

N. CLASS. M 627. 794  
CUTTER M 321 P  
ANO/EDIÇÃO 2015

**CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS UNIS**  
**ENGENHARIA MECÂNICA**  
**MAGNO DA SILVA MARCOLINO**

**PLANEJAMENTO E CONTROLE DE MANUTENÇÃO: caldeira ATA**

**Varginha**  
**2015**

**MAGNO DA SILVA MARCOLINO**

**PLANEJAMENTO E CONTROLE DE MANUTENÇÃO: caldeira ATA**

Projeto de Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
a disciplina de TCC sob supervisão do prof. Esp. Rullyan  
Marques Vieira.

**Varginha  
2015**

**MAGNO DA SILVA MARCOLINO**

**RELATÓRIO DE ESTÁGIO: Empresa Proluminas Lubrificantes LTDA**

Trabalho apresentado ao curso de Engenharia de  
Produção do Centro Universitário do Sul de Minas,  
UNIS-MG como pré-requisito para obtenção do grau de  
bacharel.

Aprovado em //

---

Prof.

---

Prof.

---

Prof.

OBS.:

Dedico este trabalho primeiramente a Deus que me guiou até aqui e aos meus pais que sem eles este sonho não seria realidade.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus por me atribuir este dom divino que é a vida, possibilitando entregar este trabalho hoje concluindo um sonho. Agradeço aos meus pais que tanto me apoiaram no começo até o fim. Agradeço aos professores pelo seus ensinamentos. E aos meus colegas de turma por todos estes anos de convivência. E hoje é um começo de uma grande história, muito obrigado!

“Há uma força motriz mais poderosa que o vapor, a eletricidade e a energia atômica: a vontade”

Albert Einstein

**Grupo Educacional UNIS**

## RESUMO

Sabe-se que o sucesso de uma empresa está atrelado a interação dentre todas as suas esferas de forma a interagir em benefício do objetivo organizacional. E para assegurar a competitividade no mercado às empresas atuais dispõem de dois princípios fundamentais - O planejamento e o controle. Estas se tornaram utensílios primordiais para todos os setores de uma organização, em especial no aprimoramento da manufatura. Toda empresa idealiza que seja realizado menos manutenções corretivas e por conseguinte, mais manutenções preventiva e preditivas, melhorando assim a eficiência do equipamento e sua disponibilidade de forma geral. O presente estudo tem o objetivo de apresentar um planejamento de ações preventivas para a Caldeira ATA para diminuir os índices de manutenções corretivas. O presente estudo possui uma abordagem exploratória, descritiva e explicativa. Constitui-se na análise qualitativa de dados de uma empresa de rerefino de óleo referente a manutenção e a partir dos resultados elaborar um plano de manutenção preventiva empregando as ferramentas de manutenção. Um bom planejamento reduz custos, mão de obra, necessidade de estoque e além disto traz benefícios aumentando a disponibilidade do equipamento e a produção. O grande desafio é deixar a prática de somente manutenções corretivas e aumentar o índice de preventiva, além disto, conclui-se que o emprego de manutenção preventiva o tempo gasto de mão de obra é sempre inferior, pois, o manutentor sempre terá em sua mão as ferramentas necessárias e o espaço ideal para que se realize o serviço, otimizando o tempo e o custo do processo.

**Palavras-chave:** Manutenção; Caldeiras; Planejamento

## **ABSTRACT**

*You know that the success of a company is related to the interaction among all its spheres in order to interact in favor of the organizational goal. And to assist and ensure competitiveness in an active market to contemporary companies have two basic tools - Planning and control. These have become primary tools for all sectors of an organization, particularly in the improvement of manufacturing. Every business that is conducted under idealized corrective maintenance and, therefore, the more predictive and preventive maintenance, thereby improving the efficiency of the equipment and its general availability. This study aims to present a plan of preventive actions for ATA boiler to reduce the levels of corrective maintenance. This study has an exploratory approach, descriptive and explanatory. It constitutes the qualitative data analysis of a company rerefino oil relating to maintenance and from the results develop a preventive maintenance plan using the maintenance tools. Good planning reduces costs, labor, need for inventory and furthermore beneficial increasing the availability of equipment and production. The big challenge is to make the practice of only corrective maintenance and increase preventive index, moreover, it is concluded that the use of preventive maintenance the labor time spent is always lower because the manutentor always have in your hand the tools and the ideal place to be held the service, optimizing the time and cost of the process.*

**Key words:** *Maintenance; Boilers; Planning*

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	Caldeira de Haycock-1720 .....	28
Figura 2	Caldeira Vagão – James Watt 176.....	28
Figura 3	Caldeiras Tubos de Água 1803.....	29
Figura 4	Caldeiras de Tubo Reto, Babcock e Wilcox 1877.....	29
Figura 5	Caldeiras de Tubo Curvado Stirling 1880 .....	30
Figura 6	Flamotubulares .....	33
Figura 7	Caldeiras Aquatubulares .....	38
Figura 8	Caldeira ATA.....	46
Figura 9	Caldeira ATA.....	46
Figura 10	Painel Caldeira ATA.....	47
Figura 11	Painel Caldeira ATA .....	50
Figura 12	Manutenção 2014-2015.....	52
Figura 13	Horas Gastas Manutenção Corretiva .....	53
Figura 14	Horas Gastas de Manutenção Preventiva.....	54
Figura 15	Horas Gastas de Manutenção Preditiva .....	54
Figura 16	Média de Manutenções .....	55
Figura 17	Manutenção Críticas .....	56

## LISTAS DE TABELAS

Tabela 1	Evolução da Manutenção.....	13
Tabela 2	Balanço Geral da Manutenção.....	57
Tabela 3	Balanço Geral da Manutenção.....	57
Tabela 4	Problemas Detectados na Caldeira.....	58
Tabela 5	Planejamento de Manutenção Caldeira ATA.....	59
Tabela 6	Resultados após três meses de manutenção.....	61

## LISTAS DE SIGLAS E ABREVIATURAS

MTBF	Mean time between failures- Tempo máximo entre a próxima falha.....	59
MHZ	Mega Hertz.....	25
AC	Antes de Cristo.....	28
Kgf/cm <sup>2</sup>	Quilograma força por centímetro ao quadrado.....	35
T/h	Tempo por hora.....	36
Fe	Ferro.....	43
Al	Alumínio.....	43
Ca	Calcio.....	43
Na	Sódio.....	43
Psig	Libras por polegada ao quadrado.....	48
KPa	Quilopascal.....	48
BPF	Óleo combustível derivado do petróleo.....	48
PMTA	Pressão máxima de trabalho permitida.....	49
Kcal/h	Quilocaloria por hora.....	49
NR-13	Norma Regulamentória.....	50
O <sup>2</sup>	Oxigênio.....	41
CO <sup>2</sup>	Dióxido de Carbono.....	41
ATM	Atmosfera.....	41
TPM	Manutenção Produtiva Total.....	13

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>10</b>
<b>2 MANUTENÇÃO.....</b>	<b>10</b>
<b>2.1 Gerações da Manutenção.....</b>	<b>11</b>
2.1.1 Primeira Geração.....	11
2.1.2 Segunda Geração.....	12
2.1.3 Terceira Geração.....	12
2.1.4 Quarta Geração.....	12
<b>2.2 Manutenção Corretiva .....</b>	<b>14</b>
2.2.1 Vantagens e Desvantagens .....	15
<b>2.3 Manutenção preventiva .....</b>	<b>16</b>
2.3.1 Tipos de Manutenção Preventiva.....	17
2.3.1.1 Preventiva por ocasião.....	17
2.3.1.2 Preventiva baseada na condução.....	18
2.3.1.3 Preventiva sistemática.....	18
2.3.2 Vantagens e Desvantagens.....	19
<b>2.4 Custos.....</b>	<b>21</b>
<b>2.5 Manutenção Preditiva.....</b>	<b>22</b>
2.5.1 Histórico.....	22
2.5.2 Definição.....	22
2.5.3 Vantagens e Desvantagens.....	22
2.5.4 Tipos de manutenção preditiva.....	23
2.5.4.1 Termografia.....	24
2.5.4.2 Ferrografia.....	24
2.5.4.3 Líquido Penetrante.....	24
2.5.4.4 Ensaio Ultra-sônico.....	25
<b>2.6 Engenharia de Manutenção.....</b>	<b>25</b>
<b>3 Práticas de Manutenção.....</b>	<b>26</b>
<b>4 Custos da Manutenção.....</b>	<b>26</b>
<b>4.1 Custos diretos.....</b>	<b>26</b>
<b>4.2 Custos indiretos.....</b>	<b>27</b>
<b>5 Caldeiras.....</b>	<b>27</b>
<b>5.1 Histórico.....</b>	<b>27</b>
<b>5.2 Tipos de Caldeira.....</b>	<b>30</b>
5.2.1 Caldeira Flamotubulares.....	30
5.2.1.1 Componentes.....	33
5.2.1.2 Vantagens e Desvantagens.....	34
5.2.2 Caldeira Aquatubulares.....	34
5.2.2.1 Componentes.....	36
5.2.3 Caldeiras Mistas.....	39
5.2.4 Caldeiras de Recuperação de Calor.....	39
<b>6 Causas de Deterioração de Caldeiras.....</b>	<b>39</b>
<b>6.1 Superaquecimento.....</b>	<b>40</b>
6.1.1 Deposição nas paredes dos tubos.....	40
6.1.2 Incidência de Chama.....	49
6.1.3 Circulação Deficiente de Água.....	40

6.1.4 Deteriorização do Refratário.....	40
6.1.4.1 Corrosão.....	40
6.1.4.2 Deteriorização Mecânica.....	41
6.1.4.3 Superaquecimento.....	41
6.1.4.3.1 Seleção Inadequada do Aço.....	41
6.1.4.3.2 Uso de aço com defeito.....	42
6.1.4.3.3 Prolongamento excessivo dos tubos.....	42
6.1.4.3.4 Queimador mal posicionado .....	42
6.1.4.3.5 Incrustações.....	42
6.1.4.3.6 Operação em marcha forçada.....	43
6.1.4.3.7 Falta de água nas regiões de transmissão de calor.....	43
6.1.4.3.8 Choque térmico.....	43
6.1.4.3.9 Defeito de Mandrilagem.....	44
6.1.4.3.10 Falhas em Juntas Soldadas.....	44
<b>7 PROJETO CALDEIRA .....</b>	<b>44</b>
<b>8 CALDEIRA ATA COMBUSTÃO TÉCNICA.....</b>	<b>45</b>
<b>8.1 Rotina de Manutenção.....</b>	<b>50</b>
<b>9 RESULTADO E DISCUSSÃO.....</b>	<b>52</b>
<b>10 CONCLUSÃO .....</b>	<b>62</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>63</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Atualmente, a manutenção é considerada um fator estratégico no ambiente industrial, sendo um fator crucial para a garantia da produtividade, operacionalidade e disponibilidade do equipamento. Isto demonstra que os resultados serão tanto melhores e relevantes quanto mais eficaz for a gestão da manutenção.

A realidade do planejamento e controle de manutenção demonstra que as organizações devem procurar as melhorias contínuas na sua gestão da manutenção, buscando-se incessantemente dos conhecimento inovadores e aplicação das melhores práticas de manutenção já praticadas nas organizações dos países de primeiro mundo.

Caldeiras é um recipiente metálico cuja a função é a produção de vapor através do aquecimento de água. São empregados em diversos processos industriais, na alimentação de máquinas térmicas, autoclaves, cozimento de alimentos pelo vapor, calefação ambiental, entre outras.

Assim, a busca da dinâmica ideal para aplicação das manutenções corretiva, preventiva, preditiva e detectiva para caldeira, pois, qualquer problema que elas apresentarem não significa apenas uma parada para manutenção, mas uma paralisação na produção e grande risco à segurança.

Este presente estudo tem o objetivo de apresentar a dinâmica da manutenção e os tipos; descrever sobre caldeiras; apontar as demandas de manutenção em uma caldeira modelo ATA, aplicar as ferramentas de manutenção com objetivo de otimizar o desenvolvimento da caldeira.

Será realizado através de revisão bibliográfica de artigos científicos nos portais Scielo e Lilacs e livros de destaque dos autores referentes à manutenção, após a revisão bibliográfica será feito uma análise crítica referente à manutenção da Caldeira ATA, pois este modelo requer um número maior de manutenções em um período curto, sendo assim, gargalo do setor.

Acredita-se que um plano de manutenção empregando as ferramentas de qualidade otimiza-se a quantidade de manutenções requerida pelo equipamento.

## 2 MANUTENÇÃO

O conceito predominante de que a missão da manutenção é de restabelecer as condições originais dos equipamentos/ sistema é passado à algumas empresas mas, ainda, realidade para outras ( KARDEC 2009).

Ao longo do tempo resultaram diversos paradigmas a respeito do objetivo da manutenção, e portanto pode-se evidenciar a evolução da manutenção com a análise destes conceitos, como: Paradigma do Passado “ O(A) profissional de manutenção sente-se bem quando executa um bom reparo”. A análise crítica observa-se que a ocorrência do reparo era inevitável e o que espera-se é que seja realizado uma boa manutenção ( reparo) no equipamento para que não ocorra maiores falhas interferindo diretamente na produção. O paradigma moderno já mostra o conceito atualizado e o que se espera do serviços de manutenção atualmente, como: O (A) profissional de manutenção sente-se bem quando ele consegue evitar todas as falhas não previstas. Percebe-se que o principal objetivo é de evitar a ocorrência de falhas nos equipamentos, e, isto só é possível através da manutenção, que agora, não exerce somente a função de concertar as falhas, mas de planejar e prestar continuamente manutenções que mantém a boa funcionalidade do equipamento, podendo garantir assim, a não interrupção na produção das empresas. Sendo assim, a manutenção é um conjunto de cuidados técnicos indispensáveis ao funcionamento regular e permanente de máquinas, equipamentos, ferramentas e instalações. Esses cuidados envolvem a duração, a conformação, a reparação, a alteração e a prevenção (SENAI 2000).

## 2.1 Gerações da Manutenção

A partir de 1930, a evolução da Manutenção pode ser dividida em quatro gerações

### 2.1.1 A primeira geração

A primeira geração abrange o período antes da segunda guerra mundial, quando a indústria era pouco modernizada, os equipamentos eram simples e, na sua grande maioria, superdimensionados ( KARDEC 2009).

Aliado a tudo isto, devido o cenário econômico da época, a questão da produtividade não era prioritária. Consequentemente, não era necessária uma manutenção programada. A relação dos problemas ocorridos era que “todos os equipamentos se desgastavam com o passar dos anos, vindo a sofrer falhas ou quebras ( KARDEC 2009).

Assim, a manutenção que se predominava era ideal para o cenário industrial de época onde existia as manufaturas, após a revolução industrial de 1958, o setor industrial passa por diversas mudanças surgindo as indústrias, destaca-se a segunda geração da manutenção (KARDEC 2009).

### 2.1.2 . Segunda Geração

Essa geração ocorre entre os anos 50 e 70 do século passado, portanto após a Segunda Guerra Mundial. Neste período, houve forte procura da mecanização, bem como a complexidade das instalações industriais ( KARDEC 2009).

O modo produtivo passou por mudanças, porque, antes encontrava-se pequenas manufaturas e procedendo-se a industrias com processos mecanizados e sistematizados, começa a necessidade de disponibilidade, maior confiabilidade, tudo isso na busca da maior produtividade; a indústria estava dependente do funcionamento das máquinas. Isto levou à ideia de que todas as falhas dos equipamentos poderiam e deveriam ser sanadas, o que resultou no conceito de manutenção preventiva ( KARDEC 2009).

### 2.1.3 Terceira Geração

O aumento da automação e da mecanização passou a apontar que confiabilidade e disponibilidade se tornaram pontos-chave em diversos setores de serviços. A parada da produção, que conseqüentemente diminuiu a capacidade de produção, aumentou os custos e afetou a qualidade dos produtos, tornando-se uma preocupação generalizada ( KARDEC 2009).

Maior automação também significa que falhas cada vez mais frequente afetam nossa capacidade de manter padrões do serviço quanto à qualidade do produto ( KARDEC 2009).

Nesta fase, reforçaram-se o conceito e a utilização da manutenção preditiva. O avanços da informática permitiu a utilização de computadores pessoais velozes e desenvolvedores de *softwares* potentes para o planejamento, controle e acompanhamento dos serviços de manutenção ( KARDEC 2009).

### 2.1.4 Quarta Geração

Algumas perspectivas com à Manutenção da Terceira Geração continuam a existir na Quarta Geração. A disponibilidade é uma das medidas de performance mais importantes da manutenção, senão a mais importante. A confiabilidade dos equipamentos é um fator constante busca da Manutenção ( KARDEC 2009). Acompanhe a evolução das gerações segundo o quadro 1.

Tabela 1- Evolução da Manutenção (SENAI 2000)

PERÍODOS	ATÉ DÉCADA DE 1950	DÉCADA DE 1950	DÉCADA DE 1960	DÉCADA DE 1980
Estágio Conceitos	Manutenção corretiva	Manutenção preventiva	Manutenção do sistema de produção	Manutenção produtiva total (TPM)
Reparo corretivo	x	x	x	x
Gestão mecânica da manutenção		x	x	x
Manutenções preventivas		x	x	x
Visão sistemática			x	x
Manutenção corretiva com incorporação de melhorias			x	x
Prevenção de manutenção			x	x
Manutenção preditiva				x
Abordagem participativa				x
Manutenção autônoma				x

Adaptado: SENAI 2000.

Pinto (1994 p. 75) define a função de Manutenção como “um conjunto integrado de atividades que se desenvolve em todo tempo útil de um equipamento e objetiva manter ou repor a sua funcionalidade nas melhores condições de propriedade, custo e aptidão, com total segurança”, as principais finalidades da Manutenção são:

- a-Redução de Custos
- b-Evitar paradas e perdas de produção
- c-Diminuir os tempos de paradas
- d-Melhorar a qualidade da produção
- e-Aumentar o tempo de vida útil dos equipamentos

O surgimento de um setor dedicado a atividade de reparar os equipamentos produtivos aconteceu após a implantação do sistema produtivo em série ou implantação das linhas de produção instituídas por Henry Ford.

Os custos previstos da manutenção são apenas a ponta de um iceberg. Essa ponta visível corresponde aos custos com mão-de-obra, ferramentas e instrumentos, material aplicado nos reparos, custo com subcontratação e outros referentes à instalação ocupada pela equipe de manutenção. Abaixo dessa parte visível do iceberg, estão os maiores custos, invisíveis, que são os decorrentes da indisponibilidade do equipamento. (VARGAS,2013)

O custo da indisponibilidade está naqueles vindos da perda de produção, da falta de qualidade dos produtos, com consequências sobre a imagem da empresa (VARGAS, 2013).

A maneira pela qual é feita a intervenção nos equipamentos, sistemas ou instalações caracteriza os vários tipos de manutenção existentes ( KARDEC 2009).

## **2.2 Manutenção corretiva**

Segundo Gil Branco Filho 2000 p35 “ Manutenção Corretiva é todo trabalho de manutenção realizado em máquinas que estejam em falha”.

O objetivo da manutenção corretiva é reparar, restaurar, corrigir ou re-estabelecer a capacidade produtiva de um determinado equipamento que esteja em falha em que tenha reduzido sua capacidade de executar as funções para as quais foi projetada.

É um técnica de manutenção, reativa, pois é aplicada sempre após a ocorrência de uma falha em algum equipamento ou dispositivo. É a primeira atitude tomada pela equipe de manutenção quando uma máquina qualquer para e compromete o desempenho produtivo. O custo da manutenção corretiva é o mais alto devido aos vários processos administrativos que estão relacionados indiretamente com esta técnica. Para manter uma fábrica apenas através do conceito de “ corrigir uma determinada falha somente depois que ela aparecer” gera as seguintes demandas: manter uma grande quantidade de peça sobressalente em estoque (custo alto de estoque), grande número de hora extra ( ocorrência de falhas fora do horário de trabalho da equipe), elevado tempo de máquina parada ( redução da produtividade), redução da disponibilidade do equipamento para a produção, redução de vida útil da máquina e ou instalações. Além desses custos citados, pode acontecer uma parada inesperada num momento importuno de crise ou de alta demanda produtiva, o que poderia colocar a empresa numa situação difícil diante de seus clientes e ou funcionários (BRANCO FILHO, 2008).

Por não dispor de nenhum programa que previna as ocorrências de manutenções corretivas inesperadas o departamento de manutenção deve ser capaz de atender a todas as ocorrências de forma rápida, quase imediata, para que o equipamento volte realizar suas funções o quanto antes. Para que isto aconteça a empresa deve investir muito em equipamento reserva,

ou pelo menos, em todos os componentes críticos dos equipamentos. Isto implica em investimento em recurso financeiro em equipamentos que não estão produzindo, e que em muitos casos, permaneceram guardados distante durante um longo tempo, tal fato não é o ideal, pois equipamento significa perda, independente do motivo, seja por falha ou por ser reserva. Para manter a estoque sempre capaz de atender a demanda de peça sobressalente, a empresa precisa investir também no setor responsável pelas compras e abastecimentos deste estoque, uma das alternativas utilizadas para reduzir o custo de estoque é o desenvolvimento de fornecedores exclusivos, capazes de atender a empresa em qualquer quantidade e a qualquer momento, sempre em menor tempo possível.

Na prática, as empresas buscam continuamente reduzir o número de manutenção corretiva, pois este tipo de manutenção indica que está havendo redução da vida útil de seus equipamentos. Indo mais a fundo, pode-se dizer que os recursos estão sendo aplicados de forma não planejada de modo que a manutenção não está em seu ponto máximo de eficiência (BRANCO FILHO, 2008).

### 2.2.1 Vantagens e desvantagens

Atualmente, comparado a manutenção corretiva com os outros métodos atuais de manutenção implantados nas empresas que mais investem no desenvolvimento das atividades do setor, pode-se dizer que não há vantagem, porém, em empresas menores existe em conceito, muito usual em empresas de grande porte também, que é o de manutenção corretiva programada.

A vantagem deste método está no fato de não gastar recursos na aplicação de um método de manutenção mais especializado ou técnico em equipamento que, nos casos de parada inesperada, não comprometem a produção, pois o equipamento não influencia na velocidade do processo. Além disto, os custos com manutenção corretiva destes equipamentos não impactam significativamente nos custos gerais de produção.

Podemos citar também, como sendo uma vantagem, o fato de que para a manutenção corretiva a presença de um técnico especializado para o acompanhamento de desempenho dos equipamentos se faz necessário, isto é, não precisa estabelecer métodos de inspeção dos equipamentos produtivos, tão pouco há a necessidade de ter um responsável por esta atividade de monitoramento do comportamento das máquinas instaladas (VARGAS 2013).

As desvantagens deste método de gerenciamento da manutenção já foram descritas ao longo deste relatório, no entanto, vamos tratar com um pouco mais de detalhe, pois, é baseado

nestas informações que os responsáveis por este gerenciamento tornam as decisões de até que ponto a Manutenção precisa evoluir para atender da melhor maneira a produção da empresa onde trabalha. É comparando um método com o outro que a gerencia ou diretoria identifica qual seria o tipo de manutenção mais adequado a sua empresa e, ela sempre foca nas desvantagens para justificar suas escolhas, assim, como os custos são sempre os pontos que falam mais alto.

E uma das formas de reduzir o risco de parar o processo por motivo de falha de um equipamento crítico são as instalações de equipamentos redundantes capazes de entrar em funcionamento e suprir as necessidades da produção no momento em que ocorrer algum tipo de falha. Isto impacta no custo direto com instalações e indiretamente com os custos de estoque, pois isto aumenta o número de peças de reposição. (VARGAS, 2013)

Segundo Vargas 2013 p 103 “Avaliando as vantagens e desvantagens deste método de manutenção, chegamos à conclusão de que haverá sempre o espaço para a aplicação de tal método, porém, com devidos cuidados e com critérios rigorosos para a definição dos equipamentos que estarão sujeitos a ficar sem acompanhamento de modo que não comprometa a confiabilidade dos equipamentos produtivos.”

### **2.3 Manutenção preventiva**

A manutenção preventiva teve início por volta da década de 30, durante a segunda guerra mundial, com a necessidade de não apenas corrigir os defeitos que as máquinas apresentavam, era preciso prevenir estas falhas para que a produção de equipamentos e suprimentos militares fosse as mais altas possíveis (VARGAS, 2013).

Estas atividades era orientadas por instruções de manutenção que normalmente eram criadas a partir de experiências vividas pelos mantenedores e/ou recomendações dos fabricantes. Este tipo de manutenção é definido como preventivo periódico ou preventivo sistemático (VARGAS, 2013).

Este desenvolvimento trouxe também, a facilidade para a identificação do melhor momento de parada do equipamento e a execução dos reparos, ajustes e substituições de componentes dos equipamentos produtivos. Possibilitou a criação de diversas novas ferramentas e métodos de zelar pelo equipamento. E os objetivos da manutenção tem sido atingidos com maior eficácia utilizando estas ferramentas de manutenção preventiva. (VARGAS, 2013).

Segundo Gil Branco Filho 2008 p35, manutenção preventiva é “ Todo trabalho de manutenção realizado em máquinas que estejam em condições operacionais ainda que com algum defeito”. Podendo ser dividida em manutenção preventiva baseada na condição, sistemática ou por ocasião.

Considerando tal definição descrita acima, podemos dizer que a manutenção preventiva é um conceito, uma série de procedimentos, atividades, ações ou métodos que podem ou não serem seguidas com o intuito de eliminar ou minimizar a possibilidade de falhas, reduzindo o número de manutenções corretivas nos equipamentos produtivas. É a introdução da qualidade nos serviços da manutenção, é o aprimoramento dos métodos de intervenção de manutenção. (BRANCO FILHO 2008)

### 2.3.1 Tipos de manutenção preventiva

Dentro do conceito de manutenção preventiva podemos observar três tipos de métodos de intervenção no equipamento antecedendo uma parada inesperada do equipamento produtivo. A seguir informações mais detalhadas sobre cada um destes métodos.

#### 2.3.1.1 Preventiva por ocasião

É um dos métodos bastante utilizado pela empresa por ser uma forma de facilitar o planejamento das manutenções que serão executadas, considerando a dificuldade da negociação da parada da máquina vital que ainda produz sem nenhuma falha aparente, o que significaria perda de produção, e por ser executada no momento mais oportuno para o processo devido a parada de toda planta produtiva ou de apenas uma parte dela por algum motivo qualquer (VARGAS, 2013).

Consiste basicamente em aproveitar a parada de uma determinada etapa do processo para executar a revisão preventiva de equipamentos instalados nesta seção, podendo ser manutenções já programadas para estas datas de parada ou para revisões antecipadas, isto é, para os casos em que a preventiva agendada para algum dias após o período de parada do processo é executada antecipadamente, para que quando o processo volte a operar, ela possa trabalhar um ciclo completo entre os períodos de preventiva e, também para garantir que a produção se mantenha em condições normais de operação durante este novo intervalo entre preventivas (VARGAS, 2013).

### 2.3.1.2 Preventiva baseada na condição ou estado

É a revisão que ocorre quando é observada a variação nos parâmetros de funcionamento do equipamento. Comumente executada a manutenção preventiva bem próxima da ocorrência da falha, num momento mais adequado, levando em consideração outros requisitos que podem ser financeiros ou operacionais (VARGAS, 2013).

Ocorre a partir da orientação do próprio operador da máquina, por ele estar constantemente em contato com o equipamento acaba um conhecimento valioso sobre o comportamento da máquina, assim, o “sentimento” do operador ajuda na identificação e da necessidade de reparos preventivas em seu equipamento. Pode-se também, ser uma orientação do setor de análise e acompanhamento do processo, analisando os dados coletados do processo, pode identificar variações nos parâmetros que identifica uma falha em potencial (VARGAS, 2013).

### 2.3.1.3 Preventiva sistemática

É a manutenção preventiva que ocorre nas máquinas em condições de operação de maneira sistemática, isto é, revisões que ocorrem repetidamente ou rotineiramente baseadas num intervalo de funcionamento, seja ele intervalo de dias, horas, ciclos ou quilômetros rodados. É o método mais disseminado de preventiva, por se tratar de programas baseados num intervalo pré-estabelecidos após análise das orientações do fabricante, histórico de falhas ou parâmetros de funcionamento, fato que dá maior credibilidade e confiabilidade ao setor de manutenção. Pois os programas são criados a partir de informações reais do comportamento do equipamento ao longo do seu tempo de utilização dentro das condições da empresa. Este método, quando desenvolvido e implantado corretamente, torna processo produtivo mais estável, mais confiável, algumas vezes perde-se produtividade, por não antecipar um agendamento faz com que haja interrupção da produção de uma determinada máquina pouco tempo depois do processo retornar sua normalidade, desacelerando o processo produtivo. Porém há a garantia de melhor aproveitamento das peças instaladas na máquina (VARGAS, 2013).

Analisando numericamente, aproximadamente 36% das causas de falhas prematuras em rolamentos se devem a uma lubrificação inadequada. Isto indica que uma lubrificação só poderá ser considerada correta quando o ponto de lubrificação recebe o lubrificante certo, no volume adequado e no momento exato. Para que isto aconteça é preciso que a especificação do

fabricante esteja correta, que a qualidade do lubrificante seja controlada, que não haja erro na aplicação, que o produto seja adequado e que o sistema de manuseio, armazenamento e estocagem estejam adequadas. (VARGAS, 2013).

Para a seleção de um lubrificante a rotação, a temperatura, a carga, contaminantes, dimensões do equipamento, serviço contínuo ou sazonal e período esperado para lubrificação são os principais a serem levados em consideração. Dependendo da aplicação o lubrificante pode ainda ter alguns aditivos, que podem ser para extrema pressão, anti-emulsificante, anti-espumante, anti-desgaste, detergentes e fluidos hidráulicos resistentes a fogo. E podem ser classificados conforme sua formulação química, sendo minerais, sintéticos, semi-sintéticos e animais (VARGAS, 2013).

### 2.3.2 Vantagens e desvantagens

Em todos os conceitos de manutenção apresentados por este trabalho, serão apresentadas as vantagens e as desvantagens de cada um deles, para auxiliar no entendimento e na identificação do melhor conceito a ser implantado em cada empresa, levando em conta que o melhor para uma determinada empresa pode não ser para outra, considerando questões financeiras, técnicas e até físicas da empresa (KARDEC, 2009)

Para o conceito de preventiva não é diferente, uma das desvantagens é a acuracidade do programa de manutenção. Para se obter resultados satisfatórios com a implantação dos conceitos de preventiva, o setor de manutenção precisa elaborar e aprimorar o programa de revisão dos equipamentos ao ponto de torna-lo extremamente preciso quanto ao intervalo de tempo entre as intervenções no equipamento. Fato é que severamente difícil, pois há um grande número de componente que comprometem e influencia no correto funcionamento de um equipamento, isto sem dizer a dificuldade que seria estimar a vida útil de cada um destes componentes críticos do equipamento (VARGAS, 2013).

Para chegar a este nível de precisão do programa, é preciso além de conhecer o intervalo ideal para a troca ou ajuste dos componentes do equipamento, a equipe precisa alimentar o setor de planejamento com informações precisas e corretas, pois os planos serão baseados no histórico destes equipamentos. Os procedimentos padrões de inspeção deverão ser rigorosamente cumpridos e detalhados para que o responsável por sua execução não tenha dúvida do que deverá fazer no momento em que estiver revisando um determinado equipamento. (VARGAS, 2013; KARDEC 2009).

Os profissionais de manutenção deveram estar bem treinados e capacitados pra que a qualidade do serviços prestados seja de alto nível e que não apresentem variação quando executado por um colaborador diferente do de costume, isto é, a qualidade do serviço executado por um mecânico deverá ser igual ao de outro mecânico de mesmo nível que não e o primeiro.

Se a equipe não estiver bem preparada e consciente da sua importância no contexto da execução de uma manutenção preventiva de qualidade, os períodos estabelecidos pelo planejamento para os programas preventivos estarão fadados ao insucesso , pois estes não coincidirão com o necessário, gerado uma falha em todo o processo durante os intervalos inspeção, fato que atingirá diretamente no desempenho do setor e na produtividade da empresa (VARGAS, 2013).

O primeiro ponto positivo da implantação de um programa de prevenção de falhas na empresa é a redução de custos, tanto na manutenção quanto de produção. Com o programa rodando de forma eficaz, a manutenção realizará intervenções corretivas nos equipamentos com menor frequência, isto, aumentará a disponibilidade do equipamento produtivo e assim, a manutenção substituirá menos componentes do equipamento de forma desnecessária ou num momento crítico para o processo e tornará o processo capaz de produzir uma quantidade de maior produto, o que tornará o custo unitário do produto menor, e, conseqüentemente, resultará em maior lucratividade e competitividade para a empresa (KARDEC 2009)

Prolongará a vida útil do equipamento, mantendo-o produzindo por um intervalo de tempo superior ao que foi estimado no momento da aquisição desta máquina. Este aumento da durabilidade resulta na geração de um lucro maior para a empresa, pois o custo do equipamento é absorvido pelo custo dos produtos gerados, sendo assim, o valor total da máquina já terá sido pegado enquanto continua produzindo e gerando recursos o levantamento de dinheiro para a empresa. Isto é, a máquina continua produzindo mesmo depois de seu valor ter sido depreciado (VARGAS, 2013).

Haverá um representativa redução do custo do estoque da empresa, pois o número de produtos que deveram ser controlados e mantidos em estoque será menor. Com as substituições dos componentes de forma planejada, surge a possibilidade de compra-los na data mais próxima de troca e na quantidade exata que será utilizada, contrário do que acontece quando a empresa se baseia nas rotinas exata de manutenção corretiva que necessitar ter sempre os componentes em estoque por não saber quando eles serão utilizados (VARGAS, 2013).

Comparando as vantagens e desvantagens deste método, observa-se que o retorno trago pela implantação de preventiva, mesmo que sem programas bem estabelecidos e precisos, é superior ás desvantagens, pois o lucro que a empresa gera com o mínimo ganho de tempo

produtivo supera os investimentos feitos para a implantação deste conceito. Isto pelo conceito de prevenção pode-se identificar um aumento d preocupação e do envolvimento de toda equipe com os problemas do setor e até da empresa. Este ganho não é mensurável, porém, está implícito nos demais ganhos obtidos pela empresa (VARGAS, 2013; KARDEC 2009).

Podemos citar várias outras desvantagens e vantagens, contudo, acima foram listadas as principais, visando facilitar a compreensão e o entendimento dos motivos e das dificuldades que rodeiam a implantação e a continuidade de um programa de manutenção que rodeiam a implantação e a continuidade de um programa de manutenção preventiva dentro de uma empresa que busca se manter competitiva e próspera dentro o mercado consumidor (VARGAS, 2013).

#### 2.4 Custos

Os custos decorrentes da função manutenção a ponta de um iceberg. Esta ponta visível corresponde a alguns fatores envolvidos com qualquer rotina de manutenção, como: mão-de-obra, ferramentas e instrumentos utilizados, materiais aplicados nos reparos, custo de contratação, em alguns casos, de mão-de-obra terceirizada, etc. Aqueles que ficam abaixo deste iceberg são os maiores custos, de forma invisível, que são decorrentes da indisponibilidade de equipamento. (KARDEC, 2009).

Fazem parte dos custos gerados pela indisponibilidade de máquina:

- a) O tempo entre a comunicação de parada da máquina até o momento da liberação da mesma para retorno á operação;
- b) Tempo entre a comunicação de parada de máquina até o momento de início do atendimento por parte do colaborador da manutenção;
- c) Tempo gasto por alguma outra equipe diferente da manutenção envolvida indiretamente na atividade de reparo no equipamento, como por exemplo: equipe de compras, suprimentos, laboratório, etc.
- d) A disponibilidade de um equipamento num determinado momento em que há a necessidade de produção.

Assim, mesmo envolvendo custos significativos para empresa, a implantação de métodos de Manutenção mais confiáveis se faz necessário devido grande envolvimento entre os processos produtivos das empresas e clientes.

## 2.5 Manutenção Preditiva

### 2.5.1- Histórico

Com a evolução das técnicas de ensaios não-destrutivos, percebeu-se que estava sendo substituído peças desnecessárias, isto é, antes do momento ideal para troca, com isto foram desenvolvidos métodos para medição e detecção de imperfeições nos materiais que possibilitaram a determinação dos limites aceitáveis e seguros para o uso daquele determinado componente do equipamento. Consequentemente com o desenvolvimento dos sistemas informatizados dedicados às análises de resultados e também, após a criação de instrumentos e sensores capazes de mensurar os parâmetros que indicam as condições de funcionamento de uma determinada máquina ou equipamento, a engenharia de manutenção passou monitorar e basear seus programas preventivos nas condições dos equipamentos, determinadas através dos valores obtidos pelas medições realizadas através da preventiva.

Visando manter os navios e aviões sempre em condições de uso, a Marinha e a Aeronáutica investiram pesado em técnicas de manutenção que garantiam este funcionamento e a segurança de seus equipamentos. Estas técnicas foram desenvolvidas e aprimoradas ao longo dos anos baseando na experiência adquirida com acidentes ocorridos durante este período.

### 2.5.2- Definição

Para Nepomuceno 1989, manutenção preditiva

“ tem por finalidade estabelecer, numa instalação industrial qualquer, quais são os parâmetros que devem ser estabelecidos em cada tipo de máquina ou equipamento, em função das informações que as alterações de tais parâmetros sobre o estado mecânico de um determinado componente (pistão, rolamento ...). Em base a tais informações, a análise dos mesmo permitiram que sejam tomadas providências visando estragos de montagem ou mesmo situações catastróficas irreversíveis”. (NEPOMUCENO, 1989. P. 41).

Segundo Gil Filho 2008, Manutenção Preditiva é : “Todo trabalho de acompanhamento e monitoramento das condições da máquina, de seus parâmetros operacionais e sua degradação”. (BRANCO FILHO, 2008. P. 35)

### 2.5.3 Vantagens e desvantagens

Quando se inicia um estudo para implantação da manutenção preditiva, depara-se com a necessidade de estabelecer métodos de monitoramento e análise de vários parâmetros,

implicitamente surge também a necessidade de adquirir instrumentos para realizar tais medições e, em alguns casos, se faz necessário alterar os métodos convencionais de monitoramento de algumas variáveis de um processo que não é alterado já a um longo período de tempo. Após os levantamentos destas necessidades de investimento, leva a concluir que tal implantação seria inviável, mas quando se aprofunda um pouco mais sobre o assunto, observa-se que o retorno se dá em médio prazo. Além deste retorno financeiro, podemos citar algumas vantagens como listado abaixo (BRANCO FILHO, 2008):

- a) Um pequeno reparo no ajuste da máquina após a identificação de uma alteração no parâmetro monitorado pode ter um custo bem menos do que uma quebra inesperada da máquina que para o processo produtivo.
- b) Com o constante ajuste das máquinas, a possibilidade de fabricação de peças fora do padrão é reduzida e assim, há uma menor perda de matéria-prima, é conseqüentemente, há a redução dos custos de produção
- c) Há a redução na qualidade de equipamentos reservas, e assim, há a redução do valor de ativo fixo.
- d) Há a redução do custo de material do custo de matéria prima em estoque, pois com a substituição de componentes de maneira inteligente, a necessidade de manter uma quantidade grande destes componentes em estoque se reduz.

Segundo Gil Filho 2008, “A manutenção preditiva reduz de 20 a 25% dos custos de manutenção quando comparado com a manutenção corretiva.”

Como principais desvantagens, podemos relacionar:

- a) Custo com mão de obra especializada;
- b) Custo inicial com instrumentos de medição e análise;
- c) Custo com treinamentos;

#### 2.5.4 Tipos de manutenção preditiva

A implantação da manutenção preditiva consiste basicamente em identificar os parâmetros que informam as condições d equipamento, estabelecer os métodos para a medição e monitoramento destes parâmetros, adquirir e instalar os instrumentos capazes de realizar estas medições, e finalmente, analisar e tomar as ações necessárias para corrigir as causas das possíveis das variações nos valores de funcionamento do equipamento em questão. Como ferramentas da manutenção preditiva, podemos relacionar alguns métodos. (KARDEC, 2009)

#### 2.5.4.1 Termografia

A termografia é uma técnica que possibilita mapear um corpo ou uma região de um objeto com o objetivo de diferenciar áreas de diferentes temperaturas, sendo portanto uma técnica que possibilita a visualização artificial da luz dentro do espectro infravermelho. A vibração de campos elétricos e magnético que se propagam o espaço a velocidade da luz, gera uma onda eletromagnética, e o conjunto de ondas eletromagnéticas formam o espectro eletromagnético. A termografia tem um papel muito importante na área da manutenção preditiva. Através da sua utilização, é possível eliminar muitos problemas de produção, evitando falhas elétricas, mecânica e fadiga de materiais (KARDEC, 2009)

#### 2.5.4.2 Ferrografia

A ferrografia é uma técnica laboratorial para o monitoramento e diagnose de condições de máquinas. A partir da análise quantitativa e morfológica, encontradas em amostras de lubrificantes, determinam-se tipos de desgastes, contaminantes, desempenho do lubrificante. Portanto é possível a tomada de decisão quanto ao tipo e urgência de intervenção de manutenção. (KARDEC 2009)

#### 2.5.4.3 Líquido penetrante

O teste por Líquidos Penetrantes é considerado um dos melhores métodos disponíveis de teste para a detecção de descontinuidades abertas nas superfícies em diferentes materiais isentos de porosidades, tais como: Metais Ferrosos e Não Ferrosos, Ligas Metálicas, Cerâmicas, Vidros, alguns tipos de plásticos ou materiais organo-sintéticos, Líquido penetrantes também são utilizados para a detecção de vazamento em tubos, tanques, soldas e componentes (VARGAS, 2013).

O fundamento deste método está baseado no fenômeno da capilaridade que é a capacidade de penetração de um líquido em locais extremamente pequenos devido a suas características físico-químicas como a tensão de superficial. O poder de penetração é uma características físico-químicas como a tensão superficial. (VARGAS, 2013).

#### 2.5.4.4 Ensaios ultrassônicos

O ensaio ultrassônico fundamenta-se no fenômeno de reflexão dentro do material de ondas acústicas quando encontram obstáculos à sua propagação. A onda será refletida retornando até a sua fonte geradora, se o obstáculo estiver numa posição normal em relação ao feixe incidente (KARDEC, 2009).

O ultrassom é o método de ensaio não destrutivo mais utilizado mundialmente para o ensaio de descontinuidade internas nos materiais. Ultrassom são ondas acústicas com frequência acima do limite audível. Normalmente, as frequências ultra- sônica situam-se na faixa de 0,5 a 25 Mhz (KARDEC, 2009).

As maiores aplicações deste ensaio são os ensaios em soldas, laminados, forjados, fundidos, materiais compostos, medição de espessura, corrosão. O ensaio ultrassônico é, sem sombra de dúvidas, o método de ensaio não destrutivo mais utilizado e o que apresenta o maior crescimento, para a detecção de descontinuidades internas (VARGAS, 2013). Isso se deve a:

- a) Facilidade na execução do ensaio;
- b) Baixo investimento
- c) Velocidade de realização
- d) Alta sensibilidade
- e) Ampla gama de espessura que podem ser ensaiadas ( acima de 10m em aço) (KARDEC 2009)

## 2.6 Engenharia de Manutenção

É a segunda quebra de paradigma na Manutenção. Praticar a Engenharia de Manutenção significa uma mudança cultural. E Engenharia de Manutenção é o suporte técnico da manutenção que está dedicado à: Consolidar a rotina e implantar a melhoria

Dentre as principais atribuições da Engenharia de Manutenção estão:

- a) Aumentar a confiabilidade;
- b) Aumentar a disponibilidade;
- c) Melhorar a manutenibilidade;
- d) Aumentar a segurança;
- e) Eliminar problemas crônicos;
- f) Solucionar problemas tecnológicos;
- g) Melhorar a capacitação do pessoal;

- h) Gerir materiais e sobressalentes;
- i) Principais de novos projetos ( interface com a engenharia);
- j) Da suporte à execução;
- k) Fazer Análise de Falhas e estudos;
- l) Elaborar planos de manutenção e de inspeção e fazer sua análise crítica;
- m) Acompanhar indicadores;
- n) Zelar pela documentação técnica (KARDEC, 2009)

### **3 Práticas de Manutenção- Evolução e Tendências**

A utilização dos tipos de manutenção vem evoluindo, aproximadamente, da seguinte maneira:

A manutenção corretiva apresenta uma tendência de queda ao longo do tempo, notadamente pela redução da prática da Manutenção Corretiva não Planejada. A partir dos anos 60m verifica-se uma tendência de aumento no nível de Corretiva Planejada, causada principalmente pelo incremento da manutenção sob condição- Preditivas. ( KARDEC 2009)

As intervenções originadas pela indicações da Manutenção Preditiva são, como mostrado anteriormente, Manutenções Corretivas Planejadas. ( KARDEC 2009)

A Manutenção Preditiva que começou pouco comum a partir da década de 40, se destaca a partir dos anos 60 e é, sem dúvida, a que apresenta maior desenvolvimento motivado pelo progresso na área da eletrônica. Esse tipo de manutenção continuará a se desenvolver e deverá ser a prática cada vez mais adotado ( KARDEC 2009).

A manutenção detectiva apareceu no início da década de 90, ainda muito incipiente, mas apresenta uma tendência de utilização crescente com o tempo. Sua importância cresce a cada dia, em virtude da maior automação. (KARDEC 2009).

## **4 Custos da Manutenção**

### **4.1 Custos diretos**

São aqueles necessários para manter os equipamentos em operação. Neles se incluem: Manutenção Preventiva, inspeções regulares-lubrificação, por exemplo-, Manutenção Preditiva, Manutenção Detectiva, custo de reparos ou revisões e Manutenção Corretiva de uma maneira geral. Os custos de paradas de manutenção, ou grandes serviços de reforma-

modernização, comumente designados como *revamps*, apesar de serem custos diretos, devem ser classificados separadamente, em rubrica específica. ( KARDEC 2009)

#### 4.2 Custos indiretos

São aqueles relacionados com a estrutura gerencial e de apoio administrativo, custos com análise e estudos de melhoria, engenharia de manutenção e supervisão, dentre outros. Fazem parte ainda os custos de amortização, depreciação, iluminação, energia elétrica e outros utilidades. É importante não observar que são classificados como custo indireto estudo que não possam ser alocados a um equipamento ou posto de serviço específico, ou seja, tenham caráter mais geral. Caso contrário, é custo direto ( KARDEC 2009).

### 5 CALDEIRAS

#### 5.1 Histórico

Fornecendo calor à água, variamos a sua entalpia (quantidade de energia por kg de massa) e seu estado físico. Quanto mais aquecermos, mais aumentaremos sua temperatura e, conseqüentemente, sua densidade diminuirá, tornando-se mais “leve”. A medida que fornecermos calor ao líquido, suas moléculas vão adquirindo energia até conseguirem vencer às forças que as mantêm ligadas (na forma líquida). A rapidez da formação do vapor será tal qual for a intensidade do calor fornecido (JUNIOR, 2011).

Vapor de água é usado como meio de geração, transporte e utilização de energia desde os primórdios do desenvolvimento industrial. Inúmeras razões colaboraram para a geração de energia através do vapor. Na forma de vapor tem alto conteúdo de energia por unidade de massa e volume. As relações temperatura e pressão de saturação permitem utilização como fonte de calor a temperaturas médias e de larga utilização industrial com pressões de trabalho perfeitamente toleráveis pela tecnologia disponível, já há muito tempo (BIZZO, 2010).

Registros históricos indicam que algumas propriedades do vapor d’água já eram conhecidos e utilizadas por volta de 150 AC. Heron da Alexandria descreveu no seu tratado “Pneumática”, instrumentos que utilizam as forças expansivas do vapor para fazer elevar a água acima do nível do natural (JUNIOR, 2011).

As primeiras aplicações práticas ou de caráter industrial de vapor surgiram por volta do século 17. O inglês Thomas Savery patenteou em 1698 um sistema de bombeamento de água

utilizando vapor como força motriz. Em 1711, Newcomen desenvolveu outro equipamento com a mesma finalidade, aproveitando ideias de Denis Papin, um inventor francês. A caldeira de Newcomen era apenas um reservatório esférico, com aquecimento direto no fundo, também conhecida como caldeira de Haycock (figura 1) (BIZZO, 2010).

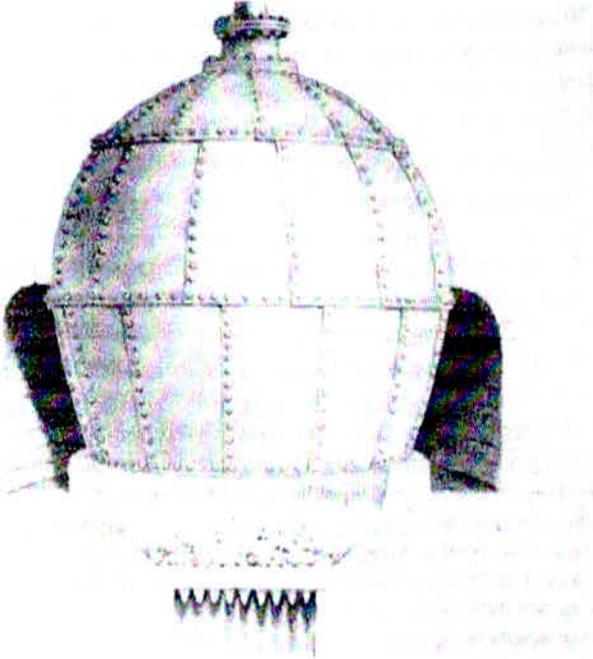


Figura 1- Caldeira de Haycock -1720.

James Watt modificou um pouco o formato em 1769, desenhando a caldeira Vagão (figura 2), a precursora das caldeiras utilizadas em locomotivas a vapor. Apesar do grande desenvolvimento que Watt trouxe a utilização do vapor como força motriz, não acrescentou muito ao projeto de caldeiras (BIZZO, 2010).

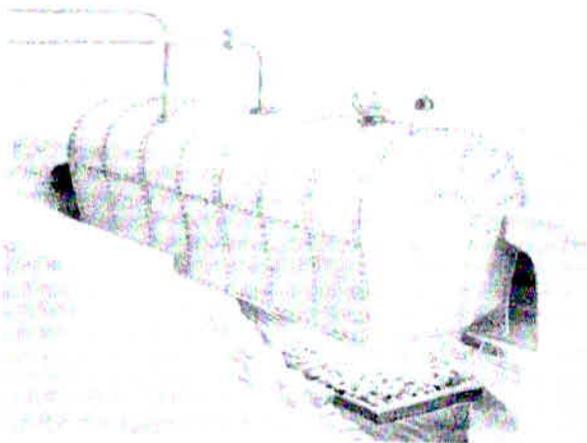


Figura 2- Caldeira Vagão – James Watt 1769

Todos esses modelos provocaram desastrosas explosões devido a utilização de fogo direto e ao grande acúmulo de vapor no recipiente. A ruptura do vaso causava grande liberação de energia na forma de expansão do vapor contido (BIZZO, 2010).

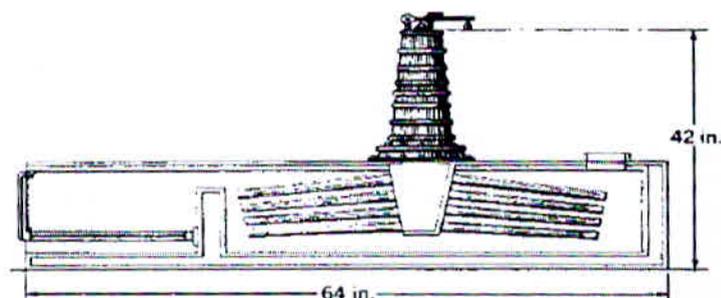


Figura 3- Caldeira de Tubos de Água, 1803.

Nos finais do século 18 e início do século 19 houveram os primeiros desenvolvimentos da caldeira com tubos de água. O modelo de John Stevens (figura 3) movimentou um barco a vapor no Rio Hudson. Stephen Wilcox, em 1856, projetou um gerador de vapor com tubos inclinados, e da associação com George Babcock tais caldeiras passaram a ser produzidas, com grande sucesso comercial (figura 4) (BIZZO, 2010).

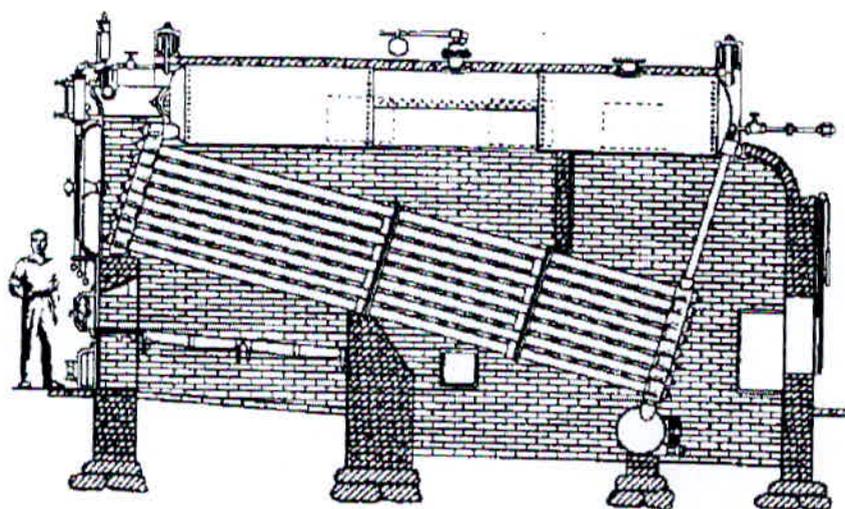


Figura 4- Caldeira de Tubos Retos, Babcock e Wilcox, 1877

Em 1880, Alan Stirling desenvolveu uma caldeira de tubos curvados, cuja concepção básica é ainda hoje utilizada nas grandes caldeiras de tubos de água (figura 5) (BIZO, 2010).

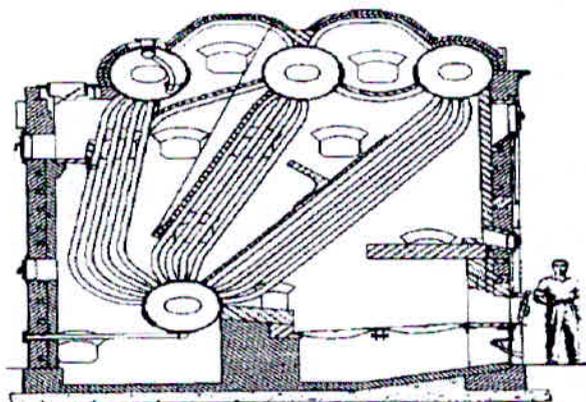


Figura 5- Caldeira de Tubos Curvados, Stirling, 1880

## 5.2 Tipos de Caldeiras

Conforme o agente que transfere calor para produzir a evaporação da água, as caldeiras se classificam em:

- a- óleo combustível
- b- óleo diesel
- c- lenha e a bagaço de cana
- d- carvão
- e- eletricidade
- f- gás (GLP ou gás natural)

Atualmente, podemos classificar as caldeiras em dois tipos básicos:

- a) flamotubulares, onde os gases de combustão circulam por dentro de tubos, vaporizando a água que fica por fora dos mesmos e
- b) aquatubulares, onde os gases circulam por fora dos tubos, e a vaporização da água se dá dentro dos mesmos.

### 5.2.1 Caldeiras Flamotubulares

As caldeiras fumotubulares ou flamotubulares se caracterizam pela circulação interna dos gases de combustão, ou seja, os tubos conduzem os gases por todo o interior da caldeira. São construídas para operar com pressões limitadas, pois as partes internas submetidas à

pressão são relativamente grandes, inviabilizando o emprego de chapas de maiores espessuras (ALTAFINI, 2002).

Segundo Altafini 2002, “as caldeiras flamotubulares, em razão de seu aspecto construtivo, são limitadas em produção e pressão, que em geral não ultrapassa m valores de 15 ton/h de produção de vapor e 18 bar de pressão de trabalho”.

A eficácia térmica destas caldeiras está na faixa de 80 a 90%, sendo difícil se atingir maiores valores pela limitação de se acrescentar equipamentos adicionais de recuperação de calor (BIZZO, 2010)

Existem caldeiras flamotubulares verticais que segundo Filho, 2011 “é do tipo monobloco, constituída por um corpo cilíndrico fechado nas extremidades por placas planas chamadas espelhos. São várias as suas aplicações por ser facilmente transportada e pelo pequeno espaço que ocupa, exigindo pequenas fundações.”

Apresenta, porém, baixa capacidade e rendimento térmico. São construídas de 2 até 30 (m<sup>2</sup>), com pressão máxima de 10 (kg/2), sendo sua capacidade específica de 15 a 16 kg de vapor por m<sup>2</sup> de superfície de aquecimento (FILHO, 2011).

Apresenta a vantagem de interiormente ser bastante acessível para a limpeza, fornecendo um maior rendimento no tipo de fornalha interna. São mais utilizadas para combustíveis de baixo poder calorífico (FILHO, 2011). Porém, atualmente, as caldeiras horizontais são habituais, podendo ser fabricadas com fornalhas lisas e corrugadas, com 1, 2 ou 3 passes, com traseira seca ou molhada (BIZZO, 2010).

Nas caldeiras flamotubulares que operam com combustíveis líquidos ou gasosos, o queimador é instalado na parte frontal da fornalha. Nessa, predomina a troca de calor por radiação luminosa e nas partes posteriores da caldeira (caixas de reversão e tubos) a troca de calor se processa essencialmente por radiação gasosa e convecção (BIZZO, 2010).

A fornalha e os tubos ficam circundados de água e são ancorados nos espelhos (discos externos) por solda ou por mandrilagem. Os espelhos são ancorados por solda ao tubulão externo. Esses estão submetidos à pressão interna do vapor e os tubos e fornalha estão submetidos à pressão externa (ALTAFINI, 2002).

Ainda segundo Junior 2011, existem vários métodos de classificação das caldeiras flamotubulares (segundo o uso, a capacidade, a pressão, a posição da fornalha, a posição dos tubos, os tamanhos, etc.).

## **1 Verticais**

1.1 Com fornalha externa

1.2 Com fornalha interna

## **2 Horizontais**

2.1 Com fornalha externa

2.2 Multitubulares

2.3 Com fornalha interna

2.4 Com uma tubulação central (Cornovaglia)

2.5 Com duas tubulações (Lancashire)

2.6 Locomotivas e Locomóveis

2.7 Escocesas

2.8 Marítimas

2.9 Estacionárias

Compactas

Caldeiras modernas tem diversos passagens de gases, sendo mais comum uma fornalha e dois passes de gases (figura .6). A saída da fornalha é chamada câmara de reversão e pode ser revestida completamente de refratários ou constituída de paredes metálicas molhadas.

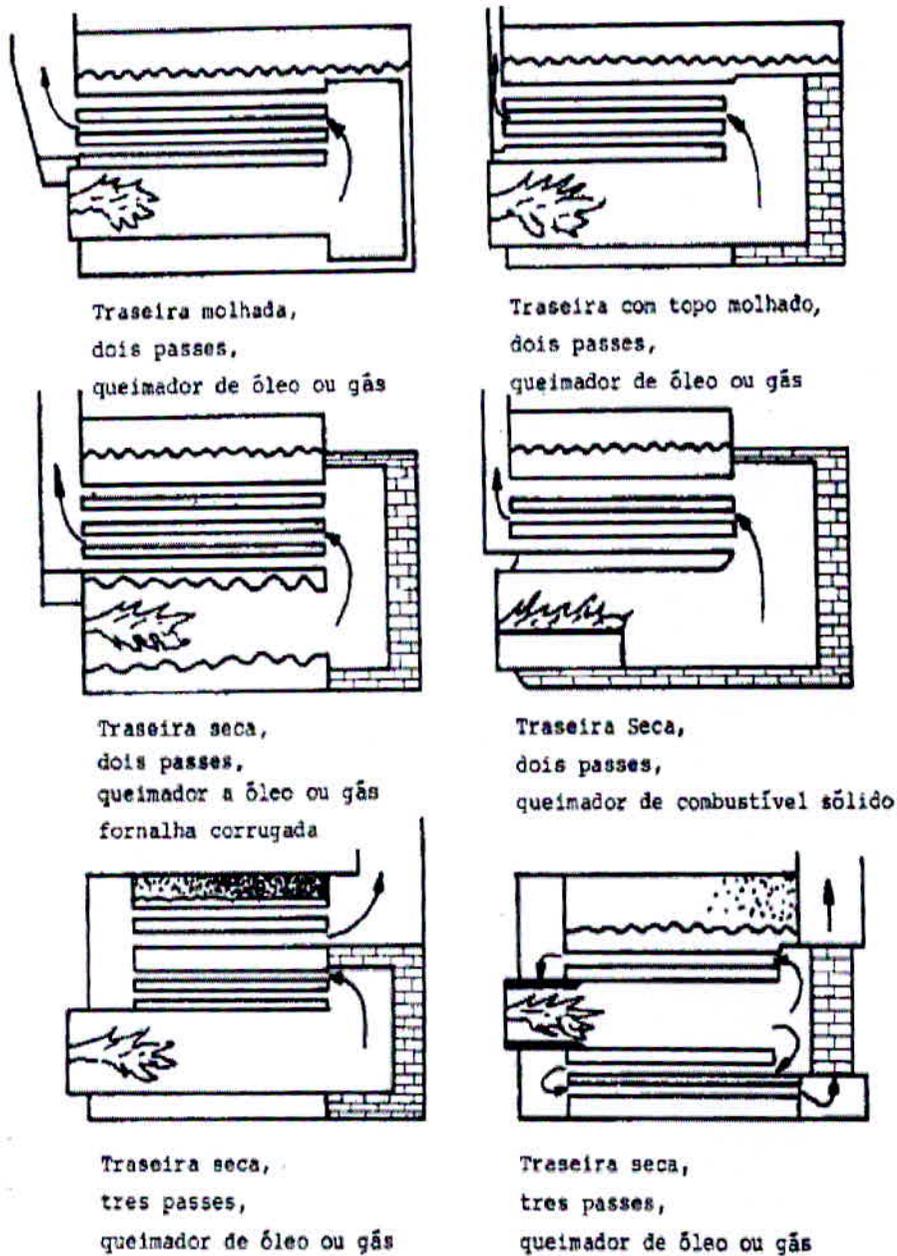


Figura 6- Tipos de Caldeira Flamotubulares

Segundo Bizzo 2010, “Câmara de reversão molhada produz melhores rendimentos térmicos pela diminuição de perdas de calor ao ambiente, porém são mais complicadas construtivamente e conseqüentemente mais caras.”

#### 5.2.1.1 Componentes

As caldeiras flamotubulares apresentam as seguintes estruturas: corpo, espelhos, feixe tubular ou tubos de fogo e caixa de fumaça. O corpo da caldeira, também chamado de casco

ou carcaça, é construído a partir de chapas de aço carbono calandradas e soldadas. Seu diâmetro e comprimento estão relacionados à capacidade de produção de vapor (LEITE, MILITÃO 2008)

As pressões de trabalho são delimitadas (normalmente máximo de 20 kgf/cm<sup>2</sup>) pelo diâmetro do corpo destas caldeiras. Os espelhos são chapas planas cortadas em forma circular, de modo que encaixem nas duas extremidades do corpo da caldeira e são fixadas através de soldagem. Sofrem um processo de furação, por onde os tubos de fumaça deverão passar. Os tubos são fixados por meio de mandrilamento ou soldagem. O feixe tubular, ou tubos de fogo, é composto de tubos que são responsáveis pela absorção do calor contido nos gases de exaustão usados para o aquecimento da água. Ligam o espelho frontal com o posterior, podendo ser de um, dois ou três passes. (LEITE, MILITÃO 2008)

#### 5.2.1.1 Vantagens e Desvantagens

As principais vantagens das caldeiras deste tipo são:

- a- custo de aquisição mais baixo;
- b- exigem pouca alvenaria;
- c- atendem bem a aumentos instantâneos de necessidades de vapor.

Como desvantagens, apresentam:

- a- baixo rendimento térmico;
- b- partida lenta devido ao grande volume interno de água;
- c- limitação de pressão de operação (máx. 15 kgf/cm<sup>2</sup>);
- d- baixa taxa de vaporização - kg de vapor/(m<sup>2</sup>. hora);
- e- capacidade de produção limitada;
- f- dificuldades para instalação de economizador, superaquecedore pré-aquecedor (NHAMBU, 2013).

#### 5.2.2 Caldeira Aquatubular

São caracterizadas pelo fato dos tubos situarem-se fora dos tubulões da caldeira (tambor) constituindo com estes um feixe tubular. São empregadas quando objetiva obter pressões e rendimentos elevados, pois o trabalho desenvolvido nos tubos pelas altas pressões são de tração ao invés de compressão, como ocorre nas pirotubulares, e também pelo fato dos

tubos estarem fora do corpo da caldeira obtemos superfícies de aquecimento praticamente ilimitadas (BRANCO FILHO, 2011).

As caldeiras aquatubulares realizam a produção de vapor dentro de tubos que interligam 2 ou mais reservatórios cilíndricos horizontais:

- 1- O tubulão superior, onde se dá a separação da fase líquida e do vapor, e
- 2- O tubulão inferior, onde é feita a decantação e purga dos sólidos em suspensão.

Os tubos podem ser retos ou curvados. As primeiras caldeiras aquatubulares utilizavam tubos retos, solução hoje completamente abandonada, apesar de algumas vantagens, como a facilidade de limpeza interna dos tubos. ( Figura 7 ) (BRANCO FILHO, 2011)

A caldeira de tubos curvados, interligando os balões, oferecem arranjo e projeto de câmaras de combustão totalmente fechada por paredes de água, com capacidades praticamente ilimitadas. Dada a maior complexidade construtiva em relação às caldeiras flamotubulares, as aquatubulares são preferidas somente para maiores capacidades de produção de vapor e pressão, exatamente onde o custo de fabricação do outro tipo começa a aumentar desproporcionadamente (BIZZO, 2010).

Em relação ao modo de transferência de calor no interior de caldeira existem normalmente duas secções:

- a- A secção de radiação, onde a troca de calor se dá por radiação direta da chama aos tubos de água, os quais geralmente delimitam a câmara de combustão.
- b- A secção de convecção, onde a troca de calor se dá por convecção forçada, dos gases quentes que saíram da câmara de combustão atravessando um banco de tubos de água.

Segundo Bizzo 2010, “Não há limitação física para capacidades. Encontram-se hoje caldeiras que produzem até 750 t/h de vapor com pressões até 3450 atm”.

Ainda segundo a concepção de Bizzo 2010, “desde as primeiras caldeiras do século 17, até os modelos atuais, as caldeiras flamotubulares passaram por sucessivos desenvolvimentos até a atual concepção de uma fornalha e mais dois passes de gases de combustão. A grande aceitação deste tipo para pequenas capacidades está associada principalmente no seu baixo custo de construção, em comparação com uma aquatubular de mesma capacidade. Por outro lado, o grande volume de água que condiciona limita, por questões de segurança, as pressões de trabalho e a qualidade do vapor na condição de vapor saturado”.

### 5.2.1.2 Componentes

Encontramos nestas caldeiras, geralmente, os seguintes componentes:

- a- Câmara de combustão
- b- Tubos
- c- Coletores
- d- Tubulão
- e- Superaquecedor
- f- Sopradores de fuligem
- g- Pré-aquecedor de ar.
- h- Economizador
- i- Alvenaria (refratários)
- j- Queimadoras
- k- Ventiladores
- l- Chaminé
- m- Válvulas de segurança (LEITE, MILITÃO 2008)

A câmara de combustão é a região onde se dá a queima do combustível, com produção dos gases de combustão que fornecem calor à água. Os tubos servem para a circulação de vapor e água dentro da caldeira, a fim de permitir a troca de calor entre os gases quentes de combustão e a água ou vapor. Os coletores são peças cilíndricas, às quais chegam e saem conjuntos de tubos, cuja finalidade, como o próprio nome indica, é coletar água ou vapor. O tubulão é um tambor horizontal, situado no ponto mais alto do corpo principal da caldeira, ao qual acham-se conectados, através de tubos, os coletores, que se encontram em níveis diferentes dentro da caldeira. A água circula várias vezes através do conjunto tubulão-coletores descendo pelos tubos externos e retornando pelos internos. Essa circulação natural é provocada pela diferença de pressão exercida pelas colunas líquidas e pelas correntes (LEITE, MILITÃO 2008) de convecção formadas. A coluna externa contendo somente água é mais pesada do que a coluna interna contendo água + vapor, promovendo então a circulação. A parte vaporizada vai se armazenando no tubulão, enquanto o líquido volta a circular. Além de acumular o vapor, o tubulão recebe também a água de alimentação, que vem do economizador. O espaço acima do nível d'água no tubulão, chama-se espaço de vapor. Para evitar o arraste de gotículas de líquido junto ao vapor no espaço de vapor existem chicanas com a finalidade de separar o líquido arrastado. O vapor saturado separado no tubulão passa a outro conjunto de serpentinas, o superaquecedor, onde é obtido o seu superaquecimento. As serpentinas do superaquecedor têm

suas extremidades ligadas a dois coletores de vapor. O superaquecedor pode situar-se na zona de radiação ou convecção, conforme o grau de superaquecimento para o qual as caldeiras são projetadas. O pré-aquecedor de ar é utilizado para, aproveitando parte do calor dos gases residuais de combustão, aquecer o ar de alimentação das chamas. (LEITE, MILITÃO 2008)

No economizador, a água de alimentação passa por uma serpentina ou feixe tubular, a fim de aproveitar também o calor dos gases residuais da combustão, para depositar, então, ao tubulão já pré-aquecido, o que representa uma economia de energia. (LEITE, MILITÃO 2008)

As paredes da caldeira são revestidas internamente de tijolos refratários, resistentes a altas temperaturas, que protegem as partes metálicas estruturais da caldeira contra deterioração por alta temperatura e produzem a homogeneização da temperatura por reflexão do calor das chamas. Os maçaricos das caldeiras são semelhantes aos dos fornos. (LEITE, MILITÃO 2008)

Os sopradores de fuligem são tubos providos de orifícios, inseridos transversalmente aos tubos das serpentinas, em diversos locais da caldeira. São ligados, externamente à caldeira, ao sistema de vapor. Durante a operação da caldeira, há deposição de fuligem nos tubos, o que dificulta a transferência de calor. De tempos em tempos, então, é injetado vapor através deste sistema com a finalidade de remover a fuligem. Para melhorar a atuação dos mesmos os sopradores geralmente têm movimento de rotação, atuando assim em maior área. (LEITE, MILITÃO 2008)

Os ventiladores têm a finalidade de movimentar o ar de combustão até os queimadores na câmara de combustão e os gases da câmara de combustão até a chaminé. Esses tem dois tipos funcionais de ventiladores: de tiragem forçada, que apanha o ar atmosférico e o envia através dos dutos da caldeira para os queimadores e o de tiragem induzida, instalado na saída da caldeira, que succiona os gases de combustão de dentro da câmara e os conduz à chaminé. (LEITE, MILITÃO 2008)

A chaminé é a parte que conduz os gases de combustão à atmosfera (em altura suficientemente grande para que não venham a ser danosos ao meio ambiente). As válvulas de segurança são válvulas especiais, instaladas no tubulão, cuja finalidade é dar saída ao vapor no caso de atingir uma pressão superior a um máximo admitido pelas condições de segurança operacional (LEITE; MILITÃO 2008).



### 5.2.3 Caldeiras Mistas

A necessidade de utilização de combustíveis sólidos para caldeiras de pequena capacidade fez surgir uma solução híbrida que são as caldeiras mistas. Basicamente são caldeiras flamotubulares com uma antecâmara de combustão com paredes revestidas de tubos de água. Na antecâmara se dá a combustão de sólidos através de grelhas de diversos tipos possibilitando assim o espaço necessário para os maiores volumes da câmara de combustão necessários a combustão de sólidos, principalmente em grandes tamanhos, tais como lenha em toras, cavacos, além da possibilidade de retirada de cinzas por baixo das grelhas o cinzeiro). As caldeiras mistas não reúnem todas as vantagens da aquatubular, como a segurança, maior eficiência térmica, etc., porém, é uma solução prática e eficiente quando se tem disponibilidade de combustível sólido a baixo custo. Tem ainda a possibilidade de queimar combustível líquido ou gasoso, com a instalação de queimadores apropriados (FILHO, 2011).

O rendimento térmico destas caldeiras são menores que as flamotubulares, devido a perda de calor pela antecâmara. Dificilmente as paredes frontais e traseira são revestidas de tubos, devido a dificuldade construtiva pelo pequeno tamanho da caldeira (FILHO, 2011).

### 5.2.4 Caldeiras Recuperação de Calor

Alguns processos de fabricação geram gases de processo ou de combustão com temperatura alta o suficiente para se recuperar calor destes. Como exemplo, gases de alto forno ou gases de processos de fabricação de amônia, ou produtos de combustão de incineradores e fornos de alta temperatura. Neste caso, a caldeira pode ser tanto aquatubular como flamotubular, valendo ainda a escolha pela capacidade de produção de vapor, optando-se pela aquatubular para maiores capacidades (FILHO, 2011).

## 6. CAUSAS DE DETERIORAÇÃO DE CALDEIRAS

Veremos a seguir três tipos de males que ocorrem em caldeiras, os quais podem ser agravados pela ocorrência de mais de um, simultaneamente.

## 6.1. Superaquecimento

O superaquecimento consiste na elevação da temperatura de componentes ou de partes de componentes, acima da temperatura máxima a que o material pode resistir sem sofrer danos.

Esta elevação de temperatura localizada pode ser de vida:

### 6.1.1 Deposições nas paredes dos tubos:

a-externas → devido ao óleo combustível;

b-internas → devido à incrustação de material existente na água.

### 6.1.2 Incidência de chama, provocada por:

a-funcionamento anormal

b-deficiência de montagem

c- defeito do queimador.

### 6.1.3 Circulação deficiente de água devido a:

a-Obstruções internas;

b-Falha de alimentação.

### 6.1.4 Deterioração do refratário

#### 6.1.4.1 Corrosão

a-Internamente aos tubos, tubulão, coletores etc., devido a deficiência de tratamento da água e, no caso da presença de oxigênio ( $O_2$ ) e dióxido de carbono ( $CO_2$ ) dissolvidos, devido a má desaeração.

b-Externamente aos tubos, devido à formação de sais de vanádio, no caso de o mesmo estar presente no óleo combustível, que agem como catalisadores na formação de ácido sulfúrico a partir de  $SO_2$  (formado pela combustão de produtos de enxofre, que se encontram no óleo combustível).

c-Na parte externa da caldeira, devido às condições atmosféricas.

#### 6.1.4.2 Deterioração mecânica

Aparecimento de trincas e ruptura de materiais devido a:

- a-Fadiga térmica
- b-Fluência ou “creep”
- c-Choques térmicos
- d-Explosão na câmara de combustão
- e-Uso impróprio das ferramentas de limpeza
- f-Recalque das fundações.

#### 6.1.4.3. O superaquecimento como causa de explosões

Quando o aço com que é construída a caldeira é submetida em alguma parte, à maiores temperaturas aquelas admissíveis, ocorre a redução da resistência do aço e aumenta o risco a explosão. Entretanto antes da ocorrência da explosão podem haver danos: empenamentos, envergamentos e abaulamentos. Nas caldeiras aquotubulares é muito frequente a ocorrência de abaulamento com a superfície convexa voltada para o lado dos gases, decorrentes da deformação plástica do aço em temperatura da ordem de 400 a 550°C e sob a ação duradoura da pressão interna de vapor (KARDEC, 2009).

Outra consequência do seperaquecimento é a oxidação das superfícies expostas, se o meio for oxidante, ou é a carbonetação ( formação de carbetos de ferro), se o meio for redutor.

As principais causas do superaquecimento são:

##### 6.1.4.3.1. Seleção inadequada do aço no projeto da caldeira:

Em aquotubulares, parte dos tubos da fornalha poderão estar submetidos à radiação mais intensa que aqueles de outras partes, devendo com isso, ser constituídos por aços de características condizentes com a solicitação (KARDEC, 2009)

Se no projeto de caldeiras não forem consideradas as condições de não homogeneidade de temperatura de trabalho das superfícies de aquecimento, poderá haver riscos de fluência e/ou ruptura dessas partes submetidas a pressão, devido ao emprego de aços poucos resistentes as solicitações impostas (KARDEC, 2009)

#### 6.1.4.3.2 Uso de aços com defeitos

O processo de laminação utilizado na obtenção de chapas e tubos, é aquele que mais pode determinar a inclusão de defeitos. É comum a produção de chapas ocorrer a chamada dupla laminação, consistindo de vazios no interior do aço (KARDEC, 2009)

Após sucessivas passagens pelos laminadores, esse vazios adquirem um formato longitudinal ao longo da chapa, dando a impressão de se ter chapas sobrepostas. Estes defeitos fazem com que as chapas não resistam às cargas térmicas e/ou mecânicas previstas no projeto (KARDEC, 2009)

#### 6.1.4.3.3 Prolongamentos excessivos dos tubos

Isso ocorre com muita frequência nas caldeiras flomotubulares, em que tubos expandidos nos espelhos são deixados com comprimento excessivo para dentro das caixas de reversão. Esses prolongamentos exagerados, prejudicam a reversão de fluxo de gases quentes, determinando pontos de superaquecimento, cuja consequência é o aparecimento de fissuras nos tubos (KARDEC, 2009)

#### 6.1.4.3.4 Queimadores mal posicionados

Os aços das chapas e dos tubos de caldeiras admitem aquecimento a até algumas centenas de graus celsius, sem perderem totalmente suas propriedades mecânicas. As chamas de queimadores podem atingir valores de temperatura de até  $1.000^{\circ}\text{C}$ , de modo que o mal posicionamento do queimador pode determinar a incidência direta da chama sobre alguma superfície propiciando o superaquecimento e a fluência do material. A consequência disto pode ser a deformação lenta e gradual da caldeira ou a explosão eminente da mesma, o que depende da ocorrência de outros fatores (KARDEC, 2009)

#### 6.1.4.3.5. Incrustações

Este é um problema clássico relacionado à segurança de caldeiras. As incrustações são depósitos de sólidos sobre as superfícies de aquecimento, no lado da água, devido a presença nestas impurezas de sulfatos, carbonatos de cálcio e/ou magnésio, silicatos (de Fe, Al, Ca e Na) e sólidos em suspensão. Aparecem ainda, devido à presença de precipitados que resultam de

tratamentos inadequados da água de caldeira (borras de fosfato de cálcio ou magnésio) e óxidos de ferro. A incrustação, se comportando como isolante térmico (a condutividade térmica é cerca de 45 vezes menor que a do aço), não permite que a água mantenha refrigerada as superfícies de aquecimento. Isso reduz a transferência de calor do aço para a água, fazendo com que o aço absorva mais calor sensível e aumentando a temperatura de forma proporcional a quantidade de calor recebida. Nos casos de incrustações generalizadas há um agravamento de situação para manter-se a água na temperatura de ebulição, pois é necessário o aumento do fornecimento de calor no lado dos gases (KARDEC, 2009)

#### 6.1.4.3.6 Operações em marcha forçada:

Isso ocorre quando a caldeira possui potência insuficiente para atender as necessidades de vapor do usuário, que na expectativa de ver sua demanda atendida, intensifica o fornecimento de energia à fornalha. Nessas condições, dadas as limitações da caldeira, em vez de alcançar a produção desejada, o que é conseguido é o superaquecimento das várias partes da caldeira, determinando a deformação das mesmas ou até a ruptura (KARDEC, 2009)

#### 6.1.4.3.7 Falta de água nas regiões de transmissão de calor

O contato da água com o aço é fundamental para mantê-lo refrigerado. É essencial que o calor recebido pelas superfícies de aquecimento seja transferido para água, sem provocar aumento excessivo da temperatura do aço, pois no lado da água, o processo de vaporização acontece à pressão constante. No caso de haver falta de água em alguma parte da caldeira, o processo a temperatura constante cessará neste local, a partir do que se dará início uma transferência de calor sensível (com aumento de temperatura). Isso provocará o superaquecimento do metal e a perda da resistência. A maior parte das explosões em caldeiras é devido a falta de água nas regiões de transferência de calor. Os principais motivos para a falta de água são a circulação deficiente de água e a falha operacional (KARDEC, 2009)

#### 6.1.4.3.8. Choques térmicos

Ocorrem em virtude de frequentes paradas e recolocação em marcha de queimadores. As caldeiras suscetíveis a essas condições são aquelas que possuem queimadores em potência excessiva ou queimadores que operam em *on-off*, que não modulam a chama. As incrustações

das superfícies também favorecem os efeitos dos choques térmicos. Outras situações de ocorrência de choques térmicos são quando a caldeira é alimentada com água fria ( $< 80^{\circ}\text{C}$ ) ou com entrada de água quente nas regiões frias. Estes problemas acontecem com mais frequência em caldeiras flamotubulares. Falha operacional pode também contribuir para a ocorrência de choques térmicos, isso pode ocorrer após uma redução excessiva do nível de água, por um motivo qualquer e com parte da superfície de aquecimento sem refrigeração, o operador faz injetar água na tentativa de restabelecer o nível normal (KARDEC, 2009)

#### 6.1.4.3.9 Defeito de mandrilagem

Esta operação de expansão dos tubos junto aos furos dos espelhos da caldeira. A expansão é feita nas extremidades dos tubos por meio de um dispositivo cônico chamado mandril e que gira em torno de seu eixo axial. Através da mandrilagem os tubos ficam ancorados, com a estanqueidade devida, nos espelhos das caldeiras flamotubulares ou nas paredes do tubulão das caldeiras aquotubulares. A estanqueidade pode ficar comprometida se no momento da mandrilagem houverem corpos estranhos na superfície externa da extremidade dos tubos ou nas paredes dos furos. Problemas podem também ocorrer se o processo de mandrilagem não for bem controlado, promovendo o aparecimento de trincas nos espelhos e/ou nos furos (KARDEC, 2009)

#### 6.1.4.3.10. Falhas em juntas soldadas

O processo de soldagem é muito aplicado na fabricação de caldeiras, solda em tubos, solda em espelhos, solda em tubulões, de reforços, etc. Portanto, falhas em juntas soldadas aumentam os riscos de acidentes nas caldeiras, pois representam regiões de menor resistência do metal (KARDEC, 2009)

## 7. PROJETO CALDEIRA

O projeto de uma caldeira deve necessariamente ser governado pelo projeto de outras superfícies de aquecimento e pela unidade como um todo. A seleção do tipo de unidade ou o projeto de uma nova unidade para uma certa atividade depende de muitos fatores, dentre os quais:

- a-vazão, pressão e temperatura do vapor vivo;
- b-vazão, pressão e temperatura do vapor reaquecido entrando e saindo dos componentes;
- c-temperatura e condições da água de alimentação da caldeira;
- d-características de consumo do vapor gerado e tipo de serviço a ser atendido;
- e-esquema de atendimento da unidade de processo;
- f-combustíveis empregados e processo de combustão;
- g-eficiência operacional do sistema gerador de vapor;
- h-aspectos econômicos da geração de vapor.

Na verdade, o projeto térmico de um gerador de vapor consiste na determinação de configurações para os diversos componentes que o compõem; assim, dentre os diversos arranjos de superfícies de troca térmica, como os superaquecedores (de convecção, de radiação e combinados), economizadores, aquecedores de ar, assim como a diversidade de diâmetros, espaçamentos, comprimento e número de tubos devem ser indicados os mais recomendados a cada caso. Essa não é uma tarefa simples e requer um conhecimento aprofundado das equações que regem os diversos fenômenos de transferência de calor dentro de cada parte e no conjunto da caldeira (KARDEC, 2009)

De modo geral, os projetistas de caldeiras trabalham com os seguintes valores de projeto: análise completa do combustível a ser empregado; temperatura e pressão do vapor primário e de reaquecimento; vazão de vapor; temperatura da água de alimentação da caldeira; temperatura do ar na condição ambiente e dos gases de exaustão (KARDEC, 2009)

O combustível a ser queimado é fator de influência no dimensionamento da caldeira; fisicamente, uma caldeira a carvão é maior do que uma a óleo, além de contar com equipamentos auxiliares como o moinho de bolas (para redução física do carvão) e ventiladores adicionais (KARDEC, 2009)

Funcionalmente, as caldeiras diferem na preparação e na distribuição do combustível, na habilidade para manter a ignição do combustível em baixas cargas e no volume de cinzas dos produtos de combustão. A Figura 6 ilustra a diferença de proporções físicas entre fornalhas para três tipos de combustíveis (KARDEC, 2009)

## **8 CALDEIRA ATA COMBUSTÃO TÉCNICA**

Para o estudo foi escolhido a Caldeira ATA Combustão Técnica (, caracterizando da seguinte forma conforme a NBR 12177/92. (Figura 8)



Figura 8 Caldeira ATA

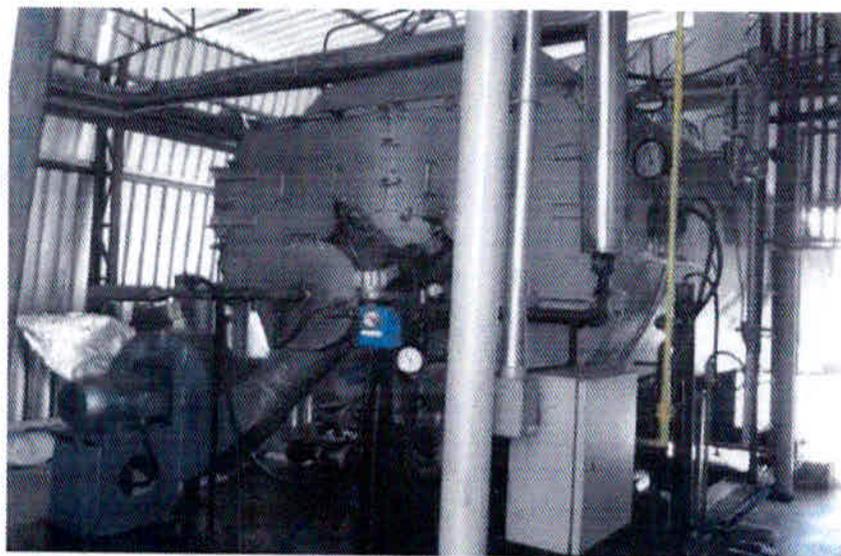


Figura 9- Caldeira ATA

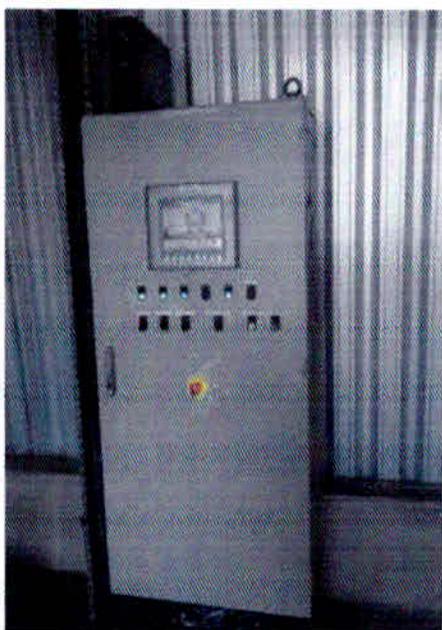


Figura 10- Painel Caldeira ATA

A marca é ATA modelo AWN fabricada no ano de 1998 categoria B, ou seja, são equipamentos que não se enquadram nas categorias A e C ( pressão de operação igual ou superior 1960 KPa 19,98 KgF/cm<sup>2</sup>/igual ou inferior 588KPa -5,99 KgF/cm<sup>2</sup> e volume interno é igual ou menor de 100 litros) de tamanho 4 com a pressão de projeto de 225 Psig (do vapor). Sua capacidade de produção de vapor é de 4.000 Kg/h com água a 20 °C, sendo a caldeira que tem maior produção comparada aos outros modelos. Sua fonte de calor (combustível) utilizado é o óleo BPF onde ocorre um maior rendimento do equipamento e auxiliar Diesel sendo a melhor forma de combustível a ser utilizada, pois não prejudica o equipamento, porém, o custo é alto comparado com o óleo BPF, operando com um ou mais ventiladores prementes havendo pressões positivas no interior da câmara de combustão, sendo utilizada para maior obtenção de coeficientes de transferência de calor devido o aumento de velocidade de gases ( tiragem por insuflação). A alimentação de água é intermitente realizando o tratamento de água no interior da caldeira com produtos conforme a especificação do fornecedor, este equipamento possui um rendimento de 91%.

A AWN é uma caldeira flamotubular, são assim classificadas pela forma que os gases, provenientes da combustão, trocam calor. Nesta configuração de caldeira, os gases passam pelo interior dos tubos do evaporador, que por sua vez, estão mandrilados nos espelhos do tubulão da caldeira, onde o vapor é separado do líquido e colocado na rede de utilidades. É uma caldeira cilíndrica horizontal com fornalha excêntrica e duas passagens de gases nos tubos para a queima de combustíveis líquidos, gasosos ou ambos, alternativamente, são dotadas de uma ou de duas fornalhas internas, conforme o tamanho da unidade e a câmara de reversão é completamente

imersa em água. Sua superfície de aquecimento é de 98 m<sup>2</sup> com produção de vapor 4000 kg/h, Pressão Máxima de Trabalho Admissível (PMTA), o maior valor de pressão compatível com o código de projeto, a resistência dos materiais utilizados, as dimensões do equipamento e seus parâmetros operacionais é de 225 Psig – 15,82 Kgf/cm<sup>2</sup>; Teste Hidrostático 338 Psig – 23,77 Kgf/cm<sup>2</sup>.

Seus principais equipamentos é o corpo (tambor) feito de construção soldada tendo medidas de comprimento de 48880 mm, diâmetro interno 1950, espessura da parede 12,5, eficiência das juntas (%) longitudinais 90 e circunferências 90, constituído do material ASTM-516 Gr60, sua extremidade é fechada por espelhos/planos sendo estaiado de material ASTM A-516 Gr-60 (Esp 22,2 mm). Os tubos-fornalhas de construção soldada; corrugado; diâmetro médio 746,7 mm; espessura da parede 12,7 mm; eficiência das juntas (%) longitudinais 100 e circunferências 90 constituído de material ASTM- A-516 Gr-60. Tubo de gases (quantidade 5442 – espiralados) de construção soldada; diâmetro externo 63,50 mm; espessurada da parede 2,65 mm; de material ASTM A-178 Gr-A. Barras Tirantes de diâmetro (quantidade 2804) 1.1/2" de comprimento 2584860.

São equipamentos obrigatórios na utilização da caldeira : manômetro principal localizados na linha do óleo, na linha do ar, piloto; Termômetros localizado na linha do óleo; Indicadores de Nível (pesado, com torneiras flangeadas 3/4" e 02 vidros lisos); Controladores de Níveis ( tipo eletrodos imersos em água para ligar e desligar a bomba d'água e tipo chave bóia para ligar e desligar a bomba d'água e segurança de nível baixo; Válvula de segurança principais localizado superior ao costado; Válvula e registro de Purga localizada na coluna de nível, fundo de costado; Válvula de Saída de Vapor; Dispositivo de alimentação de água; Fornalha (corrugada- dimensões - 0,746 x 4,35 m e espaço para combustão 1,75 m<sup>3</sup> com carga térmica máxima 1.643.571 Kcal/h.m<sup>3</sup>; Combustor Principal MPR-20 com capacidade de queima de cada 2.874.444 Kcal/h; Movimentação de ar e dos gases de combustão por ventiladores C-200/530.

Ao longo da vida útil do equipamento, podem ocorrer alterações acentuadas na estrutura desse material, seja por ação da corrosão, seja pela exposição prolongada desse material aos problemas de superaquecimento. Partindo-se desta constatação, o risco de acidente tende a aumentar na medida e quem diminuem a tensão admissível do material e a espessura efetiva de parede. Portanto, para que a segurança seja preservada, o equipamento deve receber atenção permanente, adotando-se medidas de correção ou, simplesmente, modificando-se a pressão de trabalho da instalação. Em termos mais gerais, entretanto, deve-se levar em conta a possibilidade de acidentes relacionados não apenas com uma eventuais explosão do

equipamento, mas também com incêndios, choque elétricos e intoxicação. Relativo a segurança desta caldeira, a falta ou excesso de água é acionado alarmes, bujões, fusíveis falta de chama é acionado foto-célula, olho elétrico; excesso de pressão de vapor é acionado alarmes, discos de ruptura; Explosão no espaço interno da caldeira, do lado dos gases é acionado portas de explosão.

Complementando, relativo a localização é recomendável segundo a NR-13 que as caldeiras de qualquer estabelecimento devem ser instaladas em Casa de Caldeiras ou em local específico para tal fim, denominado Área de Caldeiras. É um local reservado do estabelecimento, delimitado por paredes ou divisórias e devidamente coberto onde estejam instaladas as caldeiras, onde esteja confinada, exposto ou não à ação do tempo, a simples existência de cobertura não caracteriza o local como sendo "casa de caldeira". A opção pela instalação das caldeiras em área ou casa de caldeiras será definida na fase de projeto e independente das dimensões da caldeira ou de seus parâmetros operacionais.

Dentre as vantagens apresentadas, podemos destacar:

- O emprego da câmara de reversão completamente imersa em água (traseira úmida) elimina a necessidade de refratários, reduzindo também a perda de calor para o ambiente nessa região.
- Na maioria dos modelos é utilizada a fornalha corrugada do tipo fox, que apresenta maior resistência para uma mesma espessura de chupa, comparativamente com a fornalha lisa.
- Os tubos de gases são do tipo "espiralados", possuindo sulcos salientes em seu interior, que provocam escoamento turbulento dos gases de combustão, aumentando a troca térmica. Por outro lado, essa mesma turbulência minimiza o depósito de fuligem no interior dos tubos, prolongando o período entre limpezas internas dos tubos. Observar painel da Caldeira ATA.

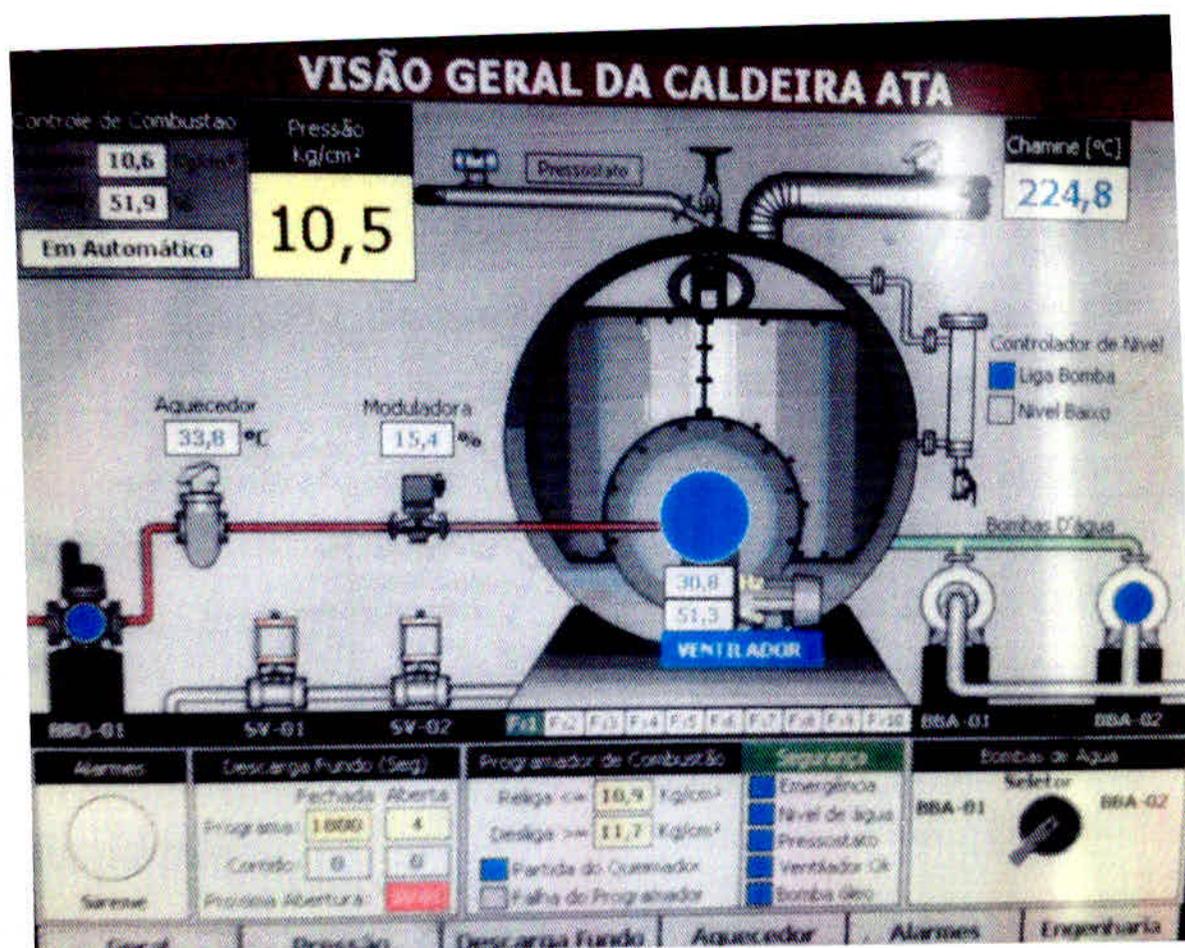


Figura 11 – Painel da Caldeira ATA

### 8.1 Rotina de Manutenção

A manutenção na caldeira depende em grande parte do operador, que, durante o período de funcionamento, deverá cumprir uma rotina diária de manutenção, efetuando contínua observação e pequenos reparos. Desta forma, o gerador estará sob constante cuidado, evitando-se o acúmulo de pequenos problemas e a permanência de situações prejudiciais, por período demasiadamente prolongado.

Assim sendo, o operador da caldeira deve observar as recomendações, como:

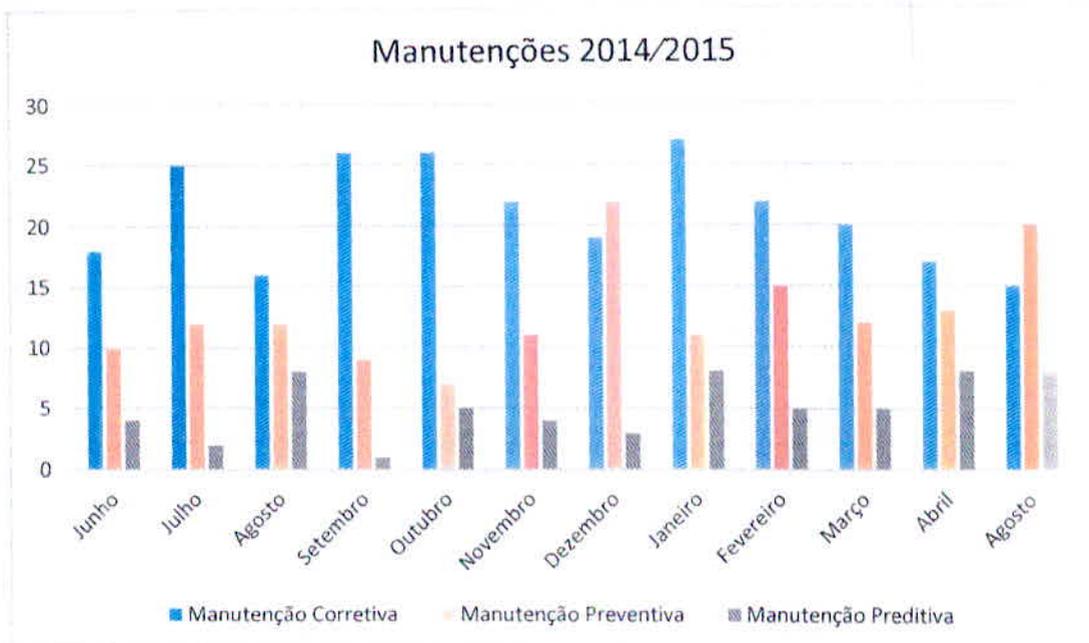
- A Casa da Caldeira deve ser conservada em perfeita ordem, tanto no interior como no exterior, removendo-se os apetrechos desnecessários, que impeçam ou dificultem a passagem, e acomodando-se os acessórios pertinentes, da melhor maneira possível. As ferramentas e peças sobressalentes devem estar arrumadas e limpas, prontas para serem usadas. O piso deve ser vistoriado e limpo, sempre que apresentar riscos provenientes de graxas, óleos e outras substâncias que o tornem escorregadio.

- Sempre que alguma falha for observada, o seu reparo deve ser providenciado, o mais rapidamente possível, a fim de que se prolongue e acumule o seu efeito. Não deve ser anulada a ação de válvulas, dispositivos automáticos, chaves magnéticas, usando tacos, pregos, palitos e objetos semelhantes, pois, assim procedendo, parte da segurança do gerador de vapor estará sendo prejudicada.
- Deve haver, no mínimo, uma completa revisão semestral com teste de todos os sistemas de segurança corrigindo-os se necessário. Esse nível de manutenção somente pode ser executado por elemento devidamente credenciado, de preferência pelo fabricante.
- O tratamento de água do gerador de vapor deve ser rigorosamente observado, procedendo-se descargas de fundo e da coluna de nível, conforme o necessário.
- Sempre que apresentarem vazamento, as válvulas devem ser reengaxetadas, terem suas sedes retificadas ou, caso nenhuma dessas providências resultem satisfatórias, devem ser internamente substituídas. Além disso, devem ser periodicamente acionadas, para que não fiquem emperradas por falta de uso.
- Nas válvulas de retenção, deve-se ter o cuidado de verificar o sentido do fluxo, quando retiradas e reinstaladas. Ao serem reinstaladas, recomenda-se cuidado para que não haja detritos na sede, que possam impedir seu bom funcionamento. As válvulas que apresentem vazamentos internos deverão ser limpas ou retificadas nas sedes ou, conforme o caso, substituídas.
- Uma vez por semana, as válvulas de segurança devem ser manualmente disparadas na pressão máxima de trabalho, acionando-se as respectivas alavancas algumas vezes, para que a sede e contra sede das mesmas não fiquem presas, devido à falta de uso. Se as válvulas apresentarem vazamento de vapor, quando fechadas, as sedes deverão ser limpas ou retificadas, dentro da maior brevidade possível, a fim de evitar o vapor destruir as sedes, por erosão.
- Tensão muito elevada ou muito baixa, na rede de energia, é extremamente prejudicial aos equipamentos elétricos do gerador de vapor.
- Sempre que a caldeira iniciar o funcionamento, deve ser observado o primeiro ciclo de partida, a fim de constatar se existe alguma irregularidade. Durante a operação da caldeira, deve ser observada a presença de fumaça e se a temperatura dos gases na chaminé está demasiadamente elevada. Deve ser também observada a instrumentação, lembrando-se que ela fornece os índices do funcionamento e do rendimento da caldeira.
- Enquanto a caldeira estiver quente, nunca descarregue totalmente a água, nem adicione rapidamente água fria em grande quantidade.

## 8 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram colhidas informações de planilhas de manutenção de uma empresa de refino de óleo, este dados passaram por uma análise e tabulados. Durante a análise de manutenções realizadas durante um ano, levantou-se que o número de manutenções corretivas se sobressai sobre os outros dois tipos de manutenções realizadas, os meses onde houve maior número de manutenções corretivas foi o mês de Dezembro, Janeiro e Abril. A preventiva aumenta com relação as outras em Março e Agosto. Podemos perceber que este gráfico ainda enfatiza a realidade de muitas empresas e que ainda continua sendo o grande paradigmas onde a quantidade de manutenções corretivas sejam menor que a preventiva/detectiva. Vargas, declara que “ O custo da indisponibilidade concentra-se naqueles decorrentes da perda de produção, da não qualidade dos produtos, da recomposição da produção e das penalidades comerciais, com possíveis consequências sobre a imagem da empresa”

Figura 12- Manutenções 2014/2015

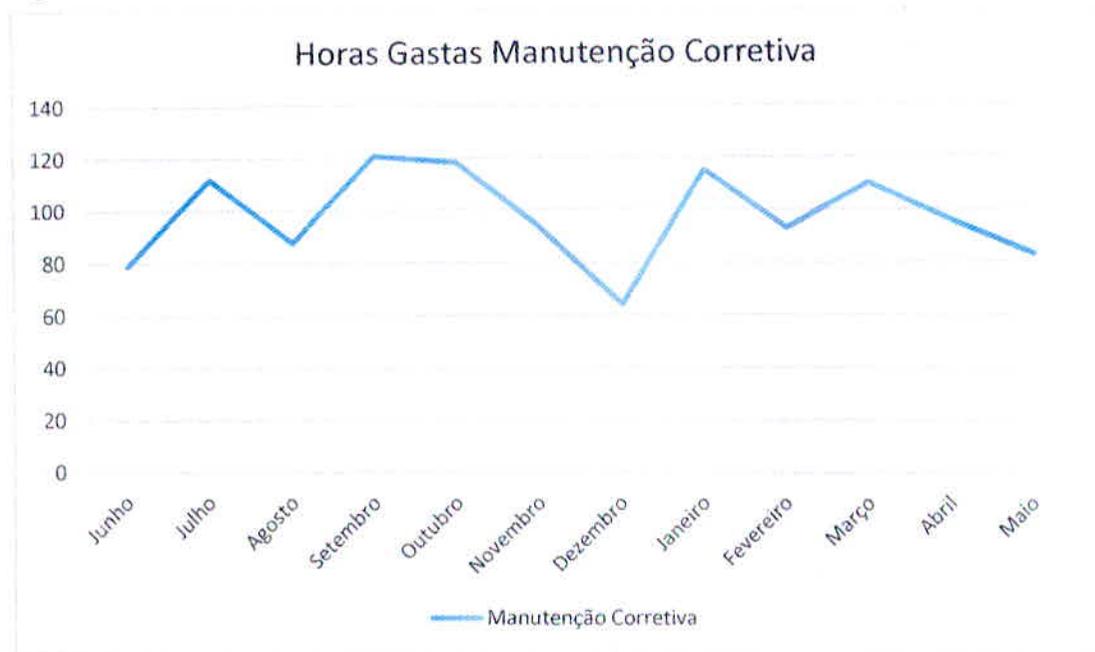


Fonte: Dos autores

A partir da coleta de quantas manutenções foram realizadas durante o ano de estudo, identificamos quantas horas gastas com cada tipo de manutenção, consequentemente paralelo ao gráfico anterior, se a manutenção corretiva sobressai as outras, as horas gastas também reflete a mesma realidade encontrada. Percebemos que as horas gastas com manutenção irão se

sobressair refletindo as desvantagens encontradas quando se realiza a manutenção corretiva: percebe-se maior gasto financeiro e enquanto se concerta o equipamento encontra-se parado e a realidade na qual retratamos, enquanto se realiza a manutenção na Caldeira ATA, que se encontra desligada para tal finalidade, as outras duas caldeiras da empresa deverão ser ativadas para suprir a função destinada ao equipamento que se passa a manutenção. Por conseguinte, teremos o gasto de dois equipamentos para que se cumpra a função de um, temos um cenário onde gasta-se para concertar e gasta-se também o dobro para manter os outros dois equipamentos. Filho, 2000 retrata muito bem esta descrição feita quando ele declara que “Além desses custos citados, pode acontecer uma parada inesperada num momento importuno de crise ou de alta demanda produtiva, o que poderia colocar a empresa numa situação difícil diante de seus clientes e ou funcionários” (FILHO, 2000).

Figura 13- Horas Gastas Manutenção Corretiva



Fonte: Dos autores

O gráfico abaixo retrata as horas gastas de manutenção preventiva, que se caracteriza como aquele tipo de manutenção que se prepara, se organiza em atividades com o objetivo de não ocorrer falhas. Quando temos uma prática de manutenções preventiva, verifica-se que a quantidade de manutenções corretivas diminui, retorna-se em um fator positivo a empresa. Se compararmos os dois gráficos ( Manutenção Preventiva e Corretiva) podemos estabelecer uma relação direta da seguinte forma: quando se trabalha com um maior número de manutenções preventivas, resulta-se, em um menor número de manutenções corretivas, esta relação é exemplificada no mês de Março – foi tabulado 40 horas manutenções preventivas,

consequentemente, o mesmo mês foi realizado 61 horas de manutenção corretiva. Outro exemplo, é o mês de Julho foram realizadas 17 manutenções corretivas ao contrário que no mesmo mês foi realizado 13 manutenções preventivas, ainda como observado a quantidade de manutenções corretivas ainda se sobressai, mas, com um índice menor comparado aos outros meses no período de um ano.

Figura 14- Horas Gastas Manutenção Preventiva

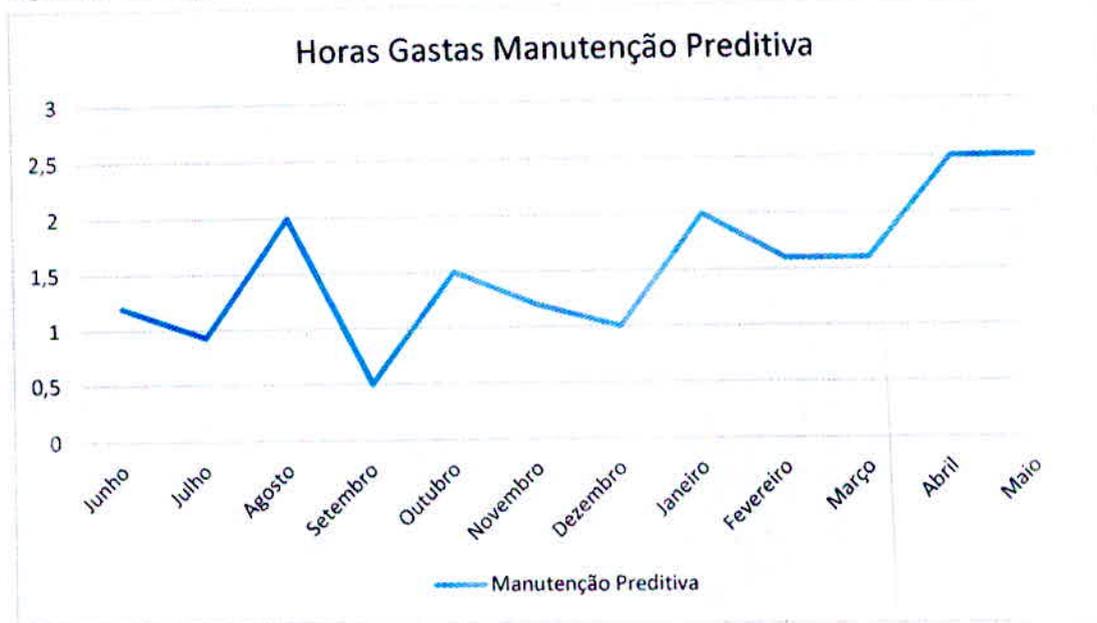


Fonte: Dos autores

A manutenção preditiva é um tipo de manutenção que ainda é pouco empregada observado através das horas gastas demonstrado pelo gráfico. Porém, é atrelada a manutenção preventiva que reduz a ocorrência de manutenções e assim, os gastos, a mão de obra e os problemas oriundos da falha do equipamento.

Comparando as vantagens e desvantagens deste método, observa-se que o retorno trago pela implantação de preventiva, mesmo que sem programas bem estabelecidos e precisos, é superior as desvantagens, pois, o lucro que a empresa gera com o mínimo ganho de tempo produtivo supera os investimentos feitos para a implantação deste conceito. Isto pelo conceito de prevenção pode-se identificar um aumento de preocupação e do envolvimento de toda equipe com os problemas do setor e até da empresa. Este ganho não é mensurável, porém, está implícito nos demais ganhos obtidos pela empresa (VARGAS, 2013; KARDEC 2009).

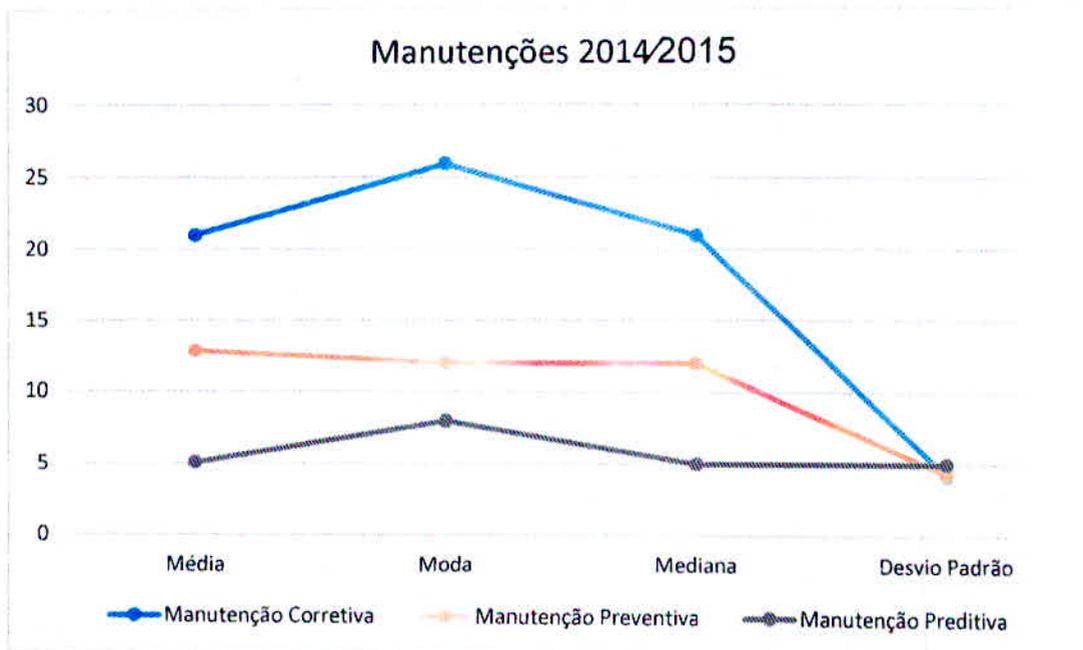
Figura 15- Horas gastas Manutenção Preditiva



Fonte: Dos autores

Todo este estudo demonstra que em média durante o ano são realizadas 21 manutenções corretivas, 12 preventivas e 5 preditiva . São números consideráveis para análise pois o objetivo é otimizar o tempo gasto e quantidades de manutenções prestadas.

Figura 16- Média de Manutenções



Fonte: Dos autores

Dentre as manutenções corretivas prestadas por mês foram realizadas no máximo 3 manutenções de caráter crítico, ou seja, aqueles tipos de manutenções que oferece risco direto ao equipamento e conseqüentemente na parada de produção.

Figura 17 - Manutenções Críticas



Fonte: Dos autores

Observados levantamento, observamos que a realidade do equipamento ainda é crítico e precisa-se se tomado algumas atitudes para que se reduza o número destas manutenções aumentando a qualidade na produção. Estamos em estudo de um equipamento que trabalha 24 horas ao dia durante todo o mês, exceto em dias de manutenções programadas onde deverá ser desligado o equipamento, ou quando se necessita de manutenção corretiva e que o desligamento é inevitável. Pensando nisto, o próximo passo do estudo foi relatar os principais problemas ocorridos durante o ano de estudo da caldeira e a justificativa para que este problema ocorra. Conforme a tabela abaixo, estes foram os principais problemas críticos ocorridos durante o período que há uma maior comprometimento do equipamento.

Após esta coleta de informações, foi realizado um balanço geral com cálculos como a quantidade de ordens de serviço, horas gastas, horas disponíveis, tempo médio decorrido de uma falha até a próxima (MTBF), a produção de vapor, consumo de água e finalmente o consumo de combustível.

Tabela 2- Balanço Geral Manutenção

Mês	Corretiva	Preventiva	Preditiva	Quantidade Ordens Serviço	Total de Horas de Manutenção	Horas Disponíveis	Horas Trabalhadas
Junho	79	6,66	12	32	86,86	87,93611111	633,14
Julho	119,99	9,1	0,93	39	122,02	83,05277778	597,98
Agosto	87,5	21,9	2	36	111,4	84,52777778	608,6
Setembro	120,98	7,75	0,5	36	129,23	82,05138889	590,77
Outubro	118,33	12,7	1,5	38	132,53	81,59305556	587,47
Novembro	93,45	5,35	1,2	37	100	86,11111111	620
Dezembro	64,2	39,5	1	44	104,7	85,45833333	615,3
Janeiro	115,04	16,81	2	46	133,85	81,40972222	586,15
Fevereiro	93,2	22,03	1,6	42	116,83	83,77361111	603,17
Março	110	8,6	2,5	37	121,1	83,18055556	598,9
Abril	96	10,6	2,5	38	109,1	84,84722222	610,9
Mai	83	10,6	2,5	43	96,1	86,65277778	623,9

Fonte: Dos autores

Tabela 3- Balanço Geral Manutenção

Mês	MTBF	Produção de Vapor	Consumo de Água (por mês)	Consumo de Combustível
Junho	17,03762153	2532560	1741135	194812,3077
Julho	13,20326211	2391920	1644445	183933,8462
Agosto	14,55756173	2434400	1673650	187261,5385
Setembro	14,13107253	2363080	1624617,5	181775,3846
Outubro	13,31255117	2349880	1615542,5	180760
Novembro	14,42942943	2480000	17050000	190769,2308
Dezembro	12,04185560	2461200	1692075	189323,0769
Janeiro	10,97261473	2344600	1611912,5	180353,8462
Fevereiro	12,36658069	2412680	1658717,5	185590,7692
Março	13,93836336	2395600	1646975	184276,9231
Abril	13,83349415	2443600	1679975	187969,2308
Mai	12,49412145	2495600	1715725	191969,2308

Fonte: Dos autores

O que se observa que no mês de Abril, foi o mês que mais se realizou manutenções aliado a isso teremos um maior gasto, menor produção de vapor e MTBF. Ao contrário disso, o mês de Setembro apresenta resultados satisfatórios com menores índices de MTBF, consumo de combustível, água, maior produção de vapor e maior tempo de horas trabalhadas. Podemos perceber através deste índices as vantagens de um menor emprego de manutenções, apesar disto, não é a realidade de todos os meses retratados, pois, somente os meses de Agosto e Março apresenta resultados mais satisfatórios.

Através deste estudo observamos que o emprego de um planejamento e controle de manutenção irá trazer benefícios ao equipamento reduzindo a quantidade de falhas e também a empresa diminuindo gastos e produzindo mais.

Outro ponto crítico da Caldeira é o tipo de combustível utilizado, pois, o mesmo pode produzir incrustações que trarão danos ao equipamentos diminuindo a eficiência de produção de vapor.

Tabela 4- Problemas Caldeira

Principais Problemas Ocorridos na Caldeira ATA 2014/2015	
Problema	Justificativa
Combustível	Incrustações dos tubos da Caldeira
Motor da Bomba D' água	Vibrações
Bomba D' água	Baixa vasão
Válvula Moduladora	Sem regulagem de vasão
Ventilador do Ar da Combustão	Desgaste no rolamento sucedendo a vibrações
Visor de Chama	Quebras
Vazamento de gases na Tampa Dianteira	Corda de Isolamento desgastada
Descarga de Fundo	Gerando "Golpe de Ariete"
Bico no Maçarico da Lança	Sujo com incrustações
Tensão Desarmando Ventilador	Nobreik com problema de tensão
Muita água na Atomização	Má qualidade ar resultando em muita água

Fonte: Dos autores

A empresa passou a utilizar alguns tipos de combustível para queima na caldeira, sempre otimizando os valores de gasto e o benefício ao equipamento. Primeiro a utilização de óleo BPF 1A, um óleo que precisa ser aquecido a uma temperatura 137° , é considerado um combustível relativamente bom.

Após passou-se utilizar o óleo vitória, óleo que passa por um processo de rerefino (desidratação, craqueamento, filtragem) com objetivo de melhorar sua viscosidade, ponto de fugor para combustão, transformando-se em óleo fresh. Assim, a empresa utilizando BPF + fresh porém com o custo a empresa desenvolveu outro combustível com a mistura de óleo fresh + vitória e teve bons resultados e tentando ainda otimizar os resíduos do serviço, adicionou refugo do processo da combustão -borra ácida) – o objetivo de utilizar este dejetos é para que reutilize e assim reaproveitando aquilo que não estava sendo utilizado, resultando um processo mais barato para a empresa. Porém, ocorreu danos com processos de incrustações na caldeira, havendo manutenções periodicamente, em contrapartida volta-se novamente a utilizar o óleo fresh.

Como observado na tabela abaixo, a mistura com óleo BPF + Vitória necessita de haja manutenções periodicamente comparado com Óleo BPF 1A. É sabido que o combustível é um

fator crítico para a Caldeira sendo um impacto nos danos causados a Caldeira. Após disto, é realizado um plano de manutenção para a Caldeira ATA juntamente com o gerente de manutenção do setor e sua equipe que deverá ser empregado no equipamento durante os próximos meses, de acordo com os dados apresentados e os autores de outros estudos como KARDEC 2009 “O primeiro ponto positivo da implantação de um programa de prevenção de falhas na empresa é a redução de custos, tanto na manutenção quanto de produção. Com o programa rodando de forma eficaz, a manutenção realizará intervenções corretivas nos equipamentos com menor frequência, isto, aumentará a disponibilidade do equipamento produtivo e assim, a manutenção substituirá menos componentes do equipamento de forma desnecessária ou num momento crítico para o processo e tornará o processo capaz de produzir uma quantidade de maior produto, o que tornará o custo unitário do produto menor, e, conseqüentemente, resultará em maior lucratividade e competitividade para a empresa”.

Tabela 5- Planejamento de Manutenção Caldeira ATA

<b>Tipos de Manutenções</b>	<b>Óleo BPF 1<sup>a</sup></b>	<b>Óleo BPF + Vitória</b>
Verificação Limpeza e Queimador	Diário	Diário
Verificação Tratamento de Água	Semanal	Semanal
Teste de válvula de segurança	Semanal	Semanal
Verificação Sistema de Combustão	Semanal	Diário
Teste Operacional do Controle do Nível de água	Semanal	Semanal
Inspeção do refratário	Semanal	Semanal
Abrir a tampa traseira caldeira	6-20	Semanal
Abrir tampa dianteira caldeira	6-20	Semanal
Escovar caldeira	6-20	Semanal
Fechar tampa traseira e dianteira	6-20	Semanal
Limpar parte central da caldeira	6-20	Semanal
Limpeza de bico do maçarico e foto-célula queimador	Semanal	Semanal
Limpeza da chave de nível	Semanal	Semanal
Revisar bomba d' água- medir vibração	Semanal	Semanal
Revisar Motor Bomba d' água	25 dias	25 dias
Inspeccionar Motor Ventilador da Combustão	Semanal	Semanal
Inspeccionar vazamento dos gases da tampa	Diariamente	Diariamente
Verificar Válvulas Pneumáticas	Semanal	Semanal

Revisar moto Ventilador, trocar rolamentos	25	25
Fazer teste de termografia no painel da caldeira	30	30
Fazer teste hidrostático	90 dias	90 dias
Inspecionar caldeira totalmente	90 dias	90 dias
Medir Espessura da Parede da Caldeira	90 dias	90 dias
Verificar funcionamento de todas as válvulas	30 dias	30 dias
Verificar Alarme do Ventilador Bomba d' água	Semanal	Semanal

Fonte: Dos autores

Após o emprego de planejamento de manutenção podemos analisar os dados e confirmar que se houve atividades de manutenção realizadas sem planejamento, corre-se o risco de trazer prejuízos e comprometer inclusive a imagem da empresa junto a seus clientes. Se uma empresa deixa de produzir porque está com equipamentos danificados e o tempo de reparo destes foi muito grande e comprometeu a produção diária, esta empresa está correndo o risco de comprometer os prazos de entrega dos produtos junto aos seus clientes, perder a credibilidade e afetar negativamente a sua imagem. Segundo Fabro (2003), o planejamento visa proporcionar maior confiabilidade, manutenibilidade e, conseqüentemente, disponibilidade ao equipamento. Deve atender bem os equipamentos críticos da produção, por isso sua elaboração precisa ser orientada pela união de objetivos e políticas de produção juntamente com os da manutenção. Cabe a engenharia de manutenção proporcionar um processo de manutenção que dê sustentação para a eficiente elaboração e execução de um plano de manutenção. Plano este que deve ser orientado em função da criticidade dos processos, e ou equipamentos, visando direcionar os esforços para os equipamentos dos processos realmente críticos, e economizando os esforços para os menos críticos.

Com este estudo poderemos em seguida desenvolver indicadores de manutenção, que possuem o propósito de buscar o desempenho de manutenção através de análise de dados extraídos dos processos produtivos, com propósito único de medir o desempenho da manutenção e identificar oportunidades de melhorias. Por meio de indicadores, é possível elaborar planos de atividades com o objetivos específicos para a evolução de índices especificados, de acordo com Pinto e Xavier (2002)

Conforme Pinto e Xavier (2002), pode-se classificar os indicadores segundo sete grupos básicos:

Grupo 1 – Indicadores de Desempenho dos Equipamentos;

Grupo 2 – Indicadores de Custo da Manutenção;

Grupo 3 – Indicadores da Eficiência dos Programas de Manutenção;

Grupo 4 – Indicadores de Eficiência da Mão-de-obra;

Grupo 5 – Indicadores Administrativos na Manutenção;

Grupo 6 – Indicadores de Estoque;

Grupo 7 – Indicadores de Segurança, Saúde e Meio Ambiente.

Com essa ideia de classificação, é possível medir todo, ou quase todo o desempenho de uma manutenção por pontos, de forma clara e transparente, permitindo assim que se melhore e corrija pontos de ineficiência de manutenção, crie histórico de desempenho e proporcione um direcionamento mais preciso do planejamento mais adequado a cada realidade.

Após transcorridos o período de um ano de estudo, foi desenvolvido o planejamento (tabela 6) de manutenção para a Caldeira ATA de acordo com o que foi observado de problemas e como era anteriormente as manutenções realizadas. Com este novo planejamento, o objetivo foi reduzir o tempo entre uma manutenção e outra e estudá-la com dois tipos de combustíveis para identificar em qual ela apresenta melhor funcionamento. O princípio deste novo planejamento é diminuir as quantidades de manutenções corretivas e assim menor tempo de equipamento parado. A tabela 7 descreve o resultado após três meses com este novo planejamento.

Tabela 6- Resultados após três meses de planejamento da manutenção

Meses	Manutenção Preventiva	Horas	Manutenção Corretiva	Horas	Manutenção Preditiva	Horas	Total de Horas Trabalhadas
Junho	72	13,3	41	36,6	10	2,1	670,1
Julho	68	10,1	33	33,5	10	2,5	700,6
Agosto	69	10,5	38	35,1	10	2,8	698,4

Fonte: Dos autores

Podemos identificar que nestes três meses houve uma melhora no índice de manutenções corretivas, pois, comparado com a quantidade de manutenções preventiva o mesmo se encontra inferior. Ou seja, trabalhou-se mais em realizar manutenções planejadas e diminui o tempo em que se gasta concertando o equipamento.

## 9 CONCLUSÃO

Conclui-se que o planejamento e controle de manutenção é uma ferramenta indispensável para qualquer empresa, inclusive, na qual demonstramos que possui a Caldeira ATA. Um bom planejamento reduz custos, mão de obra, necessidade de estoque e além disto traz benefícios aumentando a disponibilidade do equipamento e a produção. O grande desafio é deixar a prática de somente manutenções corretivas e aumentar o índice de preventiva. Podemos perceber quando implantamos um novo planejamento de manutenção para a Caldeira ATA os resultados apresentados durante os três meses foram satisfatórios em comparação com a manutenção preventiva e corretiva. Além disto, o emprego de manutenção preventiva o tempo gasto de mão de obra é sempre inferior, pois, o manutentor sempre terá em sua mão as ferramentas necessárias e o espaço ideal para que se realize o serviço, otimizando o tempo e o custo do processo.

## REFERÊNCIAS

- ALTAFINI, Carlos Roberto. Caldeiras. Máquinas Térmicas. Caxias do Sul. 1ed. 2002  
Apostila SENAI 2000. São Paulo 2ed.
- BIZZO, W. Gerador de Vapor. Geração, Distribuição e Utilização de vapor. São Paulo, 2010. Cap 4 p 1-15.
- FABRO, E. Modelo para planejamento de manutenção baseado em Indicadores de criticidade de processo. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção Universidade Federal de Santa Catarina, 2003.
- FILHO, Gil Branco. **A Organização, o Planejamento e o Controle de Manutenção**. Rio de Janeiro (RJ) Moderna 2008
- FILHO, Gil Branco. Dicionário De Termos de Manutenção e Confiabilidade. Rio de Janeiro. Editora Ciência Moderna 2000.
- KARDEC Aland; NASEIF Julio. **Manutenção Função Estratégica**. 3 ed. Editora Qualitymark 2009.
- LEITE, N. MILITÃO, RENATO. Tipos e Aplicação de Caldeiras. Escolas Politécnicas. Departamento Engenharia Mecânica 2008 1ed. P 1-112.
- MARTINELLI Jr., L. C. Geradores de Vapor – Recepção, Operação e Medidas de Segurança. Cadernos UNIJUÍ, Série Tecnologia Mecânica, n.º 8, Editora Unijuí, Ijuí, RS, 1998.
- MARCORIN, Wilson Roberto; LIMA, Carlos Roberto Carnello. **Análises do custo de manutenção e não manutenção de equipamentos produtivos**. Disponível em: < <http://unimep.br>> Acesso em 08-09-2015.
- MANUTENÇÃO INDUSTRIAL –TPM**. Disponível em: < <http://www.esp.ufsc.br>>
- NEPOMUCENO, L.X. **Técnica de Manutenção Preditiva**. São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 1989 v.1
- PINTO, Alan Kardec; XAVIER, Júlio Aquino Nascif; BARONI, Tarcísio. Gestão estratégica e técnicas preditivas. Rio de Janeiro: Qualitymark; ABRAMAN - Associação Brasileira de Manutenção, 2002. 136 p
- PINTO, A. K.; XAVIER, J. N. **Manutenção: função estratégica**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1994.