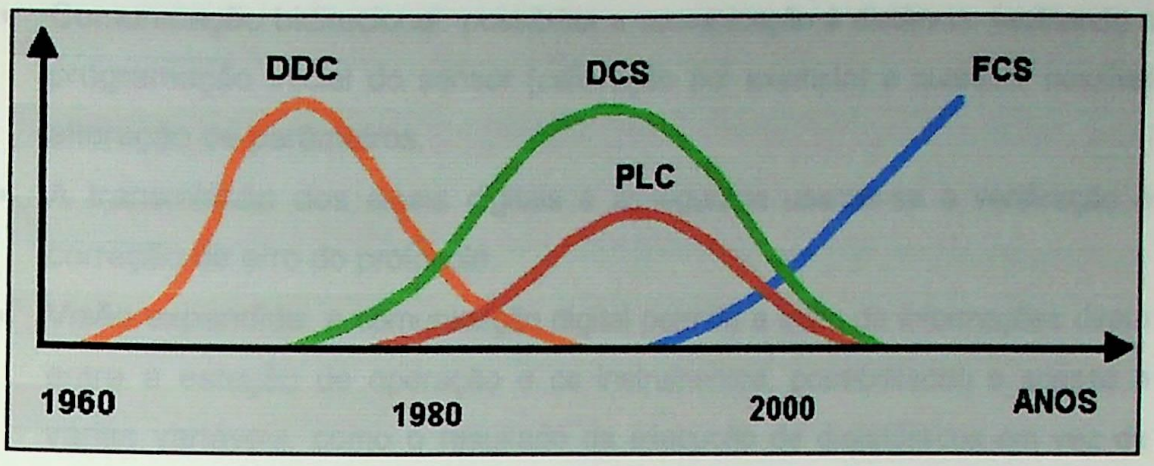


Figura 5-2 – Evolução dos sistemas de controle [17]

O DCS foi bem sucedido porque era distribuído e utilizava mais transmissão digital do que o DDC; o fieldbus foi concebido como um substituto do 4-20 mA baseado na filosofia do DCS, tirando vantagens adicionais desta tecnologia. A fig. 5-2 mostra a evolução dos sistemas descritos neste capítulo.

UNIVERSIDADE FEDERAL
Biblioteca
MAUÁ
BIM
UNIFEI

5.4. BENEFICIOS DO FIELDBUS

Dentre as vantagens relacionadas ao controle de processos, podemos ser citadas as seguintes:

- Redução no cabeamento: a construção e instalação são simplificadas porque vários dispositivos podem ser conectados a um único par de fios, e o número de cabos, armários de arranjo e bandejas de cabos ficam reduzidos.
- Os instrumentos fieldbus realizam funções de controle a cálculos complexos, havendo redução substancial nos gastos de cartões de controle e de entrada/saída.
- Facilidade de conexão e expansão da planta: a conexão dos instrumentos é uma tarefa fácil pois os dispositivos estão conectados em paralelo e um par de fios pode carregar até doze instrumentos. Além disso, pode-se adicionar um novo dispositivo sem utilizar uma nova instalação de mais um par de fios.

- Comunicação bidirecional: possibilita a comunicação à distância, facilitando a programação inicial do sensor (calibração por exemplo) e qualquer possível alteração de parâmetros.
- A transmissão dos sinais digitais é assegurada usando-se a verificação e correção de erro do protocolo.
- Visão expandida: a comunicação digital permite a troca de informações direta entre a estação de operação e os instrumentos, possibilitando o acesso a várias variáveis, como o resultado da execução de diagnósticos em vez de informações de status supostas pela estação de operação como resultado da comunicação através dos controladores.

Na fig. 5-3 podem-se observadas as vantagens do fieldbus - FCS, comparadas com o DCS.

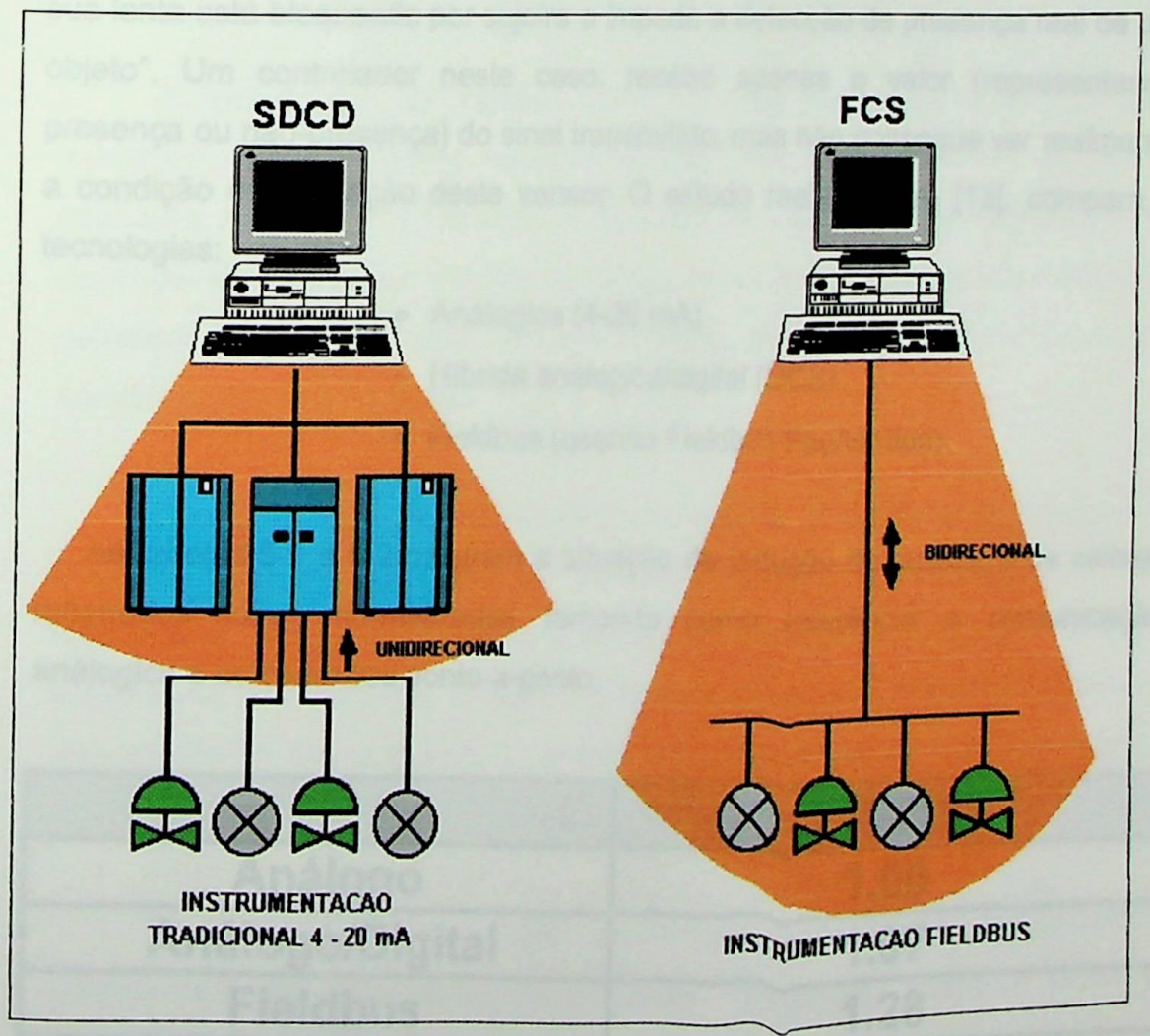


Figura 5-3 – Diferenças entre o DCS e o FCS [5]

É importante mencionar a vantagem de redução de custos envolvidos na aplicação da tecnologia fieldbus. Embora os investimentos iniciais do projeto possam ser elevados em comparação com o uso de controladores já instalados e com ligações ponto-a-ponto (geralmente no padrão 4 a 20mA), os custos totais incluindo custos de engenharia, comissionamento e start-up, serão menores.

Muitos estudos tem sido divulgados sobre os custos envolvidos no projeto, na aquisição, instalação, manutenção, de um sistema fieldbus. No entanto, o melhor ponto a ser abordado é quanto custa numa planta, um processo trabalhar com erro por desconhecer o real estado de operação de um instrumento vital para o controle da produção ou da qualidade do produto a ser produzido?

Por exemplo: uma das possíveis informações resultantes do diagnóstico de um sensor de presença ótico pode representar: "funciona bem eletricamente, mas sua lente está bloqueada por sujeira e impede a detecção de presença real de um objeto". Um controlador neste caso, recebe apenas o valor (representando presença ou não-presença) do sinal transmitido, mas não consegue ver realmente a condição de operação deste sensor. O estudo realizado em [13], compara 3 tecnologias:

- Análogica (4-20 mA)
- Híbrida análogica/digital (DCS)
- Fieldbus (usando Fieldbus Foundation)

As tabelas 5-1 e 5-2 mostram a situação de redução de custos, e os valores mostrados foram normalizados tomando como referência a comunicação análogica e as conexões ponto-a-ponto.

	CUSTOS
Análogo	1.00
Análogo/Digital	1.07
Fieldbus	1.28

Tabela 5-1 – Comparação de preços dos equipamentos [13]

	CUSTOS
Análogo	1.00
Análogo/Digital	0.97
Fieldbus	0.96

Tabela 5-2 – Comparação de preços totais, incluindo engenharia, comissionamento e start-up [13]

5.5. A NORMATIZAÇÃO DA TECNOLOGIA

As redes de comunicação surgiram para integrar computadores, interligando diferentes áreas para sistemas de automação dentro de uma organização. Isso fez com que alguns fabricantes partissem para a criação de suas próprias redes de comunicação, independentes de padrões.

A viabilização do fieldbus (uma rede de comunicação originalmente industrial), deveria passar necessariamente pela criação de um padrão de aceitação mundial. Por um lado os usuários não se sentiriam confortáveis em depender de um restrito número de fornecedores, e de outro, os fabricantes não poderiam produzir, a custo razoável, múltiplas versões de equipamentos para atender protocolos regionais.

Porém, na área de instrumentação de campo, começou-se a conviver com diversos protocolos de rede, em diferentes estágios de evolução. O rápido crescimento das redes industriais, gerou no mercado um grande número de alternativas de tecnologia. Existem atualmente cerca de 30 diferentes protocolos disponíveis no mercado cada qual com vantagens e desvantagens específicas para diferentes aplicações. A tabela 5-3 mostra os detalhes das redes existentes.

Um barramento de campo padronizado seria capaz de garantir a interconexão de dispositivos de diferentes fabricantes, trazendo todas as vantagens de um sistema aberto. A padronização de barramentos de campo passou por diversos estágios, desde as normas nacionais alemã, dinamarquesa e

francesa, que resultaram nos protocolos Profibus, P-NET e FIP, até a norma Fieldbus Foundation proposta pela ISA e por um certo período de tempo também pelo IEC.

No entanto, os fabricantes que já tinham disponibilizado no mercado diversos produtos baseados em seus protocolos, (temendo, entre outras coisas, terem que investir em uma outra linha de produção para que seus novos produtos viessem a ser compatíveis com a norma proposta e em outra linha de produtos de equipamentos que conectassem sua antiga linha com a da norma, o que fatalmente aconteceria), em vez de modificarem seus produtos para uma única norma, pressionaram o IEC para a aprovação de todos os protocolos no mercado com grande representatividade até então. Isto fez com o IEC, pressionado, aprovasse recentemente uma norma com 8 tipos de protocolos incompatíveis.

Nome	Criador da tecnologia	Ano de introdução
ARCNet	Datapoint	1975
Ethernet	DEC, Intel, Xerox	1976
Interbus	Phoenix Contact /Interbus Club	1984
WorldFIP	Club FIP (França)	1988
HART	Rosemount	1989
SERCOS	Consórcio alemão	1989
Seriplex	APC	1990
Modbus Plus	Modicon	não disponível
LonWorks	Echelon	1991
Profibus FMS:	Siemens	1991
AS-i	Consórcio AS-i	1993
DeviceNet	Allen-Bradley	1994
Smart Distributed System	Honeywell	1994
Profibus DP:	Siemens	1994
Profibus PA:	Siemens	1995
CAN Open	BOSCH	1995
Foundation Fieldbus H1	Fieldbus Foundation	1995
ControlNet	Allen-Bradley	1996
Universal Serial Bus	Compaq, Intel, HP, Lucent, Microsoft, NEC, Phillips	1996
Time-Triggered Protocol (TTP/A/TTP/C)	Herman Kopetz, TTTech AG	1998
Foundation Fieldbus high-speed Ethernet	Fieldbus Foundation	Em testes 2001
Modbus RTU/ASCII	Modicon	1999

Tabela 5-3 – Redes Industriais de comunicação existentes no mercado [15]

Nos últimos anos tem ocorrido uma discussão para o uso da opção de rede de comunicação industrial em conformidade com o padrão conhecido como Ethernet. Seus defensores argumentam a padronização alcançada com as placas Ethernet nos microcomputadores e o baixo custo de sua instalação. No entanto, esquecem-se que mesmo para a rede de microcomputadores é necessária a instalação de um software de rede e que todos os microcomputadores conectados através da Ethernet estão conectados a um só tipo de rede (Windows/NT, Novel, etc) e que Ethernet define apenas a camada física e de enlace de dados, deixando livre a especificação da camada de aplicação e de gerenciamento da rede. Portanto, adotar o padrão Ethernet, não evita que os fabricantes tenham que entrar em acordo com a definição destas camadas. E isto já não está acontecendo de novo: diversos fabricantes estão disponibilizando produtos para Ethernet com diferentes camadas de aplicação e de gerenciamento de rede, gerando produtos Ethernet incompatíveis. Portanto, a menos que o padrão Ethernet Industrial seja discutido e acordado para todas as camadas, eles nunca poderão ser conectados independentemente dos seus fabricantes, porque serão sempre incompatíveis.

Apesar desta discussão, o padrão Fieldbus Foundation, apresenta a melhor filosofia para distribuição das funções de controle em instrumentos de campo até o momento. Através da especificação de uma linguagem de descrição padronizada é possível que cada fabricante (apesar de produzir instrumentos baseados em hardwares diferentes) trocar informações e até de descarregar seus programas (blocos funcionais) em outros instrumentos de diferentes fabricantes. Assim garante a interoperabilidade e intercambiabilidade de instrumentos, uma das suas grandes vantagens que proporciona a independência de escolha do usuário em relação ao fornecedor dos instrumentos de sua planta.

Outra grande vantagem do sistema Fieldbus Foundation, ligada a capacidade de interoperar, é o aumento de confiabilidade gerado pela distribuição dos blocos funcionais padronizados. Isto acontece porque o protocolo possibilita que os instrumentos sejam programados para, além de executarem os seus blocos funcionais, aceitarem também o descarregamento dos blocos funcionais

de outros instrumentos. Deste modo, em caso de pane destes últimos, implementam a redundância do controle, aumentando portanto a confiabilidade sem necessidade de uso de mais instrumentos na planta especificamente para isto.

5.6. CONTROLE DE CALDEIRAS COM FIELDBUS

É importante destacar que a aplicação das estratégias de controle de caldeiras estudadas no capítulo 4 é essencialmente independente do particular conjunto de hardware e software com que a aplicação de controle é implementada, seja pneumática, elétrico - analógico, ou digital. Por esta razão o fator predominante para a escolha da tecnologia a ser aplicada em uma caldeira toma como base a relação custo – benefício, onde, entre os benefícios desejados estão a confiabilidade do sistema, o tempo e modo de implementação, a simplicidade na manutenção e, finalmente, a adaptabilidade da tecnologia de acordo com a previsão de sua evolução.

Os custos da implantação de um sistema fieldbus são justificáveis para novas instalações de sistema de controle de caldeiras, como também para instalações antigas aonde deseja-se substituir totalmente o sistema de controle existente. No entanto, normalmente em instalações que já possuem um Sistema Digital de Controle Distribuído, um investimento num sistema fieldbus requer uma análise de custo mais profunda, envolvendo as vantagens e desvantagens de ter as duas tecnologias operando conjuntamente.

A aplicação da tecnologia Fieldbus Foundation para o controle de caldeiras apresenta as mesmas vantagens e benefícios mencionados na seção 5.4, se comparado com outras tecnologias digitais de controle centralizado.

O sistema fieldbus caracteriza-se pelo uso do controle digital programável, que facilita a implementação de algoritmos de controle mais complexos em relação aos sistemas analógicos previamente utilizados. Pela simplicidade no desenvolvimento das estratégias de controle esta vantagem é importante para pequenas caldeiras industriais e para usinas termelétricas, mas é de benefício considerável para o controle de caldeiras mais complexas e de usinas termelétricas maiores, que envolvem um número muito maior de malhas de controle a serem continuamente alteradas.

O controle de caldeira tem percorrido passos importantes nos últimos 50 anos, progredindo dos panéis de controle e regulações pneumáticas até os atuais sistemas com instrumentos baseados em microprocessador trabalhando numa arquitetura em rede com controle distribuído, isto é, um sistema fieldbus.

6. ARQUITETURA DO SISTEMA

6.1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo será abordado o projeto de automação do processo de geração de vapor, agora em um nível mais específico. Serão identificadas e relacionadas as variáveis do processo de geração de vapor com suas dependências e caraterísticas, servindo de ponto de partida para a definição das estratégias de controle a serem utilizadas.

Além do detalhamento anteriormente mencionado, pretende-se também abordar a implementação do sistema de controle através da tecnologia fieldbus. Para isto serão identificados todos os elementos que integram a rede fieldbus a ser implementada no LSTV, sistema de rede que é conhecido no mercado como SYSTEM302, e que é fornecido através da empresa brasileira SMAR. Serão fornecidas as descrições dos elementos da rede, assim como as dos blocos funcionais, que representam as ferramentas com que os sensores fieldbus realizam as estratégias de controle, além de outras funções.

Os conceitos de estratégia de controle estudados no capítulo 4 serão abordados novamente, mas agora direcionados à implementação na caldeira do LSTV com equipamentos fieldbus.

6.2. ESPECIFICAÇÕES DA INSTRUMENTAÇÃO

Os requerimentos normais de exatidão para geradores de vapor são de ± 1% para a pressão de vapor desejada, ± 2% para a relação ar/combustível, ± 1% para o nível do tubulão e ± 1% para a eficiência da caldeira. Para atingir este objetivo de desempenho, é necessário instalar sensores de boa precisão e ter certeza que a carga da caldeira não terá variações de mais de 20 % da por minuto [6]. Atualmente o mercado da instrumentação fornece sensores que preenchem os requesitos de precisão mencionados.

Este item pretende detalhar sensores, transdutores e equipamentos de controle que compõem o sistema de controle e aquisição de dados do Laboratório de Sistemas Térmicos a Vapor (LSTV) da EFEI. Consegue-se este objetivo apresentando um levantamento de todas as variáveis envolvidas no processo e que sejam relevantes para serem monitoradas. Neste levantamento inclui-se o conjunto dos sensores que tornarão possível a aquisição da variável pelo sistema de controle.

As grandezas a serem adquiridas pelo sistema de controle, seja para processamento nas malhas de controle, seja para monitoramento, são as relacionadas com as variáveis de pressão, velocidade de rotação, temperatura, vazão, nível, grandezas elétricas do gerador, análise dos gases e sensoreamento de chama. Além disso, deve-se destacar os elementos atuadores, que realizam funções corretivas originadas das malhas de controle.

No Anexo A da presente dissertação apresentam-se tabelas detalhando a totalidade das variáveis de interesse para o projeto, faixas de medição, tipo de sensor necessário e detalha-se se ele já foi adquirido ou não. Cada variável recebe um código que servirá para identificação da mesma no sistema de controle. Na fig. A-1, no referido anexo, pode-se observar a localização de cada um dos sensores requeridos, identificados pelos seus respetivos códigos.

A seguir apresenta-se o detalhamento dos sensores listados e existentes:

Sensores de temperatura.- Os sensores usados são do tipo PT-100. São dispositivos de resistência variável baseados no principio físico da variação desta característica com a temperatura. Também chamados de termoresistências ou RTD (*resistance-temperature devices*). Consistem de uma bobina de um fio condutor ou filme metálico e a saída é relativamente linear em relação à temperatura. Dos 11 sensores PT-100 do projeto, nove deles serão conectados ao CLP através da respectiva placa de aquisição e dois deles serão conectados ao sensor TT302 da SMAR. A fig.6-1 mostra o sensor usado no LSTV.



Figura 6-1 Sensor termoresistivo PT-100 [19]

Sensor de vazão de vapor.- o medidor de vazão de vapor existente no LSTV é fabricado pela Spirax-Sarco e é composto de três módulos básicos que são:

- Transdutor M112, instalado na linha de vapor.
- Unidade condicionadora M322, cuja função é receber os sinais de vazão e temperatura do transdutor e convertê-los em sinais digitais para transmissão à longa distância com alcance máximo de 300 metros.
- Unidade lógica M211, que recebe os sinais provenientes da unidade condicionadora, faz o processamento mostrando o resultado em uma tela.

Os parâmetros que poderão ser lidos são: vazão acumulada, vazão e temperatura, além da indicação de data e hora. Uma saída de 4-20 mA é programável para a vazão de vapor e ainda pode ser conectada ao computador através da saída serial RS232 disponível. A fig.6-2 mostra o sensor .

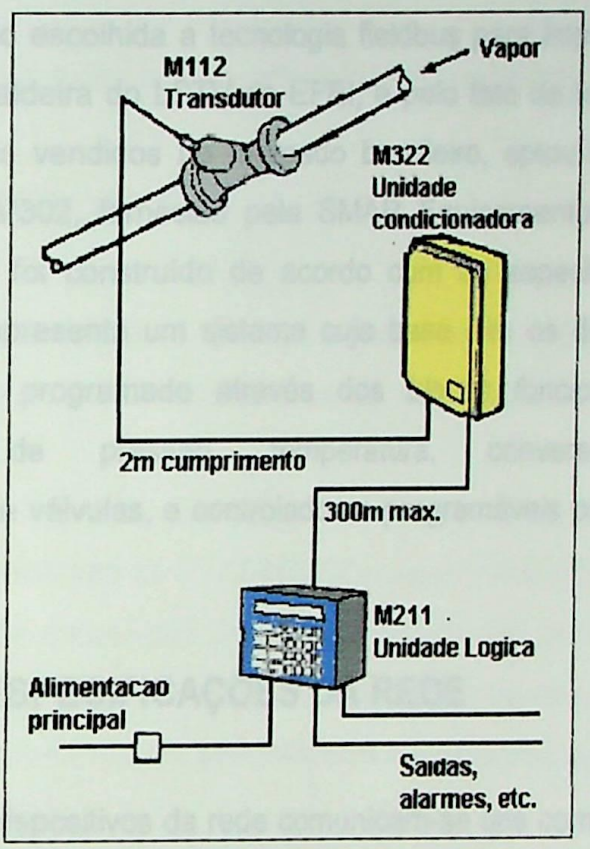


Figura 6-2 Sensor de vazão de vapor [20]

Sensor de pressão.- para aquisição dos valores de pressão serão usados sensores microprocessados LD302 da SMAR com protocolo de comunicação Fieldbus.

Sensores de nível.- o valor de nível do tubulão será adquirido de maneira indireta através do sensor microprocessado LD302. Ele, mede a pressão diferencial existente entre dois pontos do tubulão e faz a conversão para o nível, que será proporcional a leitura de pressão obtida.

Pressostato: Existem no LSTV dois pressostatos marca Zurich, enviando sinais de alarme quando a pressão do vapor atingir 12 e 15 bar respetivamente.

6.3. ELEMENTOS E CARACTERÍSTICAS DA REDE FIELDBUS

6.3.1. ARQUITETURA SYSTEM302

Tendo sido escolhida a tecnologia fieldbus para implementar o projeto de automação da caldeira do LSTV da EFEI, e pelo fato de ter o maior número de sensores fieldbus vendidos no mercado brasileiro, optou-se pela aquisição do sistema SYSTEM302, fornecido pela SMAR Equipamentos Industriais Ltda. O referido sistema foi construído de acordo com as especificações da Fieldbus Foundation, e representa um sistema cuja base são os dispositivos de campo com o controle programado através dos *blocos funcionais*. Estes incluem transmissores de pressão, temperatura, conversores pneumáticos, posicionadores de válvulas, e controladores programáveis para sinais discretos e E/S distribuídas.

6.3.2. ESPECIFICAÇÕES DA REDE

Todos os dispositivos da rede comunicam-se uns com os outros, adotando um modelo produtor/consumidor. O modelo produtor/consumidor permite que uma informação transmitida para o barramento seja copiada simultaneamente para o "buffer" de quaisquer dispositivos conectados a ele. Este modelo agiliza a comunicação, evitando transmissões repetitivas da mesma informação para diferentes dispositivos em instantes consecutivos gerando atrasos da comunicação no barramento, como acontece no modelo mestre/escravo utilizado no CLP. Algumas características importantes da rede fieldbus a ser implementada no LSTV são:

- Velocidade de transmissão de 31,25 kb/s.
- A alimentação dos equipamentos fieldbus ($24V_{DC}$), pode ser feita através dos mesmos condutores de comunicação ou separadamente.
- A rede suporta até 12 instrumentos alimentados pela mesma fiação de comunicação e 32 com alimentação separada da comunicação.

- O comprimento máximo da rede é de 1900 m, incluindo as derivações. Este comprimento pode ser aumentado com o uso de repetidores a cada 1900 m, tendo a limitação de uso máximo de 4 repetidores.
- A especificação do cabo ideal para a rede é #18 AWG, par trançado com blindagem.
- Na rede fieldbus todos os dispositivos podem ser ligados em paralelo na rede.

6.3.3. BLOCOS FUNCIONAIS

Um bloco de função é um agrupamento de funções lógicas de controle inter-relacionadas e identificado através de seus parâmetros de entrada e de saída [5].

Todos os sensores do SYSTEM302 possuem estes blocos para tarefas de configuração, e as estratégias de controle podem ser configuradas através da ligação de blocos funcionais entre vários dispositivos do sistema. Existem mais de vinte tipos de blocos funcionais padronizados e dentre eles os mais utilizados são:

- Analog input: processa a entrada analógica que vem do sensor
- Analog output: processa a saída analógica do sensor
- PID: realiza o controle PID da malha
- Arithmetic: usado para medições obtidas de combinações de sinais
- OSDL: permite realizar seleções entre duas entradas segundo a necessidade da estratégia de controle.

6.3.4. COMPONENTES DA REDE

O projeto de automação do LSTV engloba a aquisição dos seguintes equipamentos do SYSTEM302 da SMAR e mostrados na fig.6-3:

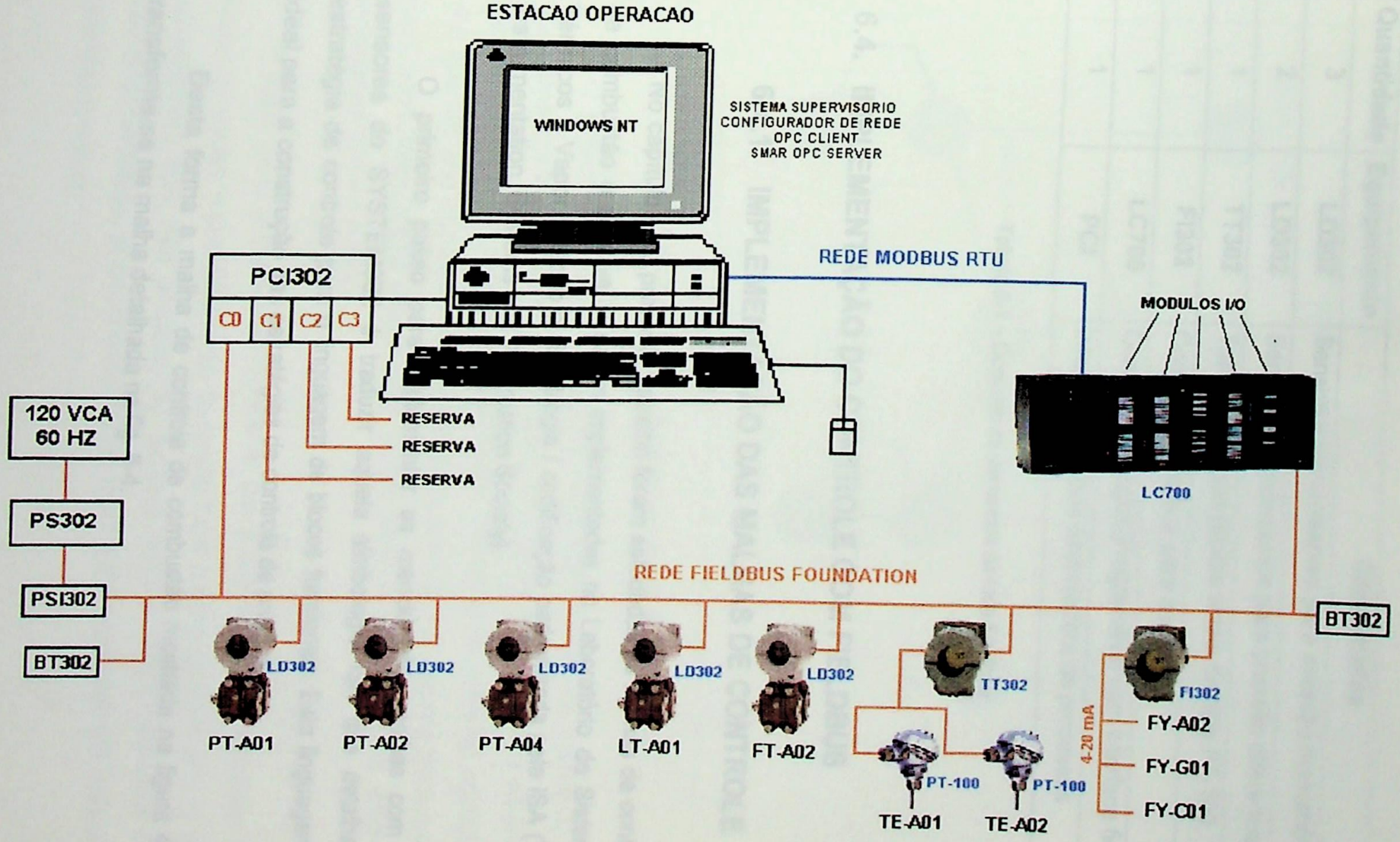


Figura 6-3 – Arquitetura da rede fieldbus no LSTV

Quantidade	Equipamento	Caraterística
3	**LD302**	Sensores transmissores para pressão manométrica
2	**LD302**	Sensores transmissores para pressão diferencial
1	**TT302**	Transmissor que recebe sinais de dois PT-100
1	**FI302**	Conversor Fieldbus para corrente
1	**LC700**	Controlador Lógico Programável com interface fieldbus
1	**PCI**	Interface Fieldbus controladora de processos

Tabela 6-1 – Conjunto de elementos da rede Fieldbus

6.4. IMPLEMENTAÇÃO DO CONTROLE COM FIELDBUS

6.4.1. IMPLEMENTAÇÃO DAS MALHAS DE CONTROLE

No capítulo 4 do presente trabalho foram estudadas as malhas de controle de combustão e de nível a serem implementadas no Laboratório de Sistemas Térmicos a Vapor, usando a simbologia / codificação padronizada pela ISA (The Instrumentation, Systems and Automation Society).

O primeiro passo para implementar as mencionadas malhas com os sensores do SYSTEM302 é traduzir aquela simbologia ISA que detalha a estratégia de controle para o linguagem de blocos funcionais. Esta linguagem é ideal para a construção das estratégias de controle de processos.

Desta forma a malha de controle de combustão mostrada na figura 4-2, transforma-se na malha detalhada na fig. 6-4.

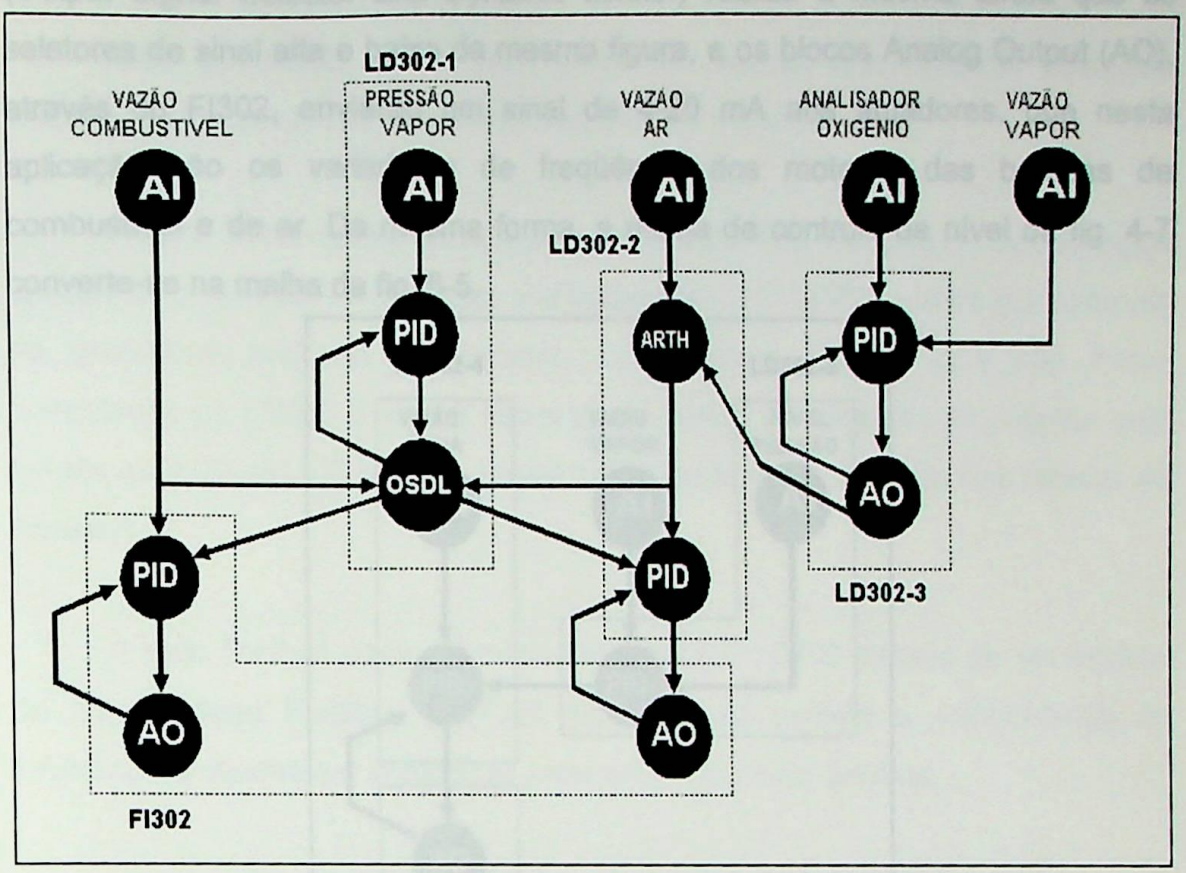


Figura 6-4 Malha de controle de combustão usando blocos funcionais

O gráfico da figura 6-5 mostra a distribuição dos blocos funcionais nos equipamentos integrantes da rede fieldbus. Esta distribuição é flexível e adapta-se às necessidades do projeto. Aqueles blocos funcionais de entradas analógicas (AI) que não são vinculados aos equipamentos fieldbus, estão sendo processados pelo controlador lógico programável LC700 através dos cartões de entradas analógicas que ele possui.

Além disso é importante mencionar que a extração de raiz quadrada dos sinais de vazão, o processamento da função f(x) e a limitação do sinal (><), feito no diagrama ISA, não precisam ter os seus próprios blocos funcionais num diagrama de blocos, já que o bloco Analog Input tem a capacidade de realizar as referidas funções.

O bloco ARTH reproduz o bloco divisor FY da fig. 4-2, o bloco OSDL (Output Signal Selector and Dynamic Limiter) realiza a mesma tarefa que os seletores de sinal alta e baixa da mesma figura, e os blocos Analog Output (AO), através do FI302, enviarão um sinal de 4-20 mA aos atuadores, que nesta aplicação são os variadores de freqüência dos motores das bombas de combustível e de ar. Da mesma forma, a malha de controle de nível da fig. 4-7 converte-se na malha da fig. 6-5.

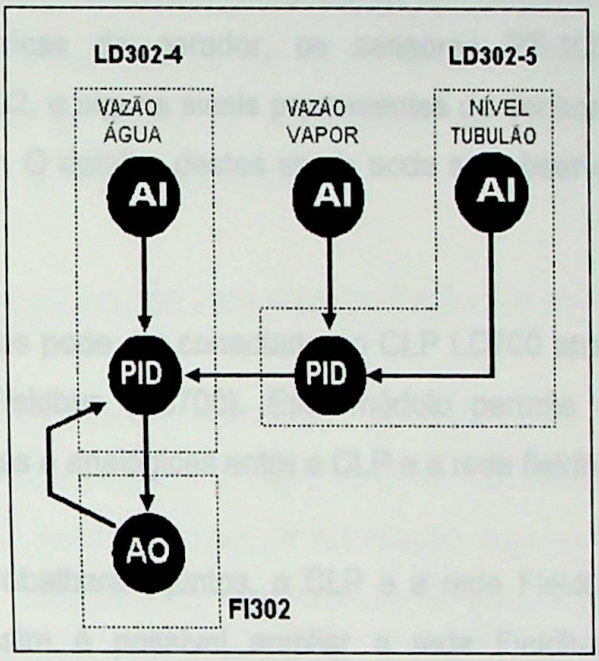


Figura 6-5 Malha de controle de nível a 3 elementos usando blocos funcionais

A entrada analógica de vazão de vapor não vinculada a sensores fieldbus, é lida na rede através do CLP que capta o sinal 4-20 mA proveniente do sensor de vazão Spirax Sarco. A saída analógica (AO) comandará a válvula de água de alimentação através de uma das 3 saídas de 4-20 mA do sensor FI302.

A definição da estratégia de controle no SYSTEM302 é feita através do software SYSCON, que também permite a configuração dos parâmetros de cada bloco segundo as condições específicas do projeto. As configurações são criadas e editadas graficamente de maneira semelhante aos fluxogramas de engenharia tradicionais. O software dá acesso a todos os dados dos equipamentos de campo, incluindo os parâmetros dos blocos funcionais.

6.4.2. MONITORAMENTO DE SINAIS

Além dos sinais que formam parte das malhas anteriormente descritas, existem outros que serão adquiridos para fins de monitoramento.

Alguns deles serão aquisitados pelos sensores fieldbus, e outros pelos cartões de aquisição de entradas analógicas do CLP LC700, como por exemplo as grandezas elétricas do gerador, os sensores PT-100 que não forem conectados ao TT302, e alguns sinais provenientes de sensores de pressão com saídas de 4-20 mA . O detalhe destes sinais pode ser observado nas tabelas do Anexo A.

A rede fieldbus pode ser conectada ao CLP LC700 através de um módulo de comunicação Fieldbus (FB700). Este módulo permite a transferência de informações discretas e analógicas entre o CLP e a rede fieldbus.

Apesar de trabalharem juntos, o CLP e a rede Fieldbus Foundation são independentes. Assim é possível ampliar a rede Fieldbus Foundation sem aumentar o tamanho do CLP, e vice-versa.

O software que será utilizado como interface homem máquina (IHM) para o supervisório será o AIMAX, o qual comunicando-se com os equipamentos digitais fornece informações em tempo real do processo, disponíveis para visualização na tela do monitor.

6.5. COMENTÁRIOS SOBRE A INSTALAÇÃO E INSTRUMENTAÇÃO

Placas de orifício.

Dentro das especificações da instrumentação do projeto, menciona-se a utilização de placas de orifício para obter a grandeza de vazão de combustível e vazão de ar. A técnica consiste em gerar uma diferença de pressão no fluxo a ser medido, através da introdução na tubulação de uma placa com orifício para permitir a passagem do fluído. O valor obtido da queda de pressão será proporcional à vazão do fluído pesquisado.

Equipamentos por adquirir para implementação das malhas.

Das tabelas mostradas no Anexo A, observa-se que atualmente o Laboratório de Sistemas Térmicos a Vapor da EFEI não possui certos sensores e atuadores que fazem parte do projeto de automação, seja para monitoramento ou seja para controle. Considerando a importância de adquirir pelo menos aqueles que envolvem variáveis das malhas de controle, são listados abaixo os equipamentos que faltam e a função que desempenharão no projeto:

- 3 Inversores de freqüência controlados com sinal de controle de 4-20 mA. Permitirão variar a velocidade dos motores de controle de combustível, de ar e de água de alimentação. Receberão os sinais de controle do sensor FI302.

- 2 Sensores de pressão diferencial com saídas de 4-20 mA. Situados nas placas de orifício, registrarão a diferença de pressão na placa, cujo valor será proporcional à vazão do fluído. Servirão para as vazões de ar e de combustível.

- 2 Placas de orifício. Para trabalhar com os sensores mencionados no parágrafo anterior.

- 1 Analisador de oxigênio. Medirá o teor de oxigênio dos gases de exaustão, enviando um sinal de 4-20 mA ao CLP.

Mudanças no queimador.

O principal obstáculo que atualmente apresenta o queimador Weishaupt existente no laboratório é o fato de ter o mesmo motor para acionar as bombas de combustível e de ar. Sendo assim, precisa-se separar os acionamentos com motores independentes, procurando manter as mesmas faixas operacionais de pressão e fluxo definidas no queimador no sistema atual, por questões de segurança.

Da mesma forma, quando se deseja passar todo o controle para o sistema CLP-fieldbus, é necessária a desvinculação das válvulas solenóides do programador de combustão para que elas sejam acionadas pelo CLP, através de suas saídas discretas. Isto quando se deseja passar todo o controle para o sistema PLC-fieldbus. Pretende-se deixar o sistema para que seja controlado pelo programador de combustão, ou pelo sistema CLP-fieldbus, segundo a escolha do operador.

Todos os sinais discretos vindos do painel de quadro de comando do queimador atualmente existente terão que ser levados para o CLP através de uma interface entre o quadro de comando e o CLP.

Todas estas mudanças devem preservar as mínimas normas de segurança expostas pelo fabricante do queimador, vistas as graves conseqüências que podem ser ocasionadas por falhas operacionais no sistema de arranque e parada da caldeira.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
Biblioteca
MAUÁ
BIM
UNIFEI

7. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

7.1. CONCLUSÕES

Esta Dissertação de Mestrado apresentou uma proposta de automação de um sistema de geração de vapor, utilizando a tecnologia de barramento de campo, conhecido também como Fieldbus. Como resultado, foi elaborada uma estrutura de controle e automação baseada em equipamentos a serem adquiridos pelo Laboratório de Sistemas Térmicos a Vapor.

Para possibilitar a referida aquisição foram estudados os sistemas fieldbus disponíveis no mercado e a planta atual da caldeira. Elaborou-se um levantamento da instrumentação necessária para a aplicação das estratégias de controle e monitoramento desejados, criando-se um registro documental que sirva de base para a implementação do projeto. Partindo do conjunto de instrumentos obtidos, e tendo como objetivo principal a aplicação da tecnologia Fieldbus no projeto, foi especificada uma estrutura de controle na qual os sensores e atuadores possam ser conectados em paralelo numa rede de comunicação que usa o protocolo Fieldbus Foundation, para já possibilitar, numa primeira fase de implantação, a observação dos ganhos com esta tecnologia. Esta primeira fase foi também projetada prevendo-se uma segunda fase, aonde possibilitasse a atualização de alguns sensores existentes atualmente na planta cuja substituição

ainda não foi possível por restrições de orçamento e que irão incorporar mais ganhos ao sistema de controle.

Da análise dos benefícios da tecnologia Fieldbus pode-se inferir que a aplicação desta tecnologia será, adequada e vantajosa para novos projetos, e para aqueles que prevêem a substituição do sistema de controle existente. Nestes empreendimentos a mencionada tecnologia permite alcançar:

- Baixos custos de implantação
- Baixos custos no acréscimos de novas malhas
- Facilidade de conexão e expansão da planta

No caso da caldeira analisada no presente trabalho, praticamente todo o sistema antigo de controle será substituído pelos sensores e atuadores que trocarão os seus dados na rede Fieldbus.

Tratando-se da estratégia de controle a ser aplicada, a malha de controle de combustão elimina o controle atual que permite atuar somente em dois pontos da pressão de vapor que é o sinal mestre da malha. A técnica dos *limites cruzados* demostrou ótimo desempenho ao conseguir sempre condições de segurança através da constante condição de excesso de ar, evitando perigosas explosões advindas do excesso de combustível. Esta situação acontece tanto na subida como na descida de pressão de vapor, o que garante a segurança em qualquer condição do processo. Foi feita uma simulação desta malha, obtendo-se o resultado anteriormente mencionado.

No caso do controle de nível, embora o projeto estudado não envolve dimensões significativas, é utilizada uma malha de controle de nível a 3 elementos freqüentemente utilizada em grandes instalações. O objetivo para esta escolha baseia-se em fins puramente didáticos, procurando uma simulação o mais perto possível dos sistema reais que o formando encontrara no âmbito fabril.

As condições de segurança na partida e parada da planta são atualmente realizadas pelo programador de combustão do queimador. O projeto de automação a implementar propõe colocar todas aquelas funções do programador num CLP, visando maior flexibilidade e interfaceamento com o supervisório do projeto.

7.2. TRABALHOS FUTUROS

O projeto de automação da caldeira do presente trabalho foi concebido inicialmente para ser implementado. Porém, problemas na aquisição dos equipamentos necessários limitaram os objetivos da presente dissertação a elaborar uma proposta de controle que serva como base para a implementação futura do sistema.

Do anterior obtemos como primeira proposta de trabalho futuro a implementação das malhas de controle descritas, utilizando sensores e transdutores microprocessados que integrem uma rede de comunicação Fieldbus, baseando-se nas descrições e estruturas estudadas.

A implementação do software de supervisão, utilizando o já adquirido AIMAX, representa outra opção de continuidade ao projeto do presente trabalho. A criação das telas e a adaptação ao processo de geração de vapor são necessárias para o completo monitoramento da planta.

Outra proposta de execução de trabalhos futuros, relaciona a otimização dos parâmetros das malhas de controle do projeto, através da aplicação de técnicas de sintonia adequadas. É sabido que a sintonia do controlador por métodos de tentativa e erro torna-se muito difícil porque há grande interação entre os parâmetros de controle. Devido a isto é desejável a implementação de sistemas de auto-ajuste dos controladores, baseados em ferramentas computacionais.

ANEXO A

LISTA DE SINAIS E INSTRUMENTOS REQUERIDOS

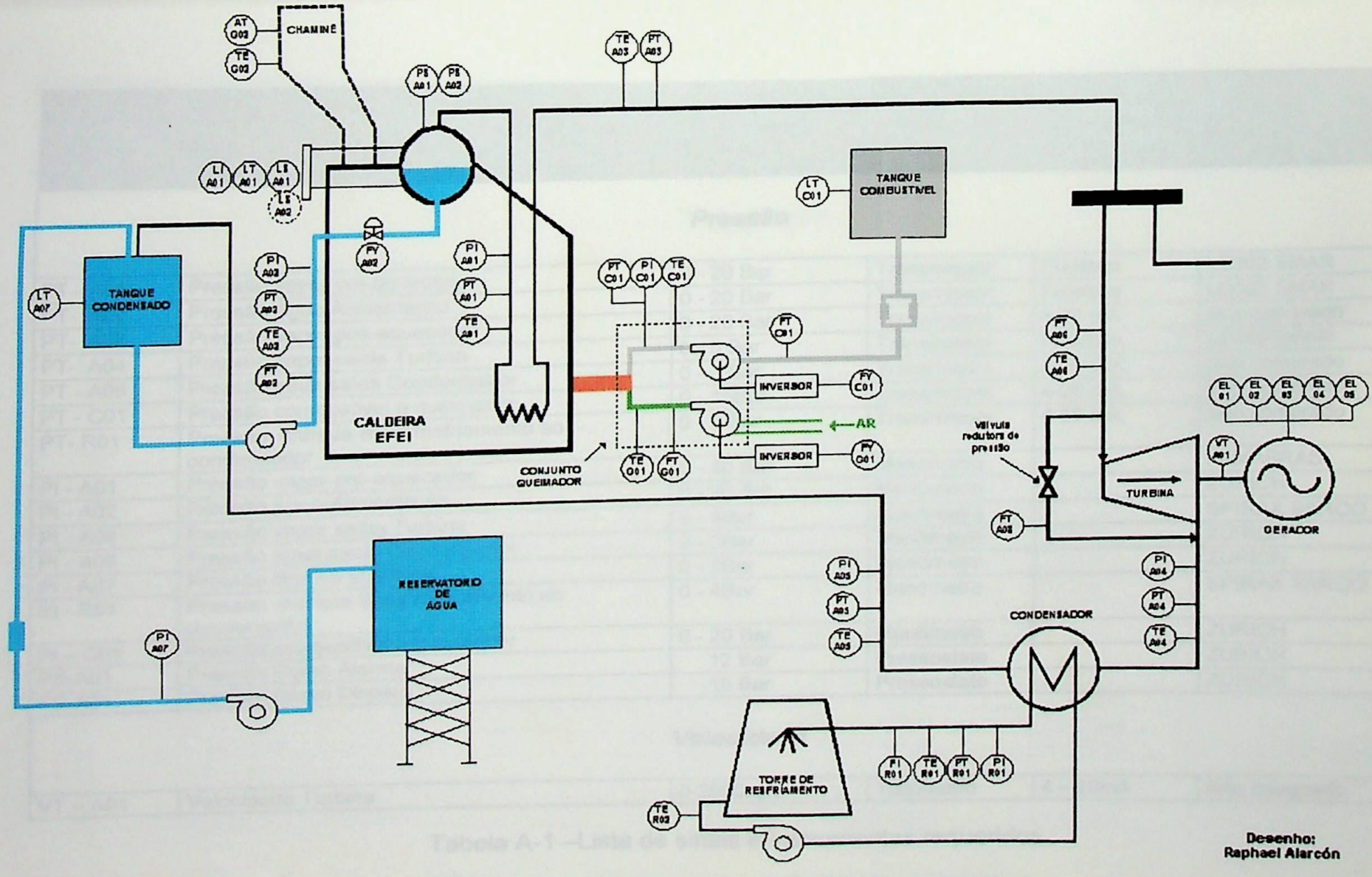


Figura 6-1 – Detalhe da instrumentação do Laboratório de Sistemas Térmicos a Vapor

Código	Descrição	Faixa	Tipo	Sinal ao Computador	
		Pressão			
PT- A01	Pressão vapor pre-aquecedor	0 - 20 Bar	Transmissor	Fleldbus	LD302 SMAR
PT- A02	Pressão Água Alimentação	0 - 20 Bar	Transmissor	Fleldbus	LD302 SMAR
PT- A03	Pressão vapor pos-aquecedor	0 - 20 Bar	Transmissor	4-20 mA	Não comprado
PT- A04	Pressão vapor saída Turbina	0 - 5 Bar	Transmissor	Fleldbus	LD302 SMAR
PT - A05	Pressão água saída Condensador	0 - 3 Bar	Transmissor	4-20 mA	Não comprado
PT - C01	Pressão combustível a queimador	0 - 15Bar	Transmissor	4-20 mA	Não comprado
PT- R01	Pressão entrada água resfriamento ao condensador	0 - 3 Bar	Transmissor	4-20 mA	Não comprado
PI - A01	Pressão vapor pre-aquecedor	0 - 40 Bar	Manômetro		FAMABRAS
PI - A02	Pressão Água Alimentação	0 - 20 Bar	Manômetro		ZURICH
PI - A04	Pressão vapor saída Turbina	0 - 4Bar	Manômetro		SPIRAX SARCO
PI - A05	Pressão água saída Condensador	0 - 3Bar	Manômetro		ZURICH
PI - A07	Pressão Bomba Make-up	0 - 5Bar	Manômetro		ZURICH
PI - R01	Pressão entrada água resfriamento ao condensador	0 - 4Bar	Manômetro		SPIRAX SARCO
PI – C01	Pressão combustível a queimador	0 - 20 Bar	Manômetro		ZURICH
PS-A01	Pressão Domo Alarma	12 Bar	Pressostato		ZURICH
PS-A01	Pressão Domo Disparo	15 Bar	Pressostato		ZURICH
		Velocidade			
VT – A01	Velocidade Turbina	0-2000 rpm	Tacómetro	4 – 20mA	Não comprado

Tabela A-1 –Lista de sinais e instrumentos requeridos

Código	Descrição	Faixa	Tipo	Sinal ao Computador	
		Temperatura			
TE - A01	Temperatura vapor pre-aquecedor	0 -300 C	RTD Pt 100 (50mm)	Ohms	ZURICH/TT302 SMAR
TE - A02	Temperatura Água Alimentação	0 -100 C	RTD Pt 100 (50mm)	Ohms	ZURICH/TT302 SMAR
TE – A03	Temperatura vapor pos aquecedor	0 -300 C	RTD Pt 100 (50mm)	Ohms	ZURICH
TE - A04	Temperatura vapor saída Turbina	0 -300 C	RTD Pt 100 (50mm)	Ohms	ZURICH
TE - A05	Temperatura água saida Condensador	0 -100 C	RTD Pt 100 (50mm)	Ohms	ZURICH
TE – A06	Temperatura entrada vapor turbina	0 -300 C	RTD Pt 100 (50mm)	Ohms	ZURICH
TE - R01	Temperatura entrada água na Torre de Resfriamento	0 -100 C	RTD Pt 100 (50mm)	Ohms	ZURICH
TE - R02	Temperatura saída água da torre de Resfriamento	0 -100 C	RTD Pt 100 (50mm)	Ohms	ZURICH
TE - G01	Temperatura entrada do ar	0 – 100 C	RTD Pt 100 (100mm)	Ohms	ZURICH
TE - G02	Temperatura saída gases	0 – 300 C	RTD Pt 100 (200mm)	Ohms	ZURICH
TE - C01	Temperatura do combustível	0 – 100 C	RTD Pt 100 (50mm)	Ohms	ZURICH
		Vazão			
FT- A06	Vazão Vapor entrada turbina	0-1000Kg/h	Steam/Meter	4- 20mA	Existente Spirax/Sarco
FT- A02	Vazão Água alimentação	0-1000Kg/h	Placa orifício	Fleldbus	LD302 SMAR
FT- A08	Vazão Vapor Bypass Turbina	0-1000Kg/h	Steam/Meter	4 –20mA	Existente Spirax/Sarco
FI - R01	Vazão Água de resfriamento	0-30000Kg/h	Rotámetro		Existente
FT- C01	Vazão Diesel	0 – 200Kg/h	Placa orifício	4 - 20mA	Não comprado
FT - G01	Vazão ar de combustão	0 – 3000 Kg/h	Placa orifício	4 - 20mA	Não comprado

Tabela A-2 –Lista de sinais e instrumentos requeridos

Código	Descrição	Faixa	Tipo	Sinal ao Computador	
			Nível		
LI –A01	Nível Balão	-300 a +300 mm	Indicador de Nível		Existente
LS– A01/02	Nível Balão Alto/Baixo		Sensor de Nível		Existente
LT – A01	Nível Balão	-200 a +200 mm	Transmissor de Nível	Fieldbus	LD302 SMAR
LT – A07	Nível Tanque Make-up	0 – 80cm	Transmissor de Nível	4 –20 mA	Não comprado
LT – C01	Nível Tanque Diesel	0 – 80cm	Transmissor de Nível	4 –20 mA	Não comprado
			Elétricos		
EL- 01	Frecuência	55 - 65 Hz	Transdutor	4 - 20 mA	Não comprado
EL - 02	Voltagem	0 –300V	Transdutor	4 - 20 mA	Não comprado
EL- 03	Corrente	0 – 100A	Transdutor	4 - 20 mA	Não comprado
El - 04	Potência Ativa	0 –100Kw	Transdutor	4 - 20 mA	Não comprado
EL- 05	Potência Reativa	0 – 20 Kvar	Transdutor	4 - 20 mA	Não comprado
			Outras Grandezas		
AT-G02	Analisador de oxigênio		Transmissor	4 - 20 mA	Não comprado
			Saídas Analógicas		
FY-A02	Válvula de água de alimentação		Atuador	4 - 20 mA	Não comprado
FY-G01	Válvula de entrada de ar		Atuador	4 - 20 mA	Não comprado
Fy-C01	Válvula de combustível		Atuador	4 - 20 mA	Não comprado

Tabela A-3 –Lista de sinais e instrumentos requeridos

ANEXO B

DIAGRAMA DE INSTRUMENTAÇÃO E CONTROLE NO LABORATÓRIO DE SISTEMAS TÉRMICOS A VAPOR

(Piping&instrumentation diagram)

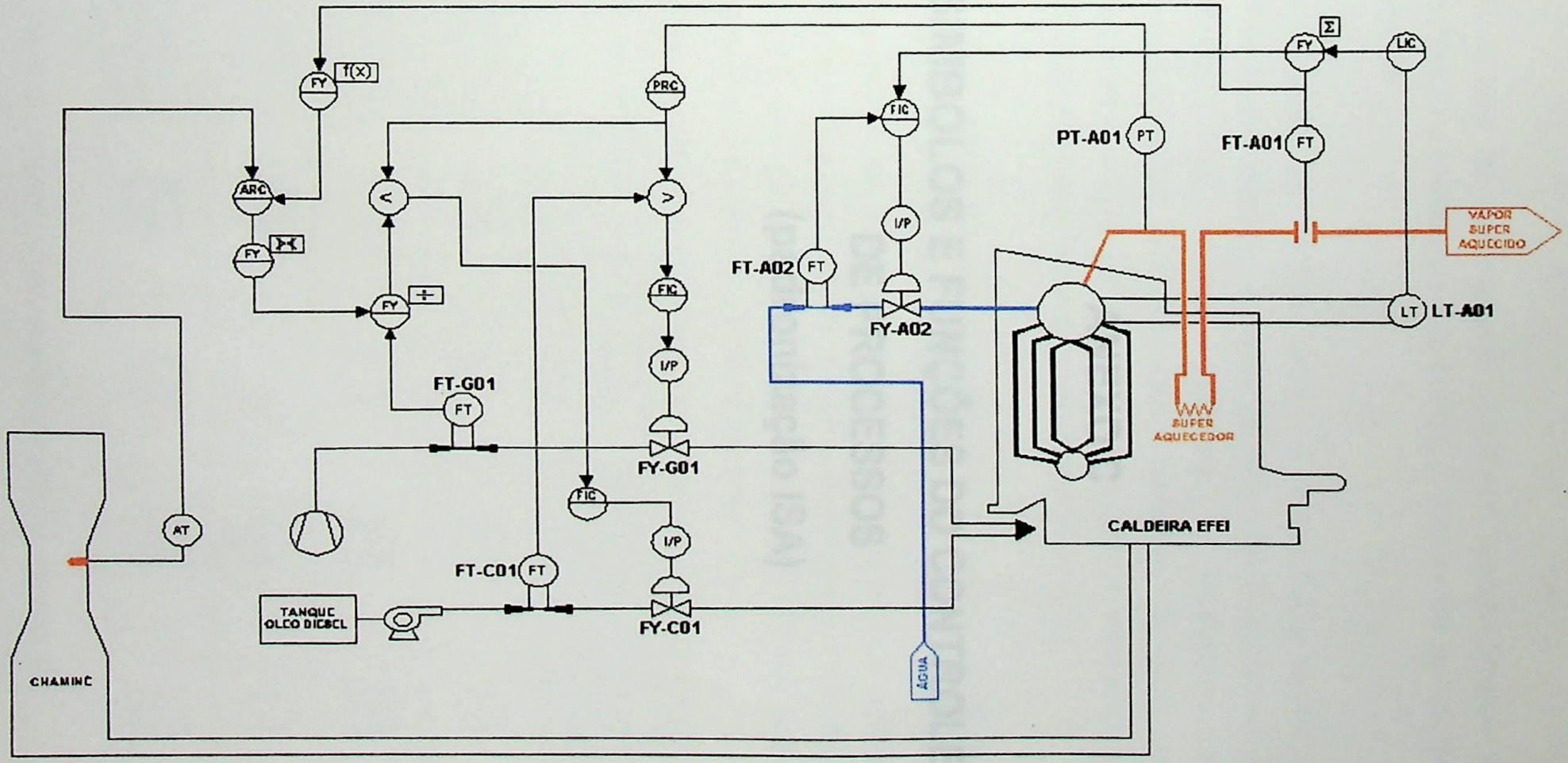


Figura B-1 – Diagrama de instrumentação e controle (P&ID) do LSTV

ANEXO C

SIMBOLOS E FUNÇÕES DO CONTROLE DE PROCESSOS

(padronização ISA)

As normas de instrumentação estabelecem símbolos gráficos e codificações para identificação alfanumérica de instrumentos ou funções programadas.

O propósito dos símbolos gráficos e codificações é facilitar o entendimento dos diagramas e malhas de instrumentação e, viabilizar a comunicação entre usuários, projetistas e fornecedores. A simbologia/codificação mais utilizada mundialmente na área de instrumentação e controle de processos é a padronizada na norma S 5.1 da ISA (The Instrumentation, Systems, and Automation Society) [18].

A padronização ISA considera que cada instrumento ou função programada será identificada por um conjunto de letras (tabela C-1) e um conjunto de números. A primeira letra do instrumento indica a variável medida e as letras subsequentes indicam a função que o instrumento desempenha na malha de controle. A fig. C-3 mostra os símbolos gerais para representar instrumentos ou função programada.

Símbolos gerais para instrumento ou função programada				
Localização / Tipo	Locação principal normalmente acessível ao operador	montado no campo	Locação auxiliar normalmente acessível ao operador	Locação auxiliar normalmente não acessível ao operador
Instrumentos discretos				
Instrumentos compartilhados controle/display				
computador de processo				
Controlador Programable				

Figura C-1 – Símbolos gerais para instrumento ou função programada [18]

LETRAS DE IDENTIFICAÇÃO					
LETRA	1ER. GRUPO DE LETRAS		2DO. GRUPO DE LETRAS		
	VARIÁVEL MEDIDA OU INICIADORA		FUNÇÃO		
	1RA. LETRA	MODIFICADORA	PASSIVA ou DE INFORMAÇÃO	ATIVA ou DE SAÍDA	MODIFICADORA
A	ANÁLISE		ALARME		
B	CHAMA				
C	CONDUTIVIDADE ELÉTRICA			CONTROLADOR	
D	DENSIDADE	DIFERENCIAL			
E	TENSÃO		SENSOR(ELEMENTO PRIMÁRIO)		
F	VAZÃO	RAZÃO			
G	ESCOLHA DO USUÁRIO		VISÃO DIRETA		
H	MANUAL				ALTO
I	CORRENTE ELÉTRICA		INDICADOR		
J	POTÊNCIA	VARREDURA, SELEÇÃO MANUAL			
K	TEMPO, TEMPORIZAÇÃO			ESTAÇÃO DE CONTROLE	
L	NÍVEL		LÂMPADA PILOTO		BAIXO
M	UMIDADE	INSTANTÂNEO			MÉDIO
N	ESCOLHA DO USUÁRIO				
O	ESCOLHA DO USUÁRIO		ORIFÍCIO DE RESTRIÇÃO		
P	PRESSÃO		CONEXÃO PARA TESTE		
Q	QUANTIDADE	INTEGRAÇÃO, TOTALIZACÃO			
R	RADIAÇÃO		REGISTRADOR		
S	VELOCIDADE - FREQÜÊNCIA	SEGURANÇA		CHAVE	
T	TEMPERATURA				
U	MULTIVARIÁVEL		MULTIFUNÇÃO		
V	VIBRAÇÃO, ANÁLISE MECÂNICA			VÁLVULA, DAMPER	
W	PESO, FORÇA		POÇO, PONTA DE PROVA		
X	NÃO CLASSIFICADA	EIXO DOS X	NÃO CLASSIFICADA	NÃO CLASSIFICADA	NÃO CLASSIFICADA
Y	ESTADO, PRESENCIA, SEQÜÊNCIA DE EVENTOS	EIXO DOS Y		RELÉ, RELÉ COMPUTADOR, CONVERSOR, SOLENÓIDE	
Z	POSIÇÃO, DIMENSÃO	EIXO DOS Z		ACIONADOR, ATUADOR	

Tabela C-1 – Letras de identificação para instrumento ou função programada [18]

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ UNIFEI

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] BAZZO EDSON, **Geração de vapor**, 2.ed., Ed. da UFSC, 1995.

[2] BEGA EGÍDIO, **Instrumentação Aplicada ao controle de caldeiras**, 2.ed, Instrument Society of America, Rio de Janeiro, 1998.

[3] DE MATTOS ONOFRE REGINALDO, Controle de Eficiência da combustão, **www.celit-senai.com.br**, 2000.

[4] DE SOUZA FLAVIO MAURICIO, Otimização do rendimento da instalação de uma caldeira utilizando inversores de freqüência nas malhas de combustível e do ar, **Cadernos da Engenharia**, v.8 n.10 p.48-56, Belo Horizonte, Dezembro 1999.

[5] DEPARTAMENTO DE ENGENHARÍA DE APLICAÇÕES SMAR, **Como Implementar Projetos com Foundation Fieldbus**, Apostila, 1998.

[6] DUKELOW SAM G., **The Control of Boilers**, 2da.ed, Instrument Society of America, 1991.

[7] FRANCO LÚCIA REGINA, Sensores inteligentes e o barramento de campo: a inteligência distribuída na automação comercial, **INSTEC**, p.52-55, Out. 1992.

[8] FRANCO LÚCIA REGINA, O modelo de referência OSI e as redes de barramento de campo, **INSTEC**, n-82, p.18-23, Out. 1994..

[9] FRANCO LÚCIA REGINA, **Escalonamento de Mensagens para a comunicação no Fieldbus**, São Paulo, 1998. 124p. tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

[10] LIBÂNIO CARLOS DE SOUZA, Fieldbus**, INSTEC**, p.17-20, maio, 1993.

[11] PERA HILDO, **Geradores de vapor**, 2.ed., Ed. FAMA, 1990.

[12] PERAGALLO RAÚL, **Geradores de vapor**, Ed. LIBRIS, 1995.

[13] VERHAPPEN IAN, Fieldbus cost comparisons show going digital can save big dollars, **INTECH**, agosto 1999.

[14] WEISHAUPT DO BRASIL, **Instruções de montagem e funcionamento queimadores a óleo WEISHAUPT**, São Paulo, 1993.

[15] WORLD BUS JOURNAL, **www.fieldbus.isa.org**

[16] ZAMBON JOSÉ PEDRO, Válvulas de controle, **Controle e Instrumentação**, p.62-68, Fev. 1999.

[17] Smar Equipamentos Industriais, **FIELDBUS BOOK**, edition 2000.

[18] Instrument Society of America, **Instrumentation Symbols and Identification:** ANSI/ISA-S5.1-1984(R1992), Research Triangle Park, 1994

[19] ZURICH Pressão e Temperatura, **Catálogo de Produtos**, São Paulo, 2000.

[20] SPIRAX SARCO, www.spirax-sarco.com, 2001.