



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA**  
**CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**AYSLA CAROLINE SOUSA OLIVEIRA**

**IMPLEMENTAÇÃO DE ESTRATÉGIA DE  
MANUTENÇÃO EM CALDEIRA AQUATUBULAR**

**SÃO LUIS - MA**

**2022**

AYSLA CAROLINE SOUSA OLIVEIRA

**IMPLEMENTAÇÃO DE ESTRATÉGIA DE  
MANUTENÇÃO EM CALDEIRA AQUATUBULAR**

Trabalho de conclusão de curso apresentada à Coordenação do Curso de Engenharia Mecânica — CCEM, da Universidade Federal do Maranhão — UFMA, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Dalmo Inácio Galdez Costa

SÃO LUIS - MA  
2022

AYSLA CAROLINE SOUSA OLIVEIRA

**IMPLEMENTAÇÃO DE ESTRATÉGIA DE MANUTENÇÃO EM  
CALDEIRA AQUATUBULAR**

Trabalho de conclusão de curso apresentada à Coordenação do Curso de Engenharia Mecânica — CCEM, da Universidade Federal do Maranhão — UFMA, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

São Luís, 19 de dezembro de 2022.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Dalmo Inácio Galdez Costa  
(Orientador – CCEM/ UFMA)

---

Prof. Dr. Elson Cesar Moraes  
(Avaliador Interno à Banca – CCEM/ UFMA)

---

Prof. Dr. Vilson Souza Pereira  
(Avaliador Interno à Banca – CCEM/ UFMA)

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).  
Diretoria Integrada de Bibliotecas/UFMA

Oliveira, Aysla Caroline Sousa.  
IMPLEMENTAÇÃO DE ESTRATÉGIA DE MANUTENÇÃO EM CALDEIRA  
AQUATUBULAR / Aysla Caroline Sousa Oliveira. - 2022.  
66 f.

Orientador(a): Dalmo Inácio Galdez Costa.  
Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do  
Maranhão, São Luís, MA, 2022.

1. Caldeira Aquatubular. 2. Engenharia de Manutenção.  
3. Estratégia de Manutenção. 4. Gestão da Manutenção. 5.  
Manutenção Centrada em Confiabilidade. I. Costa, Dalmo  
Inácio Galdez. II. Título.

*DEDICATÓRIA*

Dedico à minha avó, mulher guerreira, que com seu nome que homenageia o mar, filha das matas e índias, navegadora de tormentas e que rodopia na ala das baianas.

# Agradecimentos

Agradeço primeiramente àquele que sempre esteve comigo, me guardando, me protegendo, e me indicando o caminho que eu tinha de tomar posse. À minha avó em especial, Jacimar, que me proporcionou a melhor oportunidade de escolher, de ser, de perseguir aquilo que almejava, sem nunca colocar limites nos meus sonhos e desejos, obrigada pela sua sabedoria, seu companheirismo e principalmente seu amor. Aos meus pais, Joelma e Adilson, que sempre me incentivaram a percorrer o caminho do estudo e com muito esforço e abdições lutaram por mim e pelo meu futuro, de estar onde estou. Agradeço também a minha tia Márcia e ao meu padrinho Antônio Carlos (o Toninho), que sempre me acolheram em seu lar e fizeram de mim uma filha, sem distinções.

Aos amigos de longa data, Wal e Guilherme que sempre sonhamos juntos e agora tornou-se realidade, e àqueles que fiz durante o curso, Raissa, Karen, Larissa, Sávio, Mariana, Sylmara, Renan, Gabriel e Gláucia pelos momentos incríveis que passamos durante esses anos e experiências que compartilhamos. Em especial, a Jadna, que me apoiou, me orientou, sempre acreditou no meu potencial e me fez perceber ser capaz.

Ao Prof. Dr. Dalmo Galdez pela orientação, presteza e atenção durante todo esse período, a amizade. A todos os professores do curso de Engenharia Mecânica pela dedicação ao ensino e troca de conhecimentos, em especial do prof. Dr. Glauber Cruz que me orientou em um projeto de pesquisa que hoje me deu outra visão sobre bioenergia e é fundamental onde estou.

Aos meus colegas de trabalho, a engenharia que me deu todo suporte e voto de confiança para realizar esse trabalho, Emílio, Leonardo, Marco e Laura, aos meus amigos do planejamento que sempre me deram total apoio Josy Carla, Anastácio, Flávio e Vanessa, e aos técnicos especializados e encarregado que dedicaram seu tempo para me ensinar e apoiar, Ebevaldo, Alberto Gentil, Jairon, Joel e Robécio e a Rosa Maria, mulher, mecânica e inspiração.

Com certeza foi uma grande evolução e autodesenvolvimento para todos. Enfim, obrigado a todos aqueles que de uma forma ou outra contribuíram para que este trabalho fosse realizado.

*“É a confiança de nossos corpos, mentes e espíritos que nos permitem manter a procura de novas aventuras, novos rumos para crescer, e novas lições a aprender, que é o que é a vida.”*

*Oprah Winfrey*

## Resumo

Este trabalho aborda a implantação da estratégia de manutenção baseada “*Reliability Centered Maintenance*” (RCM) ou Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) e nos padrões do sistema de negócios da companhia na área de utilidades de uma empresa do setor de mineração, o sistema de produção de vapor conta com caldeiras de diversos tipos, porém os alvos da implementação são caldeiras aquatubulares. Objetiva o aumento da confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade dos equipamentos rotativos (ativos). Buscando a otimização do uso dos recursos disponíveis para atender aos ativos, melhorar a produtividade e redução de custos induzidos devido às manutenções corretivas e construção do direcionamento estratégico para os mesmos. Neste sentido, a implantação da estratégia representa contribui significativamente para a gestão da manutenção da área. Evidenciando a análise de falhas, as conclusões obtidas, as etapas seguidas e as ações estruturadas que permitiram a estruturação do plano de manutenção, orientado para a evolução da confiabilidade e a disponibilidade dos ativos da organização do estudo de caso. Com este trabalho de aplicação do RCM à estratégia de manutenção foi possível identificar diversas tarefas críticas que não tinham atividades de manutenção ou plano de manutenção, sendo que estas foram organizadas e distribuídas conforme os responsáveis pela execução. Este estudo foi significativo e engrandecedor tecnicamente, pois direcionou a documentação necessária concentrada na empresa contratada, identificou-se as oportunidades de melhoria quanto ao acesso à informações da engenharia da área, identificou-se os componentes e recursos técnicos necessários para execução das atividades, e ainda permitiu-se identificar melhorias para reduzir a ocorrência de falhas, e meios para facilitar a detecção das mesmas e correção eficaz e reconexão com o processo.

**Palavras-chave:** Manutenção Centrada em Confiabilidade; Gestão da Manutenção; Caldeira Aquatubular; Engenharia de Confiabilidade; Engenharia de Manutenção.



## Abstract

This work addresses the implementation of the maintenance strategy based on Reliability Centered Maintenance (RCM) and on the company's business system standards in the utilities area of a mining company, the steam production relies on boilers of different types, but the implementation targets are water-tube boilers. It aims to increase the reliability, maintainability, and availability of rotating equipment (assets). Seeking to optimize the use of available resources to serve the assets, improve productivity and reduce induced costs due to corrective maintenance and construction of strategic guidance for them. Thus, the implementation of the strategy represents a significant contribution to the maintenance management of the area. Evidencing the failure analysis, the obtained conclusions, the steps followed and the structured actions that allowed the structuring of the maintenance plan, oriented towards the evolution of reliability and the availability of the organization's assets from the case study. With this RCM application work to the maintenance strategy, it was possible to identify several critical tasks that did not have maintenance activities or maintenance plan, and these were organized and distributed according to those responsible for the execution. This study was significant and technically enriching, as it directed the necessary documentation concentrated in the contracted company, identified opportunities to improve access to information by the engineering, identified the components and technical resources needed to carry out the activities, and it was also possible to identify improvements to reduce the occurrence of failures, and means to facilitate their detection and effective correction and reconnection with the process.

**Keywords:** Reliability Centered Maintenance (RCM); Maintenance management; Water Tube Boiler; Reliability Engineering; Maintenance Engineering.

## Lista de Ilustrações

Figura 1 - Conceito Bayer. ....	22
Figura 2 - Caldeira aquatubular (detalhamento).....	23
Figura 3 - Caldeira de vapor e seus componentes. ....	24
Figura 4 - Evolução da manutenção. ....	28
Figura 5 - Gatilhos de manutenção preventiva.....	30
Figura 6 - Desempenho baseado no tipo de manutenção aplicada. ....	33
Figura 7 - Árvore estrutural de ativos.....	35
Figura 8 - Matriz de criticidade ABC.....	36
Figura 9 - FMEA para manutenção. ....	37
Figura 10 - PDCA: Fluxograma. ....	37
Figura 11 - Adequação ao RCM.....	40
Figura 12 - Hierarquia de ativo conforme árvore de 8 níveis.....	41
Figura 13 - Matriz ABC de criticidade.....	43
Figura 14 - Custo de manutenção em 2021. ....	43

Figura 15 - Análise de falhas.....	44
Figura 16 - Modelo adaptado de FMEA a partir do EMS.....	45
Figura 17 - Modos e efeitos de falhas e suas causas. ....	45
Figura 18 - Atividades aplicáveis a cada modo de falha. ....	46
Figura 19 - Diagrama de decisão de atividade de manutenção recomendada. ....	47
Figura 20 - Anexo de atividade de inspeção preventiva.....	48
Figura 21 - Procedimento de manutenção mecânica.....	49
Figura 22 - Detalhamento da descrição e especificação de sistemas. ....	50
Figura 23 - Estratégias criada no EMS.....	50
Figura 24 - Bomba centrífuga multiestágio WK 65/3.....	57
Figura 25 - Bomba de engrenagem FBE-A.....	58
Figura 26 - Ventilador Marelli com <i>damper</i> externo. ....	59
Figura 27 - PSVs do tubulão superior. ....	59
Figura 28 - <i>Tag</i> aplicado no campo.....	60
Figura 29 - Procedimento de manutenção de PSVs. ....	64
Figura 30 - Procedimento de manutenção de PSVs. ....	65
Figura 31 - Anexo de atividade de manutenção preventiva. ....	66
Figura 32 - Plano de manutenção.....	67

## Lista de Tabelas

Tabela 1 - Descrição dos componentes de uma caldeira. ....	24
Tabela 2 - Análise de implementação de RCM por Moubray. ....	34
Tabela 3 - As sete etapas de implementação via Siqueira. ....	35
Tabela 4 - Cadastro de ativos. ....	41
Tabela 5 - Critério de segurança. ....	42
Tabela 6 - Critério de custo. ....	42
Tabela 7 - Critério de qualidade. ....	42
Tabela 8 - Critério de produção. ....	42
Tabela 9 - Critério de “ <i>backup</i> ”. ....	43
Tabela 10 - Descritivo das caldeiras (especificações). ....	55
Tabela 11 - Plano de ação da implementação. ....	56
Tabela 12 - Identificação dos ativos. ....	60
Tabela 13 - Árvore de 8 níveis. ....	61
Tabela 14 - Descritivo de válvulas de segurança por caldeira. ....	61
Tabela 15 - Relação de componentes por equipamento. ....	62

Tabela 16 - Matriz de criticidade ABC. ....	62
Tabela 17 - FMEA - descrição. ....	63
Tabela 18 - FMEA - Análise de risco.....	63

## **Lista de Fluxogramas**

Fluxograma 3.1 - Níveis de “tags”. ....	32
Fluxograma 4.1 - Etapas de elaboração do plano.....	40

## Lista de Siglas e Abreviaturas

<i>ABNT</i>	Associação Brasileira de Normas Técnicas
<i>ASME</i>	American Society of Mechanical Engineers, Sociedade Norte-americana de Engenheiros Mecânicos
<i>CFB</i>	Circulating Fluidized Bed
<i>CBM</i>	Condition Based Maintenance
<i>EBS</i>	E-Business Suite
<i>EMS</i>	Equipment Management Strategies
<i>ETA</i>	Estação de Tratamento de Água
<i>ETE</i>	Estação de Tratamento de Efluentes Sanitários
<i>FMEA</i>	Failure Mode and Effect Analysis
<i>MCC</i>	Manutenção centrada na confiabilidade
<i>MOH</i>	Major Overhaul
<i>PB</i>	Package Boiler
<i>PDCA</i>	Plan, Do, Check, Act
<i>PM</i>	Plano de Manutenção
<i>PSV</i>	Pressure Safety Valve
<i>REX</i>	Reliability Excellence
<i>RCM</i>	Reliability Centered Maintenance
<i>NR</i>	Norma Regulamentadora
<i>NBR</i>	Norma Brasileira Regulamentadora
<i>TAG</i>	Tagueamento
<i>TPM</i>	Total Productive Maintenance

# Sumário

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>17</b>
<b>1.1</b>	<b>Justificativa.....</b>	<b>18</b>
1.1.1	Delimitação do tema e problemática .....	18
<b>1.2</b>	<b>Objetivo Geral.....</b>	<b>19</b>
1.2.1	Objetivos Específicos .....	19
<b>1.3</b>	<b>Organização do Trabalho.....</b>	<b>20</b>
<b>2</b>	<b>PRODUÇÃO DE VAPOR EM PROCESSO DE REFINARIA .....</b>	<b>21</b>
<b>2.1</b>	<b>PROCESSO BAYER.....</b>	<b>21</b>
<b>2.2</b>	<b>CENTRO OPERACIONAL DE UTILIDADES.....</b>	<b>22</b>
2.2.1	Caldeiras e Geração de vapor.....	22
2.2.2	Sistema do estudo de caso .....	25
<b>3</b>	<b>MANUTENÇÃO INDUSTRIAL .....</b>	<b>27</b>
<b>3.1</b>	<b>Histórico da manutenção: uma breve introdução .....</b>	<b>27</b>
<b>3.2</b>	<b>Gerações da manutenção .....</b>	<b>27</b>
<b>3.3</b>	<b>Tipos de manutenção.....</b>	<b>29</b>
3.3.1	Manutenção corretiva .....	29
3.3.2	Manutenção preventiva .....	30
3.3.3	Manutenção preditiva .....	31
3.3.4	Organização e identificação .....	31
3.3.5	Engenharia de manutenção.....	32
<b>3.4</b>	<b>Manutenção centrada em confiabilidade.....</b>	<b>33</b>

3.4.1	Ferramentas de manutenção.....	34
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>39</b>
4.1	O sistema de gestão de ativos atual das caldeiras alugadas (PB) ..	39
4.2	Implementação da manutenção centrada em confiabilidade .....	39
4.2.1	Equipe de implementação da estratégia.....	40
4.2.2	Análises de manutenção .....	40
4.2.3	Estratégia de manutenção.....	49
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>51</b>
✓	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>52</b>
✓	<b>APÊNDICE A – &lt;ESPECIFICAÇÕES DAS CALDEIRAS&gt; .....</b>	<b>55</b>
✓	<b>ANEXO A – &lt;PLANO DE AÇÃO&gt; .....</b>	<b>56</b>
✓	<b>ANEXO B – &lt;EQUIPAMENTOS CRÍTICOS &gt; .....</b>	<b>57</b>
✓	<b>ANEXO C – &lt;CONSTRUÇÃO DA DOCUMENTAÇÃO &gt; .....</b>	<b>60</b>
✓	<b>ANEXO D – &lt;PROCEDIMENTOS DE MANUTENÇÃO &gt;.....</b>	<b>64</b>
✓	<b>ANEXO E – &lt;PLANOS DE MANUTENÇÃO &gt;.....</b>	<b>66</b>



# 1 INTRODUÇÃO

A manutenção dentro do sistema organizacional das indústrias, tinha um viés secundário, com pouco ou sem nenhum planejamento, sem estratégias que visassem diminuir custos e melhorar a produção (OZELIM, 2017). Com a globalização e o avanço tecnológico proveniente da mesma, os produtos e serviços acirraram a competitividade das empresas. Com toda essa mudança de cenário, instituiu-se que equipes de gestão estratégica constituíssem lugar nas organizações com o objetivo de ampliar a disponibilidade e a confiabilidade de seus ativos (XAVIER, 2015).

O setor de manutenção tende a padronizar um modelo em confiabilidade, ou seja, os ativos são gerenciados a partir da estratégia de manutenção adotada, e não para corrigir problemas (XAVIER, 2015). Segundo Ozelim (2017) com o surgimento de novas tecnologias, o comportamento empresarial muda e faz-se necessário repensar as estratégias para suprir a economia de tempo, de material, otimizando assim a qualidade de serviço e produto, que tinham como objetivo de diminuir custos em consequência de falhas mecânicas e paradas na produção, garantindo assim a qualidade dos serviços (OZELIM, 2017).

Nem sempre foi assim, segundo Kardec (2009), a partir da década de 30, a manutenção passou por diversas transformações, como visto acima; podendo ser dividida em quatro gerações. Acompanhada das mudanças energéticas tendo em vista que a energia é essencial quanto ao desenvolvimento e evolução em termos de tecnologias (TAVARES, 2019).

Darwiche (2010) traz que a revolução industrial, em sua primeira fase datada do século XVIII, teve como fonte energética o carvão mineral para alimentação das máquinas a vapor. A partir de meados do século XIX, na segunda revolução industrial, com as necessidades de mais potência, passou-se a utilizar energia elétrica e petróleo. Dentro do ambiente de produção industrial, os processos de geração e distribuição de vapor são cruciais para as ciências térmicas e fluídos, tendo em vista que é energia na forma de calor para diversos processos produtivos (DIÓRIO, 2019). A cogeração se refere a produção síncrona e em continuidade de formas de energia de um único combustível. Seu ciclo é composto por um equipamento que utiliza um combustível para gerar energia térmica (caldeiras), um equipamento para receber (turbinas a vapor) e transportar ao gerador para produção de energia elétrica (COGEN, 2022).

## 1.1 Justificativa

As construções de estratégias de manutenção fazem parte da rotina do profissional que trabalha com manutenção. Sendo essas, a busca por melhores condições das máquinas, assegurando maior confiabilidade e disponibilidade do ativo, preservação do meio ambiente, segurança aos operadores e aos profissionais que mantêm contato com o equipamento, redução das falhas e monitoramento da condição (KARDEC, 2009).

De acordo com Oliveira (2013), o gerenciamento de manutenção tem suas fases e aplicações diversas, ferramentas específicas em busca de melhor retorno na coordenação do ativo para a criação das estratégias de sistemas de manutenção confiáveis e viáveis economicamente. E o contexto ao qual se faz justificável a implementação de uma estratégia de manutenção é quando um sistema maior depende de um menor, ou seja, como neste estudo de caso, quando há que se garantir a disponibilidade do ativo para não se perder ou comprometer a produção industrial.

O sistema de cogeração de vapor é fundamental para o processo realizado em refinarias e para autonomia de energia elétrica. Na planta analisada neste trabalho funciona da seguinte forma, duas caldeiras de leito fluidizado com capacidade de 280 t/h de vapor cada, suprimindo a demanda de vapor do processo que é de 530 t/h de vapor. Contudo, por ser um processo contínuo, e as caldeiras, ativos ainda dependentes de manutenção pelo ciclo de vida dos seus componentes, as paradas de manutenção planejadas e não planejadas devem ser supridas. Por isso, no sistema de cogeração fazem parte outras caldeiras de perfis distintos, três caldeiras de grelhas rotativas com capacidade de 40 t/h de vapor em média, e quatro caldeiras aquatubulares alugadas, ou melhor, “*package boilers*” com capacidade de 35 a 55 t/h.

### 1.1.1 Delimitação do tema e problemática

O presente trabalho visa mostrar os mecanismos e técnicas aplicadas a implementação da estratégia de manutenção em caldeiras aquatubulares da engenharia da área de Utilidades, que dispõe de caldeiras (PBs) como “*backup*” das caldeiras principais (CFBs) da cogeração de vapor.

O gerenciamento desses ativos se faz necessário quando se objetiva aumentar a confiabilidade do sistema de cogeração, reduzir a quantidade de emergência dos equipamentos rotativos e ter históricos das inspeções e manutenções realizadas no sistema para escolher quais

ferramentas a serem aplicadas e quais planos de manutenção devem ser aplicados por ativos. Situação que precede os objetivos deste trabalho, justificando-o:

1. Sem direcionamento estratégico de documentação das caldeiras alugadas.
2. Não há descritivo de inventário de ativos, matriz de criticidade ABC, FMEA e planos de manutenção.
3. Manutenção corretiva e sem registros no EBS (sistema interno de dados).
4. Geração de custos induzidos por manutenções corretivas realizadas.
5. Não há procedimentos que atendam aos serviços de manutenção.

## 1.2 Objetivo Geral

Elaborar uma estratégia de manutenção em equipamentos rotativos das caldeiras aquatubulares baseada em “*Reliability Centered Maintenance*” (RCM) e nos padrões do sistema de negócios aplicando as ferramentas de manutenção no processo de criação e consolidação da estratégia para garantir a confiabilidade e disponibilidade de caldeiras alugadas que atuam na cogeração de vapor da companhia.

### 1.2.1 Objetivos Específicos

1. Realizar estudo teórico acerca dos conceitos de manutenção (RCM), e quais as ferramentas de manutenção adequadas para a construção da estratégia de manutenção.
2. Aplicação das ferramentas de manutenção para cada caldeira (Descrição dos sistemas, FMEA, planos de manutenção e operação, escopo de MOH etc.).
3. Estudo das caldeiras e componentes, identificação fabricantes e suas particularidades Manutenção corretiva e sem registros no EBS (sistema interno de dados).
4. Análise de falhas.
5. Construção da estratégia de manutenção.

## 1.3 Organização do Trabalho

Este trabalho está organizado em cinco capítulos, além de referências e anexos e conforme normas da ABNT:

- Capítulo 1; Introdução: breve apresentação do histórico, justificativa e delimitação do tema e problemática, os objetivos geral e específico.
- Capítulo 2; Abordagem do processo que ocorre na planta / Departamento e suas funcionalidades e o contexto operacional e os equipamentos que fazem parte do sistema.
- Capítulo 3; Referencial Teórico: apresenta um breve histórico da manutenção e suas gerações e, também, os tipos de manutenção encontradas nas literaturas e contextualiza a manutenção centrada em confiabilidade.
- Capítulo 4; Aborda o sistema atual de gestão de ativos, as fases de implementação do RCM, desde a formação da equipe, as análises realizadas, os critérios e a aplicação das ferramentas de manutenção para implementação da estratégia.
- Capítulo 5; Conclusão: demonstra os resultados obtidos para o problema proposto.

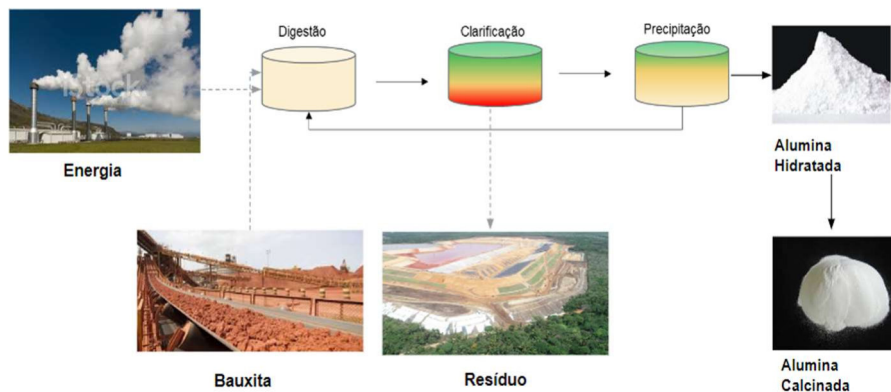
## 2 Produção de vapor em processo de refinaria

O processo Bayer, no qual o produto é a alumina, tem como principal fonte energética o vapor em que os principais ativos - digestores, válvulas de controle, calcinadores, o utilizam para realização processo. Por isso, é fundamental a criação de estratégias que além de garantir a manutenibilidade das caldeiras, que seus “*backups*” possam ser os mais confiáveis possíveis, para que em caso de manutenções ou falhas inesperadas nas caldeiras CFBs, seus “*backups*” possam suportar a produção de vapor requerida para o processo.

### 2.1 PROCESSO BAYER

O Alumínio metálico não é encontrado naturalmente, sendo encontrado principalmente sob a forma de bauxita. Através da bauxita que é um agregado de minerais se dá a extração de impurezas para iniciar a produção em si do alumínio. Este processo químico é conhecido como refino e a técnica praticada hoje é o Processo Bayer, como mostrado na Figura 1, patenteado em 1887 pelo austríaco Karl Joseph Bayer. O aspecto de decisiva importância neste processo não é só o alto teor do minério de alumina (gibsite ou boemita), mas também a porção mínima possível de sílica e outras impurezas. Para extrair a alumina de outros componentes do minério de bauxita, emprega-se uma solução de soda cáustica aquecida após processo de moagem do minério. A abertura da bauxita, ou extração, que é a produção de aluminato dissolve o alumínio nela presente dá-se em grandes tanques chamados de digestores, sendo fruto de uma reação reversível, através de controle de temperatura e pressão, pode-se chegar a fase de recuperação, que tem como produto o hidróxido de alumínio, e também, recuperar soda cáustica, ocorrendo em precipitadores. Após a última etapa do refino, uma etapa adicional ocorre visando a produção efetiva da matéria-prima do alumínio: a alumina. Para isso, o hidrato é aquecido em calcinadores (fornos de leito fluidizado). E como destino a alumina pode seguir da unidade de refinaria para a obtenção direta do alumínio para unidade de Redução ou seguir para o Porto e ser comercializada (DPB, 2018).

Figura 1 - Conceito Bayer.



Fonte: DPB, 2018.

## 2.2 CENTRO OPERACIONAL DE UTILIDADES

O Centro Operacional de Utilidades (COU) é responsável por fornecer os seguintes produtos para seus clientes (DPB, 2018).

1. Água Tratada ou água potável - Através da ETA (Estação de tratamento de água).
2. Ar Comprimido - Através de compressores o ar é fornecido para serviços e para instrumentação em toda a Refinaria.
3. Vapor - Através de nove caldeiras (duas caldeiras de leito fluidizado grande - CFB, três caldeiras a grelha pequenas e quatro caldeiras aquatubulares compactas). Este vapor é para o processo de produção de alumina. As caldeiras fornecem vapor de processo para toda a Refinaria.
4. Energia Elétrica – Através de turbogeradores, recebem vapor das caldeiras e este vapor cede parte de sua energia para movimentar as turbinas atendendo o sistema de cogeração.
5. Tratamento de esgoto através da ETE (Estação de tratamento de efluentes sanitários).

### 2.2.1 Caldeiras e Geração de vapor

Nas indústrias de processamento, faz-se necessário uma fonte energética para alimentação de seus processos de geração de vapor e/ou de produção de potência (DIÓRIO, 2019). Um gerador de vapor, mais conhecido por caldeira, “é um equipamento sujeito a uma determinada pressão, cujo objetivo de funcionamento é a produção de vapor” (RODRIGUES, 2016). Em caldeiras industriais, a água é distribuída internamente pelos tubos e exteriormente estão presentes os gases de combustão que em contato indireto com o fluido promove troca térmica, gerando o vapor utilizado (BARTOLOTTTO, 2015).

A classificação das caldeiras divide-se em dois tipos, conforme a forma em que a água é exposta ao calor (RODRIGUES, 2016):

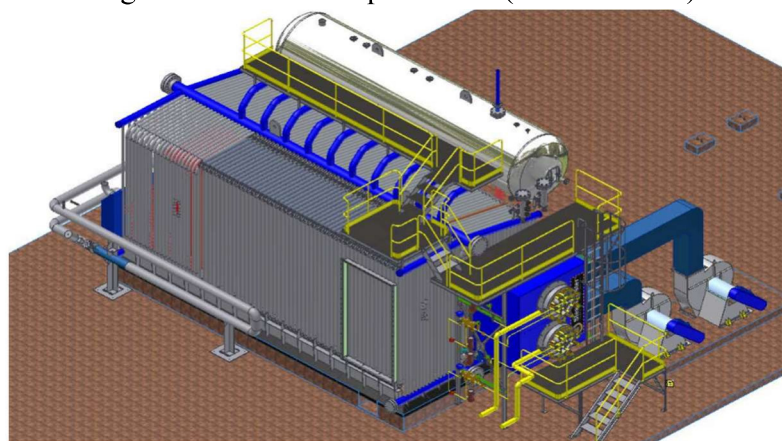
- Caldeiras gás tubulares/tubos de fumos: os gases de combustão circulam pelo interior dos tubos enquanto a água/vapor circula pelo exterior dos tubos.
- Caldeiras aquatubulares: os gases de combustão circulam pelo exterior dos tubos enquanto a água/vapor circula pelo interior dos tubos.

A respeito de caldeira do tipo aquatubular, que é o estudo de caso deste trabalho, é o tipo de gerador de vapor que através da combustão originam gases que circulam na zona de radiação, aquece os tubos com água que convertem em vapor os quais são interligados com um tubulão superior e um tubulão inferior, ou tubulão de lama (BARTOLOTTI, 2015). Nas caldeiras, temos também as três formas de transmissão de calor (DPB, 2018):

- Condução (na parte metálica);
- Radiação (atingindo as paredes da caldeira, radiação está liberada pelo calor/luminosidade do carvão queimando na fornalha);
- Convecção (causada pelo deslocamento/turbulência das massas de gases na fornalha, e pelo deslocamento/circulação de massa do sistema água/vapor no interior dos tubos).

A vaporização é provocada pelo calor radiante da fornalha e gases quentes que circulam os tubos. Na Figura 2 podemos ver a construção gráfica de uma caldeira da Steammaster, fabricante de caldeiras.

Figura 2 - Caldeira aquatubular (detalhamento).



Fonte: Manual Steammaster – R4, S/D.

Nos componentes da parte de pressão da caldeira destacam-se a fornalha, a câmara de combustão, o queimador, o sobre aquecedor, o economizador, o pré aquecedor e a chaminé

(SILVA, 2018). E segundo Silva (2018) pode-se descrever esses componentes como expostos na Tabela 2.1 abaixo:

Tabela 1 - Descrição dos componentes de uma caldeira.

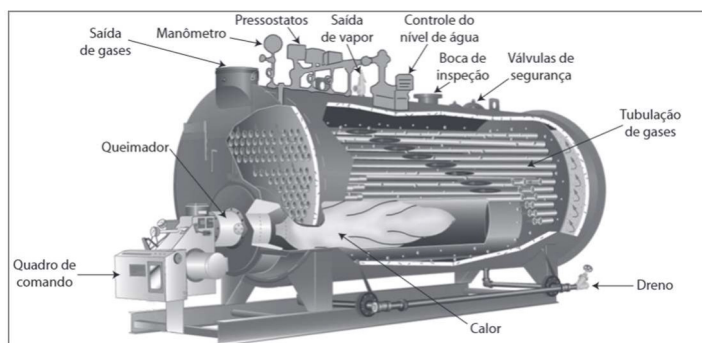
Componente	Descrição
Fornalha	“Local onde se inicia o processo de queima do combustível (líquido, gasoso ou sólido)” (NOGUEIRA <i>et al.</i> , 2013)
Câmara de combustão	“Volume onde se deve consumir todo o combustível antes de os produtos de combustão atingirem e penetrarem no feixe de tubos” (NOGUEIRA <i>et al.</i> , 2013)
Queimador	“Peça destinada a promover, de forma adequada e eficiente, a queima dos combustíveis em suspensão” (OLIVEIRA, 2014)
Sobre aquecedor	“Responsável pela elevação da temperatura do vapor saturado gerado na caldeira” (NOGUEIRA <i>et al.</i> , 2013)
Economizador	“Tem a finalidade de aquecer a água de alimentação da caldeira” (ARRUDA, 2009)
Pré aquecedor	“Tem a finalidade de aquecer o ar de alimentação. Neste caso, a caldeira usada não tem um pré aquecedor de ar” (NOGUEIRA <i>et al.</i> , 2013)
Chaminé	“É o componente que garante a expulsão dos gases de combustão para o meio ambiente” (NOGUEIRA <i>et al.</i> , 2013)

Fonte: Adaptado de Silva, 2018.

No sistema comum das caldeiras existem outros componentes associados como bombas de alimentação de água, bombas de combustível ou inflamável, instrumentação de temperatura e pressão, válvulas de segurança (PSV), válvulas de controle, ventiladores, aquecedores de combustível, sopradores de fuligem, tubulão, mostrados na Figura 2.

Caldeiras, como demonstrado na Figura 3, necessita de manutenção pelo risco à segurança que lhe é inerente, Costa (2016) diz que implica em explosões, incêndios, choque elétrico, intoxicação, entre outros. Sendo esta não apenas uma máquina em que há um entendimento rápido da falha ou que uma pequena parada de manutenção resolva, há paralisações de produção, gastos induzidos e equipe técnica direcionada para entendimento da falha. E com medidas de segurança e manutenção, garantem uma operação segura da caldeira.

Figura 3 - Caldeira de vapor e seus componentes.



Fonte: Botelho e Bifano, 2015.



Caldeiras aquatubulares, de circulação natural, são projetadas para queimar óleo ou gás sob pressão e equipadas com superaquecedores, sua característica primordial é a circulação de água no interior dos tubos interligados a dois ou mais reservatórios para geração de vapor. Apresentam uma maior capacidade de produção de vapor por unidade de área (MARTINS, 2015). O processo de queima ocorre na fornalha e a água realiza o resfriamento das paredes (exceto do refratário) por conta da irradiação do calor. Formada por tubos ascendentes (*risers*) geram e conduzem o vapor ao tubulão superior, tubos descendentes (*downcomers*) que conduzem a água líquida ao tubulão inferior. Tubulão superior que separa, coleta, acumula o vapor gerado e recebe a água de alimentação e tubulão inferior onde a água líquida é acumulada e coleta depósitos, de onde podem ser drenados (OLIVEIRA, 2019).

### 2.2.2 Sistema do estudo de caso

Principais equipamentos do sistema de geração de vapor das caldeiras PB - FASE 1 (90,0 t/h de vapor caldeiras: CBC 35,0 t/h e Babcock 55,0 t/h) e FASE 2 (90,0 t/h de vapor caldeiras: Steammaster 35,0 T/h e Babcock 55,0 T/h).

Os equipamentos auxiliares são os sistemas responsáveis por startup e manutenção da operação das caldeiras, e ao contrário das partes de pressão que são normatizados em termos de inspeção e limpeza mecânica, a NR-13 - Caldeiras, Vasos de Pressão e Tubulações e Tanques Metálicos de Armazenamento determina que os sistemas de controle e segurança das caldeiras, dos vasos de pressão, tubulões e tanques metálicos de armazenamento devem ser submetidos à manutenção preventiva ou preditiva. As estratégias descritas nesse estudo de caso são para os equipamentos rotativos, porém os mesmos estão subdivididos por sistemas conforme lista abaixo:

- Sistema de alimentação de óleo
- Sistema de alimentação de água
- Sistema de ar de combustão
- Válvulas de segurança e controle
- Sistema de Lubrificação

Cada fase composta por sistemas comuns a duas caldeiras:

- Tanques de óleo BPF, parte do sistema comum entre as caldeiras de cada fase.
- Aquecedores, parte do sistema comum entre as caldeiras de cada fase.
- Bombas de óleo, parte do sistema comum entre as caldeiras de cada fase.

- Bombas de água, parte do sistema comum entre as caldeiras de cada fase.

E referentes aos equipamentos rotativos e de segurança das caldeiras que farão parte da implementação da estratégia:

- Ventilador de ar de combustão.
- Bombas de óleo.
- Bombas de água.
- Válvula de segurança e alívio (PSV) do tubulão e dos superaquecedores.

## 3 MANUTENÇÃO INDUSTRIAL

A manutenção é fundamental para garantir que o equipamento tenha sua vida útil maximizada ao realizar ações preventivas, corretivas ou até mesmo a sua troca completa a fim de manter os processos produtivos com condições ideais de funcionamento.

### 3.1 Histórico da manutenção: uma breve introdução

A história da manutenção está diretamente ligada a ativos que precisam manter-se em operação de forma segura, produtiva e confiável. De acordo com os autores Mortelari, Siqueira e Pizzati (2011), vivenciamos a quarta geração de manutenção, sendo que refere-se a uma abordagem integrada das gerações onde o gerenciamento do risco, os princípios do RCM e TPM, a gestão de ativos, o aprimoramento de técnicas, melhoria da qualidade dos produtos e serviços, melhor relação custo-benefício entre elas.

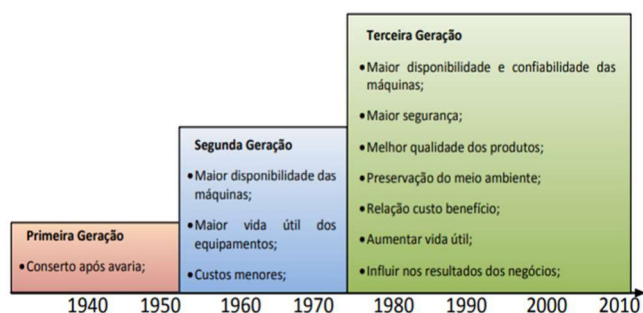
Caldeiras, quando em manutenção, apresentam riscos inerentes as atividades como trabalho em altura, exposição à produtos químicos, choque elétrico, explosão, equipamentos rotativos e muitas vezes associados ao espaço confinado, que são locais de trabalho onde o risco de acidente é potencializado devido à dificuldade de ventilação, acesso e permanência durante a execução de trabalhos de manutenção (SOUZA, 2018). Borba e Lima (2009) dizem que “Caldeiras, vasos de pressão e fornos são equipamentos que manuseiam um elevado grau de energia que se liberadas inadequadamente apresentam um potencial para acidentes catastróficos”. Devido a frequentes acidentes envolvendo vasos de pressão e caldeiras, fez-se necessário impor regulamentações que visassem a segurança com a criação do código ASME, e em seguida, no Brasil, a NR-13, que regulamenta as instalações, manutenção e inspeções de caldeiras e vasos de pressão.

Alguns autores nos ajudam a entender as mudanças que ocorreram durante as épocas e como a manutenção se modificou e como ficaram marcadas as suas gerações.

### 3.2 Gerações da manutenção

Moubray (1997) e Siqueira (2009) dividem as gerações da manutenção em três e relaciona esses períodos de acordo com as tecnologias de produção como podemos ver na Figura 4.

Figura 4 - Evolução da manutenção.



Fonte: Moubray, 1997.

A primeira geração, destacada pelo conserto após avaria, ocorreu no período antes da 2ª guerra mundial, a indústria se caracterizava por pouca mecanização, simplicidade dos equipamentos e superdimensionamento deles (KARDEC, 2009). A condição econômica era desfavorável, logo a produtividade não era prioritária, sem necessidade de manutenção sistematizada. Delimitada até meados dos anos 60, onde aumentou-se a demanda de produtos, e a disponibilidade de mão de obra diminuiu, gerando uma necessidade de um aumento de mecanização de máquinas e instalações industriais. Exigindo-se uma maior disponibilidade, bem como maior confiabilidade, para que fosse possível aumentar a produtividade. Desta forma, concluiu-se que as falhas dos equipamentos poderiam e deveriam ser evitadas, originando o conceito de manutenção preventiva, baseada em tempo. Com isso, elevou-se os custos e logo criou-se os sistemas de planejamento e controle de manutenção que, hoje, são parte integrante da manutenção moderna (KARDEC, 2009).

Com o início da terceira geração da manutenção na década de 70 e das mudanças industriais baseadas no sistema de linha de montagem e especialização do trabalho, a paralisação de produtos, sua qualidade e o aumento dos custos movimentou a indústria para um novo modelo, o sistema “*just-in-time*” que remete a estoques reduzidos. A expansão da automação e da mecanização passou a indicar que a confiabilidade e disponibilidade tornaram-se postos-chave, e quanto maior a automação, maior a quantidade de falhas que afetam a capacidade de manter padrões de qualidade estabelecidos. Na terceira geração reforçou-se o conceito da manutenção preditiva junto ao desenvolvimento da informática e tecnologias. Para Kardec (2009), na quarta geração da manutenção existente, alguns conceitos dentro da estrutura organizacional consolidam as atividades de engenharia da manutenção sendo eles, a disponibilidade, que é uma

medida de desempenho, confiabilidade que é um fator de busca pela manutenção e manutenibilidade. Esse conceito tem como desafio a minimização das falhas prematuras, consagração de práticas de análise de falhas, buscando aplicações de manutenção preditiva junto a monitoramento de condições para intervir cada vez menos nos equipamentos e projetos que contemplem o custo do ciclo de vida.

### 3.3 Tipos de manutenção

De acordo com a norma NBR-5462 (1994), os tipos de manutenção são determinados como a manutenção corretiva, preventiva e preditiva (TELES, 2018). Para Amaral (2003) a escolha do método de manutenção deve estar inserida na política de manutenção da organização e deve ser decidida pela direção da manutenção, devendo ser entendida e aceita pela produção.

No caso deste trabalho, referente aos métodos de manutenção adotados são: manutenção corretiva reativa, manutenção corretiva programada, manutenção preventiva baseada no tempo, manutenção preventiva baseada na condição, manutenção preditiva sensitiva, manutenção preditiva sensorial e melhorias de engenharia de manutenção. Para o sistema de “*package boilers*” da planta, por serem caldeiras de uso não contínuo, desde sua chegada, os tipos adotados foram manutenção corretiva reativa e programada.

#### 3.3.1 Manutenção corretiva

A manutenção corretiva para Viana (2002) ocorre após uma pane onde a manutenção tem como objetivo recuperar as condições de função requerida do item. É necessária a intervenção imediata para evitar graves consequências aos instrumentos de produção, à segurança do trabalhador ou ao meio ambiente. Kach e Felden (2011) diz que “a manutenção corretiva é aplicada no equipamento quando acontece a quebra do mesmo, ou melhor, somente quando ocorre a parada de linha de produção por quebra do equipamento que a equipe de manutenção é acionada para interferir, podendo variar a parada de horas a dias pois não tem inicialmente ideia do que será necessário para realizar um conserto”. Outras denominações de manutenção corretiva são a emergencial (ou corretiva não-programada) e a programada. A diferença entre elas é a execução da corretiva após a falha potencial ou funcional (TELES, 2019).

Sendo a falha potencial uma fase inicial da falha, que denuncia um comportamento anormal do equipamento, condição identificável, mas que continua desempenhando a sua função no processo de produção. E a falha funcional o equipamento atinge um estado no qual perde a

capacidade de desempenho de sua função no processo de produção (TELES, 2019). Enquanto Loch (2007), a corretiva não planejada, ou emergencial, se caracteriza como a correção da falha de maneira aleatória, isso quer dizer que não há tempo para preparação do serviço e assim o desempenho da manutenção na atuação também diminui e, além de tudo, implica em maior custo. Em contrapartida a planejada, ou programada, se define baseada em decisão gerencial/técnica, onde considera-se na análise o comportamento preditivo do componente ou pela decisão de operar até que a quebra ocorra. Diante disso, a eficácia dessa metodologia se relaciona intimamente ao acompanhamento comportamental das máquinas e equipamentos, análises de falhas e construções de rotinas e atividades baseadas no tempo ou condição.







### 3.3.2 Manutenção preventiva

“Manutenção preventiva é atuação realizada de forma a reduzir ou evitar a falha ou queda no desempenho, obedecendo a um plano previamente elaborado com intervalos definidos tempo” (KARDEC, 2009). Kach e Felden (2011) afirmam que o acompanhamento do comportamento funcional do equipamento, seja ele preditivo ou sensitivo, o monitoramento do ativo resulta na prevenção de eventuais paradas das máquinas e equipamentos.

Nos estudos recentes de Teles (2018) enuncia a necessidade de análise da definição de manutenção preventiva segundo a NBR-5462 e destaca-se três pontos: os intervalos definidos, os critérios específicos adotados e redução efetiva da probabilidade de falhas. Esses pontos são conhecidos como “gatilhos”, ou seja, para um determinado evento é executada uma ação de manutenção. Os gatilhos são critérios ou condições específicas que irão determinar quando um equipamento deve passar por manutenção.

Existem basicamente quatro tipos de gatilhos, sendo eles ilustrados na Figura 5:

Figura 5 - Gatilhos de manutenção preventiva.

	Tempo – Exemplo: “Lubrificar mancais a cada 6 meses”
	Horas de Funcionamento – Exemplo: “Lubrificar mancais a cada 1200 horas.”
	Produtividade - Exemplo: “Lubrificar mancais a cada 1500 peças produzidas.”
  	Gatilho Misto - Exemplo: “Lubrificar mancais a cada 6 meses, 1200 horas de funcionamento ou 1500 peças produzidas. O que acontecer primeiro, entre essas condições.”

Fonte: Adaptado de Teles, 2018.

O objetivo é restabelecer as condições de funcionamento do equipamento, objetivando a redução da probabilidade ou eliminar a possibilidade de eventuais falhas potenciais (Teles, 2018).

### 3.3.3 Manutenção preditiva

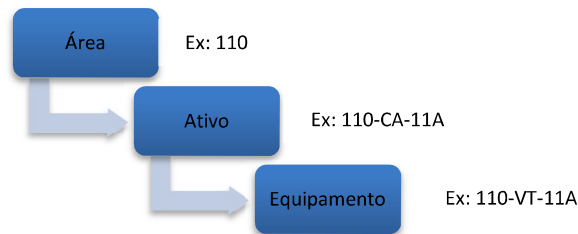
São tarefas de manutenção preventiva que visam acompanhar a máquinas ou peças, por monitoramento, por medição ou controles estatísticos e tentam prever a proximidade da ocorrência da falha (VIANA, 2002). Xavier (2015) afirma que “com esse tipo de manutenção a redução de acidente por grandes falhas em máquinas e equipamentos é significativa, isso quer dizer, que as ocorrências de falhas não esperadas ficam bastante reduzidas, o que proporciona aumento de segurança pessoal e da instalação e redução de paradas não esperadas na produção”.

Esses dados coletados, por meio de medições em campo como temperatura, vibração, análise de óleos, ultrassom e termografia permitem um diagnóstico preciso dos parâmetros (TELES, 2019). Suas desvantagens são conhecimento teórico alto e experiência, o registro permanente, faixas estreitas do material dificultam a aplicação do método e requer o preparo da superfície (VIANA, 2002). Quando a intervenção ocorre e é decorrente do monitoramento preditivo, opta-se por uma manutenção corretiva planejada. Esse tipo de manutenção é baseada na condição e é conhecida como “*Condition Based Maintenance*” (CBM), as horas rodadas de máquinas serão baseadas em suas condições de operação.

### 3.3.4 Organização e identificação

O tagueamento, processo que vem da palavra inglesa “*tag*”, significa etiqueta de identificação. Nas indústrias representa a identificação da localização de áreas operacionais e seus equipamentos, distinguindo setores, bem como a organização da manutenção (VIANA, 2002). Quando temos um tagueamento estruturado, conseguimos planejar e programar a manutenção de forma mais rápida e eficaz, além de conseguirmos extrair informações estratificadas por “*tag*”, como número de OS, disponibilidade, custos etc. (VIANA, 2002). Um exemplo da importância do tagueamento é demonstrado no Fluxograma 3.1 abaixo, onde temos a área, o ativo em questão e o equipamento de forma hierárquica.

Fluxograma 3.1 - Níveis de “tags”.



Fonte: Adaptado de Viana, 2002.

A definição de fluxos de serviços para Viana (2002), são estabelecidos em regras organizacionais que possam direcionar serviços provenientes das atividades e estratégias realizadas em determinados ativos. É necessário ter registros de ordens de serviços, sejam elas planejadas ou emergenciais, registros das inspeções preditivas, os planos de manutenção, para assim construir-se os serviços de manutenção do ativo. Tais informações são diretamente ligadas a engenharia de manutenção e os indicadores de manutenção.

O planejamento estratégico visa definir objetivos e tarefas para um planejamento eficiente, sem essa aplicação logo não haverá uma boa gestão. “Uma gestão de excelência exige planejamento, estratégias empresariais e gerenciais, material humano qualificado, motivado e comprometido, conhecimento de mercado e nível de concorrência” (OZELIM, 2017). Em termos de materiais para manutenção é necessário que haja alta qualidade de mão de obra e ferramental, um estoque otimizado de itens sobressalentes, e o almoxarifado devem atender a dois objetivos: quantitativo de materiais e diversificados, e limitação do estoque ao necessário, sendo econômico (VIANA, 2002).

### 3.3.5 Engenharia de manutenção

Quando se trata de engenharia de manutenção, Ozelim (2017), reflete sobre a evolução do sistema de manutenção, que por exigir uma mudança estrutural torna-se de difícil aplicação. E Loch (2007) e Xavier (2015) ratificam a exigência por uma mudança cultural, onde deve-se haver uma conexão de técnicas modernas à manutenção, os aspectos relevantes referem-se à procura de causa raiz de falhas, modificações em situações de mau desempenho e/ou problemas crônicos, desenvolver a manutenibilidade.

Machado e Otani (2008) endossam que as atividades que permitem um aumento de confiabilidade nos equipamentos e sua disponibilidade seja garantida.

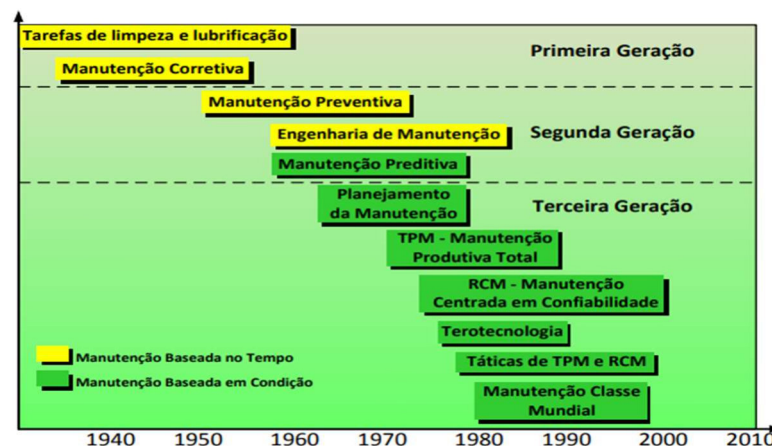
A realização de análise de falhas e estudos aumentar a confiabilidade, a elaboração de planos de manutenção aumentar a disponibilidade, a inspeção com análise crítica gera



melhorias na manutenibilidade em conjunto com o acompanhamento dos indicadores aumentando a segurança, o incentivo a melhoria da capacitação pessoal auxilia na a eliminar problemas crônicos, o ato de dar suporte à execução visa solucionar problemas tecnológicos e por fim zelar pela documentação técnica ajuda a gerir materiais e sobressalentes.

Como ilustrado na Figura 6, o progresso do desempenho das principais metodologias quando se aplica manutenções mais técnicas, mas isso requer investimento de capital.

Figura 6 - Desempenho baseado no tipo de manutenção aplicada.



Fonte: Gutierrez, L. A. M., 2005.

Para Viana (2002) essa área deve ser formada por engenheiros e técnicos, com arguição boa e domínio técnico.

### 3.4 Manutenção centrada em confiabilidade

O desempenho industrial dos ativos está diretamente ligado ao papel desempenhado pela manutenção aplicada, ou seja, a sua filosofia. E como reflexo disso, a capacidade produtiva da planta, o custo de produção, lucros e competitividade de mercado (CORREIA, 2017). Os conceitos de gerenciamentos refletem a filosofia da companhia, no estudo de caso atual, o REX (*Reliability Excellence*) inclui a disponibilidade e confiabilidade dos ativos através da estratégia de manutenção dos sistemas que garantem o plano operacional, aumento da produtividade, redução dos custos de manutenção, otimização da mão de obra dentro dos padrões de engenharia global, em conformidade com a qualidade, eficiência, segurança, meio ambiente.

Segundo Leemmis (1995),

“A confiabilidade de um item corresponde à sua probabilidade de desempenhar adequadamente o seu propósito especificado, por um determinado período de tempo e sob condições ambientais predeterminadas.”

O estudo da confiabilidade no início nos anos 70 compunha-se pela análise de riscos associados à construção e operação de usinas nucleares. Análise de confiabilidade é primordial em estudos de risco e segurança. Em uma análise de risco, por exemplo, a análise de causas é normalmente realizada usando técnicas de confiabilidade como a análise de modos e efeitos de falhas - FMEA (FOGLIATTO, 2011).

Segundo Teles (2019), o RCM, define-se como uma estrutura onde selecionam-se atividades que objetivam manter a disponibilidade e confiabilidade de qualquer processo produtivo. De acordo com Nunes (2001) a busca por confiabilidade dos ativos faz-se criar ou administrar tipos de manutenção que garantam funções como previsto no projeto.

Para Fogliatto (2011) a disponibilidade é a capacidade de um item, através de manutenção apropriada, desempenhar sua função requerida em um determinado período. Outro conceito, trabalhados tanto por Teles (2019) quanto por Fogliatto (2011) é a manutenibilidade que se refere a facilidade de se manter um equipamento, isto é, a capacidade de um item ter condições de executar suas funções requeridas, atendendo as condições de uso, quando submetido à manutenção sob condições, recursos e procedimentos padrão.

O mercado competitivo tem forçado as empresas a implantarem novas filosofias de gestão na busca da redução de seus custos de produção, almejando a melhoria ou aumento da competitividade, já que somente produção é ineficiente, precisa-se garantir qualidade, preço competitivo e prazo de entrega (MOREIRA, 2019).

### 3.4.1 Ferramentas de manutenção

O processo de implementação de RCM possui em análises de manutenção, para Moubray (1997) são perguntas básicas sobre os itens, como pode ser observado na Tabela 3.1.

Tabela 2 - Análise de implementação de RCM por Moubray.

1. Quais as funções e padrões de desempenho esperados para os equipamentos fabris?
2. De que modo os equipamentos podem falhar em cumprir suas funções?
3. O que causa cada falha funcional?
4. O que acontece quando ocorre a falha?
5. De que forma cada falha interessa?
6. O que pode ser feito para prevenir ou impedir cada falha?
7. O que deve ser feito quando não pode ser estabelecida uma atividade pró-ativa pertinente?

Fonte: Adaptado Moubray (1997).

Siqueira (2009) já traduz o processo a partir de etapas baseadas nas perguntas de análise de Moubray, onde na Tabela 3.2 a seguir podemos relacioná-las.

Tabela 3 - As sete etapas de implementação via Siqueira.

Etapa 1: Identificação das Funções do Sistema;
Etapa 2: Análise dos Modos de Falha e Efeitos;
Etapa 3: Seleção das Funções Significantes;
Etapa 4: Seleção das Atividades Aplicáveis;
Etapa 5: Avaliação da Efetividade das Atividades;
Etapa 6: Seleção das Atividades Aplicáveis e Efetivas;
Etapa 7: Definição da Periodicidade das Atividades.

Fonte: Adaptado Siqueira (2009).

Algumas ferramentas de manutenção servem para responder tanto os questionamentos quanto às etapas supracitadas, sendo elas: árvore de 8 níveis, “*Failure Mode and Effect Analysis*” (FMEA), matriz de criticidade ABC. Deve-se estabelecer a equipe de trabalho, os critérios de confiabilidade, base de dados, aplicação do FMEA e classificação dos componentes, documentação das atividades, estabelecer metas e indicadores, revisão do RCM (FOGLIATTO, 2011).

A árvore estrutural de ativos é fundamental para a produção do FMEA, tendo em vista que através dos seus 8 níveis, que são divisões hierárquicas do processo, como ilustrado na Figura 7.

Figura 7 - Árvore estrutural de ativos.



Fonte: Teles, 2019.

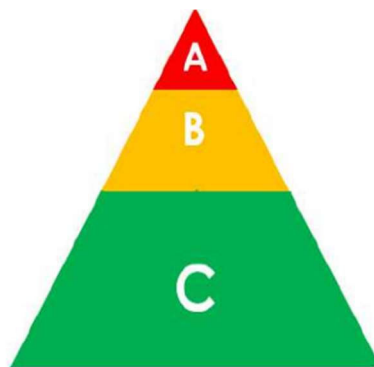
O nível 1 é o mais abrangente (Planta), o nível 2 refere-se a maior divisão dentro da planta, ou seja, a área. O nível 3, maior divisão dentro da área; subárea. O nível 4 já aloca o sistema ou linha de produção a ser seguido, não tendo uma nomenclatura comum, pois depende do processo implementado na planta. Nível 5 refere-se a máquina que é um aglomerado de conjunto de equipamentos secundários a esse. No nível 6 temos o conjunto que é a combinação

de um ou mais equipamentos, sendo estes descritos no nível 7. E no último nível, o 8, relata-se o componente ou peça específica que necessite atenção (TELES, 2019).

A matriz de criticidade é a técnica que prioriza os equipamentos ou sistemas, já que uma empresa é formada por vários ativos, a função principal é gerar retorno financeiro através de produção, mas dentro desse conglomerado existem alguns que merecem mais atenção do que outros, por conta disso, os equipamentos são divididos em níveis de criticidade (TELES, 2019). Esses níveis são e sua priorização são demonstrados na Figura 8:

- Nível A: São os equipamentos mais importantes;
- Nível B: São os equipamentos de importância intermediária;
- Nível C: São os equipamentos de menor importância.

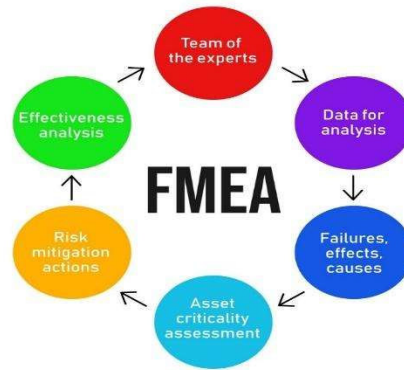
Figura 8 - Matriz de criticidade ABC.



Fonte: Teles, 2019.

FMEA (Figura 9) que é a análise do modo e efeito de falha, ferramenta de estratégia de gestão, tem como objetivo evitar erros ou problemas que comprometam o processo industrial (XAVIER, 2015). Dentro do estudo é um passo primordial, seja para sistema ou componente, onde ocorre a revisão de componentes, montagens, sistemas e subsistemas para identificação de falhas, modos de falha, suas causas e efeitos (TELES, 2019). Também definida por Fogliatto (2011) como “uma técnica de confiabilidade que tem como objetivos: (i) reconhecer e avaliar as falhas potenciais que podem surgir em um produto ou processo, (ii) identificar ações que possam eliminar ou reduzir a chance de ocorrência dessas falhas, e (iii) documentar o estudo, criando um referencial técnico que possa auxiliar em revisões e desenvolvimentos futuros do projeto ou processo”.

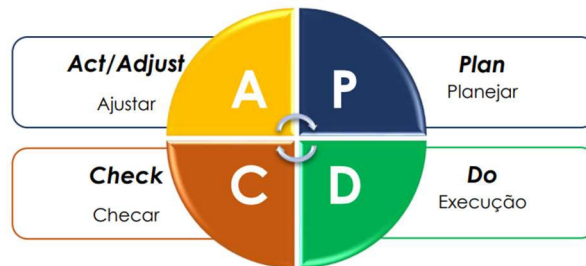
Figura 9 - FMEA para manutenção.



Fonte: Cademix Institute of Technology, 2022.

O PDCA, datado dos anos 50, é uma metodologia de gestão, seu principal objetivo é alcançar metas e permitir o controle do processo (XAVIER, 2015). Define-se como um ciclo que envolve 4 etapas como mostrado na Figura 10: “Plan” (planejamento), “Do” (execução), “Check” (checagem) e “Act” (ação ou ajuste) (TELES, 2019).

Figura 10 - PDCA: Fluxograma.



Fonte: Teles, 2019.

Assim, essa metodologia compreende: “Plan” (Planejar), onde deve-se designar objetivos e processos intuído gerar resultados para atender clientes e políticas das organizações. A palavra “DO” (Fazer) diz respeito a programar/realizar os processos. Já “Check” (Verificar) denota monitorar e medir processos e produtos em relação a estrutura adotada, aos objetivos e aos requisitos para o produto e relatar os resultados, e completando o ciclo “Act” (Agir) remete a executar ações para promover a melhoria contínua do desempenho do processo (XAVIER, 2015).

Com o FMEA completo e definido as atividades de PDCA, a equipe de engenharia terá informações suficientes para a elaboração do plano de manutenção (PM) preventiva que reunirá todas as atividades que têm por finalidade prevenir as falhas (TELES, 2019).

Nesta etapa Fogliatto (2011), traz que as atividades de manutenção devem ser especificadas para todos os componentes críticos ou potencialmente críticos definidos através da matriz de

criticidade ABC, que leva em conta se os componentes cuja falha pode conduzir a um acidente, parada da linha ou perda econômica relevante. Sendo assim, essa estratégia deve ser determinada de forma a evitar a ocorrência de falha desses componentes. As tarefas de manutenção podem ser classificadas em: preditivas, orientadas pelo desgaste ou quebra de componentes, preventivas, orientadas pelo tempo ou reativas, procura de falhas ou rodar até a falha. Posteriormente, devem ser alocadas no sistema de tratamento de dados com sua periodicidade definida e monitoradas via indicadores de manutenção gerenciais, passando por revisões definidas pelo time que será responsável pela sua gestão.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 O sistema de gestão de ativos atual das caldeiras alugadas (PB)

Atualmente a empresa que tem seu próprio sistema de gestão de dados via software com base no Oracle (EBS), porém para seus ativos, no caso das caldeiras alugadas, a sua gestão de manutenção deveria ser controlada pela empresa contratada, porém com o cenário de falhas em suas caldeiras principais, as CFBs, e as recorrentes falhas apresentadas pelas PBs a superintendência da área junto à engenharia traçaram um desafio, implementar uma estratégia de manutenção no sistema de gestão de dados da empresa para que as manutenções ocorressem com recurso da contratante.

Neste capítulo será conduzido o passo a passo da estratégia de manutenção das caldeiras e seus equipamentos auxiliares que compõem o sistema de cogeração de vapor visando garantir a disponibilidade das caldeiras, aumentando a confiabilidade do sistema e seus equipamentos auxiliares para atender à demanda de vapor quando requerida.

### 4.2 Implementação da manutenção centrada em confiabilidade

Para a implementação seguiu-se alguns passos, demonstrados abaixo, adotados pela engenharia de manutenção da área. Na estratégia serão abordados a descrição dos sistemas e ativos baseada na manutenção centrada em confiabilidade, padronizar procedimentos de manutenção e operação adequando os *tags* ao sistema implementado na multinacional em questão, construção da FMEA e por fim, gerir rotinas de manutenção via sistema integrado.

- ✓ Reunião com os responsáveis pelas caldeiras alugadas.
- ✓ Criação de banco de documentações técnicas.
- ✓ Análise de falhas (2021-2022).
- ✓ Análise de custos induzidos por manutenção corretiva.

Para adequação da estratégia a ser criada, mapeou-se a condição atual das caldeiras de acordo com a baixa aderência (escala de 0 a 10), tendo como ideal a aderência igual a 8, para traçar os planos de ação para cada etapa. Os critérios e quesitos a serem ponderados estão descritos na Figura 11.

Figura 11 - Adequação ao RCM.

Critérios		Quesitos a serem ponderados	Aderencia	Ideal	Justificativa	Plano de ação
Disponibilidade da informação e/ou recursos.	Q1	Documentações das caldeiras com manuais, descritivos técnicos, relatórios, procedimentos	5	8	Books de documentações em posse da contratada	Adicionar ao sharepoint as documentações obtidas das caldeiras alugadas
	Q2	Análise de falha das caldeiras	3	8	Não há tratativa de dados de falhas	Criação de dashboard de análise de falhas para as 4 caldeiras durante os anos de 21-22
	Q3	Análise de custos induzidos por manutenção corretiva	8	8	N.A	Análise de custos
	Q4	Documentação consistente das ações de manutenção: OS	5	8	Cadastrado com os TAG conforme normas da empresa e gerar histórico de manutenção	Cadastro dos TAG e registro correto das OS
	Q5	Planejamento estratégico da empresa de forma auditável. Este planejamento contempla a manutenção e particularmente o RCM como estratégia de gestão de ativos.	3	8	Contempla a manutenção corretiva, que induz gastos e desvia recurso planejado da área para atender as demandas	Incluir estratégia de manutenção no sistema de PCM da empresa

Fonte: Adaptado de Pozzebon, 2017.

As ações devem seguir o Fluxograma 4.1 para elaboração do PM:

Fluxograma 4.1 - Etapas de elaboração do plano.



Fonte: Autor 2022.

#### 4.2.1 Equipe de implementação da estratégia

A equipe de engenharia de manutenção da Utilidades junto ao corpo técnico de manutenção da área foram os responsáveis pela estratégia.

1. Patrocinador interno: Thiago Lima – Superintendente de Utilidades
2. Facilitador: Leandro Rodrigues – Supervisor de manutenção e Robécio - Encarregado
3. Engenheiro Consultor Sênior: Emílio Josino
4. Engenheiro Mecânico Pleno: Marco Lima e Leonardo Cordeiro
5. Engenheira Mecânica - *Intern*: Aysla C S Oliveira
6. Técnicos especializados: Ebevaldo Mendes, Jairon Martins e Joel Soares
7. Suporte técnico: Marilda Magno – Coordenadora de planejamento

#### 4.2.2 Análises de manutenção

Para realização das análises de manutenção fez-se necessário identificar todos os *tags* aplicados no campo pela contratante dos equipamentos rotativos de cada caldeira em cada fase



para realizar a adequação às normas da empresa contratante; posteriormente a inclusão no EBS e a identificação de campo.

Para um ventilador centrífugo, exemplo prático executado, a construção da sua identificação segue normas de nomenclaturas adotadas internamente. A grande mudança foi referente aos “tags” colocados pela empresa contratada, que utilizava siglas como VE para ventiladores e os sequenciais 200 e 201 para identificação das fases aos quais os ativos ficariam alocados, tendo em vista que eles não fariam a princípio parte do sistema integrado de gestão da empresa contratante. Na tabela 4.1, temos o fluxo para cadastro de ativos:

Tabela 4 - Cadastro de ativos.

Nomenclatura padrão: <b>XXXX-SSSS-PPPP-CC-??</b>	
X – Código de classe / category / class list	S – Abreviação do processo (inglês)
P – Número do prédio	C–Família de equipamentos
?? – Sequencial a ser definido	

Fonte: Adaptado por autor, 2022.

Logo, para o exemplo supracitado temos o nome completo do ativo (1), seguindo a tabela 4.1 e a forma reduzida (2) que será exposta para identificar em campo cada equipamento, demonstrado no Fluxograma 3.1.

FAN-UTIL-110-VT-11A (1)

110-VT-11A (2)

Após a adequação das nomenclaturas foi seguida do inventário de ativos, seguindo à árvore de 8 níveis, a melhor organização dos dados garante uma descrição correta das funções e definição estrutural dos ativos alocados no departamento. Na Figura 12 pode-se ver as divisões hierárquicas que abrangem o sistema.

Figura 12 - Hierarquia de ativo conforme árvore de 8 níveis.

NUMERO	PLANTA	ÁREA	SUB-ÁREA	LINHA	MÁQUINA	CONJUNTO	EQUIPAMENTO	TAG
1	REFINARIA	UTILIDADES	FASE 1	OLEO	CALDBIRA PB	ROTATIVO	BOMBA DE OLEO	PUMP-UTIL-110-BA-101
5	REFINARIA	UTILIDADES	FASE 1	ÁGUA	CALDBIRA PB	ROTATIVO	BOMBA DE ÁGUA	PUMP-UTIL-110-BA-001
11	REFINARIA	UTILIDADES	FASE 1	AR	CALDBIRA PB	ROTATIVO	VENTILADOR	FAN-UTIL-110-VT-11A
16	REFINARIA	UTILIDADES	FASE 1	AR	CALDBIRA PB	VAPOR	SOPRADOR	INST-UTIL-11A-SP-002
17	REFINARIA	UTILIDADES	FASE 1	AR	CALDBIRA PB	VAPOR	SOPRADOR RETRATIL	INST-UTIL-11A-SP-003
21	REFINARIA	UTILIDADES	FASE 1	PRESSÃO	CALDBIRA PB	VÁLVULA DE SEGURANÇA	PSV	INST-UTIL-PSV-11A-001
22	REFINARIA	UTILIDADES	FASE 1	PRESSÃO	CALDBIRA PB	VÁLVULA DE SEGURANÇA	PSV	INST-UTIL-PSV-11A-002
23	REFINARIA	UTILIDADES	FASE 1	PRESSÃO	CALDBIRA PB	VÁLVULA DE SEGURANÇA	PSV	INST-UTIL-PSV-11A-003
24	REFINARIA	UTILIDADES	FASE 1	PRESSÃO	CALDBIRA PB	VÁLVULA DE SEGURANÇA	PSV	INST-UTIL-PSV-11B-001
25	REFINARIA	UTILIDADES	FASE 1	PRESSÃO	CALDBIRA PB	VÁLVULA DE SEGURANÇA	PSV	INST-UTIL-PSV-11B-002
26	REFINARIA	UTILIDADES	FASE 2	PRESSÃO	CALDBIRA PB	VÁLVULA DE SEGURANÇA	PSV	INST-UTIL-PSV-11B-003
27	REFINARIA	UTILIDADES	FASE 2	PRESSÃO	CALDBIRA PB	VÁLVULA DE SEGURANÇA	PSV	INST-UTIL-PSV-11C-001
28	REFINARIA	UTILIDADES	FASE 2	PRESSÃO	CALDBIRA PB	VÁLVULA DE SEGURANÇA	PSV	INST-UTIL-PSV-11C-002
29	REFINARIA	UTILIDADES	FASE 2	PRESSÃO	CALDBIRA PB	VÁLVULA DE SEGURANÇA	PSV	INST-UTIL-PSV-11C-003
30	REFINARIA	UTILIDADES	FASE 2	PRESSÃO	CALDBIRA PB	VÁLVULA DE SEGURANÇA	PSV	INST-UTIL-PSV-11C-004
31	REFINARIA	UTILIDADES	FASE 2	PRESSÃO	CALDBIRA PB	VÁLVULA DE SEGURANÇA	PSV	INST-UTIL-PSV-11D-001
32	REFINARIA	UTILIDADES	FASE 2	PRESSÃO	CALDBIRA PB	VÁLVULA DE SEGURANÇA	PSV	INST-UTIL-PSV-11D-002
33	REFINARIA	UTILIDADES	FASE 2	PRESSÃO	CALDBIRA PB	VÁLVULA DE SEGURANÇA	PSV	INST-UTIL-PSV-11D-003
34	REFINARIA	UTILIDADES	FASE 2	PRESSÃO	CALDBIRA PB	VÁLVULA DE SEGURANÇA	PSV	INST-UTIL-PSV-11D-004
35	REFINARIA	UTILIDADES	FASE 1	GASES	CALDBIRA PB	EXAUSTOR DE GASES	CHAMINE	STAK-UTIL-110-CH-001
36	REFINARIA	UTILIDADES	FASE 2	GASES	CALDBIRA PB	EXAUSTOR DE GASES	CHAMINE	STAK-UTIL-110-CH-002
37	REFINARIA	UTILIDADES	FASE 1	SIST VAPOR	CALDBIRA PB	ESTRUTURA	CALDEIRA	110-CA-11A
38	REFINARIA	UTILIDADES	FASE 1	SIST VAPOR	CALDBIRA PB	ESTRUTURA	CALDEIRA	110-CA-11B
39	REFINARIA	UTILIDADES	FASE 2	SIST VAPOR	CALDBIRA PB	ESTRUTURA	CALDEIRA	110-CA-11C
40	REFINARIA	UTILIDADES	FASE 2	SIST VAPOR	CALDBIRA PB	ESTRUTURA	CALDEIRA	110-CA-11D
41	REFINARIA	UTILIDADES	FASE 1	PRESSÃO	CALDBIRA PB	VASO DE PRESSAO	TUBULO SUPERIOR	VESS-UTIL-110-VA-101
42	REFINARIA	UTILIDADES	FASE 1	PRESSÃO	CALDBIRA PB	VASO DE PRESSAO	TUBULO INFERIOR	VESS-UTIL-110-VA-102
43	REFINARIA	UTILIDADES	FASE 1	PRESSÃO	CALDBIRA PB	VASO DE PRESSAO	TUBULO SUPERIOR	VESS-UTIL-110-VA-103
44	REFINARIA	UTILIDADES	FASE 1	PRESSÃO	CALDBIRA PB	VASO DE PRESSAO	TUBULO INFERIOR	VESS-UTIL-110-VA-104
45	REFINARIA	UTILIDADES	FASE 2	PRESSÃO	CALDBIRA PB	VASO DE PRESSAO	TUBULO SUPERIOR	VESS-UTIL-110-VA-201
46	REFINARIA	UTILIDADES	FASE 2	PRESSÃO	CALDBIRA PB	VASO DE PRESSAO	TUBULO INFERIOR	VESS-UTIL-110-VA-202
47	REFINARIA	UTILIDADES	FASE 2	PRESSÃO	CALDBIRA PB	VASO DE PRESSAO	TUBULO SUPERIOR	VESS-UTIL-110-VA-203
48	REFINARIA	UTILIDADES	FASE 2	PRESSÃO	CALDBIRA PB	VASO DE PRESSAO	TUBULO INFERIOR	VESS-UTIL-110-VA-204
49	REFINARIA	UTILIDADES	FASE 1	OLEO	CALDBIRA PB	ARMAZENAGEM	TANQUE DE BPF	TANK-UTIL-110-TQ-101
50	REFINARIA	UTILIDADES	FASE 1	OLEO	CALDBIRA PB	ARMAZENAGEM	TANQUE DE BPF	TANK-UTIL-110-TQ-102
51	REFINARIA	UTILIDADES	FASE 1	OLEO	CALDBIRA PB	ARMAZENAGEM	TANQUE DE BPF	TANK-UTIL-110-TQ-103
52	REFINARIA	UTILIDADES	FASE 1	OLEO	CALDBIRA PB	ARMAZENAGEM	TANQUE DE BPF	TANK-UTIL-110-TQ-104
53	REFINARIA	UTILIDADES	FASE 2	OLEO	CALDBIRA PB	ARMAZENAGEM	TANQUE DE BPF	TANK-UTIL-110-TQ-201
54	REFINARIA	UTILIDADES	FASE 2	OLEO	CALDBIRA PB	ARMAZENAGEM	TANQUE DE BPF	TANK-UTIL-110-TQ-202
55	REFINARIA	UTILIDADES	FASE 2	OLEO	CALDBIRA PB	ARMAZENAGEM	TANQUE DE BPF	TANK-UTIL-110-TQ-203
56	REFINARIA	UTILIDADES	FASE 2	OLEO	CALDBIRA PB	ARMAZENAGEM	TANQUE DE BPF	TANK-UTIL-110-TQ-204
57	REFINARIA	UTILIDADES	FASE 1	OLEO	CALDBIRA PB	AQUECEDOR DE OLEO	TROCADOR CASCO E TUBO	HEAT-UTIL-110-AQ-101
58	REFINARIA	UTILIDADES	FASE 1	OLEO	CALDBIRA PB	AQUECEDOR DE OLEO	TROCADOR CASCO E TUBO	HEAT-UTIL-110-AQ-102
59	REFINARIA	UTILIDADES	FASE 1	OLEO	CALDBIRA PB	AQUECEDOR DE OLEO	TROCADOR CASCO E TUBO	HEAT-UTIL-110-AQ-103
60	REFINARIA	UTILIDADES	FASE 2	OLEO	CALDBIRA PB	AQUECEDOR DE OLEO	TROCADOR CASCO E TUBO	HEAT-UTIL-110-AQ-201
61	REFINARIA	UTILIDADES	FASE 2	OLEO	CALDBIRA PB	AQUECEDOR DE OLEO	TROCADOR CASCO E TUBO	HEAT-UTIL-110-AQ-202
62	REFINARIA	UTILIDADES	FASE 2	OLEO	CALDBIRA PB	AQUECEDOR DE OLEO	TROCADOR CASCO E TUBO	HEAT-UTIL-110-AQ-203

Fonte: Adaptado por autor, 2022.

A partir do sistema completo, realizou-se a matriz de criticidade para priorizar os equipamentos a partir de critérios encontrados na literatura de Teles (2019). Os critérios de classificação de segurança estão dispostos na Tabela 4.2:

Tabela 5 - Critério de segurança.

<b>SEGURANÇA</b>
PROVOCA RISCO DE MORTE OU CAUSA DANOS GRAVES AO MEIO AMBIENTE CASO FALHE
CAUSA LESÕES GRAVES CORPORAIS NÃO PERMANENTES CASO FALHE
CAUSA RISCOS CONTROLÁVEIS A SEGURANÇA E MEIO AMBIENTE CASO FALHE
NÃO CAUSA RISCOS A SEGURANÇA E MEIO AMBIENTE CASO FALHE

Fonte: Autor, 2022.

Os critérios de classificação de custos de manutenção estão dispostos na tabela 4.3:

Tabela 6 - Critério de custo.

<b>CUSTO DE MANUTENÇÃO</b>
O CUSTO DE MANUTENÇÃO SE ELEVA EM MAIS DE 30% AO ANO CASE FALHE
O CUSTO DE MANUTENÇÃO SE ELEVA EM MAIS DE 20% AO ANO CASE FALHE
O CUSTO DE MANUTENÇÃO SE ELEVA EM MAIS DE 10% AO ANO CASE FALHE
O CUSTO DE MANUTENÇÃO SE ELEVA EM MENOS QUE 10% AO ANO CASE FALHE

Fonte: Autor, 2022.

Os critérios de classificação de qualidade estão dispostos na tabela 4.4:

Tabela 7 - Critério de qualidade.

<b>QUALIDADE</b>
IMPACTO IRRECUPERÁVEL NA EXPERIÊNCIA DO CLIENTE CASO FALHE
COMPROMETERÁ A QUALIDADE DO PRODUTO DE FORMA IRRECUPERÁVEL
COMPROMETERÁ A QUALIDADE DO PRODUTO DE FORMA RECUPERÁVEL
NÃO COMPROMETERÁ A QUALIDADE DO PRODUTO CASO FALHE

Fonte: Autor, 2022.

Os critérios de classificação de produção estão dispostos na tabela 4.5:

Tabela 8 - Critério de produção.

<b>PRODUÇÃO</b>
LUCRO CESSANTE E CUSTOS INDUZIDOS CASO FALHE
INTERROMPE A PRODUÇÃO DE FORMA IRRECUPERÁVEL CASO FALHE
INTERROMPE A PRODUÇÃO DE FORMA RECUPERÁVEL CASO FALHE
NÃO INTERROMPE A PRODUÇÃO CASO FALHE

Fonte: Autor, 2022.

Os critérios de classificação de “*backup*” estão dispostos na tabela 4.6:

Tabela 9 - Critério de “*backup*”.

<b>BACKUP</b>
NÃO HÁ VIABILIDADE TECNICA OU ECONOMICA
NÃO POSSUI
POSSUI “ <i>BACKUP</i> ”, MAS NÃO ESTÁ INSTALADO EM PARALELO
POSSUI “ <i>BACKUP</i> ” EM PARALELO

Fonte: Autor, 2022.

Os parâmetros combinados geram uma classificação ABC, sendo o A mais crítico e o C menos crítico, na Figura 13 podemos ver a classificação da matriz. O sistema de bombas tanto de alimentação de óleo quanto de água e ventilador.

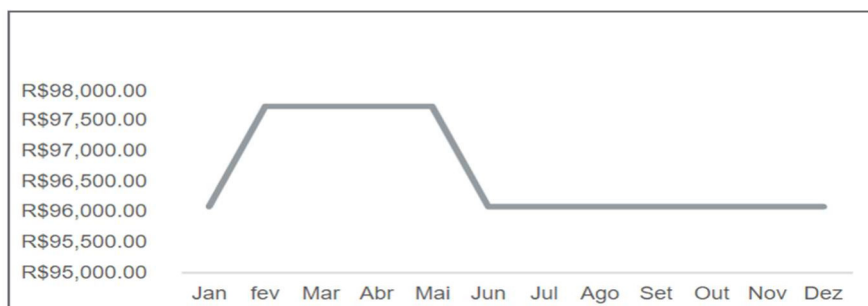
Figura 13 - Matriz ABC de criticidade.

NÚMERO	EQUIPAMENTO	TAG	CRITICIDADE
1	BOMBA DE OLEO	PUMP-UTIL-110-BA-101	B
2	BOMBA DE OLEO	PUMP-UTIL-110-BA-102	B
3	BOMBA DE OLEO	PUMP-UTIL-110-BA-201	B
4	BOMBA DE OLEO	PUMP-UTIL-110-BA-202	B
5	BOMBA DE ÁGUA	PUMP-UTIL-110-BA-001	B
6	BOMBA DE ÁGUA	PUMP-UTIL-110-BA-002	B
7	BOMBA DE ÁGUA	PUMP-UTIL-110-BA-003	B
8	BOMBA DE ÁGUA	PUMP-UTIL-110-BA-004	B
9	BOMBA DE ÁGUA	PUMP-UTIL-110-BA-005	B
10	BOMBA DE ÁGUA	PUMP-UTIL-110-BA-006	B
11	VENTILADOR	FAN-UTIL-110-VT-11A	A
12	VENTILADOR	FAN-UTIL-110-VT-11B	A
13	VENTILADOR	FAN-UTIL-110-VT-11C	A
14	VENTILADOR	FAN-UTIL-110-VT-11D	A

Fonte: Autor, 2022.

Após adequação de nomenclatura, a etapa seguinte foi norteada pelas análises de custos induzidos por manutenções corretivas durante o ano de 2021. Onde através do controle realizado pela coordenadora de planejamento os dados foram tratados e apresentados no gráfico da Figura 14.

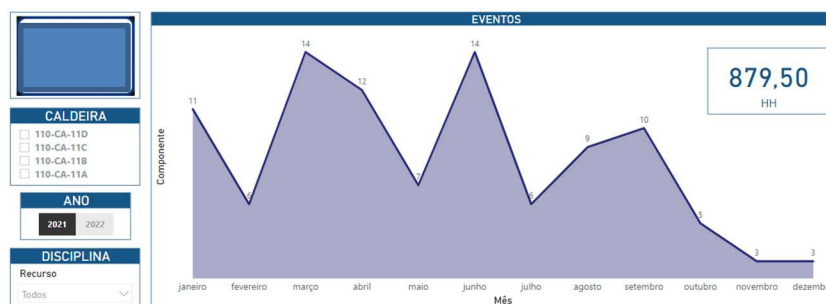
Figura 14 - Custo de manutenção em 2021.



Fonte: Autor, 2022.

A análise de falha foi correlacionada aos dados encontrados e como comparativo à análise de custo, concluiu-se que nos meses em que os gastos com manutenção se elevaram, houve mais falhas que induziram custos ao departamento, além do HH empregado nas manutenções corretivas ou realizadas fora do escopo da equipe de manutenção da área, como pode-se ver na Figura 15:

Figura 15 - Análise de falhas.



Fonte: Autor, 2022.

Os custos induzidos e as manutenções fora do escopo e programação justificam a implementação da estratégia e a normatização nos termos da multinacional para uma melhor gestão dos ativos e previsão de gastos.

Seguindo as etapas que foram propostas nas literaturas referenciadas, pode-se reunir as informações para compor a base desse RCM através das etapas seguintes:

A etapa 1 trata-se da identificação das funções dos sistemas aos quais os rotativos estão alocados, para exemplificar este caso descreve-se a seguir as bombas de alimentação de água para as caldeiras.

O sistema de alimentação de água é responsável por realizar o transporte de água para caldeira do tipo aquatubular, onde a água a ser aquecida passa no interior de tubos que, por sua vez, são envolvidos pelos gases de combustão. O sistema comum para cada duas caldeiras, é composto por 3 bombas sendo 1 reserva em paralelo, tubos de transporte externos e internos a caldeira, sendo os internos responsáveis pela troca de calor necessária para geração de vapor da caldeira e formação de condensado.

A linha de água de alimentação da caldeira BMW – FM120-97 para o tubulão de vapor deve possuir: válvula de bloqueio, válvula de retenção e de controle automático, sendo que esta deve possuir um by-pass e duas válvulas de bloqueio para fins de manutenção.

Na etapa 2 e 3 abordam-se a análise dos modos de falha e efeitos e a seleção das funções significativas, onde para compor a FMEA tem-se o sistema, o subsistema, a descrição da sua

função vital seguindo dos componentes críticos que são aqueles que geram com falhas perda de produção, risco à segurança e ao meio ambiente, que não possuem “*backup*”, que influenciam na qualidade do produto, esses sim, seriam analisados mais cuidadosamente a fim de posteriormente obterem um plano de manutenção dedicados e baseados no tempo.

Para exemplificar a etapa, temos agora a representação do sistema de acoplamento mecânico do ventilador centrífugo, em um modelo adaptado do portfólio da multinacional, como visto nas Figuras 16 e 17.

Figura 16 - Modelo adaptado de FMEA a partir do EMS.

Strategy Number	System	SubSystem	Function	PreparedBy	Date	Component
EMS-SL-110-926	Acoplamento Mecânico	Acoplamento mecânico	Acoplamento é o dispositivo mecânico que transmite o torque do motor ao eixo do ventilador. Há requisitos mecânicos necessários para uma correta operação do sistema.	Aysla C. S. Oliveira	3/9/2022	Acoplamento (cubos, parafusos etc)
		Elemento Elástico	Elemento de conexão de uma seção do acoplamento para a segunda seção do acoplamento	Aysla C. S. Oliveira	3/9/2022	Elemento elástico do acoplamento
						Eixo do motor

Fonte: Adaptado por autor, 2022.

O entendimento do sistema a ser analisado, seus subsistemas e componentes que o compõe é essencial para determinação dos modos de falhas, seus efeitos e causas como visto na Figura 17, vale ressaltar que a intenção não era se aprofundar nas minúcias das falhas por componentes e sim, ressaltar os principais modos de falhas e que acabam impactando na disponibilidade da caldeira ao longo do ano.

Figura 17 - Modos e efeitos de falhas e suas causas.

Component	FailureMode	Effects	Cause	Severity	Occurrence	Detection	RPN
Acoplamento (cubos, parafusos etc)	Folgas e desgastes	Vibrações, ruídos, danos mecânicos decorrentes	Danos mancais, quebra de parafusos fixadores	Major	Occasional	Moderate Probability	24
Elemento elástico do acoplamento	Danos no elemento	Perda de torque, excesso de vibração, parada do equipamento	Ressecamento, torque inadequado, contato com objeto cortante, tempo de vida	Major	Occasional	Moderate Probability	24
Eixo do motor	Desgastes ou empenos	Desbalanceamentos e vibração	Choque mecânicos	Moderate	Remote	Low Probability	18
Conjunto Rotativo / Rotor	Vibração elevada, ruídos anormais	Danos nos mancais, acoplamento, eixo, motor ou trip da caldeira por excesso de vibração	Corrosão do corpo do rotor	Major	Probable	High Probability	16

Fonte: Adaptado por autor, 2022.

Podemos destacar o acoplamento mecânico, exploramos os principais componentes que falham, o acoplamento em si e seus subcomponentes, cubos, parafusos fixadores, elemento elástico, o próprio eixo do motor que influencia no funcionamento correto do acoplamento e o próprio conjunto rotativo. Os principais modos de falhas são folgas e desgastes, danos nos elementos, desgastes e empenos nos eixos, vibrações elevadas no rotor. Uma das falhas mais comuns são as folgas e desgastes, os equipamentos rotativos estão sujeitos a constantes vibrações, sendo essas inerentes ao conjunto rotativo ou externas, como por exemplo um desgaste na base do motor que está acoplado ao rotor, a vibração acentuada por esse desgaste é propagada ao acoplamento causando assim esforços mecânicos que acabarão prejudicando seu melhor funcionamento, causando folgas ou desgaste até mesmo chegar à fratura dos parafusos ou do próprio acoplamento. Após a definição de causas e efeitos, o cálculo de RPN, ou número de risco, que é um método de avaliação de criticidade, análise de parâmetros de severidade, ocorrência e detecção de cada falha associados as falhas potenciais e críticas com foco na priorização das atividades selecionadas (BARAN, 2014).

A etapa 4 trata justamente da seleção dessas atividades aplicáveis avaliando os componentes, os modos de falhas para definir o que irá ser agregado nas atividades preventivas, preditivas, de inspeção ou lubrificação. Como as inspeções dos parafusos de fixação e seu torque, verificação de trincas nos cubos ou alguma avaria no acoplamento. A avaliação da etapa 4 se dá junto ao corpo técnico especializado e para a efetivação da atividade de inspeção, etapa 5 e 6, irá compor todas as subtarefas referentes a esse componente em específico, como a tarefa nos acoplamentos e nos elementos elásticos vistos na Figura 18.

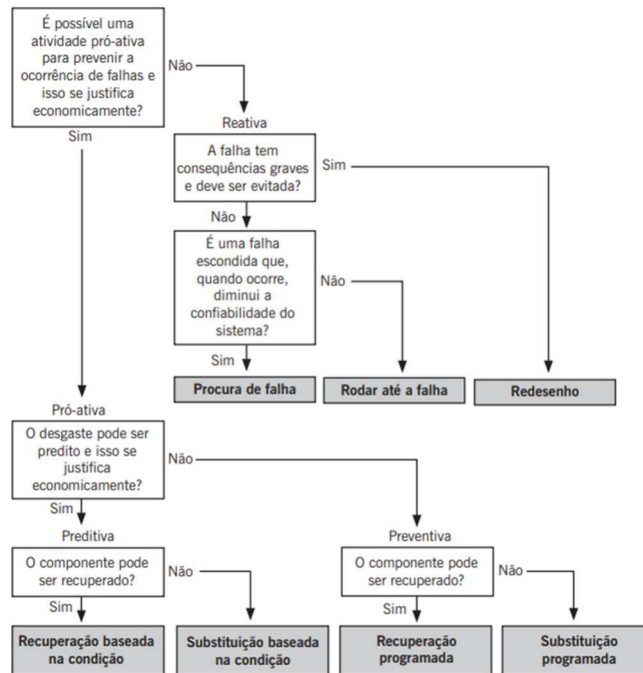
Figura 18 - Atividades aplicáveis a cada modo de falha.

Component	Task	TaskDescription	ScheduleType	TaskType	Interval	AssignedDepartment
Acoplamento (cubos, parafusos etc)	Inspeção dos acoplamentos, cubos, parafusos de fixação quanto a integridade do conjunto.	Inspeção dos acoplamentos em busca de sinais de desgastes ou folgas, integridade dos parafusos, trincas ou desgastes nos cubos.	TimeBased	Mechanical	182	110X-MANUT
Elemento elástico do acoplamento	Inspeção do elemento elástico quanto sua fixação e integridade física.	Inspeção do elemento elástico quanto sua fixação e integridade física, se há ressecamento do elemento elastico e há necessidade de troca.	TimeBased	Mechanical	182	110X-MANUT
Eixo do motor	Inspeção de eixos de motor e ventilador.	Inspeção detalhada de eixos de motor e ventilador com objetivo de identificar sinais de empenos e ou desgastes.	TimeBased	Overhaul	182	110X-MANUT
Conjunto Rotativo / Rotor	Medição de vibração nos mancais do ventilador	Medição de vibração nos mancais do ventilador	TimeBased	Inspection	64	T801-PREDT

Fonte: Adaptado por autor, 2022.

A definição da etapa 7 é sobre a determinação da frequência das atividades foram levados em consideração alguns fatores: o uso incontinuo das caldeiras durante o ano e o recurso limitado para agregar HH extenso para atividades de manutenções complexas. A partir dos impactos com recursos de HH e balanceamento do plano foi definido junto à supervisão a melhor periodicidade para a execução das atividades.

Figura 19 - Diagrama de decisão de atividade de manutenção recomendada.



Fonte: Fogliatto, 2011.

O diagrama na Figura 19 é apresentado na literatura de Fogliatto (2011), relata sobre a definição da atividade de manutenção adequada a cada componente a ser analisado e seu modo de falha. O RCM prioriza atividades proativas, ou seja, antes que a falha potencial ocorra. Sendo assim, toma-se como ação a verificação da possível falha iminente, e encaminha para atividades de manutenção, sejam elas, preventivas ou preditivas. Como visto na etapa 4, um *overview* do que será a atividade foi realizado, mas para qualquer atividade de manutenção necessita-se um anexo onde será descrito sequências de tarefas que devem ser seguidas como um checklist e gerar *follow ups* ao setor de planejamento nos casos em que a correção imediata não é possível. A inspeção preventiva sensível como demonstrado no anexo da Figura 20 trata de uma atividade com periodicidade quinzenal (15D) e é de natureza mecânica para garantir que em funcionamento sejam visualizados defeitos como em motores a falta de ventoinha e tampa defletora, pois essas são primordiais ao bom arrefecimento do motor, vazamentos nos mancais

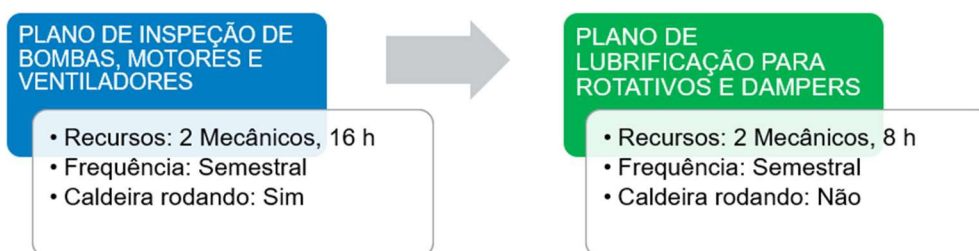
Figura 20 - Anexo de atividade de inspeção preventiva.

<p>Orientações:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Qualquer oportunidade detectada durante a execução desta WO deve ser registrada na própria WO para análise "pós trabalho" do encarregado para identificar novas anormalidades, sugestão de melhoria das técnicas e de gestão, e outros.</li> <li>Tarefas preditivas que usem padrões de referência devem ter seus valores registrados.</li> <li>Obrigatório responder "Encontrado problema?". No caso de não haver uma resposta será considerado como tarefa não realizada.</li> <li>Caso seja encontrado problemas, é obrigatório a responder "Corrigido?". No caso de não resposta, será considerado como falha de preenchimento e o encarregado deve reorientar.</li> <li>Falhas prematuras decorrentes da má qualidade de execução ou falha no preenchimento são de responsabilidade do executante.</li> </ol> <p>Atividade: 15D 110X-MANUT MEC INSP PREV SENSITIVA DAS CALDEIRAS DA FASE 1.</p> <p>Procedimento de Referência: LACDM 4011195</p> <p>Revisada por: Aysla Caroline Oliveira, Leonardo Cordeiro, Marco Lima, Ebevaldo Mendes, Joel Soares</p> <p>Data última revisão: 30/09/2022</p> <p>Tempo para execução: 8h</p> <p>HH: 1 mecânico</p> <table border="0"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">Seq. Tarefa - Ponto - Detalhe</th> <th style="text-align: left;">Detalhes da conclusão</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>001 - Inspeccionar – MOTOR/BOMBA DE ÁGUA – Ventoinhas, sem vibração ou ruídos excessivos, sem temperatura anormal, fixação correta;</td> <td>Encontrado problema? ( ) S ( ) N Corrigido? ( ) S ( ) N</td> </tr> <tr> <td>002 - Inspeccionar – MOTOR/BOMBA DE ÓLEO – Ventoinhas, sem vibração ou ruídos excessivos, sem temperatura anormal, fixação correta e vazamento no preme gaxeta;</td> <td>Encontrado problema? ( ) S ( ) N Corrigido? ( ) S ( ) N</td> </tr> <tr> <td>003 - Inspeccionar – MOTOR/VENTILADOR – Ventoinhas, tampa defletora e aletas integras, sem vibração ou ruídos excessivos, sem temperatura anormal, fixação correta;</td> <td>Encontrado problema? ( ) S ( ) N Corrigido? ( ) S ( ) N</td> </tr> </tbody> </table>	Seq. Tarefa - Ponto - Detalhe	Detalhes da conclusão	001 - Inspeccionar – MOTOR/BOMBA DE ÁGUA – Ventoinhas, sem vibração ou ruídos excessivos, sem temperatura anormal, fixação correta;	Encontrado problema? ( ) S ( ) N Corrigido? ( ) S ( ) N	002 - Inspeccionar – MOTOR/BOMBA DE ÓLEO – Ventoinhas, sem vibração ou ruídos excessivos, sem temperatura anormal, fixação correta e vazamento no preme gaxeta;	Encontrado problema? ( ) S ( ) N Corrigido? ( ) S ( ) N	003 - Inspeccionar – MOTOR/VENTILADOR – Ventoinhas, tampa defletora e aletas integras, sem vibração ou ruídos excessivos, sem temperatura anormal, fixação correta;	Encontrado problema? ( ) S ( ) N Corrigido? ( ) S ( ) N	<p>004 - Inspeccionar MANCAL/VENTILADOR - Sem vazamentos, sem vibração ou ruídos excessivos, lubrificação correta, sem temperatura elevada.</p> <p>Encontrado problema? ( ) S ( ) N Corrigido? ( ) S ( ) N</p> <p>005 - Inspeccionar ACOPLAMENTO/BOMBA - Sem desgaste aparente, sem vibração excessiva, sem temperatura elevada, com fixação correta.</p> <p>Encontrado problema? ( ) S ( ) N Corrigido? ( ) S ( ) N</p> <p>006 - Inspeccionar ACOPLAMENTO/VENTILADOR – Elemento elástico desgastados, sem vibração excessiva, sem temperatura elevada, com fixação correta.</p> <p>Encontrado problema? ( ) S ( ) N Corrigido? ( ) S ( ) N</p> <p>007 - Inspeccionar ELOS/DAMPER (SE FOR EXTERNO) - Sem desgaste, travamento, sinais de corrosão, fixação correta.</p> <p>Encontrado problema? ( ) S ( ) N Corrigido? ( ) S ( ) N</p> <p>008 - Inspeccionar BRAÇO DE ACIONAMENTO/ DAMPER - Sem folgas, fixação correta, sem travamento</p> <p>Encontrado problema? ( ) S ( ) N Corrigido? ( ) S ( ) N</p> <p>009 - Inspeccionar PROTEÇÃO DE MÁQUINA – Se atende aos padrões exigidos e a integridade da proteção</p> <p>Encontrado problema? ( ) S ( ) N Corrigido? ( ) S ( ) N</p> <p>Inspeccionar proteção de máquina atendendo os itens abaixo:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Identificar e informar possíveis trincas em soldas;</li> <li>Verificar e corrigir se necessário o sistema de fixação incluindo parafusos;</li> <li>Identificar e corrigir a existência de danificações ou danos na estrutura;</li> <li>Identificar e corrigir possível falha na proteção do contato com pessoas;</li> <li>Reportar proteção de máquina fora de padrão;</li> </ol>
Seq. Tarefa - Ponto - Detalhe	Detalhes da conclusão								
001 - Inspeccionar – MOTOR/BOMBA DE ÁGUA – Ventoinhas, sem vibração ou ruídos excessivos, sem temperatura anormal, fixação correta;	Encontrado problema? ( ) S ( ) N Corrigido? ( ) S ( ) N								
002 - Inspeccionar – MOTOR/BOMBA DE ÓLEO – Ventoinhas, sem vibração ou ruídos excessivos, sem temperatura anormal, fixação correta e vazamento no preme gaxeta;	Encontrado problema? ( ) S ( ) N Corrigido? ( ) S ( ) N								
003 - Inspeccionar – MOTOR/VENTILADOR – Ventoinhas, tampa defletora e aletas integras, sem vibração ou ruídos excessivos, sem temperatura anormal, fixação correta;	Encontrado problema? ( ) S ( ) N Corrigido? ( ) S ( ) N								

Fonte: Autor, 2022.

Os planos de manutenção foram divididos conforme análises feitas e modos de falhas apresentados por cada equipamento, sendo de fácil replicação pela natureza mecânica dos ativos. O fluxograma 4.2 responde os principais parâmetros dos planos quanto ao tipo de plano, recurso necessário para a manutenção e a quantidade de hora-homem, a frequência e o status da caldeira.

Fluxograma 4.2 - Planos de manutenção.



Fonte: Autor, 2022.

A definição dos recursos, o tempo de execução do plano de manutenção, a periodicidade e o estado de energia do equipamento foram definidos de acordo com as análises da equipe de trabalho, normas da empresa de segurança e procedimentos tanto globais às condições encontradas (ex.: espaço confinado, trabalho em altura) tanto para os equipamentos e suas particularidades (ex.: ventilador com *dampers* interno ou externo, bomba centrífuga ou bomba



de engrenagem). Os procedimentos (Figura 21) foram elaborados pelos técnicos especializados com riqueza de detalhes e validados pela engenharia e supervisão da área. Contemplam campos como objetivo, abrangência, recursos necessários, aspectos gerais de EHS (riscos e medidas preventivas, EPIs, critérios de parada de atividade), normas e procedimentos correlacionados à atividade, detalhamento da atividade por etapas de execução com ilustrações via imagens reais.

Figura 21 - Procedimento de manutenção mecânica.

<b>Utilidades/ 110A Geração de vapor Cogeração /</b>			
<b>Manutenção</b>			
<b>Manutenção dos ventiladores de ar de combustão da</b>			
<b>SATHEL Linha I/II</b>			
Aprovação:	19/Mar/2021	Responsável:	Santos, Robecio M.
Próxima Rev.:	Mar/2024	Aprovador:	Rodrigues, Leandro V.
◆ VÁLIDO NA WEB ◆			

Fonte: Autor, 2022.

Baseado nas análises de custos, falhas e manutenção propriamente dita, foi apresentado a necessidade de contratação de novos efetivos para equipe de manutenção para garantir que o HH dos planos fosse cumprido durante o ano a partir de sua data de início no sistema.

#### 4.2.3 Estratégia de manutenção

As etapas anteriormente realizadas foram fundamentais para documentar e sistematizar a estratégia de manutenção das caldeiras aquatubulares alocadas em uma multinacional. O objetivo dessa documentação é descrever a estratégia de manutenção dos equipamentos que compõem o sistema de geração de vapor das Caldeiras PBs da Refinaria, objetivando garantir a disponibilidade das caldeiras, aumentando a confiabilidade do sistema e seus equipamentos auxiliares para atender à demanda de vapor quando requerida, bem como garantir a não perturbação do sistema como um todo, reduzindo a quantidade de emergências dos equipamentos rotativos, bem como ter os registros das inspeções e manutenções realizadas no sistema das caldeiras alugadas.

Sendo a intenção desta estratégia é garantir que as caldeiras sejam operadas, inspecionadas e mantidas de acordo com as boas práticas de engenharia e todos os requisitos estatutários. Isso garantirá a operação segura com capacidade de carga total quando solicitadas, garantindo a produção necessária quando uma das caldeiras CFB's estiverem indisponíveis. Serão contempladas informações pertinentes as rotinas operacionais e de manutenções: preventiva, preditiva, inspeções e planos de lubrificação e lista de sobressalentes.

O documento segue com as normas e procedimentos correlacionados, lista de desenhos, documentos correlacionados, abrangência do sistema, lista de identificação dos equipamentos pertencentes ao sistema, indicadores que serão monitorados, especificações das caldeiras (Figura 22), detalhamento da estratégia tanto para partes de pressão, tanto para os equipamentos auxiliares rotativos (estudo de caso) subdivididos por sistemas os quais são descritos com detalhes e particularidades (Figura 22) e procedimentos correlacionados a cada ativo.

Figura 22 - Detalhamento da descrição e especificação de sistemas.

CARACTERÍSTICAS		ESPECIFICAÇÃO DO SISTEMA	
Fabricante	BABCOCK & WILCOX	Descrição	PSV (Pressure Safety Valve)
Tipo de caldeira	Compacta – Aquatubular	Tipo	Válvula de segurança
Nº De série	201 – 3412	Fabricante	CONSOLIDATED   CROSBY   FARRIS   CONSOLIDATED
Modelo	FM-120-97	Modelo	1965 J T I P HS-35 JF 2585 1811-0-6X1-20 LESER   LESER   LESER
Cód. Projeto	ASME I – 2001 – AD.2003	Criticidade	TUV-10054514 TUV-10054515 TUV-10054513
Ano de Fabricação	2004	Crítico com backup	
Categoria NR-13	A	TAG	INST-UTIL- PSV-11A-001/002/003   PSV-110-11A INST-UTIL- PSV-11B-001/002   PSV-110-11B INST-UTIL- PSV-11C-001/002/003   PSV-110-11C INST-UTIL- PSV-11D-001/002/003   PSV-110-11D
Combustível	Óleo BPF 1B	ESPECIFICAÇÃO DO SISTEMA	
PARÂMETROS OPERACIONAIS		Descrição	Lubrificação
Capacidade	55,0 T/h	Rota	AR-LUB-SATHEL-01 AR-LUB-SATHEL-02
Temperatura de saída de vapor	250 °C	Atividade	Y1ZROUT-IN-GRUPOATIVOROT-110XS11 Y1ZROUT IN GRUPOATIVOROT-110XS12
Temperatura de água de alimentação	175 °C	Descrição	182D LUB. MECANICA SEMESTRAL ROTATIVOS DAS CALDEIRAS SATEL FASE 1 e 2
Pressão de teste hidrostático de fabricação	105,4 kgf/cm <sup>2</sup> 10,3 Mpa	OS	15271113 15271115
Pressão de teste hidrostático atual	31,0 kgf/cm <sup>2</sup> 3,04 Mpa		
Pressão (PMTA)	25,0 kgf/cm <sup>2</sup> 2,45 MPa		
Superfície de Aquecimento	796 m <sup>2</sup>		

Fonte: Autor, 2022.

Em paralelo, a migração para o EMS que é o sistema de gerenciamento de estratégias de manutenção da companhia globalmente é o para onde migrarão todas as estratégias.

Figura 23 - Estratégias criada no EMS.

REX-IT   Equipment Management Strategies (EMS)	
EMS-SL-110-427	110 - Estratégia de Manutenção das Caldeiras de Grelha
EMS-SL-110-437	110 - Estratégia de Manutenção de Caldeira Package Boiler 11A
EMS-SL-110-438	110 - Estratégia de Manutenção de Caldeiras Package Boiler 11B
EMS-SL-110-439	110 - Estratégia de Manutenção de Caldeira Package Boiler 11C
EMS-SL-110-440	110 - Estratégia de Manutenção de Caldeira Package Boiler 11D
EMS-SL-110-923	Estratégia de Manutenção de Tanques de Óleo Caldeiras ██████ Fase #1
EMS-SL-110-924	Estratégia de Manutenção Bombas de Óleo Combustível da Caldeira ██████
EMS-SL-110-925	Estratégia de Manutenção de Bombas de Condensado das Caldeiras ██████ Fase #1
EMS-SL-110-926	Estratégia de Manutenção Ventiladores de Ar de Combustão Caldeiras ██████ Fase #1 #2
EMS-SL-110-927	Estratégia de Manutenção de Válvulas de Segurança da Caldeira ██████ fase#1
EMS-SL-110-929	Estratégia de Manutenção dos Tanques de Óleo Diesel Caldeiras ██████ Fase II

Fonte: Autor, 2022.

## 5 Conclusão

Diante dos os objetivos propostos, notou-se a dificuldade gerada por uma gestão paralela (contratada) e pode-se concluir que com os acordos contratuais prolongados, para aumentar o desempenho das caldeiras conferindo-lhes confiabilidade e manutenibilidade, fez-se necessário a implementação de uma estratégia de manutenção. Embora a área já fornecesse alguns tipos de manutenção com seu efetivo técnico, tais como manutenção preditiva e rotas de lubrificação para equipamentos rotativos, além de atividades de “*major overhaul*” para manutenções em partes de pressão das caldeiras, na configuração encontrada as falhas eram frequentes como demonstrado na análise de falhas, pois, sem um estudo para identificar os modos de falha dos equipamentos e os efeitos gerados no processo, apenas corretivamente se poderia agir. Com custos induzidos provenientes de manutenções corretivas, compras de “*spare parts*” para execução de substituições de peças, fabricações, efetivo HH desviado de preventivas para atendimento emergencial, além de registros com pouca rastreabilidade viu-se que tornou-se essencial implantar o sistema de gestão de manutenção vigente sendo o mesmo eficiente, pois utiliza-se produtivamente dos recursos visando o mínimo de desperdício, eficaz, pois gera resultados através das medidas/targets que são traçados para o desempenho dos ativos, e efetivo, devido ao impacto de transformar a situação existe em busca de mudanças e desenvolvimento da produção.

A implantação do RCM na estratégia de manutenção das caldeiras alugadas trouxe conhecimento e desenvolvimento técnico, uma atuação efetiva como engenheira de manutenção mecânica, o engajamento e avaliação do sistema sob os mais variados aspectos definiu as ações que deveriam ser aplicadas para mitigar os modos de falhas e atingir os objetivos iniciais deste trabalho.

Dessa forma, é possível chegar ao final desse trabalho, com maior conhecimento, desenvolvimento e maturidade técnica restando acompanhar os resultados e aplicações das preventivas, além de uma análise de impacto da estratégia para confiabilidade do sistema de cogeração de vapor da área.

## ✓ Referências

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS E TÉCNICAS. NBR 5462: “Confiabilidade e manutenibilidade”. Rio de Janeiro, 1994.
- ABNT - NORMA REGULAMENTADORA, NR 13 - Caldeiras, vasos de pressão, tubulações e tanques metálicos de armazenamento. Publicação 1978, atualização 2019.
- AMARAL, C. P. Manutenção Produtiva Total – Método PMRI – Universidade de Santa Catarina – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, 2003.
- ARRUDA, M. Z. de. Análise de combustíveis de caldeiras. Dissertação (Graduação) – Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, Rio Grande do Sul, 2009.
- BARAN, L. R. Manutenção centrada em confiabilidade aplicada na redução de falhas: um estudo de caso. Dissertação (Especialização) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2011.
- BARTOLOTTI, C. F. Aumento da Eficiência e Produção de Vapor com estudo de caso em uma caldeira aquatubular. Dissertação (Mestrado) - Universidade Santa Cecília, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Santos, SP, 2015.
- BORBA e LIMA. As Normas Regulamentadoras e a gestão do intertravamento de caldeiras, vãos de pressão e fornos no Brasil. 2009, DEX ENG. E CONSULTORIA LTDA. Disponível em: <[www.abiquim.org.br/congresso/cong\\_cd/fullpapers/P171733.doc](http://www.abiquim.org.br/congresso/cong_cd/fullpapers/P171733.doc)>. Acesso em 07/2022.
- BOTELHO, M. H. C e BIFANO, H. M. Operação de caldeiras: gerenciamento, controle e manutenção. 2ª edição, Editora Edgard Blucher Ltda, 2015.
- COGEN. Associação da indústria de cogeração de energia. 2022. Disponível em <<https://www.cogen.com.br/cogerao/conceito-e-tecnologias>>. Acesso em: 14/06/2022.
- CORREIA, A. K. Tratamento de falhas de uma caldeira de biomassa utilizando análise de modo e efeito de falhas – FMEA: estudo de caso em uma indústria papelaria. TCC. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Guarapuava, 2017.
- COSTA, G. N. da. A importância da preservação e do controle de riscos de acidentes em caldeiras 24f.: il. Monografia (especialização) - Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade de Taubaté, 2016.
- DARWICHE, T. J. A matriz energética brasileira: evolução da estrutura de oferta e demanda. Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2010.
- DIÓRIO, A. D 593g. “Geração e distribuição de vapor” – Londrina: Editora e Distribuidora Educacional S.A., 2019. 200 p. ISBN 978-85-522-1405-2.

- DPB. Descritivo do Processo Bayer. Engenharia de Processos. 2018. Acervo da empresa.
- FOGLIATTO, F. S. Confiabilidade e manutenção industrial. [recurso eletrônico]. Rio de Janeiro: Elsevier: ABEPRO, 2011. CDD: 620.00452. CDU: 62-7.
- KACH, S. C.; FELDEN, C. R. Gestão do sistema de manutenção com utilização das tecnológicas disponíveis para otimização dos processos. 2011. Disponível em < [https://hugepdf.com/download/gestao-do-sistema-de-manutencao-com-utilizaaodas\\_pdf](https://hugepdf.com/download/gestao-do-sistema-de-manutencao-com-utilizaaodas_pdf) > Acesso em: 13/07/2022.
- KARDEC, A. Manutenção: função estratégica. 3 ed. rev. e ampl. Rio de Janeiro: QualyMark: Petrobras, 2009. 384 p. ISBN 978857303898-9.
- LEEMIS, L. Reliability: probabilistic models and statistical methods. Nova York: Prentice-Hall, 384p., 1995.
- LOCH, C. A. Estudo da Gestão da Manutenção em uma Empresa do segmento Logístico. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas) - Universidade do Estado de Santa Catarina, 2007.
- MARTINS, D. F. F. Otimização do Funcionamento de Caldeiras Aquatubulares em Indústria de Processo Químico. Dissertação de Mestrado. Instituto Superior de Engenharia do Porto - ISEP, Porto, 2015.
- MOREIRA, T. B., SILVA, D. P., BEZERRA, P. H. R., CARVALHO, W. J. S. Proposta de aplicação da manutenção centrada na confiabilidade no desenvolvimento do plano estratégico da manutenção: um estudo de caso. Brazil Journal of Business (BJB), 2019. ISSN 2596-1934.
- MORTELARI, D.; SIQUEIRA, K.; PIZZATI, N. O RCM na Quarta Geração da Manutenção de Ativos. RG Editores, 1ª Edição, 2011.
- MOUBRAY, J. Reliability-Centered Maintenance. 2a ed. Nova York: Industrial Press, 1997.
- NOGUEIRA, L. A. H.; ROCHA, C. R.; NOGUEIRA, F. J. H. MANUAL PRÁTICO “Eficiência energética no uso de vapor” (2013) [online] disponível em < <https://proframonsilva.files.wordpress.com/2013/12/manual-vapor.pdf> > Acesso em 02/03/2022.
- NUNES, E. L. 2001. Manutenção Centrada Em Confiabilidade (MCC): Análise da Implantação em uma Sistemática De Manutenção Preventiva Consolidada. Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da UFSC. Florianópolis, 2001.
- OLIVEIRA, J. C. S. Análise de indicadores de qualidade e produtividade da manutenção. Universidade de Taubaté, Taubaté, SP, 2013.
- OLIVEIRA, D. J. de. Análise da Operação de Caldeiras De Acordo com a NR-13. (Dissertação) Universidade de Rio Verde – FESURV, 2014, Goiás.

- OLIVEIRA, J. C.; RODRIGUES, G. A.; GONÇALVES, L. B. Projeto caldeira aquatubular na indústria predilecta alimentos Ltda. Revista Interface Tecnológica, [S. l.], v. 16, n. 1, p. 406–416, 2019. INSS 2447-0864.
- OTANI, M.; MACHADO, W. V. A proposta de desenvolvimento de gestão da manutenção industrial na busca da excelência ou classe mundial. Revista Gestão Industrial. Vol.4, n.2, 2008.
- OZELIM, R. de P. Sistema de informação aplicado à gestão de manutenção: um estudo de caso sobre a implantação do planejamento da manutenção. 55 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2017.
- RODRIGUES, N. R. dos S. Estudo da eficiência energética de uma caldeira aquatubular. (Tese de Mestrado). Instituto Superior de Engenharia do Porto, 2016 – ISEP.
- SILVA, J. P. A. C. Estudo da aplicação de um novo combustível a uma caldeira aquatubular. (Tese de Mestrado). Instituto Superior de Engenharia do Porto, 2018 – ISEP.
- SOUZA, S. J. de. Análise de segurança na manutenção de uma caldeira. 59 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2018.
- TAVARES, M. DA S. Análise energética de um sistema de cogeração aplicado à um laticínio de médio porte. (Monografia). Universidade Federal de Ouro Preto, 2019 – CDU 621.
- TELES, J. Bíblia do RCM: O guia completo e definitivo da manutenção centrada na confiabilidade na indústria 4.0. Brasília: ENGETELES Site, 2019. 385p.: 23 cm. Inclui bibliografia. ISBN 978-65-900514-1-7.
- TELES, J. Tipos de manutenção de acordo com a NBR 5462. Brasília: ENGETELES Site, 2018. Disponível em < <https://engeteles.com.br/tipos-de-manutencao/> > Acesso em 17/05/2022.
- VIANA, H. R. G. PCM, planejamento e controle de manutenção. Rio de Janeiro: Qualitymark ed. 2002. 192p.:il.; ISBN: 85-7303370-3.
- XAVIER, F. J. C. Manutenção como atividade de gestão e estratégia: um estudo na empresa alfa do polo industrial de Manaus. Dissertação (Mestrado) – UFP, Instituto de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos, Belém, 2015. CDD 23. ed. 621.7.

## ✓ Apêndice A – <Especificações das caldeiras>

As especificações das caldeiras estão relatadas abaixo na Tabela 10:

Tabela 10 - Descritivo das caldeiras (especificações).

CARACTERÍSTICAS			
Fabricante	BABCOCK & WILCOX	CBC	Steammaster
Tipo de caldeira	Aquatubular	Aquatubular	Aquatubular
Nº De série	201 – 3412	19431	971
Modelo	FM-120-97	25VP-12W	JPO 40 GN
Cód. Projeto	ASME I – 2001	ASME I - 1986	ASME I - 2007
Ano de Fabricação	2004	1989	2007
Categoria NR-13	A	A	A
Combustível	Óleo BPF 1B	Óleo BPF 1B	Óleo BPF 1B
PARÂMETROS OPERACIONAIS			
Capacidade	55,0 T/h	35,0 T/h	40,0 T/h
Temp. de saída de vapor	250 °C	250 °C	250 °C
Temp. de água de al.	175 °C	175 °C	175 °C
Pressão TH – Fabricação	105,4 kgf/cm <sup>2</sup>	67,5 kgf/cm <sup>2</sup>	67,5 kgf/cm <sup>2</sup>
Pressão (PMTA)	10,3 Mpa	6,62 Mpa	6,62 Mpa
	25,0 kgf/cm <sup>2</sup>	23,0 kgf/cm <sup>2</sup>	25,0 kgf/cm <sup>2</sup>
	2,45 MPa	2,26 MPa	2,45 MPa
Sup. Aquecimento	796 m <sup>2</sup>	437 m <sup>2</sup>	681 m <sup>2</sup>

## ✓ Anexo A – <Plano de ação>

O plano de ação cria o passo a passo de targets a serem atingidos para que a estratégia esteja pronta ao final do plano de ação descrito na Tabela 11 do Anexo A.

Tabela 11 - Plano de ação da implementação.

PLANO DE AÇÃO – ESTRATÉGIA CALDEIRAS	SPA	STATUS
a. Desenvolver procedimentos de manutenção mecânica;	Jairon e Aysla	Concluído
b. Elaboração de TAG conforme norma ALCOA e cadastro no EAM;	Aysla e Jessivane	Concluído
c. Desenvolver inventário de ativos da Fase 1 e Fase 2, matriz ABC para balanceamento de criticidade, FMEA para identificar modos de falhas;	Aysla e Marco	Concluído
d. Rota de lubrificação das Fases 1 e 2 cadastrados no EAM;	Aysla e Marco	Concluído
e. Rota de inspeção preventiva das PSVs cadastrado no EAM;	Aysla e Marco	Concluído
f. Documento de estratégia;	Aysla e Emilio	Concluído
g. FMEA dos sistemas	Aysla	Concluído
h. Construção dos anexos conforme FMEA	Aysla e Ebevaldo	Concluído
i. Conclusão da estratégia e implementação no EMS;	Aysla	Concluído



## ✓ Anexo B – <Equipamentos críticos >

O sistema de alimentação de água é responsável por realizar o transporte de água para caldeira do tipo aquatubular, onde a água a ser aquecida passa no interior de tubos que, por sua vez, são envolvidos pelos gases de combustão. O sistema comum para cada duas caldeiras, é composto por 3 bombas sendo 1 reserva em paralelo, tubos de transporte externos e internos a caldeira, sendo os internos responsáveis pela troca de calor necessária para geração de vapor da caldeira e formação de condensado. A especificação das bombas segue o mesmo padrão tanto para fase 1 quanto para a fase 2, sendo bombas do tipo centrífuga multiestágio WK 65/3 com motor trifásico de indução WEG 75 CV, carcaça 225 S/M, 3560 rpm e forma de transporte tubular tendo como seu fabricante Imbil e sendo um ativo crítico com “*backup*”.

Figura 24 - Bomba centrífuga multiestágio WK 65/3.



Fonte: Autora, 2022.

O sistema de óleo é composto por 4 conjuntos de bomba de engrenagens FBE, sendo que 2 delas “*backups*” em cada fase em paralelo aos 2 conjuntos por fase. O óleo BPF é o combustível usando nas caldeiras para geração de vapor. Temos como referência uma relação de 17,0 kg de vapor por 1 kg de óleo, eficiência aproximada de 88%. A especificação das bombas segue o mesmo padrão tanto para fase 1 quanto para a fase 2, sendo duas bombas de

engrenagem FBE – A com motor trifásico de indução WEG 12,5 CV, carcaça 160 M, 1170 rpm e forma de transporte tubular tendo como seu fabricante FB BOMBAS e sendo um ativo crítico com “*backup*”.

Figura 25 - Bomba de engrenagem FBE-A.



Fonte: Autora, 2022.

O sistema de ar de combustão tem que garantir uma queima completa, funcionamento seguro, efetivo e livre de emissões. No caso das caldeiras CBC (35 t/h) que se trata de uma caldeira com fornalha pressurizada, o ventilador tem duplo papel, fornece ar para combustão e levar o produto da combustão para chaminé. Nas caldeiras B&W (55 t/h) o *damper* é interno ao ventilador. Os sistemas são divididos por fases e cada fabricante com seus respectivos ventiladores, onde as caldeiras Babcock possuem ventiladores Phelps com motor trifásico Toshiba 350 CV, 1780 rpm, as caldeiras CBC possui ventilador Marelli com motor trifásico WEG 125 CV, 1780 rpm e Steammaster possui ventilador Bernauer com motor trifásico WEG 150 CV, 1785 rpm, sendo estes críticos sem “*backup*”.

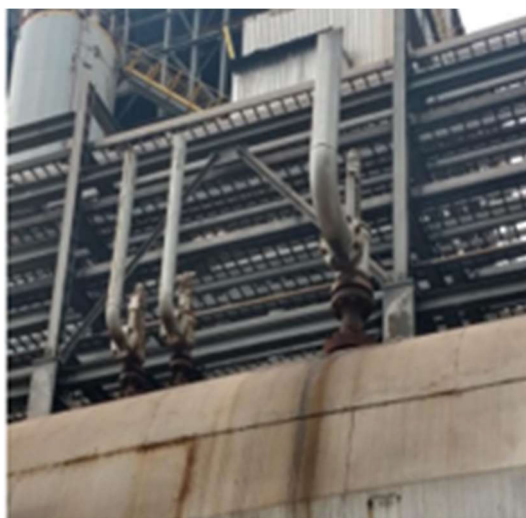
Figura 26 - Ventilador Marelli com *damper* externo.



Fonte: Autora, 2022.

As válvulas de segurança também fazem parte dos equipamentos críticos devido a sua função de segurança de operação das caldeiras, existem de 3 a 4 válvulas por caldeiras e são descritas na Tabela 12 presente no Anexo C e ilustradas na Figura 27.

Figura 27 - PSVs do tubulão superior.



Fonte: Autora, 2022.

## ✓ Anexo C – <Construção da documentação >

A construção dos *tags*, ou melhor, identificação dos equipamentos é de suma importância para o rastreamento correto das atividades de manutenção sejam elas preventivas ou corretivas, além de ajudar nos levantamentos de custos e planos de custo operacionais. Na Tabela 12 do Anexo C temos a identificação criada.

Tabela 12 - Identificação dos ativos.

CALDEIRAS PBs					
FASE 1			FASE 2		
Caldeira 11A e 11B			Caldeira 11C e 11D		
Nome	TAG		Nome	TAG	
TANQUES DE BPF	TANK-UTIL-110-TQ-101		TANQUES DE BPF	TANK-UTIL-110-TQ-105	
	TANK-UTIL-110-TQ-102			TANK-UTIL-110-TQ-106	
	TANK-UTIL-110-TQ-103			TANK-UTIL-110-TQ-107	
	TANK-UTIL-110-TQ-104			TANK-UTIL-110-TQ-108	
AQUECEDORES	HEAT-UTIL-110-AQ-101		AQUECEDORES	HEAT-UTIL-110-AQ-201	
	HEAT-UTIL-110-AQ-102			HEAT-UTIL-110-AQ-202	
	HEAT-UTIL-110-AQ-103				
BOMBAS DE ÓLEO	PUMP-UTIL-110-BA-101		BOMBAS DE ÓLEO	PUMP-UTIL-110-BA-201	
	PUMP-UTIL-110-BA-102			PUMP-UTIL-110-BA-202	
	PUMP-UTIL-110-BA-001			PUMP-UTIL-110-BA-004	
BOMBAS DE ÁGUA	PUMP-UTIL-110-BA-002		BOMBAS DE ÁGUA	PUMP-UTIL-110-BA-005	
	PUMP-UTIL-110-BA-003			PUMP-UTIL-110-BA-006	
CALDEIRA	110-CA-11A	110-CA-11B	CALDEIRA	110-CA-11C	110-CA-11D
VENTILADOR DE AR DE COMBUSTÃO	FAN-UTIL-110-VT-11A	FAN-UTIL-110-VT-11B	VENTILADOR DE AR DE COMBUSTÃO	FAN-UTIL-110-VT-11C	FAN-UTIL-110-VT-11D
DAMPER DOS VENTILADORES	INST-UTIL-11A-DP-001	INST-UTIL-11B-DP-001		INST-UTIL-11C-DP-001	INST-UTIL-11D-DP-001
TUBULÃO SUPERIOR	VESS-UTIL-110-VA-101	VESS-UTIL-110-VA-103	TUBULÃO SUPERIOR	VESS-UTIL-110-VA-201	VESS-UTIL-110-VA-203
TUBULÃO INFERIOR	VESS-UTIL-110-VA-102	VESS-UTIL-110-VA-104	TUBULÃO INFERIOR	VESS-UTIL-110-VA-202	VESS-UTIL-110-VA-204
VÁLVULA DE SEGURANÇA E ALÍVIO DO TUBULÃO	INST-UTIL-PSV-11A-001	INST-UTIL-PSV-11B-001	VÁLVULA DE SEGURANÇA E ALÍVIO DO TUBULÃO	INST-UTIL-PSV-11C-001	INST-UTIL-PSV-11D-001
	INST-UTIL-PSV-11A-002	INST-UTIL-PSV-11B-002		INST-UTIL-PSV-11C-002	INST-UTIL-PSV-11D-002
	INST-UTIL-PSV-11A-003	-		INST-UTIL-PSV-11C-003	INST-UTIL-PSV-11D-003
VÁLVULA DE SEGURANÇA E ALÍVIO DO SUPERAQUECEDOR	INST-UTIL-PSV-11A-004	INST-UTIL-PSV-110-11B-003	VÁLVULA DE SEGURANÇA E ALÍVIO DO SUPERAQUECEDOR	INST-UTIL-PSV-11C-004	INST-UTIL-PSV-11D-004
SOPRADOR DE FULIGEM FIXO	INST-UTIL-11A-SP-001	INST-UTIL-11B-SP-001	SOPRADOR DE FULIGEM FIXO	-	-
	INST-UTIL-11A-SP-002	INST-UTIL-11B-SP-002		-	-
SOPRADOR DE FULIGEM RETRÁTIL	-	INST-UTIL-11B-SP-003	SOPRADOR DE FULIGEM RETRÁTIL	-	-

Fonte: Autora, 2022.

A identificação no campo foi realizada de acordo com as normas da empresa, e seguiram a literatura apresentada durante o trabalho desenvolvido, conforme Figura 28.

Figura 28 - Tag aplicado no campo.



Fonte: Autora, 2022.

A árvore de 8 níveis se tornou essencial para conhecimento dos sistemas e subsistemas e quais os níveis iriam ser implementados a estratégia.

Tabela 13 - Árvore de 8 níveis.

NÚMERO	PLANTA	ÁREA	SUB-ÁREA	LINHA	MÁQUINA	CONJUNTO	EQUIPAMENTO	TAG
1	REFINARIA	UTILIDADES	FASE 1	OLEO	CALDEIRA PB	ROTATIVO	BOMBA DE OLEO	PUMP-UTIL-110-BA-101
5	REFINARIA	UTILIDADES	FASE 1	ÁGUA	CALDEIRA PB	ROTATIVO	BOMBA DE ÁGUA	PUMP-UTIL-110-BA-001
11	REFINARIA	UTILIDADES	FASE 1	AR	CALDEIRA PB	ROTATIVO	VENTILADOR	FAN-UTIL-110-VT-11A
16	REFINARIA	UTILIDADES	FASE 1	AR	CALDEIRA PB	VAPOR	SOPRADOR	INST-UTIL-11A-SP-002
17	REFINARIA	UTILIDADES	FASE 1	AR	CALDEIRA PB	VAPOR	SOPRADOR RETRÁTIL	INST-UTIL-11A-SP-003
21	REFINARIA	UTILIDADES	FASE 1	PRESSÃO	CALDEIRA PB	VÁLVULA DE SEGURANÇA	PSV	INST-UTIL-PSV-11A-001
22	REFINARIA	UTILIDADES	FASE 1	PRESSÃO	CALDEIRA PB	VÁLVULA DE SEGURANÇA	PSV	INST-UTIL-PSV-11A-002
23	REFINARIA	UTILIDADES	FASE 1	PRESSÃO	CALDEIRA PB	VÁLVULA DE SEGURANÇA	PSV	INST-UTIL-PSV-11A-003
24	REFINARIA	UTILIDADES	FASE 1	PRESSÃO	CALDEIRA PB	VÁLVULA DE SEGURANÇA	PSV	INST-UTIL-PSV-11B-001
25	REFINARIA	UTILIDADES	FASE 1	PRESSÃO	CALDEIRA PB	VÁLVULA DE SEGURANÇA	PSV	INST-UTIL-PSV-11B-002
26	REFINARIA	UTILIDADES	FASE 2	PRESSÃO	CALDEIRA PB	VÁLVULA DE SEGURANÇA	PSV	INST-UTIL-PSV-11B-003
27	REFINARIA	UTILIDADES	FASE 2	PRESSÃO	CALDEIRA PB	VÁLVULA DE SEGURANÇA	PSV	INST-UTIL-PSV-11C-001
28	REFINARIA	UTILIDADES	FASE 2	PRESSÃO	CALDEIRA PB	VÁLVULA DE SEGURANÇA	PSV	INST-UTIL-PSV-11C-002
29	REFINARIA	UTILIDADES	FASE 2	PRESSÃO	CALDEIRA PB	VÁLVULA DE SEGURANÇA	PSV	INST-UTIL-PSV-11C-003
30	REFINARIA	UTILIDADES	FASE 2	PRESSÃO	CALDEIRA PB	VÁLVULA DE SEGURANÇA	PSV	INST-UTIL-PSV-11C-004
31	REFINARIA	UTILIDADES	FASE 2	PRESSÃO	CALDEIRA PB	VÁLVULA DE SEGURANÇA	PSV	INST-UTIL-PSV-11D-001
32	REFINARIA	UTILIDADES	FASE 2	PRESSÃO	CALDEIRA PB	VÁLVULA DE SEGURANÇA	PSV	INST-UTIL-PSV-11D-002
33	REFINARIA	UTILIDADES	FASE 2	PRESSÃO	CALDEIRA PB	VÁLVULA DE SEGURANÇA	PSV	INST-UTIL-PSV-11D-003
34	REFINARIA	UTILIDADES	FASE 2	PRESSÃO	CALDEIRA PB	VÁLVULA DE SEGURANÇA	PSV	INST-UTIL-PSV-11D-004
35	REFINARIA	UTILIDADES	FASE 1	GASES	CALDEIRA PB	EXAUSTOR DE GASES	CHAMINÉ	STAK-UTIL-110-CH-001
36	REFINARIA	UTILIDADES	FASE 2	GASES	CALDEIRA PB	EXAUSTOR DE GASES	CHAMINÉ	STAK-UTIL-110-CH-002
37	REFINARIA	UTILIDADES	FASE 1	SIST. VAPOR	CALDEIRA PB	ESTRUTURA	CALDEIRA	110-CA-11A
38	REFINARIA	UTILIDADES	FASE 1	SIST. VAPOR	CALDEIRA PB	ESTRUTURA	CALDEIRA	110-CA-11B
39	REFINARIA	UTILIDADES	FASE 2	SIST. VAPOR	CALDEIRA PB	ESTRUTURA	CALDEIRA	110-CA-11C
40	REFINARIA	UTILIDADES	FASE 2	SIST. VAPOR	CALDEIRA PB	ESTRUTURA	CALDEIRA	110-CA-11D
41	REFINARIA	UTILIDADES	FASE 1	PRESSÃO	CALDEIRA PB	VASO DE PRESSAO	TUBULÃO SUPERIOR	VESS-UTIL-110-VA-101
42	REFINARIA	UTILIDADES	FASE 1	PRESSÃO	CALDEIRA PB	VASO DE PRESSAO	TUBULÃO INFERIOR	VESS-UTIL-110-VA-102
43	REFINARIA	UTILIDADES	FASE 1	PRESSÃO	CALDEIRA PB	VASO DE PRESSAO	TUBULÃO SUPERIOR	VESS-UTIL-110-VA-103
44	REFINARIA	UTILIDADES	FASE 1	PRESSÃO	CALDEIRA PB	VASO DE PRESSAO	TUBULÃO INFERIOR	VESS-UTIL-110-VA-104
45	REFINARIA	UTILIDADES	FASE 2	PRESSÃO	CALDEIRA PB	VASO DE PRESSAO	TUBULÃO SUPERIOR	VESS-UTIL-110-VA-201
46	REFINARIA	UTILIDADES	FASE 2	PRESSÃO	CALDEIRA PB	VASO DE PRESSAO	TUBULÃO INFERIOR	VESS-UTIL-110-VA-202
47	REFINARIA	UTILIDADES	FASE 2	PRESSÃO	CALDEIRA PB	VASO DE PRESSAO	TUBULÃO SUPERIOR	VESS-UTIL-110-VA-203
48	REFINARIA	UTILIDADES	FASE 2	PRESSÃO	CALDEIRA PB	VASO DE PRESSAO	TUBULÃO INFERIOR	VESS-UTIL-110-VA-204
49	REFINARIA	UTILIDADES	FASE 1	OLEO	CALDEIRA PB	ARMAZENAGEM	TANQUE DE BPF	TANK-UTIL-110-TQ-101
50	REFINARIA	UTILIDADES	FASE 1	OLEO	CALDEIRA PB	ARMAZENAGEM	TANQUE DE BPF	TANK-UTIL-110-TQ-102
51	REFINARIA	UTILIDADES	FASE 1	OLEO	CALDEIRA PB	ARMAZENAGEM	TANQUE DE BPF	TANK-UTIL-110-TQ-103
52	REFINARIA	UTILIDADES	FASE 1	OLEO	CALDEIRA PB	ARMAZENAGEM	TANQUE DE BPF	TANK-UTIL-110-TQ-104
53	REFINARIA	UTILIDADES	FASE 2	OLEO	CALDEIRA PB	ARMAZENAGEM	TANQUE DE BPF	TANK-UTIL-110-TQ-201
54	REFINARIA	UTILIDADES	FASE 2	OLEO	CALDEIRA PB	ARMAZENAGEM	TANQUE DE BPF	TANK-UTIL-110-TQ-202
55	REFINARIA	UTILIDADES	FASE 2	OLEO	CALDEIRA PB	ARMAZENAGEM	TANQUE DE BPF	TANK-UTIL-110-TQ-203
56	REFINARIA	UTILIDADES	FASE 2	OLEO	CALDEIRA PB	ARMAZENAGEM	TANQUE DE BPF	TANK-UTIL-110-TQ-204
57	REFINARIA	UTILIDADES	FASE 1	OLEO	CALDEIRA PB	AQUECEDOR DE OLEO	TROCADOR CASCO E TUBO	HEAT-UTIL-110-AQ-101
58	REFINARIA	UTILIDADES	FASE 1	OLEO	CALDEIRA PB	AQUECEDOR DE OLEO	TROCADOR CASCO E TUBO	HEAT-UTIL-110-AQ-102
59	REFINARIA	UTILIDADES	FASE 1	OLEO	CALDEIRA PB	AQUECEDOR DE OLEO	TROCADOR CASCO E TUBO	HEAT-UTIL-110-AQ-103
60	REFINARIA	UTILIDADES	FASE 2	OLEO	CALDEIRA PB	AQUECEDOR DE OLEO	TROCADOR CASCO E TUBO	HEAT-UTIL-110-AQ-201
61	REFINARIA	UTILIDADES	FASE 2	OLEO	CALDEIRA PB	AQUECEDOR DE OLEO	TROCADOR CASCO E TUBO	HEAT-UTIL-110-AQ-202
62	REFINARIA	UTILIDADES	FASE 2	OLEO	CALDEIRA PB	AQUECEDOR DE OLEO	TROCADOR CASCO E TUBO	HEAT-UTIL-110-AQ-203

Fonte: Autora, 2022.

A documentação de informações serve não apenas como base para parâmetros operacionais ou de manutenção, mas facilita seus fluxos, as PSVs necessitam ser calibradas para operação. Os dados foram coletados e organizados de forma que suas informações fossem conhecidas.

Tabela 14 - Descritivo de válvulas de segurança por caldeira.

Válvulas de Segurança								
Caldeira D		Localização	Tamanho normal	Tipo	Marca	Capacidade	Pressão de abertura	
PSV		1.	Superaquecedor	3 K 4	segurança com mola	Crosby	10000 kg/h	22,0 kgf/cm <sup>2</sup>
qtd	4	2.	Tubulão	2 H 3	segurança com mola	W. Burguer	5866 kg/h	24,0 kgf/cm <sup>2</sup>
Documento		3.	Tubulão	2 J 3	segurança com mola	Crosby	9896 kgf/cm <sup>2</sup>	24,6 kgf/cm <sup>2</sup>
		4.	Tubulão	3 L 4	segurança com mola	Cornesol	21921 kgf/cm <sup>2</sup>	25,0 kgf/cm <sup>2</sup>
Caldeira C		Localização	Tamanho normal	Tipo	Marca	Capacidade	Pressão de abertura	
PSV		1.	Superaquecedor	3 K 4	segurança com mola	Barbara	12585 kg/h	22,0 kgf/cm <sup>2</sup>
qtd	4	2.	Tubulão	1 1/2 X 3	segurança com mola	Consolidated	7427 kg/h	24,0 kgf/cm <sup>2</sup>
Documento		3.	Tubulão	2 X 3	segurança com mola	Consolidated	10995 kgf/cm <sup>2</sup>	24,6 kgf/cm <sup>2</sup>
		4.	Tubulão	4 N 6	segurança com mola	Farris	34270 kgf/cm <sup>2</sup>	24,7 kgf/cm <sup>2</sup>
Caldeira B		Localização	Tamanho normal	Tipo	Marca	Capacidade	Pressão de abertura	
PSV		1.	Superaquecedor	2 J 3	segurança com mola	Leser	9240 kg/h	23,0 kgf/cm <sup>2</sup>
qtd	3	2.	Tubulão	3 K 4	segurança com mola	Leser	14300 kg/h	25,0 kgf/cm <sup>2</sup>
Documento		3.	Tubulão	3 K 4	segurança com mola	Leser	14570 kg/h	25,5 kgf/cm <sup>2</sup>
Caldeira A		Localização	Tamanho normal	Tipo	Marca	Capacidade	Pressão de abertura	
PSV		1.	Superaquecedor	2 1/2 X 4	segurança com mola	Consolidated	12700 kgf/cm <sup>2</sup>	22,0 kgf/cm <sup>2</sup>
qtd	3	2.	Tubulão	1 1/2 X 3	segurança com mola	Consolidated	7720 kg/h	24,0 kgf/cm <sup>2</sup>
Documento		3.	Tubulão	2 X 3	segurança com mola	Consolidated	7900 kg/h	24,3 kgf/cm <sup>2</sup>
		4.	Tubulão	4 N 6	segurança com mola	Farris	26900 kg/h	24,7 kgf/cm <sup>2</sup>

Fonte: Autora, 2022.

Assim como obter informações que facilitem o planejamento de materiais para manutenções, devido a ser um ativo que não alocamos primariamente, possuem-se informações novas a todo momento e documentá-las garante uma melhor eficiência quando se precisa da informação.

Tabela 15 - Relação de componentes por equipamento.

BOM DO ATIVO		
Caldeira A	Especificação	
BOMBA DE AGUA (SUCÇÃO) F1	Rolamento	NU 207K C3
BOMBA DE AGUA (DESCARGA) F1	Rolamento	6404 C3
BOMBA DE AGUA (SUCÇÃO) F2	Rolamento	NU 207K C3
BOMBA DE AGUA (DESCARGA) F2	Rolamento	7306 C3 BWG
MOTOR / BOMBA 2 LADOS	Rolamento	6314 - C3
MOTOR / VT (A)	Rolamento	6318 C3
VENTILADOR (A)	Rolamento	22217 CCK
VENTILADOR (A)	Mancal	SN 517

Fonte: Autora, 2022.

A matriz de criticidade é determinante para definir os equipamentos críticos e ajudam qual as melhores estratégias a se tomar, se necessita um “*backup*”, um “*by pass*” ou “*spare parts*” de componentes para manutenção eficiente.

Tabela 16 - Matriz de criticidade ABC.

NUMERO	EQUIPAMENTO	TAG	CRITICIDADE
1	BOMBA DE OLEO	PUMP-UTIL-110-BA-101	B
2	BOMBA DE OLEO	PUMP-UTIL-110-BA-102	B
3	BOMBA DE OLEO	PUMP-UTIL-110-BA-201	B
4	BOMBA DE OLEO	PUMP-UTIL-110-BA-202	B
5	BOMBA DE AGUA	PUMP-UTIL-110-BA-001	B
6	BOMBA DE AGUA	PUMP-UTIL-110-BA-002	B
7	BOMBA DE AGUA	PUMP-UTIL-110-BA-003	B
8	BOMBA DE AGUA	PUMP-UTIL-110-BA-004	B
9	BOMBA DE AGUA	PUMP-UTIL-110-BA-005	B
10	BOMBA DE AGUA	PUMP-UTIL-110-BA-006	B
11	VENTILADOR	FAN-UTIL-110-VT-11A	A
12	VENTILADOR	FAN-UTIL-110-VT-11B	A
13	VENTILADOR	FAN-UTIL-110-VT-11C	A
14	VENTILADOR	FAN-UTIL-110-VT-11D	A
15	SOPRADOR	INST-UTIL-11A-SP-001	B
16	SOPRADOR	INST-UTIL-11A-SP-002	B

Fonte: Autora, 2022.

O FMEA é a metodologia de análise de modos e efeitos de falhas para as tomadas de decisões, onde se explicita o equipamento, a sua função, modo de falha, causa da falha, efeito de falha. Após essa descrição vem a análise de risco, onde através do RPN ou *risk priority number* que é o valor calculado que fica associado ao modo de falha e em termos matemáticos é a multiplicação de fatores: ocorrência, severidade e detecção.

Tabela 17 - FMEA - descrição.

TAG	CONJUNTO	MODOS DE FALHAS	CAUSA DA FALHA	EFEITOS DAS FALHAS (SINTOMAS)
110-BA-101/102/201/202	BOMBEAMENTO DE ÓLEO BPF	BAIXO RENDIMENTO	PERDA DE PRESSÃO NA BOMBA	VAZAMENTO
			DESBALANCEAMENTO DO ROTOR	DESGASTE ESTRUTURAL
			DESALINHAMENTO DO EIXO	VIBRAÇÃO EXCESSIVA
			DESALINHAMENTO DO ACOPLAMENTO	RUIDOS EXCESSIVOS
			EMPENAMENTO DO EIXO	RUIDOS EXCESSIVOS
			CAVITAÇÃO	TEMPERATURA ELEVADA
		TRAVAMENTOS E DESGASTE DE COMPONENTES	ENGRENAMENTO COM DESGASTE / TRAVADA	TEMPERATURA ELEVADA
			TRAVAMENTO DE ROLAMENTO	TEMPERATURA ELEVADA
			TRAVAMENTO DO ACOPLAMENTO	TEMPERATURA ELEVADA
			DESGASTE DOS PARAFUSOS DA BASE	VIBRAÇÃO EXCESSIVA
			PISTA DO ROLAMENTO DESGASTADA	VAZAMENTO
		NÃO TRANSMITE TORQUE	ACIONAMENTO ELÉTRICO EM FALHA (MOTOR) / TRAVAMENTO	PARADA DA BOMBA
			BAIXA ISOLAÇÃO DO MOTOR	PARADA DA BOMBA
			OPERAÇÃO EM SECO	TEMPERATURA ELEVADA
		SISTEMA DE LUBRIFICAÇÃO INEFICIENTE	CONTAMINAÇÃO DO LUBRIFICANTE	TEMPERATURA ELEVADA
			FOLGA NO SELO MECANICO	TEMPERATURA ELEVADA
			SELO MECANICO DANIFICADO	VAZAMENTO
			FOLGA NO RETENTOR	VAZAMENTO
			ATRITO NO RETENTOR	VAZAMENTO

Fonte: Autora, 2022.

Tabela 18 - FMEA - Análise de risco.

OCORRÊNCIA	DETECÇÃO	SEVERIDADE	RPN
MODERADA: 1X POR SEMESTRE	PROBABILIDADE BAIXA	MODERADO	180
BAIXA: 1 A CADA 5 ANOS	PROBABILIDADE REMOTA	MODERADO	96
MODERADA: 1X POR ANO	PROBABILIDADE REMOTA	ALTA	224
MODERADA: 1X POR ANO	PROBABILIDADE REMOTA	ALTA	224
MODERADA: 1X POR ANO	PROBABILIDADE REMOTA	ALTA	224
MODERADA: 1X POR ANO	PROBABILIDADE REMOTA	ALTA	224
MODERADA: 1X POR ANO	PROBABILIDADE REMOTA	ALTA	224
BAIXA: 1 A CADA 2 ANOS	PROBABILIDADE REMOTA	ALTA	168
BAIXA: 1 A CADA 2 ANOS	PROBABILIDADE MUITO REMOTA	MUITO ALTA	216
BAIXA: 1 A CADA 2 ANOS	PROBABILIDADE REMOTA	ALTA	168
BAIXA: 1 A CADA 2 ANOS	PROBABILIDADE MUITO BAIXA	ALTA	147
MODERADA: 1X POR ANO	PROBABILIDADE BAIXA	MODERADO	144

Fonte: Autora, 2022.

Então através da análise de RPN sabe-se que o desbalanceamento do rotor, é mais crítico do que por exemplo uma falha por baixo rendimento por perda de pressão na bomba. Conseguem-se reconectar mais rapidamente ao seu estado de desempenho normal. Com isso, cria-se atividades que mapeiem esses pontos com mais atenção.

## ✓ Anexo D – <Procedimentos de manutenção >

Os procedimentos de manutenção são como a receita do bolo para o chefe de cozinha, você tem um passo a passo, mas se houver uma etapa não prevista, rapidamente utilizando a cadeia de ajuda o mantenedor consegue reconectar a atividade e realizá-la e promover lições aprendidas que virão a compor uma lição ponto a ponto, um troubleshooting, até mesmo complementar o procedimento. Na Figura 29 do Anexo D temos um dos modelos criados.

Figura 29 - Procedimento de manutenção de PSVs.

<b>Utilidades/ 110 Geração de vapor / Manutenção</b>				
<b>Manutenção das PSV'S das caldeiras</b>				
Aprovação:	24/Mar/2021	Responsável:	Santos, Robecio M.	<b>R000 4011196</b>
Próxima Rev.:	Mar/2022	Aprovador:	Rodrigues, Leandro V	
◆ VÁLIDO NA WEB ◆				

### OBJETIVO

Garantir o alívio de pressão das caldeiras, quando necessário. Garantir a execução da tarefa de maneira segura.



### ABRANGÊNCIA

Este procedimento se aplica a troca das PSV's das caldeiras 11A,11B,11C e 11D.

### RECURSOS NECESSÁRIOS

- 01 caixa de ferramenta completa.
- 01 estropo ou cinta.
- 01 guindaste;
- Cinto de segurança
- 01 conjunto oxicorte.

### ASPECTOS GERAIS DE EHS

 RISCOS	 MEDIDAS PREVENIONISTAS
1. Pensamento de mãos e dedos;	1. Usar luva de algodão/vaqueta e/ou raspa (luva de raspa em atividade de trabalho a quente); não colocar as mãos e dedos entre partes fixas e moveis do equipamento;
2. Queda de mesmo nível e nível diferente.	2. Apoiar-se no corrimão ao subir e descer escadas e andaime. Manter área limpa e organizada. Andar por caminho sem obstáculos e que não ofereçam

Fonte: Autora, 2022.



Figura 30 - Procedimento de manutenção de PSVs.

Aprovação:	24/Mar/2021	Responsável:	Santos, Robecio M.	R000 4011196
Próxima Rev.:	Mar/2022	Aprovador:	Rodrigues, Leandro V	
♦ VÁLIDO NA WEB ♦				

Procedimento N°. 4003300 – Cores para inspeção periódica de segurança.  
 Procedimento N°. 4008291 – Uso de Ferramentas manuais.  
 Procedimento N°. 4003288 – Estropos.  
 Procedimento N°. 4003260 – Equipamento de proteção individual.  
 Procedimento N°. 4003272 – Uso de talhas manuais.  
 Procedimento N°. 4010700 – Corte e Solda e Esmerilhamento da área 110X.  
 Procedimento N.º 4003444 – Uso de veículos e equipamentos industriais móveis.

**DETALHAMENTO**

- ETAPA: Solicitar liberação da caldeira pela operação.

⚠ RISCOS	🛡️ MEDIDAS PREVENIONISTAS
1. <i>Etiquetar equipamento errado.</i>	1. <i>Andar com atenção; usar cinto de segurança.</i> 2. <i>Etiquetar a caldeira; certificar-se que a caldeira está drenada.</i>

- ETAPA: Retirar tubulação da descarga das válvulas de segurança com auxílio de chaves combinadas e ferramentas manuais com auxílio de duas pessoas.
- ETAPA: Folgar os parafusos de entrada e saída dos flanges das válvulas de segurança a serem trocadas com auxílio de chaves combinadas e ferramentas manuais caso o parafuso apresente muita dificuldade cortar os mesmos com lixadeira ou maçarico.
- ETAPA: Para fazer a retirada das válvulas de segurança depois de soltas, usar cintas, estropos e manilhas, fazer amarração e o içamento das mesmas para o piso térreo com auxílio do guindaste.
- ETAPA: Fazer o içamento das válvulas novas de segurança com guindaste usar cintas, estropos, talhas catracas para posicionar as válvulas nos seus respectivos flanges e repor juntas espiroflex novas.
- ETAPA: Repor e apertar parafusos estojos de forma cruzada com auxílio de chaves combinadas e ferramentas manuais.
- ETAPA: Estar atento para montagem das válvulas nas posições corretas.

**Caldeira 110-CA-11A:**

- PSV-11A-001 / PSV-11A-002 / PSV-11A-003 (tubulão).
- PSV-110-11A DESCAGA DA CALDEIRA.



**Caldeira 110-CA-11B:**

- PSV-11B-001 / PSV-11B-002 (tubulão).
- PSV-11B-003 DESCARGA DA CALDEIRA

Fonte: Autora, 2022.

## ✓ Anexo E – <Planos de manutenção >

Os planos de manutenção é o resultado de todas as informações e análises construídas. As atividades de manutenção são frutos do FMEA e os anexos são a parte representativa de como será feita essa atividade pelo grupo de mantenedores e com qual frequência esse plano será executado. Um exemplo de anexo de atividade de manutenção criado está na Figura 31 abaixo:

Figura 31 - Anexo de atividade de manutenção preventiva.

### Orientações:

1. Qualquer oportunidade detectada durante a execução desta WO deve ser registrada na própria WO para análise "pós trabalho" do encarregado para identificar novas.

anormalidades, sugestão de melhoria das técnicas e de gestão, e outros.

2. Tarefas preditivas que usem padrões de referência devem ter seus valores registrados.

3. Obrigatório responder "Encontrado problema?". No caso de não haver uma resposta será considerado como tarefa não realizada.

4. Caso seja encontrado problemas, é obrigatório a responder "Corrigido?". No caso de não resposta, será considerado como falha de preenchimento e o encarregado deve reorientar.

5. Falhas prematuras decorrentes da má qualidade de execução ou falha no preenchimento são de responsabilidade do executante.

Atividade: 182D 110X-MANUT MEC INSP PREV DAS BOMBAS DE ALIMENTAÇÃO DE ÁGUA DA FASE 1.

Procedimento de Referência: LACDM 4011188

Revisada por: Aysla Caroline Oliveira, Leonardo Cordeiro, Marco Lima, Ebevaldo Mendes, Joel Soares.

Data última revisão: 08/07/2022

Tempo para execução: 16h

HH: 2 mecânicos

Seq. Tarefa - Ponto - Detalhe

Detalhes da conclusão

001 - Inspeccionar MANCAL -> BOMBA DE ÁGUA – Inspeção da integridade visual;

Encontrado problema? ( )S ( )N Corrigido?( )S ( )N

002 - Inspeccionar ACOPLAMENTO -> BOMBA DE ÁGUA - Sem folgas ou desgaste, com fixação correta, com vibração excessiva.

Encontrado problema? ( )S ( )N Corrigido?( )S ( )N

003 - Inspeccionar BASE -> BOMBA DE ÁGUA – Inspeção da integridade da base do motor, condição de ajuste e fixação;

Encontrado problema? ( )S ( )N Corrigido?( )S ( )N

O plano de manutenção formal desenvolvido está ilustrado na Figura 32 do Anexo E, foi o validado pela área e está em implementação e migração para o EMS.

Figura 32 - Plano de manutenção.

Refinaria - Utilidades/ Caldeiras ████████ / Manutenção

EE- Estratégia de manutenção das Caldeiras ████████ e equipamentos auxiliares

Aprovação:	DD/MM/YYYY	Responsável:	Aysla Oliveira	4008997 R005
Próxima Rev.:		Aprovador:	Thiago Lima	

♦ VÁLIDO NA WEB ♦

**SPA (Single Point Accountability)**

Engenheiro de confiabilidade da área – Emílio Josino.

**Aprovação, Autorização e Registro de Revisão**

TÍTULO DA POSIÇÃO	FUNÇÃO	NOME	DATA
Engenheiro Sênior Powerhouse	Originador/Owner	Emílio Josino	
Diretor de Engenharia Mecânica Powerhouse	Autorizador	Gláucio Oliveira	
Supervisor de Manutenção Powerhouse	Aprovador	Leandro Rodrigues	
Superintendente Powerhouse	Aprovador	Thiago Lima	

**FUNÇÃO**

Consolidar as estratégias de todos os equipamentos que fazem parte das caldeiras ████████ da Refinaria da ████████ no que tange planejamento, operação, manutenção rotineira e atividades específicas de overhaul de todas as disciplinas. Caldeira é um trocador de calor complexo que produz vapor de água sob pressões superiores a atmosférica a partir da energia térmica de um combustível e de um elemento comburente (ar), estando constituído por diversos equipamentos associados e perfeitamente integrados para permitir a obtenção do maior rendimento térmico possível.

**OBJETIVO**

Este documento tem por objetivo descrever a estratégia de operação e manutenção dos equipamentos que compõem o sistema de geração de vapor das Caldeiras ████████ da Refinaria, objetivando garantir a disponibilidade das caldeiras, aumentando a confiabilidade do sistema e seus equipamentos auxiliares para atender à demanda de vapor quando requerida, bem como garantir a não perturbação do sistema como um todo, reduzindo a quantidade de emergências dos equipamentos rotativos, bem como ter os registros das inspeções e manutenções realizadas no sistema ████████

Fonte: Autora, 2022.

E assim foi construído o documento da estratégia de manutenção e implementado na área de Utilidades da refinaria de uma empresa multinacional baseada em manutenção centrada em confiabilidade.