

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
CURSO DE TECNOLOGIA EM MANUTENÇÃO INDUSTRIAL**

**CRISTIANO MENTZ  
SIDINEI SOARES MODELSKI**

**AUTOMAÇÃO DE CALDEIRA DIDÁTICA**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**MEDIANEIRA  
2016**

CRISTIANO MENTZ  
SIDINEI SOARES MODELSKI

## **AUTOMAÇÃO DE CALDEIRA DIDÁTICA**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação, apresentado a disciplina de Trabalho de Diplomação, do Curso Superior de Tecnologia em Manutenção Industrial, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Campus de Medianeira, como requisito parcial para obtenção de título de Tecnólogo.  
Orientador: Prof. Dr. Dirceu de Melo

MEDIANEIRA  
2016



Ministério da Educação  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Curso Superior de Tecnologia em Manutenção  
Industrial



---

## TERMO DE APROVAÇÃO

### AUTOMAÇÃO DE CALDEIRA DIDÁTICA

Por:

**Cristiano Mentz**

**Sidinei Soares Modelski**

Este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) foi apresentado às 17:30 h do dia 01 de Dezembro de 2016 como requisito parcial para a obtenção do título de Tecnólogo no Curso Superior de Tecnologia em Manutenção Industrial, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, *Câmpus* Medianeira. Os acadêmicos foram arguidos pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

---

Prof. Dr. Dirceu de Melo

UTFPR – *Câmpus* Medianeira.

(Orientador)

---

Prof. Dr. Paulo Cesar Tonin

UTFPR – *Câmpus* Medianeira

(Convidado)

---

Prof. M. Sc. Ivair Marchetti

UTFPR – *Câmpus*

Medianeira

(Convidado)

---

Prof. Yuri Ferruzzi

UTFPR – *Câmpus* Medianeira

(Responsável pelas atividades

de TCC

**A Folha de Aprovação assinada encontra-se na coordenação do Curso de Tecnologia em Manutenção Industrial.**

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus por nos conceder saúde e força para superar as dificuldades.

Ao Professor Dirceu de Melo, pela orientação na realização deste trabalho, e na constante busca pelo conhecimento.

Aos nossos pais pelo amor, apoio e incentivo incondicional.

A Monique e Sandra pela amizade, ajuda e apoio constante.

Aos Professores Ivair Marchetti e Paulo Cesar Tonin, por aceitarem o convite de participar da banca examinadora, e pelo apoio e atenção na realização deste trabalho.

A Universidade Tecnológica Federal do Paraná, pelo ambiente criativo e amigável, e por nos conceder acesso aos laboratórios para realização do trabalho.

Aos ex-alunos Eliwelton Baritieri e Marciel Baritieri, por terem desenvolvido o primeiro projeto da caldeira.

O insucesso é apenas uma oportunidade para  
recomeçar com mais inteligência.

Henry Ford.

## RESUMO

MENTZ, C.; MODELSKI, S.S. Automação de Caldeira Didática. 2016. 64f. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2016.

Este trabalho teve como objetivo principal, a automação de uma caldeira didática. Esta caldeira já era de propriedade da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, sendo a mesma muito utilizada para aulas práticas, demonstrações e experimentos em sala de aula, porém, a sua operação e funcionamento eram completamente manuais, seja através de válvulas e registros, ou ainda botoeiras e manoplas para acionamentos e ainda, as leituras dos instrumentos de medição feitas apenas de maneira mecânica. Deste modo surgiu a ideia de automatizar o equipamento, tornando as aulas ainda mais produtivas e abrangentes. Para a realização do trabalho foram realizadas diversas pesquisas para se desenvolver uma fundamentação teórica, tendo como base de pesquisa diversos artigos científicos e outras bibliografias. Foi utilizado um sistema SCADA, comunicativo com um Controlador Lógico Programável para tornar o sistema interativo e supervisionado. Com a instalação de tal sistema, ficam muito mais visíveis as vantagens, facilidades e acima de tudo, a segurança em sistemas automatizados.

**Palavras chave:** Caldeira. Automação. Sensores. Supervisório. SCADA.

## ABSTRACT

MENTZ, C.; MODELSKI, S.S. Didactic Boiler Automation. 2016. 64f. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2016.

This work aimed to the automation of a didactic boiler. This boiler was already owned by the Federal Technological University of Paraná, with the same widely used for practical classes, demonstrations and experiments in the classroom, however, its operation and functioning were completely manual, either through valves and records, or buttonholes and gauntlets for drives and also the readings of measuring instruments made mechanically only. Hence the idea to automate the equipment, making classes more productive and comprehensive. To conduct the study were conducted various researches to develop a theoretical basis, and as a research based on several scientific articles and other bibliographies. a SCADA system was used, communication with a Programmable Logic Controller to make interactive and supervised system. With the installation of such a system, the advantages are much more visible, facilities and above all, safety in automated systems.

**Keywords:** Boiler. Automation. Sensors. Supervisory. SCADA.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Tampa antes da usinagem .....	20
Figura 2 – Tampa após a usinagem .....	21
Figura 3- Painel de comando antigo. ....	22
Figura 4- Tampa após a abertura dos rebaixos. ....	25
Figura 5- Aplicação da cola para juntas.....	26
Figura 6- Aplicação da junta de papel. ....	26
Figura 7 - Sensor de nível na posição baixa.....	28
Figura 8 - Sensor de nível na posição alta.....	28
Figura 9- Tampa Com os Furos dos Sensores .....	29
Figura 10 – Sensores de Nível Montados na Tampa.....	30
Figura 11- Sensor de Pressão Analógico .....	31
Figura 12- Sensor de Temperatura Tipo PT100 .....	32
Figura 13- Transdutor de Temperatura e de Sinal.....	33
Figura 14- Sensor de Temperatura e Resistência já Instalados. ....	34
Figura 15- Visor de nível.....	35
Figura 16 – Válvula Solenóide .....	36
Figura 17 – CLP Easy 820-DC-RCX.....	38
Figura 18 - Lógica Ladder Manual. ....	41
Figura 19 - Lógica Ladder Automático.....	42
Figura 20 - Plano dos Módulos Lógicos.....	43
Figura 21 – Parametrização do Módulo Comparador .....	44
Figura 22 - Módulo Comparador na Lógica Ladder. ....	44
Figura 23 - Tela Inicial .....	50
Figura 24 - Tela Operação.....	50
Figura 25 – Perda de Comunicação. ....	54
Figura 26 - Gráfico Pressão e Temperatura .....	55
Figura 27 – Tela Seleção de Período .....	56
Figura 28 - Relatório Operação .....	57
Figura 29 - Histórico Eventos.....	58
Figura 30 - Relatório Aquecimento. ....	60

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	11
2 OBJETIVOS .....	12
2.1 OBJETIVOS GERAIS.....	12
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	12
3 REVISÃO BIBLIOGRAFICA .....	13
3.1 UTILIZAÇÃO DO VAPOR .....	13
3.2 HISTÓRIA DA AUTOMAÇÃO .....	14
3.3 BENEFÍCIOS DA AUTOMAÇÃO.....	14
3.4 AUTOMAÇÃO DE CALDEIRAS .....	16
3.5 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL (CLP).....	17
3.5.1 Programação do CLP.....	17
3.6 SISTEMA DE SUPERVISÃO E AQUISIÇÃO DE DADOS.....	18
4 MATERIAIS E METODOS.....	20
4.1 DESMONTAGEM E REVISÃO GERAL.....	20
4.2 ADEQUAÇÕES PARA OS NOVOS COMPONENTES .....	21
4.2.1 Painel de Comando.....	21
4.2.2 Montagem do Vaso de Pressão .....	24
4.3 SENSORES .....	27
4.3.1 Sensores de Nível.....	27
4.3.2 Sensor de Pressão.....	30
4.3.3 Sensor de Temperatura .....	32
4.4 RESISTÊNCIA.....	33
4.5 VISOR DE NÍVEL.....	34
4.6 VÁLVULAS.....	35
4.7 BOMBA ALIMENTADORA .....	37
4.8 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL .....	37

4.8.1 Entradas.....	38
4.8.2 Saídas.....	39
4.8.3 Programação do CLP.....	40
4.9 SUPERVISÓRIO.....	45
4.10 MICROCOMPUTADOR.....	45
4.11 RELAÇÃO DOS GASTOS.....	46
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	47
5.1 ACIONAMENTOS ELÉTRICOS.....	47
5.2 TESTES CONSTRUTIVOS.....	47
5.3 PROCEDIMENTO DE PARTIDA DO EQUIPAMENTO.....	48
5.3.1 Medidas de Segurança.....	48
5.3.2 Medidas Iniciais.....	49
5.3.3 Modo Manual.....	51
5.3.4 Modo Automático.....	51
5.4 TESTES OPERACIONAIS.....	52
5.4.1 Funcionamento Detalhado da Caldeira.....	53
5.5 COLETA DE DADOS.....	54
5.5.1 Gráficos.....	55
5.5.2 Relatórios.....	56
5.5.3 Alarmes.....	57
5.6 ANÁLISE DOS DADOS.....	58
6 CONCLUSÃO.....	62
7 REFERÊNCIAS.....	63

## 1 INTRODUÇÃO

O projeto trata-se da automação de uma caldeira didática, sendo a parte construtiva, projetada e desenvolvida pelos alunos Eliwelton Luis Baratieri e Marciell Alexandre Baratieri Cavalheiro no ano de 2013.

Em sua construção, a caldeira não contava com nenhum tipo de controle automático, o que fazia de sua operação e funcionamento completamente manuais.

Com a execução do projeto de automação da caldeira, os trabalhos em sala de aula são enriquecidos com a prática e a visualização de todo o processo de geração de vapor e do funcionamento do processo, permitindo que todos possam ter uma noção do que é um equipamento deste tipo dentro de uma indústria.

As caldeiras são muito utilizadas nas indústrias para a geração de vapor, utilizando para isto, diversas fontes de calor, tais como lenha, cavaco, carvão, diesel, biogás, GLP e energia elétrica. Este último recurso é utilizado, principalmente, em caldeiras de pequeno e médio porte, devido ao alto custo da energia atualmente.

Para que seja possível a obtenção do vapor, os combustíveis são queimados como forma de obter calor para aquecer a água até a temperatura desejada. Já nas caldeiras elétricas, a energia é utilizada para alimentar resistências, que geram aquecimento. Estas resistências são em sua maioria trifásicas, para garantir um melhor aproveitamento da energia empregada.

O vapor gerado pode ser utilizado para diversas finalidades, tais como aquecimento de produtos, cozimento, lavanderias, movimentação através de turbinas, geração de energia elétrica, entre outros.

O projeto é de grande interesse da Universidade, tanto de seus alunos quanto dos professores, podendo ser utilizada para aulas e demonstrações em diversas disciplinas, para que cada vez mais seja melhorado o conhecimento prático dos equipamentos industriais.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVOS GERAIS

Desenvolver um projeto de automação, para controle e supervisão da caldeira didática, bem como a construção de um painel de controle automático.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Desenvolver um programa em ladder para o controle das rotinas do CLP.

Possibilitar o monitoramento e controle da pressão e temperatura da saída de vapor.

Realizar de maneira automática a descarga de fundo e controle do nível interno da caldeira.

Realizar de maneira automática a alimentação da caldeira;

Criar o painel de comando, manipular os componentes elétricos e eletrônicos, também utilizados na Robótica e Automação de uma forma geral, como apoio a pesquisa e estudo do tema.

Desenvolver um sistema supervisório SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) para monitorar os dados de processo da caldeira, coletar, e armazenar em banco de dados para utilizá-los em relatórios e gráficos. Desenvolver no supervisório uma tela de alarmes, uma tela de relatórios com opção de impressão, uma tela de eventos, e uma tela de monitoração da caldeira.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRAFICA

#### 3.1 UTILIZAÇÃO DO VAPOR

A geração de vapor é uma importante operação industrial, presente em uma infinidade de processos e segmentos. Como exemplo, podemos citar:

- Geração de energia elétrica nas usinas termelétricas e nucleares
- Papel e Celulose
- Açúcar e Álcool
- Indústrias químicas e petroquímicas em geral
- Refinarias de petróleo
- Frigoríficos, abatedouros e laticínios.
- Indústrias têxteis e de tintas/ vernizes
- Cervejarias e bebidas em geral
- Indústrias de processamento de madeira e borracha
- Navegação marítima, fluvial e submarina.
- Diversas indústrias alimentícias e farmacêuticas, entre muitos outros.

Atualmente, o vapor constitui o modo mais econômico e prático de se transferir calor, até certo limite, em processos industriais. Além disso, é usado para geração de trabalho mecânico. Um ditado popular no âmbito industrial diz que: “O vapor movimenta o mundo” (TROVATI, 2004).

As caldeiras elétricas foram muito utilizadas durante a década de 1980, em que havia excesso de oferta de energia elétrica de origem hidráulica, quando foram estabelecidos incentivos tarifários para seu uso. São equipamentos de concepção bastante simples. A eficiência da transformação da energia elétrica em vapor é sempre muito elevada. As caldeiras elétricas mais comuns podem ser com resistores: onde a água é aquecida através de resistências elétricas blindadas imersas diretamente nela; ou com eletrodos: onde a corrente elétrica passa diretamente pela água, aquecendo-a por efeito Joule (ELEKTRO, 2013).

### 3.2 HISTÓRIA DA AUTOMAÇÃO

Durante a Revolução Industrial, diversos processos produtivos foram mecanizados, isto para diminuir o contato humano direto e ainda, aumentar a produtividade e qualidade dos processos. Com esta mecanização, começaram a surgir os primeiros mecanismos para controle dos processos. Sem dúvidas, o mecanismo de controle que ficou conhecido como o “pioneiro da automação” foi inventado por James Watt, e se tratava de um controlador de velocidade para máquinas a vapor (GOEKING, 2010).

A Segunda Guerra Mundial (1939-1945) também teve papel fundamental na automação, sendo desenvolvidos diversos sistemas para lançamento de mísseis. Porém, nesta época, tudo ainda funcionava com relés e válvulas eletrônicas (GOEKING, 2010).

Sem sombra de dúvidas, o que revolucionou a automação industrial, foi a invenção do transistor, por volta de 1947, pois este pequeno componente eletrônico permitia o controle da passagem de corrente pelos circuitos e ainda a amplificação de sinais, lembrando que nesta época isso era um grande avanço para tudo o que já existia nesta área.

Em 1968 a empresa Allen Bradley criou, a pedidos da GM (General Motors), o Controlador Lógico Programável (CLP), permitindo grandes alterações nos processos apenas alterando as configurações do mesmo, sem a necessidade de trocar equipamentos de lugar ou ainda, refazer ligações elétricas. (GOEKING, 2010)

De lá pra cá, diversas mudanças vêm ocorrendo nos processos de automação, permitindo assim, o seu uso nos mais variados setores, desde indústrias, comércio e atualmente até em residências, inclusive, com a facilidade de permitir a comunicação entre vários dispositivos, tais como IHM's Computadores, Smartphones, etc.

### 3.3 BENEFÍCIOS DA AUTOMAÇÃO

As principais vantagens da automação consistem em produzir mais produtos, em menor tempo e com maior qualidade, com a menor intervenção humana possível. Também é possível aperfeiçoar os processos usando os equipamentos responsáveis pela produção, de forma a obter seu melhor rendimento e diminuir a

carga em horários de ponta, quando a energia é mais cara, e diminuir os gastos com a concessionária. (GOEKING, 2010)

Nas indústrias, ou em qualquer outro lugar que demande produção, manutenção, armazenagem e conservação de algum bem, os benefícios da automação industrial podem ser considerados ilimitados. Isto porque ao automatizar um processo, é possível aumentar significativamente o seu desempenho global. Este motivo por si só, já é um grande responsável por fazer com que a automação industrial seja cada vez mais popular em todo o mundo (SILVEIRA, 2014).

Como principais benefícios da automação, podemos citar:

**Aumento da Produtividade:** permite o aumento dos ciclos de produção, com maior eficiência e repetitividade, tudo isto, sem causar fadiga aos trabalhadores.

**Redução de Custos:** graças ao aumento da produtividade e eficiência, simplificação de tarefas e menores desperdícios de materiais.

**Melhoria da Qualidade:** Com automação industrial, os processos podem ser cuidadosamente regulados e controlados, de modo que a qualidade do produto final seja mais consistente.

**Segurança:** O projeto de um sistema automatizado industrial deve ter a premissa da segurança. Isto porque as organizações são totalmente planejadas para reduzir acidentes.

**Vantagem Competitiva:** a automação é de fornecer às empresas, as ferramentas necessárias para diminuir os tempos de ciclo, melhorar a qualidade e reduzir custos, proporcionando assim, uma vantagem frente aos concorrentes de mercado.

**Precisão:** A precisão também é muito importante, isto porque todas as variáveis envolvidas nos processos de produção são medidas pelo computador principal, que geralmente possui um programa de inteligência artificial embutido. Este programa assegura a precisão e o tempo para a produção.

**Monitoramento Remoto:** é um dos benefícios que mais obteve avanço nos últimos anos. Estes sistemas permitem a um operador monitorar e controlar, se necessário, os processos de produção a partir de uma determinada distância. É possível ainda estabelecer uma conexão Wi-Fi ou pela internet para se comunicar a partir de uma distância muito maior. Os sistemas podem ainda ser baseados em sinais de rádio, infravermelhos ou Bluetooth. (SILVEIRA, 2014)

### 3.4 AUTOMAÇÃO DE CALDEIRAS

Assim como em todos os outros equipamentos e processos, nas caldeiras a automação pode trazer inúmeras vantagens, com ênfase na segurança da operação, sendo que esta pode ser feita a distância, minimizando os riscos de acidentes. Há ainda o fato de que se torna possível a criação de alarmes em caso de sobrecarga ou situações de emergência, e as medidas de controle são tomadas pelo próprio sistema (VENTURELLI, 2014).

As manutenções periódicas e detecção de falhas também são otimizadas, pois podem ser programadas para ser feitas de tempos em tempos, o que garante uma maior vida útil e monitoramento constante de todos os fatores envolvidos (MOTT, 2012).

Monitorar todos os processos que envolvem a produção e a distribuição do vapor e o retorno do condensado, agindo com rapidez quando um deles está fora dos parâmetros pré-configurados mantém a eficiência da caldeira em números plausíveis. Quanto maior for à automação e a integração dos sistemas da caldeira, maior será a segurança e a eficiência (ISA, 2011).

Com um sistema de automação, é possível atuar em praticamente todos os componentes da caldeira, tornando sua operação completamente automática, e até mesmo remota, se for o caso (ETEC, 2012).

O controle da alimentação pode ser feito de acordo com a necessidade, garantindo assim uma maior eficiência e menor desperdício de recursos. Em caldeiras a cavaco, por exemplo, pode-se realizar uma integração entre o CLP, supervisor e inversor de frequência do alimentador, dos ventiladores e exaustores, fazendo com que a queima seja o mais eficiente possível, o que de quebra gera menor poluição ambiental (UCLA, 2010).

### 3.5 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL (CLP)

Um CLP é um computador de pequeno porte, autocontido e robusto, projetado para controlar processos no ambiente industrial. Cada CLP contém um microprocessador programado para dirigir os terminais de saída de uma maneira especificada, com base dos valores dos terminais de entrada (ROCHA, 2013).

O CLP funciona pela CPU, com um programa denominado Executivo, que nada mais é do que o sistema operacional do CLP. O Executivo realiza ciclicamente: Leitura das entradas e respectiva armazenagem na Memória Intermediária de Entrada (MIE); Execução do programa de controle do usuário; Atualização das saídas com base nos valores da Memória Intermediária de Saída (IME, 2005).

Os CLP's podem se comunicar por meio de portas seriais, transmitindo e recebendo dados, sendo desta maneira, possível realizar a supervisão do CLP e de todo o processo através de um microcomputador, ou ainda, através de uma Interface Homem Máquina (FREITAS, 2014).

#### 3.5.1 Programação do CLP

De maneira geral, o programa do CLP é um conjunto de expressões booleanas. As expressões são avaliadas uma a uma sequencialmente a cada ciclo de varredura, e o resultado correspondente é armazenado na memória intermediária do CLP. Ao terminar a avaliação, a parte da memória intermediária correspondente às saídas (MIS) é copiada nas saídas (FREITAS, 2014).

A linguagem utilizada é a chamada Ladder, também conhecida como Diagrama de Contatos; muito difundida no meio industrial, e compatível com a maioria dos CLP's disponíveis no mercado. Ladder é uma palavra inglesa que quer dizer escada. Este nome está associado à representação gráfica dos contatos: ela é feita horizontalmente, em linhas paralelas, que lembram os degraus de uma escada (SENAI, 2012).

Esta é uma das partes que mais exigem atenção, pois qualquer erro, por menor que seja, afeta todo o programa.

Existem softwares específicos para cada fabricante de CLP, sendo que para realizar a transferência do programa para o CPU, é necessário um cabo serial específico para tal cada modelo de CLP. Um dos softwares mais conhecidos, e pode

ser citado como exemplo, é o Easy Soft, da marca EATON, que é um grande fabricante de CLP's e sistemas para automação. Este, permite a programação de uma grande variedade de produtos da marca, incluindo CLPs, IHM, módulos de expansão e displays (SILVEIRA, 2016).

### 3.6 SISTEMA DE SUPERVISÃO E AQUISIÇÃO DE DADOS

Conhecidos como SCADA (que vem do inglês *Supervisory Control And Data Acquisition*), ou simplesmente supervisório, são softwares destinados a promover a interface homem/máquina, onde proporcionam uma supervisão plena de seu processo através de telas devidamente configuradas. Possuem telas que representam o processo, onde estas podem ser animadas em função das informações recebidas pelo CLP. As animações são feitas de modo a garantir a interatividade, facilitando assim a operação e tornando a interface mais amigável. O que o supervisório faz, é ler e escrever na memória do CLP ou controlador para a atualização das telas. (CARNEIRO, 2007)

Supervisórios são programas de computador desenvolvidos especialmente com o objetivo de permitir a comunicação com um CLP, capturando e armazenando informações em um banco de dados. As informações podem vir de sensores ou de outros equipamentos que comuniquem através do mesmo protocolo. Estes sistemas podem assumir topologia mono-posto, cliente-servidor ou múltiplos servidores clientes, sendo cada um indicado para diferentes aplicações, permitindo desta maneira, a comunicação entre dois ou mais CLP's, IHM, pontos de supervisão (microcomputadores), displays, entre outros periféricos que podem ou não fazer parte de um mesmo sistema ou processo. Isto torna ainda mais eficiente os sistemas de automação, pois permite integrar os mais diversos processos de uma mesma indústria. Como exemplo podemos citar uma empresa que tem três linhas de produção, e, para evitar o consumo excessivo de energia elétrica nos horários de ponta, define prioridades para cada processo, ou para cada parte do processo, desligando ou evitando que equipamentos sejam acionados em determinadas horas do dia (MOTT, 2012).

Para que se faça essa integração entre os diferentes processos, não é aconselhável que seja realizado um programa para comandar toda uma planta industrial, pois uma falha acarretaria na parada de grande parte, senão todos os

equipamentos. Por isso é possível, e aconselhável, que seja desenvolvido um supervisor para cada linha, trabalhando independentes um do outro, e mais um apenas para monitorar e controlar as partes pertinentes de cada um, gerenciando todos, porém sem afetar diretamente em caso de pane (MOTT, 2012).

Para um processo de produção industrial, podem-se citar as seguintes vantagens quando se utiliza um sistema supervisor:

**Análise de tendências:** baseado no histórico das informações do banco de dados é possível tomar ações proativas para maximizar a produção da planta.

**Alarmes:** sinaliza em tempo real, alguma falha no processo e registra essa falha no banco de dados para consultas futuras.

**Operação remota no processo:** intervenção no processo, a partir da sala de controle.

**Geração de relatórios e gráficos:** É possível gerar relatórios e gráficos sobre os alarmes e tendências.

**Aumentar a disponibilidade da planta:** A partir das informações geradas em tempo real, permite identificar falhas e conseqüentemente otimizar as tomadas de decisão para manter a planta em operação (rodar o maior tempo possível sem paradas).

## 4 MATERIAIS E METODOS

### 4.1 DESMONTAGEM E REVISÃO GERAL

Inicialmente a caldeira foi completamente desmontada e seus componentes revisados. As conexões da tubulação foram todas desmontadas e os materiais utilizados para vedação foram removidos com o auxílio de escova de aço. Todas as conexões em que as roscas não estavam em boas condições foram refeitas. Todos os lugares em que haviam cola para a vedação das tampas foram devidamente limpos e raspados.

Dentro do vaso de pressão havia muita sujeira e ferrugem (Figura 1), acumuladas devido ao tempo em que ficou parada e também a falta de tratamento contra este tipo de problema. A parte do corpo da caldeira, que é construída em aço inoxidável não apresentava ferrugem, sendo que apenas uma limpeza já foi suficiente; já as tampas precisaram ser usinadas para retirar a camada mais espessa de ferrugem e corrigir imperfeições. Para isto foi realizado um faceamento de aproximadamente 1mm, nas faces internas das tampas (Figura 2) Isto removeu toda a ferrugem decorrente e ainda corrigiu imperfeições, melhorando a qualidade da montagem final.



Figura 1 - Tampa antes da usinagem



**Figura 2 – Tampa após a usinagem**

## 4.2 ADEQUAÇÕES PARA OS NOVOS COMPONENTES

Como o trabalho consiste na implantação de um sistema de automação na caldeira, que antes funcionava de maneira completamente manual, foram necessárias diversas modificações em vários pontos para instalação dos novos componentes. Este tipo de trabalho exigiu atenção e cuidado, pois qualquer erro pode afetar completamente o bom funcionamento do equipamento. Tomando-se as precauções necessárias, tais alterações foram feitas com cautela, assegurando a segurança, sem afetar a parte estrutural.

### 4.2.1 Painel de Comando

No antigo painel não havia espaço suficiente para acomodar os novos componentes e adequar os antigos (Figura 3). Pensou-se em realizar a instalação de um novo painel que fosse interligado com o primeiro, esta ideia, porém, foi logo descartada, pois não era viável a sua realização. Depois de feitos alguns levantamentos e cálculos do tamanho dos novos componentes, verificou-se que

para tornar a instalação mais padronizada e segura, os antigos componentes não seriam utilizados.



**Figura 3- Painel de comando antigo.**

Optou-se pela aquisição de um painel em aço com dimensões de 600mm de altura, 400mm de largura, e 250mm de profundidade; isto porque este tipo de painel tem uma ótima relação custo-benefício, garantindo excelente proteção e isolamento a todos os componentes e circuitos. O tamanho foi decidido com base num pré-levantamento que foi realizado com as dimensões dos componentes que seriam utilizados, acomodando tudo de maneira organizada e segura, garantindo um bom funcionamento; deste modo também, não sobrou muito espaço vazio, evitando o desperdício de recursos, pois quanto maior o painel, maior o seu custo para aquisição.

Este tipo de painel é projetado de maneira a resistir esforços mecânicos, térmicos, elétricos e aos efeitos da umidade em ambientes normais, sendo realizados ensaios em baixa tensão para garantir as suas propriedades mecânicas e isolamento elétrica.

A proteção externa e interna do painel é feita em pintura eletrostática, do tipo epóxi, garantindo a proteção mecânica da chapa. Dentro do painel, é fixada a placa de montagem, que se trata de uma chapa de 2mm de espessura, também protegida com pintura eletrostática, em epóxi e na cor laranja, porém, nesta a proteção é

maior, pois é nela que são fixados os componentes elétricos e eletrônicos do projeto. A cor laranja é um padrão utilizado para este tipo de componente, para que fique claro a sua finalidade e tenha certo destaque dentro do painel, sinalizando assim que tratam-se de partes energizadas.

Todos os materiais utilizados para a montagem atendem a norma DIN 43880, que é uma norma que estabelece padrões para a instalação de dispositivos, montagem, dimensões e organização de instalações elétricas e painéis elétricos, garantindo a fixação de componentes em painéis elétricos de maneira rápida e segura, sem a necessidade de parafusar os componentes individualmente. Todos os componentes de painéis elétricos que atendem a esta norma, são montados por meio de encaixe rápido, sem a necessidade de ferramentas especiais.

Na parte superior da placa de montagem foi afixado um trilho DIN da largura da chapa, neste foram encaixados um disjuntor trifásico Siemens (disjuntor geral 3X40A), disjuntor monofásico (disjuntor do comando 1X6A), fonte de alimentação 24v (alimentação para o CLP e relés), conversor de sinal 4-20mA para 0-10V e ainda o CLP.

Na parte central da placa, foi afixado outro trilho DIN, neste foram montados os relés, contatora, disjuntor da bomba de alimentação, contatora da bomba de alimentação, disjuntor da resistência e contatora da resistência.

Já na parte inferior, foi afixado o trilho DIN para régua de bornes, onde são feitas todas as conexões externas do painel, sendo elas: entrada de alimentação, saídas para motores e resistência de aquecimento, e ainda a entrada dos sensores de temperatura, nível e pressão.

Para garantir a organização, padronização e proteção dos cabos, foram utilizadas canaletas de PVC do tipo com recorte aberto, de 50x50mm. Como as canaletas têm suas laterais abertas, possibilitam que haja ventilação nos cabos, e garantem um excelente acabamento ao trabalho.

As saídas de todos os cabos foram feitas com conectores do tipo prensa-cabo, estes têm um mecanismo que deixa os condutores pressionados, evitando que os mesmos se soltem dos bornes de conexão e/ou entrem em contato com partes metálicas do painel, impedindo ainda a entrada de sujeira ou insetos pelos furos. Estas saídas foram feitas apenas na parte inferior, garantindo que em caso de vazamentos, a água não se infiltre no painel.

Optou-se pela mudança da sua posição, sendo que o antigo ficava na parte frontal esquerda, logo acima do reservatório de água; o novo passa a ser fixado parte frontal direita, logo abaixo do vaso de pressão. Esta alteração foi necessária para possibilitar a acomodação de todos os componentes de maneira segura e organizada. Para a adaptação do novo painel foram utilizados parafusos do tipo autobrocante, fixando a parte superior e lateral esquerda na estrutura da bancada.

#### 4.2.2 Montagem do Vaso de Pressão

A caldeira em sua montagem original apresentava vazamentos nos encaixes das tampas, que eram feitos em um rebaixo de aproximadamente 1 mm de largura e 1,5 mm de profundidade, esta é a parte em que as bordas do corpo principal encaixavam. Neste tipo de conexão é difícil se obter uma boa vedação, devido à pequena área de contato entre os componentes. Como material de vedação, era utilizado apenas silicone para altas temperaturas, o que não garantia vedação.

Para sanar este problema, optou-se pela utilização de juntas de papel nas tampas. Para que isto fosse possível, os rebaiços tiveram de ser ajustados em largura e profundidade, sendo que agora passaram a ter 2,5mm de largura e 2mm de profundidade (Figura 4); Desta maneira a junta tem de ser moldada e cortada no tamanho exato para que encaixe perfeitamente dentro dos rebaiços. A junta utilizada tem espessura de 1,2mm, utilizada em oficinas mecânicas, possibilita vedações em diversos tipos de equipamentos, sendo resistente a água, óleo lubrificante e também a outros combustíveis. Estas folhas são comercializadas por metro quadrado, possibilitando a moldagem de acordo com a necessidade.



**Figura 4- Tampa após a abertura dos rebaixos.**

Para marcar o tamanho correto do recorte das juntas, foi afixada a folha da junta na tampa, e com o auxílio de uma marreta de borracha, foi batido em cima dos locais a serem cortados. Desta forma, a marcação ficou perfeita; o recorte foi feito de maneira manual utilizando-se um estilete.

Neste tipo de montagem com junta de papel, para melhorar a vedação é utilizada uma cola específica, conhecida como cola para juntas, ou junta líquida. Para a sua aplicação é necessário que as superfícies sejam uniformes e estejam perfeitamente limpas. Deve ser aplicada uma camada em ambas as partes a serem unidas, após a aplicação, é recomendável que se aguarde cerca 5 minutos antes da montagem, este tempo serve para que a cola, que é líquida, fique mais firme, permitindo a montagem sem que haja escorrimento.

A figura 5 mostra as superfícies já limpas, após a aplicação da cola para juntas dentro dos rebaixos; as juntas já cortadas no tamanho correto foram encaixadas no local (Figura 6); após esperar o tempo determinado para a formação da junta, devido à cola, foi encaixada a tampa no local; este procedimento foi repetido em ambos os lados.



**Figura 5- Aplicação da cola para juntas.**



**Figura 6- Aplicação da junta de papel.**

Antes da cura total da cola, os parafusos do tipo tirante foram colocados no lugar e apertados de modo cruzado. Este tipo de aperto foi feito para garantir que todas as superfícies se toquem de maneira uniforme. Após o aperto, foi deixada a caldeira em repouso para garantir a secagem total da cola.

### 4.3 SENSORES

Os sensores são partes fundamentais em sistemas de automação, pois são eles que permitem o interfaceamento da máquina com o ambiente, ou seja, os sensores fornecem informações ao CLP e supervisórios, a respeito de todo o processo produtivo, ambiente em que está instalado, condições climáticas, consumo de energia elétrica entre outros.

Juntamente com os comandos elétricos e eletrônicos, são os sensores os responsáveis por todo o funcionamento dos processos automatizados, já que são nas informações por eles transmitidas que os equipamentos se baseiam para as tomadas de decisões e acionamentos ao longo dos processos. Os valores lidos também podem ser utilizados para geração de gráficos e/ou relatórios instantâneos e históricos a respeito das variáveis envolvidas, para assim, auxiliar nas tomadas de decisões futuras.

Muitas vezes o sinal de saída dos sensores não tem as características elétricas para ser lido pelo sistema de controle, fazendo-se necessário realizar o tratamento do sinal em circuitos de interface, ou de conversão para o nível desejado.

Para a automação de uma caldeira os principais pontos a serem lidos por sensores são: nível de água interno da caldeira, temperatura interna e pressão interna.

#### 4.3.1 Sensores de Nível

Para o controle do nível de água interno da caldeira foram utilizados dois sensores do tipo boia, com acionamento magnético. Seu funcionamento é baseado em um *reed switch*, este componente atua com a presença de um campo magnético; nesta aplicação, o *reed switch* fica fixo na parte que é rosqueada na tampa da caldeira; na boia, que é a parte que se movimenta de acordo com o nível de água, fica fixo um pequeno imã, que faz o acionamento quando passa na frente do sensor.

Trata-se de um sensor de estado lógico, com contato normalmente aberto quando a boia está abaixada (Figura 7), que fecha quando a boia, ou o nível, atinge a altura especificada (Figura 8). Seu corpo é todo em aço inoxidável, o que permite seu uso em caixas d'água e vasos de pressão. A conexão é feita com rosca  $\frac{1}{2}$

polegada BSP, o que garante uma excelente vedação contra vazamentos em sistemas pressurizados.



**Figura 7 - Sensor de nível na posição baixa.**



**Figura 8 - Sensor de nível na posição alta.**

Para que fosse possível a instalação destes sensores, foi necessário fazer dois furos em uma das tampas da caldeira. Devido ao layout antigo e para a melhor organização e localização dos componentes, optou-se pela tampa em que já havia o visor de nível, porém mantendo-se o visor, apenas instalando os sensores na posição desejada. Desta maneira, os sensores não atrapalham a visualização no tubo de vidro, e nem o visor atrapalha a leitura dos sensores.

A conexão destes sensores é através de rosca  $\frac{1}{2}$  polegada BSP. Os furos foram feitos em furadeira de bancada, utilizando-se uma broca de aço rápido de 21mm; para a abertura da rosca, foi utilizado um macho padrão  $\frac{1}{2}$  polegada BSP; este tipo de rosca exige um cuidado especial na sua execução, por se tratar de uma rosca cônica, o que dificulta a sua realização, porém, tomados os devidos cuidados o acabamento ficou com resultado satisfatório (Figura 9).



**Figura 9- Tampa Com os Furos dos Sensores**

Para a montagem dos sensores no local (Figura 10), foi utilizada cola trava roscas para alto torque e peças desgastadas. Esta cola é do tipo anaeróbio e tem como finalidade a vedação e travamento dos componentes no seu devido lugar.



**Figura 10 – Sensores de Nível Montados na Tampa.**

#### 4.3.2 Sensor de Pressão

O sensor escolhido é do tipo analógico, com faixa de medição de 0 a 35 bar, podendo ser alimentado com tensões de 9 a 32 volts em corrente contínua e saída de sinal de 4-20mA; este tipo de sensor é muito utilizado em indústrias para medição de pressão em linhas de ar comprimido, água e vapor. Construído em aço inoxidável, pode ser utilizado em locais úmidos sem o risco de corrosão e garantindo uma excelente vida útil do mesmo.

Devido ao fato de o sensor possuir um grande valor de fundo de escala, 35bar, este trabalha no mínimo de sua capacidade, já que a pressão máxima de trabalho da caldeira foi definida em 2bar, o mesmo pode apresentar pequenas variações, e até mesmo oscilações na medição. Porém este fator não impede a utilização do mesmo neste projeto, pois estas variações não interferem no funcionamento do equipamento como um todo.

Um problema encontrado na utilização deste sensor foi o modo da saída de sinal, pois o CLP adquirido possui apenas entradas analógicas de 0 a 10V, enquanto o sensor envia sinais de corrente de 4-20mA. Para solucionar este problema, foi adquirido um transdutor de sinal, conhecido também como circuito de interface, este faz a conversão dos valores de saída do sensor, que são em corrente, para entrada do CLP, que é em tensão contínua de 0 a 10V.

No momento da aquisição do sensor, já era conhecido o seu modo de trabalho e da adaptação que seria necessária, porém, tornou-se mais viável a utilização do mesmo, pois um sensor com a mesma faixa de trabalho e com a saída de sinal já compatível com o CLP tem o seu custo aproximadamente duas vezes maior do que este que foi adquirido. Outro fator determinante foi a possibilidade de realizar ajustes finos na medição diretamente na placa de interface, este ajuste permite correções devido a perda de sinal na transferência.

O sensor de pressão foi instalado de tal modo que o ponto de leitura é o mesmo do manômetro, já que este deve obrigatoriamente permanecer ativo, como medida de segurança em caso de falha da automação. Para isto foi instalado um “T” junto à saída de pressão da caldeira, para que os dois possam utilizar do mesmo ponto para medição. Nas saídas do “T” foram colocados dois joelhos em aço galvanizado para fazer com que a saída fique na posição vertical. Em uma das saídas foi instalado o manômetro original, enquanto na outra, foi instalado o sensor de pressão (Figura 11).



**Figura 11- Sensor de Pressão Analógico**

### 4.3.3 Sensor de Temperatura

Para a medição da temperatura da caldeira foi necessária à instalação de um sensor. O sensor escolhido foi do tipo PT100, que é muito utilizado no setor industrial, conhecido também como RTD, é uma termoresistência de platina que oferece grande precisão e estabilidade, podendo trabalhar numa faixa de  $-200^{\circ}\text{C}$  a aproximadamente  $962^{\circ}\text{C}$ . Devido às suas características pode garantir uma excelente linearidade em toda a sua faixa de trabalho. Possui ainda uma longa vida útil, já que não sofre desgastes e pouquíssimo é afetado pelo envelhecimento. Seu princípio de funcionamento se dá por meio da variação da resistência elétrica em função da temperatura a que é submetido.

O modelo escolhido é do tipo rosqueável (Figura 12), possui rosca  $\frac{1}{2}$  polegada padrão BSP, com haste em aço inoxidável, que é a parte sensível do sensor, e ainda possui cabeçote em alumínio injetado, que serve para que se possa fazer a conexão com os cabos que levam o sinal até o instrumento de medição, neste caso o CLP.

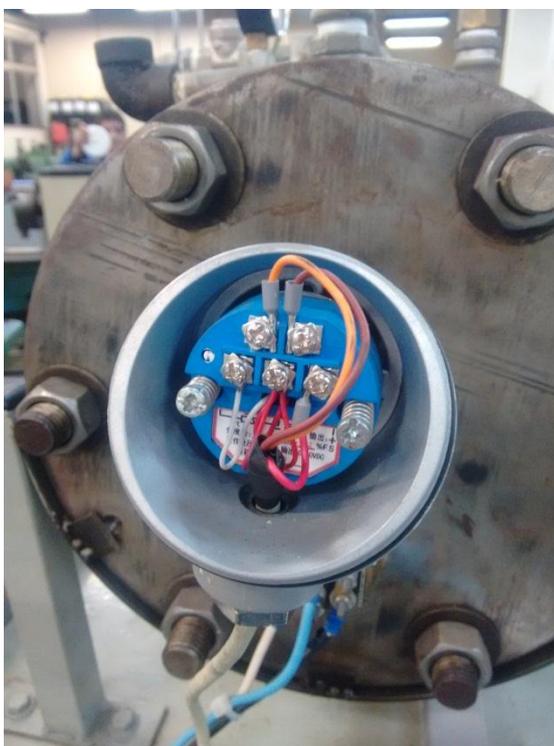


**Figura 12- Sensor de Temperatura Tipo PT100**

Para a instalação do sensor de temperatura não foram necessárias alterações no projeto, já que se pôde aproveitar o mesmo furo do antigo termômetro, que agora não vai mais ser utilizado, já que o controle da temperatura será feito completamente

pelo supervisor; então foi necessário apenas realizar a vedação com fita vedaroscas e posiciona-lo no lugar correto.

Para que o CLP consiga realizar a medição da temperatura por meio deste sensor, foi necessária a aquisição de um transdutor de temperatura específico para a aplicação (Figura 13); este transdutor faz a leitura e tratamento do sinal do sensor de acordo com a variação de sua resistência, ele converte o sinal em uma escala de 0 a 10V de acordo com a faixa de temperatura a ser medida. Este conversor é muito versátil, pois além de fornecer uma medição precisa, é de fácil instalação e ocupa pouco espaço, já que fica afixado dentro do cabeçote do sensor.



**Figura 13- Transdutor de Temperatura e de Sinal.**

#### 4.4 RESISTÊNCIA

Como não foram alterados os aspectos construtivos da caldeira, tais como potência e capacidade volumétrica, não se fez necessária a troca da resistência, que se trata de um modelo trifásico de 6000W, ligado em 220V; este modelo tem conexão com a caldeira por meio de rosca 1 ½ polegada BSP (Figura 14); este tipo de resistência é utilizado para os mais diversos fins, que podem ser: saunas, aquecedores de óleo, sistemas de filtragem de óleo, entre outros. A sua ligação

elétrica é a mesma de um motor, podendo ser ligada em 220V ou 380V (triângulo e estrela respectivamente). Na caldeira permaneceu a ligação em triângulo, já que a alimentação da mesma é feita em 220V.



**Figura 14- Sensor de Temperatura e Resistência já Instalados.**

Um detalhe muito importante e que merece grande cuidado é em relação a alimentação de água da caldeira, com risco de queima da resistência. Esta é projetada única e exclusivamente para trabalhar submersa, pois o fluído, neste caso a água, serve também para refrigerá-la, sendo que se porventura ocorrer de faltar água em sua superfície, ela virá a queimar rapidamente, devido ao grande aquecimento que nela ocorre.

#### 4.5 VISOR DE NÍVEL

O visor de nível foi mantido para garantir a segurança na operação caso a automação venha a falhar e ainda, para garantir que o operador tenha o controle preciso do nível da água. Este elemento tem como objetivo possibilitar a visualização externa e em tempo real no nível exato da água dentro da caldeira.

Sua conexão é feita por meio de roscas  $\frac{1}{2}$  polegada (Figura 15), padrão BSP e a vedação e posicionamento são feitos com fita veda roscas; o vidro do visor tem

parede de 4mm e é do tipo temperado, fica preso nas conexões por pressão e a vedação é feita por anéis o'ring. Deve-se tomar cuidado especial na sua montagem, por ser fácil a sua quebra em caso de choques mecânicos.



**Figura 15- Visor de nível.**

#### 4.6 VÁLVULAS

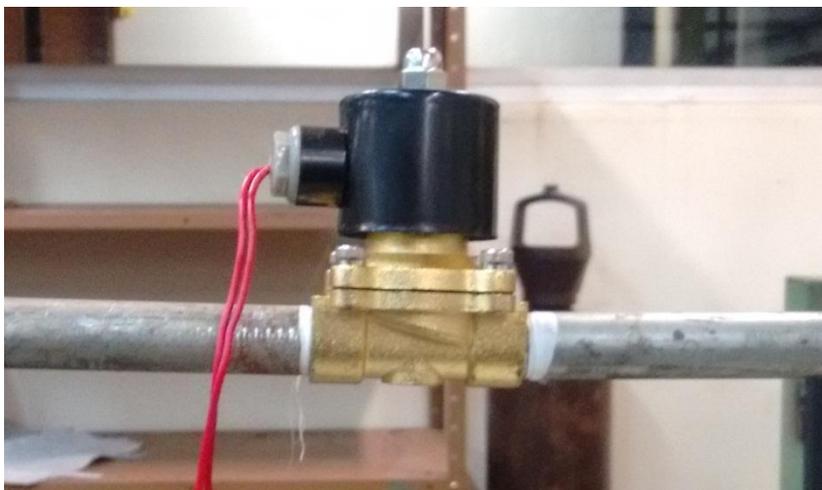
Por se tratar de um sistema completamente automatizado e supervisionado, um dos objetivos a serem alcançados é possibilidade de realizar o controle de todas as entradas e saídas de água e vapor remotamente, ou seja, sem que haja a necessidade de o operador abrir válvulas e registros manualmente.

Para que isso se cumpra, seria necessária a instalação de válvulas controladas eletricamente. Após serem feitos diversos levantamentos com fabricantes deste tipo de material, avaliou-se que a melhor indicação de válvula para esta finalidade seriam as válvulas com solenoide.

Este tipo de válvula é amplamente utilizado no meio industrial, podendo ter as mais diversas aplicações, pois permite um controle muito eficiente do fluxo dos mais diversos fluidos. São compostas por duas partes principais, que são a bobina solenoide e o corpo principal.

A válvula escolhida para o projeto em questão, conta com alimentação da sua bobina em 220V em corrente alternada, corpo principal em latão e as conexões são

com rosca ½ polegada BSP. Para esta finalidade, a melhor opção foi a válvula do tipo normalmente fechada (Figura 16), ou seja, ela só permite a passagem do fluido quando a sua bobina é energizada.



**Figura 16 – Válvula Solenóide**

Foram instaladas quatro válvulas solenóides, sendo para:

- Descarga de fundo: Esta poderá ser operada manualmente pelo supervisor, ou ainda pode ser programada para acionar com determinada frequência, a fim de eliminar quaisquer resíduos recorrentes do trabalho.
- Alimentação de água da caldeira: esta válvula somente é acionada quando a bomba de alimentação é ligada, evitando assim que a vapor retorne para a linha de água e/ou reservatório.
- Descarga de vapor: pode ser utilizada para demonstrações de funcionamento ou ainda como válvula de segurança, seu acionamento se faz manualmente pelo supervisor, ou pode ainda ser feito de maneira automática, se programado um valor determinado de pressão da caldeira para seu acionamento.
- Saída para linha da carga: esta pode ser acionada manualmente pelo supervisor ou ainda, de acordo com a programação, servirá para controle de pressão e temperatura internos da caldeira; quando esta válvula for acionada, automaticamente os ventiladores também serão, pois esta linha simula uma carga real para a caldeira.

Para a instalação das válvulas foram aproveitadas as tubulações e uniões pré-existentes no projeto, porém vários tubos tiveram de ser cortados e em suas extremidades as roscas tiveram de ser refeitas para que as conexões ficassem bem apertadas e sem vazamentos. Em todas as conexões das válvulas foi utilizada fita veda rosca. Enquanto nas uniões foi utilizado silicone para alta temperatura.

#### 4.7 BOMBA ALIMENTADORA

A bomba alimentadora tem como função injetar água na caldeira, de modo a manter o nível em seu interior, isto serve para que o equipamento trabalhe de maneira correta, e também, para que não falte água na resistência, pois esta pode queimar instantaneamente caso trabalhe seca.

O acionamento desta bomba é feito pelo supervisor, sendo que juntamente com ela, é acionada a válvula solenóide da alimentação, isto serve para que não haja risco do vapor pressurizado retornar para a linha de água fria e para o reservatório de água. Com esta mesma função, já havia sido instalada uma válvula de retenção do tipo portinhola; esta válvula só permite a passagem do vapor em uma direção, ou seja, somente entrando na caldeira e nunca retornando.

#### 4.8 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL

O Controlador Lógico Programável (CLP) escolhido para a execução do trabalho foi o modelo Easy 820 DC-RCX da marca Eaton (Figura 17). Esta empresa tem muitos anos de tradição no mercado e conta com produtos de excelente qualidade.



**Figura 17 – CLP Easy 820-DC-RCX**

Este modelo atende perfeitamente as necessidades deste projeto. O mesmo conta com 12 entradas digitais, das quais 4 podem ser configuradas como analógicas com padrão de medição de 0 V a 10V; 6 saídas digitais a relé, e conta ainda com 1 saída analógica com faixa de operação de 0V a 10V. Sua alimentação é feita em 24V em corrente contínua.

Responsável por fazer todo o gerenciamento e controle da caldeira, de maneira conjunta com o supervisor, faz a leitura das entradas analógicas e digitais, processa os dados e de acordo com a programação, efetua o acionamento ou não das saídas à relé.

#### 4.8.1 Entradas

As entradas foram programadas para que se torne possível a automação e interação do CLP com a caldeira; cada uma com uma função distinta:

- Sensor de nível alto: indica ao CLP quando a caldeira atinge 80% de sua capacidade volumétrica de água. Quando a água atinge este nível e o sensor atua, a bomba de alimentação e a válvula de alimentação são desligadas para que o nível não suba acima do estabelecido. Quando o sensor abaixa, ele indica ao CLP o momento em que a bomba alimentadora deve ser acionada, para garantir que o nível da água fique dentro dos padrões considerados normais de trabalho.

- Sensor de nível baixo: indica ao CLP quando a água atinge cerca de 30% de sua capacidade volumétrica. Neste ponto o CLP desliga a resistência de aquecimento e gera uma condição de anomalia para o supervisor; dependendo das condições de temperatura e pressão será acionado o alarme audiovisual, indicando uma situação de risco. Este controle é de vital importância para o bom funcionamento e segurança, pois se o nível ficar inferior ao da resistência, a mesma pode queimar, e se caso a caldeira estiver muito aquecida e faltar água, podem ocorrer graves danos estruturais a mesma, em casos extremos de temperatura pode ocorrer até explosões.
- Sensor de pressão: responsável pela medição da pressão interna da caldeira foi acoplado utilizando-se uma placa de tratamento de sinal, pois o sensor funciona como um transmissor de corrente, de 4 a 20mA, e o CLP apenas faz a leitura de sinais de 0 a 10V.
- Sensor de temperatura: responsável pela medição da temperatura interna da caldeira fornece ao CLP as informações em tempo real da temperatura, através dele é possível efetuar o controle preciso da produção de vapor da mesma.
- Botão de emergência: tem como função informar ao CLP que o operador ativou o modo de emergência, ou seja, verificou que há algo de errado, e que talvez comprometa o funcionamento e segurança da caldeira, algo que talvez possa ter passado despercebido ao CLP devido a alguma falha mecânica ou dos equipamentos de leitura e controle.

#### 4.8.2 Saídas

Cada saída do CLP foi programada para operar as cargas individualmente. Desta maneira tem-se um controle muito eficiente de todo o processo. A distribuição das saídas de acordo com as cargas ficou da seguinte maneira:

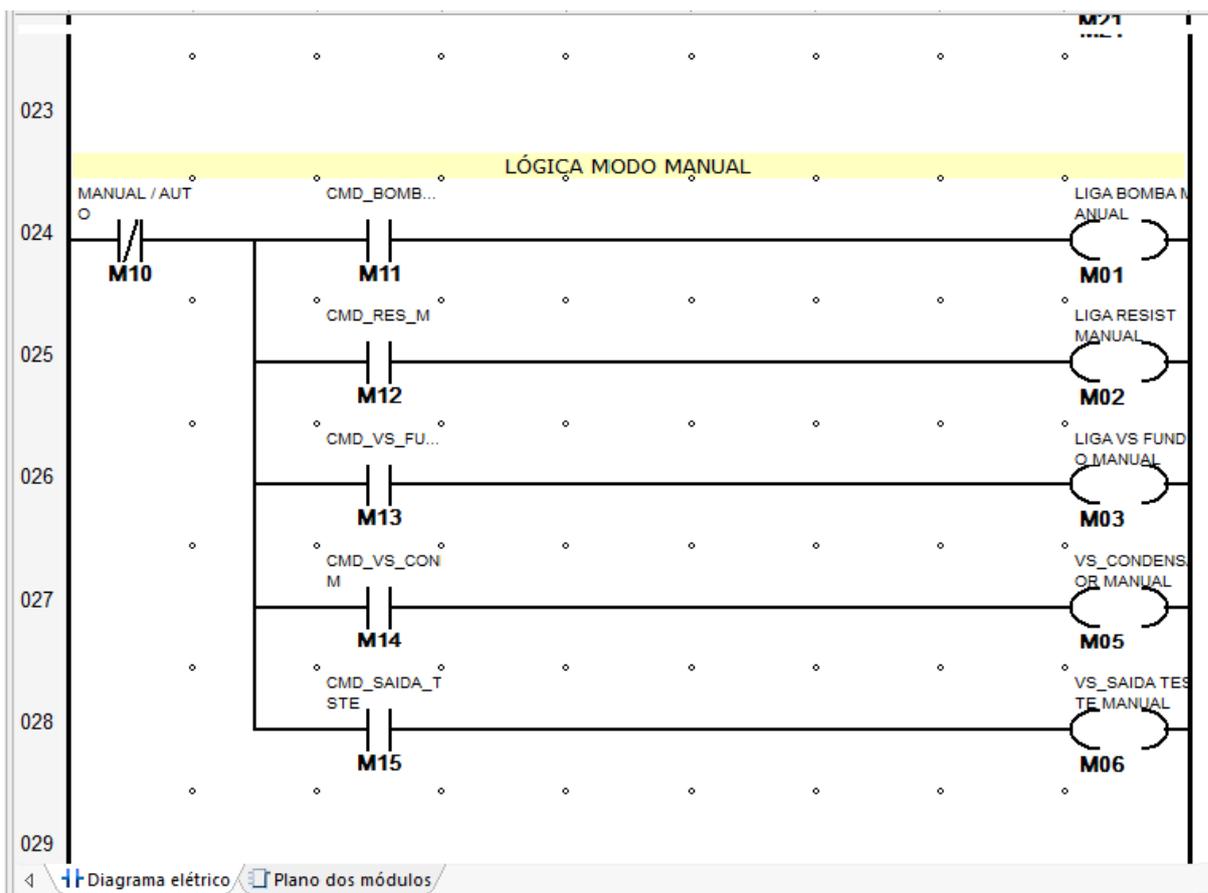
- Válvula de alimentação/bomba de alimentação: foi utilizada uma saída para fazer o acionamento destes dois itens em conjunto, pois os dois

devem sempre ser acionados ao mesmo tempo, do contrário, pode haver retorno de vapor ou excesso de pressão e danos a bomba.

- Válvula de descarga: por ser utilizada para fins demonstrativos e para auxílio no controle da pressão interna, deve ter seu acionamento individual a todas as outras cargas.
- Válvula de descarga de fundo: utilizada para esvaziar a caldeira ao fim do uso, e para realizar a limpeza da mesma, seu acionamento pode ser temporizado ou manual.
- Válvula de liberação para a linha de vapor/ventiladores: juntamente com a válvula, os ventiladores são acionados para realizar o resfriamento do trocador de calor, para que assim a água retorne mais fria ao reservatório.
- Resistência de aquecimento: fornece calor para a geração de vapor, seu acionamento deve ser feito de maneira cautelosa para não se danificar a própria resistência ou causar riscos à operação da caldeira.
- Alarme: foi reservada uma saída apenas para o sinalizador audiovisual, este tem por finalidade emitir luz e som de forma intermitente quando acionado; Será acionado em caso de falta de água, pressão ou temperaturas muito elevadas e caso o botão de emergência seja acionado.

#### 4.8.3 Programação do CLP

A lógica Ladder se divide em duas rotinas de execução: manual, e automático. Quando a lógica manual é selecionada, tem-se o controle total de operação em mãos, podendo-se atuar individualmente cada componente da caldeira, esta rotina é mais utilizada para testes e manutenção da máquina. A figura 18 mostra a parte principal da lógica manual.



**Figura 18 - Lógica Ladder Manual.**

O CLP, ao ser energizado, sempre irá iniciar em modo manual, para garantir que o operador tenha tomado as devidas medidas prévias à operação. Para alternar para a operação manual, o operador deve clicar no botão “AUTOMÁTICO/MANUAL” na tela de operação do supervisor. Na lógica foi usada a mesma memória para alterar o modo de operação, para entrar em modo automático, é necessário alterar o estado lógico do bit M10, que inicialmente estará em nível lógico 0, usando um contato normalmente fechado na lógica tem-se modo manual ao energizar o CLP.

A rotina de execução do CLP em modo automático é voltado a operação da caldeira. Neste modo o operador da máquina precisa apenas inserir o setpoint de pressão desejado. O CLP recebendo o valor de setpoint faz uma comparação com o valor medido pelo sensor de pressão e em cima do resultado desta comparação toma as decisões de ligar a resistência de aquecimento, ou repor a água caso o nível interno esteja baixo. A figura 19 mostra a lógica ladder referente ao modo automático.

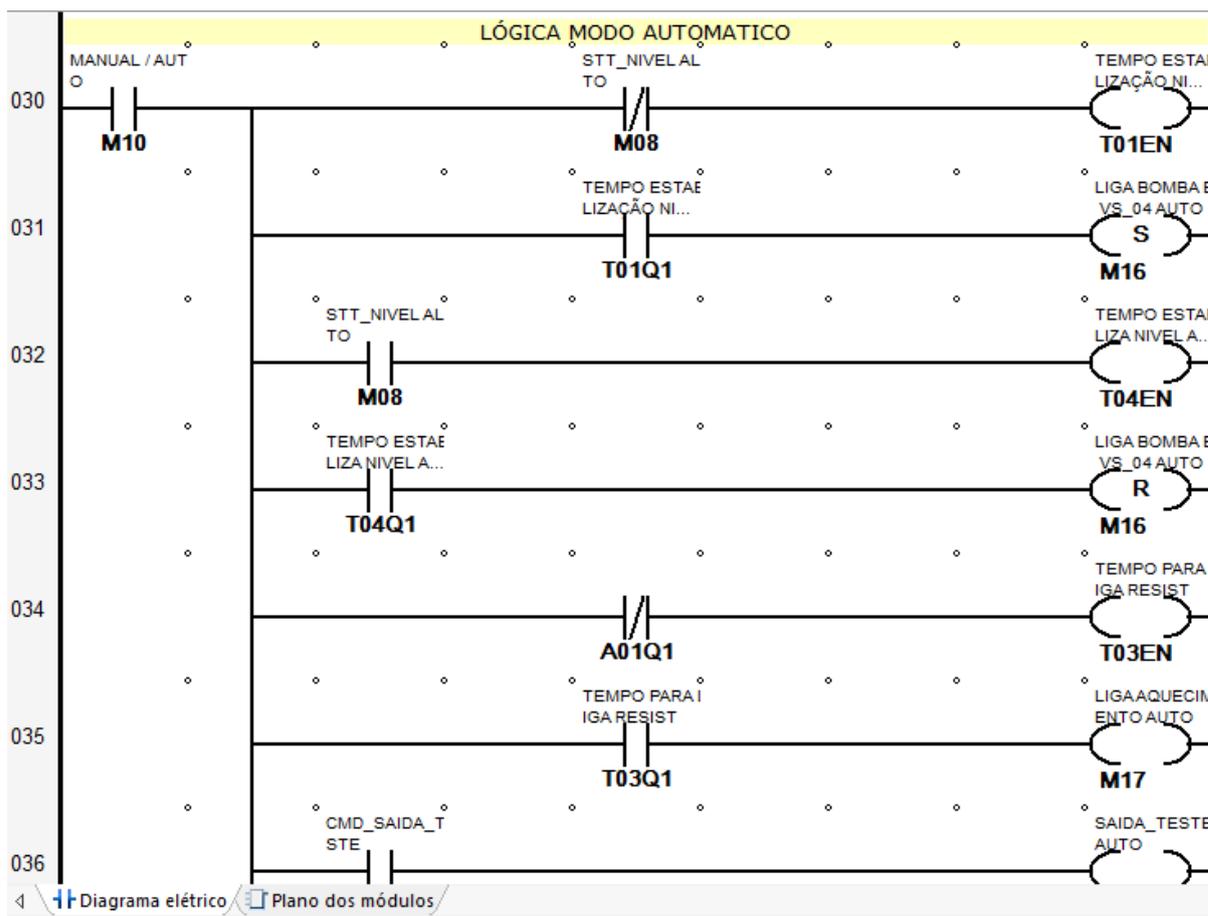


Figura 19 - Lógica Ladder Automático.

Para complementar a lógica no modo automático, foram utilizados blocos comparadores, temporizadores, e blocos de lógica aritmética, esses blocos por sua vez possuem propriedades configuráveis, foram utilizadas adição e multiplicação. A figura 20 mostra o plano dos módulos lógicos utilizados no desenvolvimento do programa.

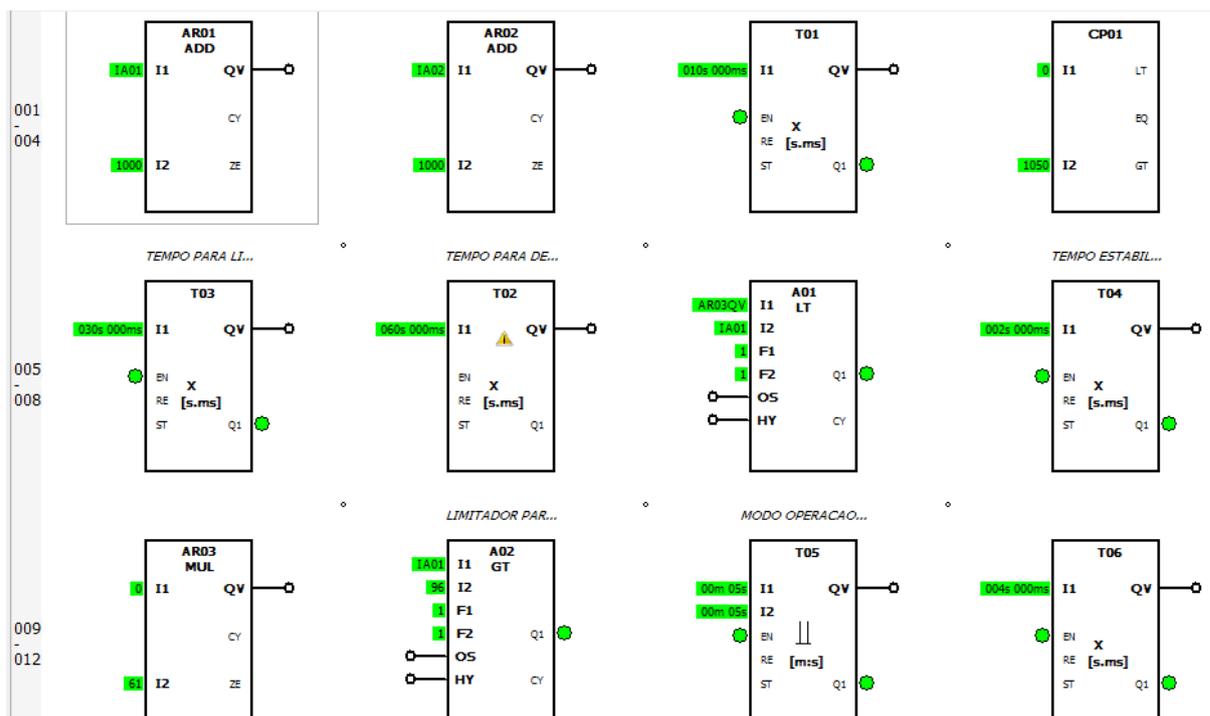


Figura 20 - Plano dos Módulos Lógicos.

A lógica no modo automático fará com que a caldeira busque o setpoint de pressão desejado, mantendo assim seu nível, e também, faça a descarga de fundo por um tempo programado.

Os modos de operação estão disponíveis na tela do supervisor apenas no modo automático. Os modos de operação 1, 2 e 3 apenas são executados se a pressão da caldeira estiver acima de 1,5 kgf/cm<sup>2</sup>, um comparador na lógica do CLP faz esse trabalho, impondo ao processo um limite para operar, mesmo que esteja selecionado no supervisor. A figura 21 mostra a tela em que são parametrizadas as propriedades do módulo comparador.

Na figura 22 pode-se observar como é feita a utilização deste módulo comparador na lógica do programa. Neste caso, ele está sendo utilizado como limitador de funcionamento para o módulo temporizador, então sua ligação é feita em série com o restante da lógica.

Os módulos temporizadores são utilizados para definir o tempo de abertura e fechamento das válvulas solenóides da descarga de fundo e da saída de vapor para a linha.

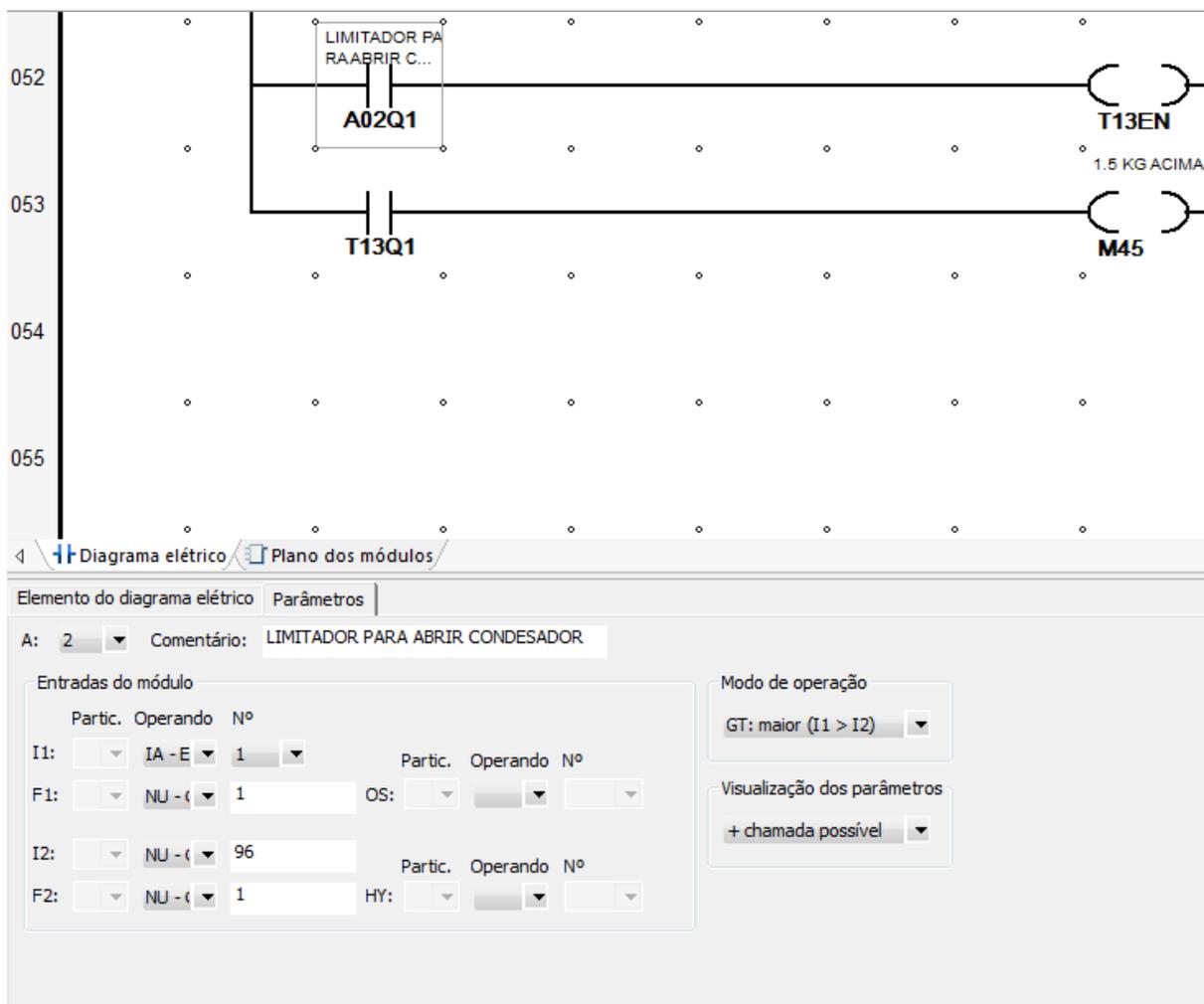


Figura 21 – Parametrização do Módulo Comparador

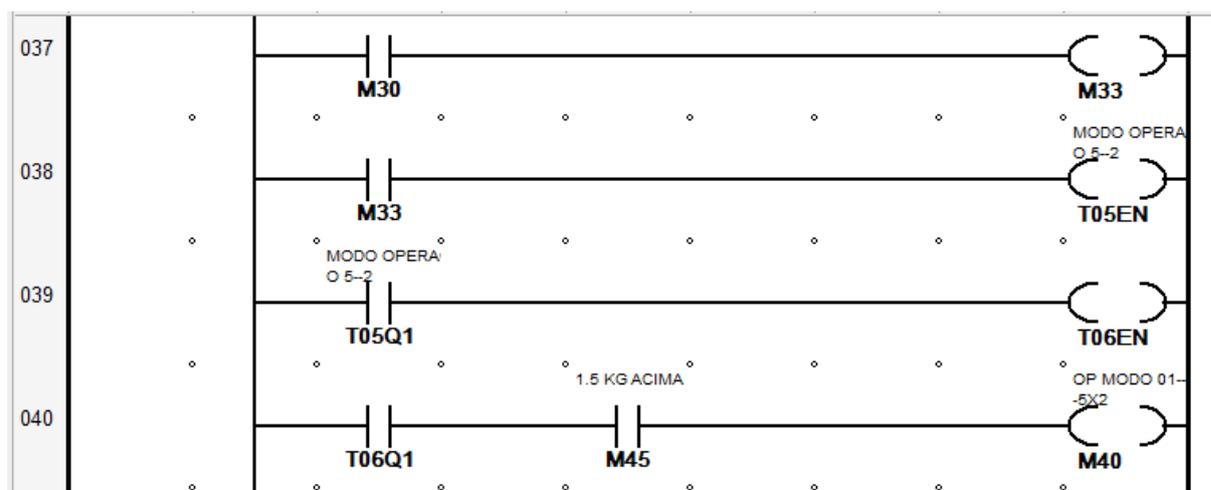


Figura 22 - Módulo Comparador na Lógica Ladder.

## 4.9 SUPERVISÓRIO

Para esta aplicação foi escolhido o software Elipse SCADA, por se tratar de um excelente recurso para a aquisição de dados e controle de tarefas, possui fácil programação e configuração; conta com uma interface gráfica clara, objetiva e intuitiva; possui recursos que permitem a fácil comunicação com diversos equipamentos de vários fabricantes, num ambiente industrial; além de permitir a supervisão e controle via web. Todas estas funcionalidades rodam em um programa compacto, que ocupa pouco espaço em disco não exige muita capacidade de memória e processamento por parte do microcomputador em que é instalado.

As telas de controle e supervisão são desenvolvidas no mesmo software, o que o torna muito versátil. Para que as dimensões das telas do programa fiquem bem adequadas e proporcionais, recomenda-se o desenvolvimento das mesmas diretamente na máquina em que vai ser utilizado futuramente.

## 4.10 MICROCOMPUTADOR

Graças a simplicidade do supervisório, o microcomputador em que será instalado não precisa de uma grande capacidade de hardware, ou seja, praticamente qualquer simples computador de mesa consegue roda-lo sem grandes dificuldades.

O computador que fará a exibição do supervisório foi cedido pela UTFPR-MD, este já é relativamente antigo, conta com um processador Pentium IV de 2.3GHz, e memória RAM de 2GB; conta com um Sistema Operacional Windows XP. Esta configuração é suficiente para o perfeito funcionamento do supervisório.

Para a exibição das telas, foi utilizado um monitor LCD de 15 polegadas, também cedido pela UTFPR-MD.

#### 4.11 RELAÇÃO DOS GASTOS

No quadro abaixo estão especificados os componentes que foram adquiridos para a montagem do equipamento, bem como a quantidade e o valor de cada um.

<b>Descrição</b>	<b>Qtd.</b>	<b>Valor</b>
CLP	1	R\$ 1.250,00
Válvula Solenoide	4	R\$ 400,00
Painel	1	R\$ 350,00
Sensor de nível	2	R\$ 80,00
Sensor de pressão	1	R\$ 110,00
Placa conversora	1	R\$ 70,00
Sensor de Temperatura	1	R\$ 100,00
Relés e contatoras	1	R\$ 300,00
Cabos e Disjuntores	1	R\$ 250,00
Junta de papel	1	R\$ 50,00
Conexões e adaptadores	1	R\$ 100,00
Diversos	1	R\$ 100,00
<b>TOTAL</b>	<b>R\$</b>	<b>3.160,00</b>

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após ser finalizada a etapa de adaptações, revisão e montagem da caldeira, iniciou-se a fase de testes da mesma, com a finalidade de certificar o funcionamento, tanto elétrico, eletrônico e mecânico de todos os componentes da mesma. Desta maneira foi possível garantir o funcionamento e a segurança do equipamento como um todo.

### 5.1 ACIONAMENTOS ELÉTRICOS

Por se tratar de um equipamento completamente automatizado, deve-se tomar um cuidado especial com a parte de força e de comando, sendo que qualquer avaria, por menor que seja, pode comprometer o funcionamento e a segurança do equipamento e das pessoas ao seu redor.

Após o painel elétrico ser montado, todas as conexões foram reapertadas e as ligações conferidas uma a uma. A primeira energização foi feita apenas na parte de comando, ou seja, todas as saídas para motor, resistência e válvulas estavam desligadas, desta maneira pôde-se constatar o perfeito funcionamento do painel e seus componentes.

Ainda sem conectar as saídas, foi testada a conexão do CLP com o supervisor, simulando-se as entradas analógicas do mesmo para verificar se o supervisor iria realizar a leitura correta das informações. Após constatar o funcionamento foram feitas as ligações das saídas, exceto a resistência, a fim de evitar a queima da mesma.

Como último teste elétrico, foi realizado o acionamento de todas as saídas por meio da tela de controle do supervisor, assim, atestando a perfeita comunicação com o CLP e o funcionamento de todas as saídas.

### 5.2 TESTES CONSTRUTIVOS

O primeiro teste construtivo, foi realizado para verificar a ocorrência de vazamentos nas conexões e uniões; para isto foi utilizada apenas a bomba de alimentação, pois a mesma fornece uma boa pressão de trabalho. Enchendo a caldeira com água fria a uma pressão de aproximadamente 2 bar, foi possível

visualizar alguns pontos de vazamento de água. Foram eles: os dois sensores de nível, resistência de aquecimento, válvula da bomba alimentadora e em todas as uniões.

Nos sensores de nível e na resistência, numa tentativa de estancar os vazamentos, foi aplicada mais fita veda-rosca e mais torque em seu aperto, porém isto não resolveu. Já que os sensores têm uma posição correta de trabalho, e para se aplicar mais torque, os mesmos iriam ficar fora de posição, então, como alternativa, foi aplicada cola trava roscas; esta cola é muito utilizada no meio industrial e automotivo, pois permite a perfeita vedação em conexões e parafusos, sem permitir que os mesmos se soltem devido ao calor ou vibração.

Na válvula alimentadora foi apenas aplicado mais fita veda rosca e reapertada.

Para acabar com os vazamentos nas uniões foi necessária a aplicação de silicone para alta temperatura, pois devido a ferrugem as mesmas já não estavam vedando de maneira eficiente; a ferrugem porém, não comprometeu a resistência das mesmas, podendo ainda ser utilizadas por muito tempo, desde que se tomem os devidos cuidados.

### 5.3 PROCEDIMENTO DE PARTIDA DO EQUIPAMENTO

#### 5.3.1 Medidas de Segurança

Por se tratar de um equipamento que trabalha constantemente conectado a rede elétrica, operando em altas pressões e temperaturas, devem ser tomados cuidados especiais, antes, durante e após a partida e parada do equipamento. Como medidas de segurança principais, podemos observar:

- Não tocar nos componentes elétricos e eletrônicos enquanto a caldeira estiver conectada a rede elétrica.
- Não permanecer próximo ao equipamento sem que haja real necessidade para isto.
- Manter distância das saídas de vapor.
- Não tocar nas partes metálicas da caldeira durante o funcionamento, estas operam com altas temperaturas, podendo causar graves queimaduras.

- Não alterar parâmetros e/ou efetua regulagens das válvulas solenóides, válvula de segurança e painéis elétricos.
- Nunca esvaziar completamente a caldeira enquanto a mesma ainda estiver quente. Esta ação pode afetar permanentemente a estrutura física da mesma, danificando inclusive os componentes eletrônicos.
- Ao termino da operação manter a caldeira cheia para diminuir a corrosão interna do vaso de pressão.

### 5.3.2 Medidas Iniciais

Como medida inicial para a operação da caldeira, deve-se escolher algum local com boa circulação de ar, evitando corredores e ambientes apertados, pois a inalação do vapor por certo período de tempo pode ser prejudicial à saúde. Esta medida também é aplicada devido a grande quantidade de calor gerada pelo equipamento durante e após o funcionamento. Este local deve ser dotado de uma tomada de energia elétrica trifásica, do tipo 3P+T, padrão NEMA, com trava, e com corrente mínima de 30A.

Antes de energizar o equipamento deve-se verificar o nível da água no reservatório, este deve ser igual ou superior a  $\frac{3}{4}$  de sua capacidade volumétrica total. Isto deve ser feito para garantir que não ocorra falta de água durante o funcionamento, já que isto poderia causar danos físicos à estrutura da caldeira e da bomba de alimentação.

Após alimentar o reservatório com água e energizar a caldeira, deve-se ter certeza de que todos os disjuntores do painel estejam na posição “LIGADO”.

Ligar o computador no qual está instalada a aplicação da automação

Executar o arquivo “CALDEIRA DIDÁTICA” que fica localizado na área de trabalho do computador; neste momento irá abrir a janela da aplicação em sua página inicial.



Figura 23 - Tela Inicial

Para iniciar a operação, deve-se clicar na opção “ENTRAR” (Figura 23). A janela irá alterar para a tela de operação do supervisor (Figura 24).

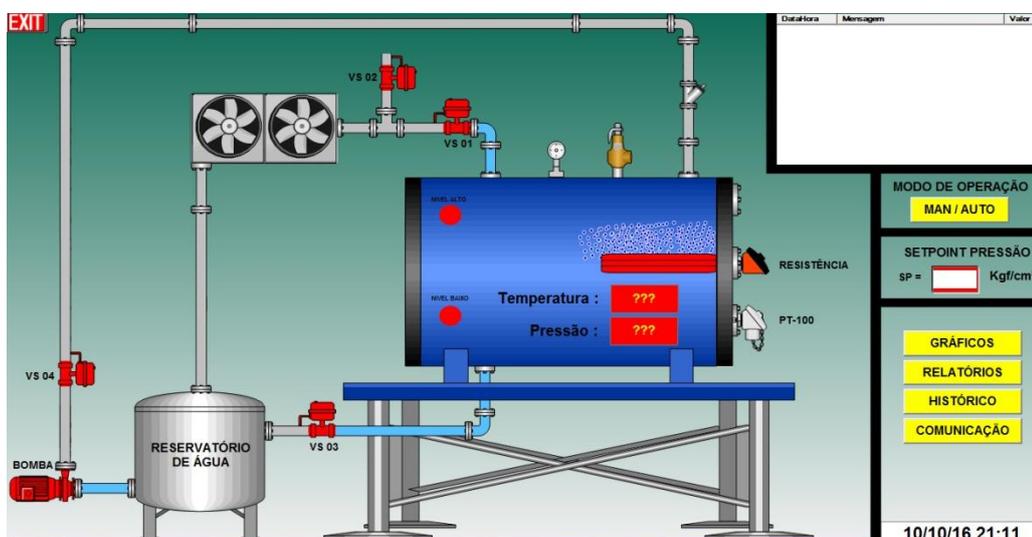


Figura 24 - Tela Operação

Nesta tela é necessário escolher se a operação será realizada de maneira manual ou automática. Para isto é necessário clicar sobre a opção “Modo de Operação”.

### 5.3.3 Modo Manual

Neste modo de operação os acionamentos são realizados individualmente de acordo com a atuação do operador. É necessário redobrar a atenção neste modo de operação, pois qualquer descuido por parte do operador pode resultar em danos, tanto para a estrutura física da caldeira, quanto para a segurança das pessoas que estiverem próximas do equipamento.

Para ligar ou desligar algum componente, basta clicar no seu desenho correspondente na tela de operação; ao clicar sobre o componente irá abrir uma segunda janela com as opções: “LIGA”, que é responsável por ligar o componente. “DESLIGA”, que tem por função desligar o componente. E “SAIR”, que fecha esta janela, voltando para a tela de operação. Ao clicar na opção “SAIR”, o estado em que ficou selecionado o acionamento é mantido.

A operação em modo Manual é indicada apenas para situações específicas, tais como demonstrações ou teste dos componentes e do comando. Não é recomendado seu uso em modo contínuo, pois os acionamentos ficam dependendo única e exclusivamente da ação do operador, que por sua vez é mais suscetível a falhas.

Durante a operação manual, as leituras dos sensores de pressão e temperatura continuam sendo indicadas na tela do supervisor, tendo ainda como opção de leitura o manômetro localizado na parte superior da caldeira, próximo ao sensor de pressão.

### 5.3.4 Modo Automático

Ao ser escolhida a operação em modo automático deve-se escolher a pressão em que a caldeira irá operar, este valor é chamado setpoint de pressão e é o valor que o sistema terá como referência para a operação da caldeira como um todo.

Para definir o setpoint de pressão é necessário um clique na caixa de texto do setpoint e, após isto, digita-se o valor desejado, utilizando apenas números e vírgula para casas decimais. O valor deve ser formado por apenas uma casa decimal.

No modo de operação automático há a possibilidade de escolher entre 3 opções de simulação de carga, sendo que estes somente são acionados quando a

pressão interna for superior a 1,5 bar. Esta opção permite alternar o modo de consumo do vapor:

- Operação 1: A cada intervalo de 5 segundos, é realizada a liberação de vapor para a linha do condensador durante um período de 1 segundo.
- Operação 2: A cada intervalo de 10 segundos, é realizada a liberação de vapor para a linha do condensador durante um período de 2 segundos.
- Operação 3: A cada intervalo de 15 segundos, é realizada a liberação de vapor para a linha do condensador durante um período de 3 segundos.

Para selecionar o modo de operação, basta clicar no botão referente na tela de operação. Estes botões apenas ficam visíveis quando a opção “AUTOMÁTICO” está ativada.

Quando nenhum modo de operação for selecionado, a caldeira irá trabalhar para manter a pressão o mais próximo possível da qual foi definida no setpoint.

Após ser definido o setpoint da pressão e o modo de simulação de carga, o sistema realiza uma varredura de todas as variáveis do processo, sendo estas: nível de água, pressão interna e temperatura; após realizar esta rápida verificação, automaticamente será feito o controle dos componentes de modo a se atingir, ou manter, a pressão o mais próximo possível da qual foi definida pelo operador.

Se durante a operação automática for acionada a operação manual, todos os comandos serão desligados, aguardando o acionamento por parte do operador.

#### 5.4 TESTES OPERACIONAIS

Foram realizados diversos testes de funcionamento da caldeira, sendo priorizados os que envolvem a segurança às pessoas e danos físicos ao equipamento.

Após o término da construção mecânica, todos os comandos tiveram de ser elaborados e testados individualmente, por meio do supervisor. Sendo constatado o perfeito funcionamento de todos os componentes e comandos elétricos e virtuais, começou a ser elaborada a lógica a ser seguida pela aplicação do supervisor para a criação da rotina de trabalho.

#### 5.4.1 Funcionamento Detalhado da Caldeira

A lógica principal segue a partir da leitura das variáveis disponíveis, que são: nível de água inferior, nível de água superior, temperatura e pressão, para assim realizar o acionamento dos atuadores, que são: alimentação de água, aquecimento, descarga de fundo, descarga de pressão e saída de vapor para a linha, que é constituída pelo trocador de calor juntamente com os ventiladores.

No início da operação o CLP realiza a leitura de todos os sensores, sendo necessárias algumas condições para a execução das tarefas.

Se a temperatura estiver abaixo de 80°C e o nível de água estiver baixo, é feito o acionamento da bomba de alimentação juntamente com a válvula da saída para a linha. Esta condição é necessária, pois se ao realizar a alimentação da caldeira fria não houver uma saída de ar, a pressão interna irá subir, podendo ultrapassar os 2,5 bar. Esta leitura será apenas da pressão de ar juntamente com água, desta maneira o sistema entende que não há a necessidade de se ligar o aquecimento, pois já foi atingida a pressão de trabalho.

Quando o nível superior de água é atingido, desliga-se a bomba de alimentação e libera-se o acionamento do aquecimento.

Se a pressão interna estiver abaixo da qual foi definida no setpoint, será acionado o aquecimento até que a pressão seja igual a do setpoint. Foi definido um delay de 15 segundos para o acionamento da resistência, pois pequenas oscilações na leitura da pressão poderiam fazer com que o acionamento fosse realizado muitas vezes em pequenos intervalos de tempo, causando picos de corrente e danificando componentes, tais como contadoras e a própria resistência. Ao ser atingida a pressão desejada desliga-se o aquecimento.

A cada 5 minutos, será realizada a abertura da válvula de descarga de fundo, durante 1 segundo. Este acionamento só é realizado se a pressão estiver igual ou superior à definida no setpoint e tem por finalidade, demonstrar o funcionamento de uma caldeira de uso industrial, na qual seria descartada a água e dejetos sólidos depositados no fundo da caldeira.

A válvula de descarga superior tem por finalidade auxiliar na segurança do equipamento, sendo que quando a pressão ultrapassa os 2,2bar, esta válvula atua até que a pressão atinja níveis seguros; tem por finalidade ainda a demonstração do vapor ao público, sendo que para isto, ela pode ser acionada no modo manual pela

tela do supervisor, ou ainda, por meio do botão que fica localizado na porta do painel elétrico. Neste caso o acionamento é feito via contato elétrico, eliminando-se qualquer dependência com o sistema.

Quando acionado o botão de emergência, este bloqueia todo o comando elétrico do painel, impedindo qualquer acionamento, tanto manual quanto por meio do supervisor. Nesta situação também é acionado um sinalizador audiovisual, este tem por finalidade emitir um alarme em forma de luz e som, a fim de sinalizar a falha ao operador.

Quando os sensores de nível da água estiverem detectando falta de água, seus símbolos na tela de operação ficam da cor vermelha. Quando o nível de água é atingido, os mesmos ficam na cor verde.

Quando acionada a resistência, é iniciada uma animação em forma de bolhas, e a mesma passa a ficar na cor verde na tela de operação.

Em caso de perda de comunicação do supervisor com o CLP, a operação é bloqueada e nos campos onde normalmente são mostrados os valores de pressão e temperatura serão mostrados sinais de interrogação, e os campos ficarão vermelhos (Figura 25).

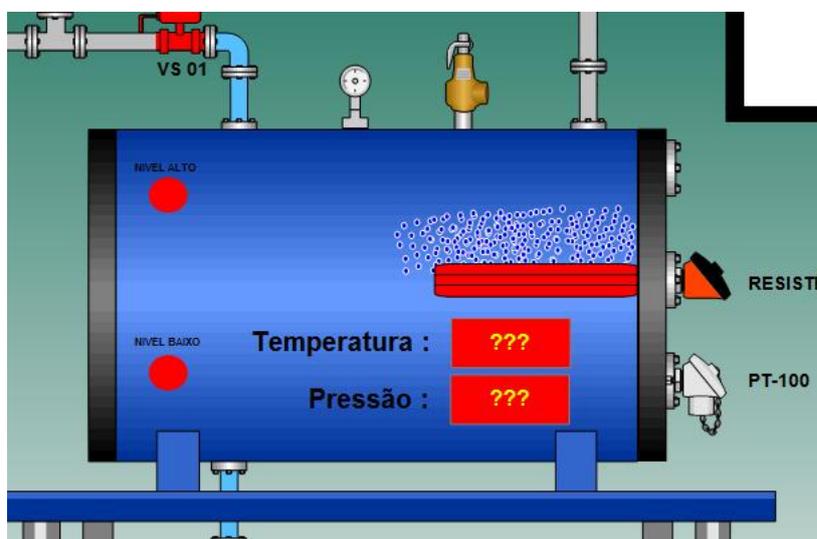


Figura 25 – Perda de Comunicação.

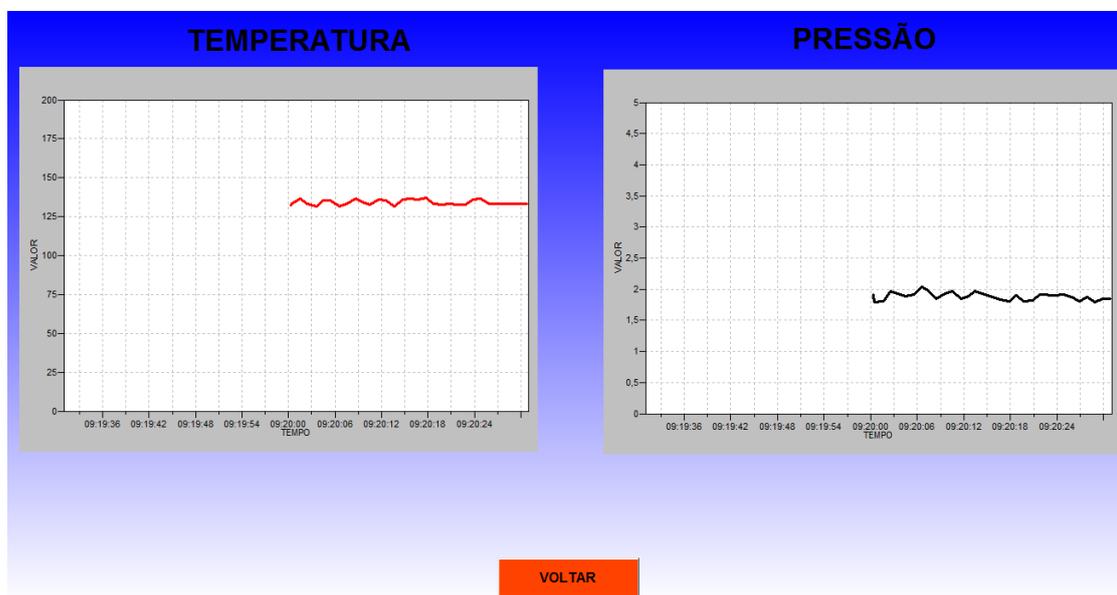
## 5.5 COLETA DE DADOS

A utilização do sistema supervisor torna possível a aquisição e armazenagem dos dados referentes operação da caldeira ao longo do tempo. Estas

informações ficam armazenadas em um banco de dados durante um período de 12 meses, podendo ser acessadas a qualquer momento para consulta do histórico da caldeira.

### 5.5.1 Gráficos

No supervisório há a possibilidade de acompanhar o funcionamento da caldeira através de gráficos em tempo real, que indicam com resolução de 5s as variações na temperatura e pressão da caldeira (Figura 26).



**Figura 26 - Gráfico Pressão e Temperatura**

Estes gráficos podem ser acompanhados instantaneamente, ou ainda, por meio de consulta ao banco de dados. Para se ter acesso aos gráficos deve-se clicar sobre o botão “GRÁFICOS” na tela de operação. Após, deve-se escolher o período de tempo em que se deseja realizar a consulta, definindo data inicial, hora inicial, data final e hora final. Ao clicar em “IMPRIME RELATÓRIO” será exibido o histórico do período selecionado em forma de gráficos de linha, contendo informação de data/hora da leitura registrada, temperatura registrada e pressão, sendo gerado um gráfico para a pressão e outro para a temperatura.



**RELATÓRIO DE OPERAÇÃO DA CALDEIRA  
DIDÁTICA DA UTFPR**



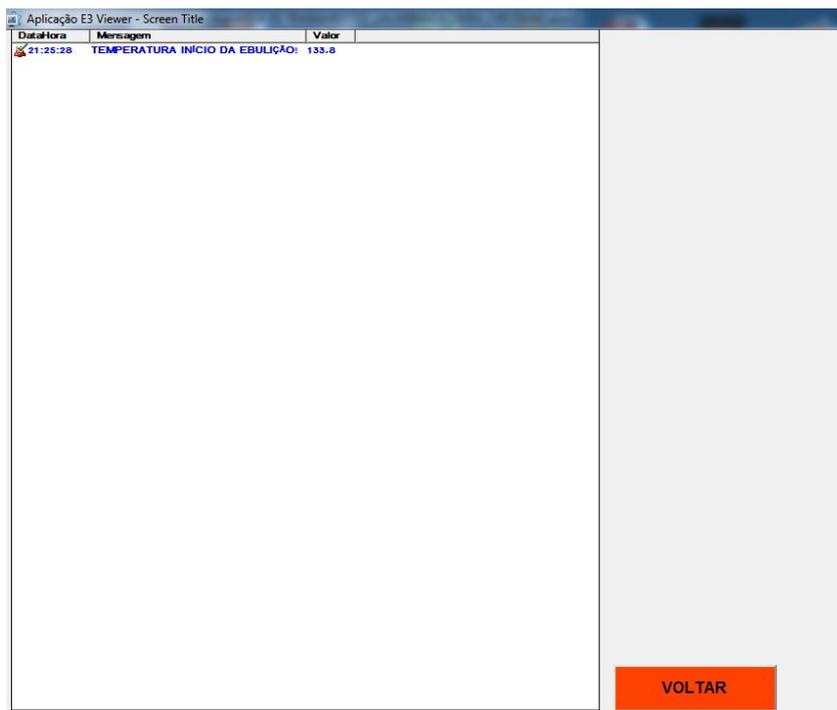
DATA/HORA	PRESSÃO	TEMPERATURA
10/10/2016 20:48	0,00	0,00
10/10/2016 20:48	0,00	0,00
10/10/2016 20:48	0,00	0,00
10/10/2016 20:48	0,92	105,75
10/10/2016 20:48	0,90	107,40
10/10/2016 20:48	0,93	106,80
10/10/2016 20:48	1,00	104,85
10/10/2016 20:49	0,95	105,45
10/10/2016 20:49	0,90	106,95
10/10/2016 20:49	1,00	105,00
10/10/2016 20:49	0,90	106,95
10/10/2016 20:49	1,02	106,80
10/10/2016 20:49	0,95	105,30
10/10/2016 20:49	0,98	106,50
10/10/2016 20:49	0,89	104,70
10/10/2016 20:49	0,92	106,05
10/10/2016 20:49	1,00	106,35
10/10/2016 20:49	0,93	104,25

**Figura 28 - Relatório Operação**

### 5.5.3 Alarmes

Cada evento ocorrido durante a operação da caldeira é indicado na tela de operação em forma de mensagem de texto, estas mensagens são mostradas em tempo real, podendo também ser consultadas futuramente, através do botão “HISTÓRICO” na tela de operação.

O histórico de eventos será exibido em forma de lista, contendo data, hora, mensagem de texto e valor da pressão medida no momento do registro (Figura 29).



Data/Hora	Mensagem	Valor
21:25:28	TEMPERATURA INICIO DA EBULIÇÃO:	133.8

**Figura 29 - Histórico Eventos**

## 5.6 ANÁLISE DOS DADOS

Com base nas informações obtidas através do banco de dados, é possível estabelecer alguns parâmetros de funcionamento da caldeira, tais como: tempo para aquecimento, tempo total entre o início da operação até atingir a pressão de trabalho, entre outros.

Estes dados podem variar de acordo com diversos fatores externos ao trabalho, tais como: temperatura ambiente, composição química da água, variação da tensão de alimentação da caldeira; e também devido a fatores internos, tais como: desgaste natural dos componentes e acúmulo de sujeira e resíduos sólidos nas válvulas, uniões, tubulação e corpo da caldeira.

No modo de operação “MANUAL”, o controle do equipamento depende exclusivamente do operador, tornando a operação menos eficiente e mais perigosa. Neste modo, é muito difícil estabelecer padrões de funcionamento, pois a leitura dos instrumentos de medição fica susceptível a erros de paralaxe, bem como os acionamentos não são realizados de maneira precisa.

O tempo de resposta do operador em relação ao supervisório é muito grande, sendo que qualquer distração, por menor que seja, pode acarretar em mau funcionamento, perdas de pressão, faltas de água, queda de temperatura, queima

da resistência e até mesmo, expondo o equipamento e as pessoas que estiverem próximas, a situações de risco.

Já no modo de operação “AUTOMÁTICO” o controle ocorre de maneira objetiva, sem interferência humana, os acionamentos são realizados de maneira extremamente rápida, logo após as leituras serem efetuadas pelos sensores. Neste modo, a caldeira demora aproximadamente 17 min para partir da temperatura ambiente, com pressão de 0bar, até a pressão de trabalho, que é de 2bar com temperatura de 131,55°C. Após atingir-se a pressão de trabalho, são realizados apenas acionamentos da resistência, para manter a pressão e temperatura, devido a perdas de calor ao ambiente. Estes acionamentos são realizados aproximadamente a cada 2 minutos, ficando acionada por um período de 5 segundos. Estas medições foram realizadas em temperatura ambiente de 30°C.

Através dos relatórios gerados é possível realizar uma comparação da pressão em relação a temperatura. Esta relação, em condições de trabalho consideradas ideais, segue um padrão, sendo que nestes casos poderia ser realizada apenas a medição de uma das unidades, pois a outra seria facilmente relacionada de acordo com valores tabelados. Estes valores podem ser observados na tabela 1.

Porém, nos ensaios realizados, pode-se observar uma pequena variação entre os valores tabelados e os valores medidos. Esta diferença deve-se, principalmente, ao fundo de escala do sensor de pressão utilizado, que é de 35bar. Este fato tornou as medições da pressão abaixo de 1bar muito imprecisas, pois o recomendado para este tipo de sensor é que a pressão de trabalho seja de aproximadamente 50% do valor de fundo de escala. Os valores de temperatura, porém, podem ser considerados, já que o sensor utilizado fornece grande precisão em toda a sua faixa de operação, sendo possível assim, estimar o valor da pressão.

Quando a caldeira está com baixa pressão, o valor medido fica oscilando em aproximadamente 0,02bar, porém este fato não prejudica o funcionamento do equipamento, apenas diminui a precisão nas leituras da pressão durante o início do aquecimento. Os valores medidos podem ser observados na tabela 1.

Valores Tabelados		Valores Medidos	
Pressão	Temperatura	Pressão	Temperatura
0	99,97	0	-
0,4	109,57	0,4	-
0,6	113,54	0,6	-
1	120,42	1	103,95
1,4	126,25	1,4	119,85
1,6	128,88	1,6	124,65
2	133,67	2	131,55

**Tabela 1 – Relação PressãoXTemperatura.**

Na figura 30 podemos verificar nos quadros em destaque, o momento em que foram registradas as leituras dos valores de pressão e temperatura. Também é possível observar as oscilações na medição da pressão, em contrapartida verifica-se também a linearidade na medição da temperatura.

17/10/2016 18:13	1,11	103,20
17/10/2016 18:13	1,07	103,95
17/10/2016 18:13	1,10	104,85
17/10/2016 18:16	1,41	118,65
17/10/2016 18:16	1,43	119,85
17/10/2016 18:16	1,51	119,40
17/10/2016 18:17	1,52	124,50
17/10/2016 18:17	1,61	124,65
17/10/2016 18:17	1,66	124,95
17/10/2016 18:18	1,98	131,40
17/10/2016 18:18	2,00	131,55
17/10/2016 18:19	1,89	131,85

**Figura 30 - Relatório Aquecimento.**

Como citado anteriormente, os valores de pressão medidos com o equipamento em baixa temperatura, abaixo de 120°C, não são precisos, por isso deve ser considerada apenas a temperatura. Porém quando a pressão se eleva, a precisão das leituras sobe significativamente, tornando muito segura a sua utilização, e diminuindo a diferença entre os valores medidos e os valores tabelados.

Estes resultados foram muito satisfatórios, pois tratando-se de um equipamento didático, e que trabalha com pressões relativamente baixas, a precisão é excelente.

Trabalhando-se no modo “AUTOMÁTICO” e com a opção “OPERAÇÃO 1” selecionada, o sistema consegue efetuar as descargas programadas, mantendo um ciclo, dentro de um período de 2 minutos sem que a pressão fique inferior a 1,5bar, após isto, as descargas são canceladas até que a pressão suba novamente, reiniciando-se o ciclo de trabalho. Esta pausa dura por aproximadamente 45 segundos, após isto é retomado o ciclo normalmente.

Selecionando-se a opção “OPERAÇÃO 2” o sistema consegue funcionar de maneira semelhante ao item anterior, porém, como o tempo de recuperação de temperatura é maior, este ciclo pode ser mantido por mais tempo, aproximadamente 3 minutos, sem que a operação seja cancelada devido à baixa pressão. A pausa para aquecimento neste modo é de aproximadamente 45 segundos.

No modo “OPERAÇÃO 3” é possível manter a pressão por um tempo de aproximadamente 45 segundos, já que o tempo de descarga é muito grande, em comparação a capacidade volumétrica da caldeira, deste modo, a maior parte do vapor contido no reservatório é liberado para a linha. A pausa para aquecimento é de aproximadamente 30 segundos.

Estes valores sofrem grande variação quando a descarga de fundo é acionada. Sendo os testes realizados com a mesma desativada.

## 6 CONCLUSÃO

A execução deste projeto foi satisfatória, pois pode-se analisar e demonstrar de maneira prática e teórica o funcionamento e a utilização dos mais diversos materiais elétricos, hidráulicos, eletrônicos e mecânicos, materiais estes, que são largamente utilizados, inclusive, no meio industrial. Este fato é de grande importância para todas as partes envolvidas.

Apesar do investimento, e da grande dificuldade em manusear alguns componentes e equipamentos, o processo como um todo foi muito gratificante, pois permitiu demonstrar, de maneira real, o funcionamento de uma caldeira automatizada, possibilitando o aprendizado constante e a melhoria das aulas práticas que poderão ser realizadas com o auxílio da caldeira didática.

Com os testes práticos realizados, pode-se verificar a robustez e segurança do sistema como um todo, já que durante todo o período de testes, nenhum dos componentes elétricos, eletrônicos, mecânicos e do próprio sistema apresentaram falhas, garantindo uma excelente confiabilidade do equipamento.

Através dos resultados obtidos, todos os objetivos foram alcançados de maneira muito satisfatória, garantindo o funcionamento da caldeira de maneira simples, com operação intuitiva e com todos os controles realizados de maneira automática.

## 7 REFERÊNCIAS

TROVATI, Joubert. Tratamento de Água Para Geração de Vapor: Caldeiras. Disponível em: <[http://www.snatural.com.br/PDF\\_arquivos/Torre-Caldeira-Tratamento-Agua-Caldeira.pdf](http://www.snatural.com.br/PDF_arquivos/Torre-Caldeira-Tratamento-Agua-Caldeira.pdf)>. Acesso em 18/05/2016.

ELEKTRO. Manuais Elektro de Eficiência Energética. Disponível em: <[http://www.elektro.com.br/Media/Default/DocGalleries/Eficientiza%C3%A7%C3%A3o%20Energ%C3%A9tica/GERACAO\\_DE\\_VAPOR\\_E\\_CALOR.pdf](http://www.elektro.com.br/Media/Default/DocGalleries/Eficientiza%C3%A7%C3%A3o%20Energ%C3%A9tica/GERACAO_DE_VAPOR_E_CALOR.pdf)>. Acesso em 18/05/2016.

GOEKING, Werusca. Da máquina a Vapor aos Softwares de Automação. Disponível em: <<http://www.osetoreletrico.com.br/web/a-revista/343-xxxx.html>>. Acesso em: 22/05/16.

SILVEIRA, Cristiano Bertulucci. Sete Benefícios Conquistados Através Da Automação Industrial. Disponível em: <<http://www.citisystems.com.br/sete-beneficios-automacao-industrial/>>. Acesso em: 22/05/16.

VENTURELLI, Márcio. Gerenciamento de alarmes: Aumento da Segurança nas Operações de Plantas Produtivas Automatizadas. Disponível em: <<http://www.automacaoindustrial.info/gerenciamento-de-alarmes-aumento-da-seguranca-nas-operacoes-de-plantas-produtivas-automatizadas/>>. Acesso em 29/10/16.

MOTT, Anderson. O Que São Sistemas Supervisórios. Disponível em: <<http://www.automacaoindustrial.info/o-que-sao-sistemas-supervisorios/>>. Acesso em 29/10/16.

ISA. Introdução a Automação de Caldeiras Utilizando Instrumentos Inteligentes e Redes de Comunicação. Disponível em: <<http://www.isa-es.org.br/cursos/24/>>. Acesso em 18/05/2016.

ETEC. Controle e Automação Industrial II. Disponível em: <[http://www.trajanocamargo.com.br/wp-content/uploads/2012/05/Controle\\_e\\_-Automacao\\_Industrial\\_II.pdf](http://www.trajanocamargo.com.br/wp-content/uploads/2012/05/Controle_e_-Automacao_Industrial_II.pdf)>. Acesso em: 29/10/16.

UCLA, Memorial Descritivo Caldeira Back Up UCLA. Disponível em: <[https://www.superbid.net/home/sales\\_information/27301/gallery/10377\\_01.pdf](https://www.superbid.net/home/sales_information/27301/gallery/10377_01.pdf)>. Acesso em 29/10/16.

ROCHA, Jordão da Silva. O que é o CLP. Disponível em:<<http://saladaautomacao.com.br/clp/>>. Acesso em 23/05/16.

IME. Controladores Lógicos Programáveis. Disponível em: <[http://aquarius.ime.eb.br/~aecc/Automacao/Controladores\\_Logicos\\_Programaveis.pdf](http://aquarius.ime.eb.br/~aecc/Automacao/Controladores_Logicos_Programaveis.pdf)>. Acesso em 31/10/16.

FREITAS, Carlos Márcio. Protocolo Modbus: Fundamentos e Aplicações. Disponível em: < <http://www.embarcados.com.br/protocolo-modbus/>>. Acesso em 31/10/2016.

SENAI. Programação em Linguagem Ladder. Disponível em: < [https://daniellnunes1.files.wordpress.com/2012/11/u2\\_linguagemladder1.pdf](https://daniellnunes1.files.wordpress.com/2012/11/u2_linguagemladder1.pdf)>. Acesso em 31/10/16.

SILVEIRA, Cristiano Bertulucci. Saiba tudo sobre CLP. Disponível em: < <http://www.citisystems.com.br/clp/>>. Acesso em 31/10/16.

CARNEIRO, Sebastião Alves. Intouch. Disponível em:< <https://pt.scribd.com/doc/27817833/Apostila-de-Sistema-Supervisorio-Intouch>>. Acesso em 23/05/16.

JEFFERSON, Válvula Solenoide. Disponível em:< <http://www.jefferson.ind.br/produto/valvula-solenoide.html>>. Acesso em 26/05/16.