

ASSOCIAÇÃO EDUCATIVA EVANGÉLICA
FACULDADE EVANGÉLICA DE GOIANÉSIA – FACEG
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

GUSTAVO RIBEIRO OLIVEIRA

**IMPLANTAÇÃO DE UM PLANO DE MANUTENÇÃO PARA BOMBAS
CENTRÍFUGAS BASEADO NA METODOLOGIA DE MANUTENÇÃO CENTRADA
EM CONFIABILIDADE**

GOIANÉSIA

2022

GUSTAVO RIBEIRO OLIVEIRA

IMPLANTAÇÃO DE UM PLANO DE MANUTENÇÃO PARA BOMBAS CENTRÍFUGAS
BASEADO NA METODOLOGIA DE MANUTENÇÃO CENTRADA EM
CONFIABILIDADE

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado ao Departamento de Engenharia Mecânica, da Faculdade Evangélica de Goianésia - FACEG, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de bacharel em Engenharia Mecânica.

GOIANÉSIA

2022

FICHA CATALOGRÁFICA

O48

Oliveira, Gustavo Ribeiro.

Implantação de um plano de manutenção para bombas centrífugas baseado na metodologia de manutenção centrada em confiabilidade / Gustavo Ribeiro Oliveira – Goianésia: Faculdade Evangélica de Goianésia, 2022 – Faceg, 2022.

64 p.; il. p&b.

Orientador: Marinés Chiquinquirá Carvajal Bravo Gomes

Monografia de Graduação – Faculdade Evangélica de Goianésia: FACEG, 2022.

1. Manutenção 2. Bomba Centrífuga 3. Confiabilidade

I. Oliveira, Gustavo Ribeiro. II. Implantação de um plano de manutenção para bombas centrífugas baseado na metodologia de manutenção centrada em confiabilidade

CDU 621

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

Oliveira, G. R. Implantação de um plano de manutenção para bombas centrífugas baseado na metodologia de manutenção centrada em confiabilidade. Trabalho de conclusão Curso (Graduação em Engenharia mecânica) – Faculdade Evangélica de Goianésia, Goianésia-GO, 2022.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME: GUSTAVO RIBEIRO OLIVEIRA

GRAU: BACHAREL

ANO: 2022

É concedida à Faculdade Evangélica de Goianésia permissão para reproduzir cópias desta Monografia de Graduação, única e exclusivamente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva para si os outros direitos autorais de publicação. Nenhuma parte desta Monografia pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor. Citações são estimuladas, desde que citada a fonte.

Nome: Gustavo Ribeiro Oliveira

CPF: 067.180.241-04

Endereço: Goianésia, Goiás

E-mail: gusttavoribeirolv@gmail.com

GUSTAVO RIBEIRO OLIVEIRA

IMPLANTAÇÃO DE UM PLANO DE MANUTENÇÃO PARA BOMBAS CENTRÍFUGAS
BASEADO NA METODOLOGIA DE MANUTENÇÃO CENTRADA EM
CONFIABILIDADE

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado ao Departamento de Engenharia Mecânica, da Faculdade Evangélica de Goianésia - FACEG, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de bacharel em Engenharia Mecânica.

Goianésia, _____ de _____ de 2021.

BANCA EXAMINADORA

Prof^a. Dra. Marinés Chiquinquirá Carvajal Bravo Gomes - Orientador
Faculdade Evangélica de Goianésia

Prof^a. Me. Ariane Martins Caponi Lima - Avaliador
Faculdade Evangélica de Goianésia

Prof. Me. Rogério Rodrigues dos Santos - Avaliador
Faculdade Evangélica de Goianésia

"Uma mente que se abre a uma nova ideia
jamais voltará ao seu tamanho original" –
(Albert Einstein).

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar à Deus, por ter me concebido o dom da vida e sempre me fortalecer nos momentos que precisei. À toda a minha família, pelo alicerce e por me mostrar que o melhor caminho se resume a educação, aprendizado e persistência, em especial a minha mãe, Maria Meire de Oliveira Cardoso por sempre estar ao meu lado me incentivando, apoiando, fazendo possível a concretização deste sonho.

A todos os colegas de trabalho e amigos que estiveram comigo nesses anos, me dando forças para que eu pudesse alcançar meus objetivos. Agradeço ainda a todos aqueles que em algum momento cruzaram meu caminho, e de alguma forma cooperaram com o preenchimento da minha bagagem, fazendo-me ser quem sou hoje.

Agradeço à empresa que me apoiou na formulação deste estudo, pela oportunidade de crescimento profissional, experiências e conhecimentos compartilhados, cruciais para a conclusão desta atividade.

À minha orientadora, Prof^a. Dra. Marinés Chiquinquirá Carvajal Bravo Gomes, pela orientação, conselhos, paciência e total empenho em me ajudar durante todo este período.

Agradeço também a Faculdade Evangélica de Goianésia, pelo auxílio e investimento na formação acadêmica e pessoal de seus discentes. A todos os docentes pela dedicação, e pelos valiosos ensinamentos. Por fim, agradeço aos meus colegas de curso, por dividirem comigo anos de estudos, obstáculos e aprendizados.

RESUMO

A gestão da manutenção em grandes empresas é fundamental para o seu crescimento, e os planos de manutenção elaborados a partir de estudos de equipamentos de processos devem ser alinhados com o plano de negócios da empresa, a fim de alcançar um crescimento econômico saudável. Nas usinas de cana-de-açúcar, a manutenção é gerenciada, planejada e controlada, e esse conjunto de técnicas são utilizadas para alcançar melhoria contínua, incluindo avanços econômicos. As bombas centrífugas estão presentes em todo o processo de produção, cuja confiabilidade deve ser cada vez mais garantida, devido ao seu uso contínuo e a sua importância no processo. Dessa forma, este trabalho tem como objetivo propor um cronograma de manutenção de bombas centrífugas nas indústrias canavieiras, utilizando a abordagem MCC (Manutenção Centrada em Confiabilidade), portanto, foi proposto um plano de manutenção para bombas centrífugas em uma indústria de açúcar e etanol. Para realizar este trabalho, as ordens de serviço abertas entre 2014 e 2021 no sistema de manutenção da empresa serviram como base de dados, além da ferramenta de qualidade como o FMEA (Failure Mode and Effects Analysis), por meio da qual foi possível identificar as principais falhas que surgem nos equipamentos, e assim analisar essas falhas com mais atenção. No fim, um plano de manutenção baseado em falhas foi apresentado, juntamente com melhorias e suporte para os gerentes, eliminando perdas, devido ao tempo de inatividade não planejada, reduzindo assim os custos de manutenção corretiva.

Palavras-chave: Manutenção. Confiabilidade. Bombas Centrífugas.

ABSTRACT

The management of maintenance in large companies is fundamental for the growth in them, and maintenance plans drawn up from process equipment studies must be aligned with the company's business plan to achieve healthy economic growth. In sugarcane mills, maintenance is managed, planned and controlled, this set of techniques used to achieve continuous improvement, including economic improvements. Centrifugal pumps are present throughout the production process, whose reliability must be increasingly guaranteed due to their continuous use and importance in the process. In this way, this work aims to propose a maintenance schedule for centrifugal pumps in the sugarcane industries using the MCC (Maintenance Centered nor Reliability) approach. In this way, this work aims to propose a maintenance plan for centrifugal pumps in a sugar and ethanol industry. In order to carry out this work, service orders opened between 2014 and 2021 in the company's maintenance system will serve as a database, in addition to the quality tool such as the FMEA (Failure Mode and Effects Analysis), through which it is possible to identify the main faults that arise in the equipment and thus analyze these faults in more detail. Finally, a fault-based maintenance plan will be proposed, along with improvements and support for managers, eliminating losses due to unplanned downtime, thus reducing corrective maintenance costs.

Keywords: Maintenance. Reliability. Centrifugal Pumps.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Gerações da Manutenção	5
Figura 2 - Tipos de Manutenção.....	6
Figura 3 - Correlação Entre Causa, Modo de Falha e Efeitos de Falha	15
Figura 4 - Etapas do Desenvolvimento do FMEA	18
Figura 5 - Tipos de Bombas Centrífugas.....	20
Figura 6 - Bomba Centrífuga com Fluxo Axial.....	21
Figura 7 - Bomba Centrífuga com Fluxo Radial	22
Figura 8 - Bomba Centrífuga com fluxo Misto	22
Figura 9 - Etapas do Desenvolvimento do Trabalho	23
Figura 10 - Layout do SAP (Systeme, Anwendungen und Produkte in der Datenverarbeitung)	24
Figura 11 - Manutenção Total x Manutenção em Bombas Centrífugas.....	27
Figura 12 - Custo Total com Manutenção x Custo com Manutenção em Bombas Centrífugas	27
Figura 13 - Frequência de Manutenção das Bombas Centrífugas no Ano de 2021	29
Figura 14 - Bomba Centrífuga Modelo ITAP	29
Figura 15 - Aplicação do FMEA.....	31
Figura 16 - Plano de Manutenção baseado na MCC	32
Figura 17 - Demonstração do Gabarito de Inspeção	34
Figura 18 - Interface do Aplicativo SIGOP.....	35
Figura 19 - Demonstração da Instrução de Trabalho	37
Figura 20 - Organograma da Manutenção.....	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparação Entre a MCC e a Manutenção Tradicional.....	12
Tabela 2 - Matriz de Severidade.....	16
Tabela 3 - Matriz de Ocorrência.....	16
Tabela 4 - Matriz de Detecção.....	17
Tabela 5 - Grau de Prioridade de Risco.....	17
Tabela 6 - Custo com Manutenção de Bombas Centrífugas x Custo Total de Manutenção	26

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento

D – Detecção

FAA - Federal Aviation Agency

FAA - Federal Aviation Authority

FMEA - Failure Mode and Effects Analysis

IT – Instrução de Trabalho

MCC – Manutenção Centrada em Confiabilidade

MSG - Maintenance Steering Group

NBR – Norma Brasileira

O - Ocorrência

PCM – Planejamento e Controle da Manutenção

RPN - Risk Priority Number

S - Severidade

SIGOP - Sistema de Gerenciamento de Atividades Operacionais

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Objetivos	2
1.2 Objetivos Específicos	2
1.3 Justificativa	2
1.4 Questão Problema ou Problema de Pesquisa	3
2 REFERENCIAL TEÓRICO	4
2.1 Manutenção	4
2.2 Tipos de Manutenção	5
2.2.1 Manutenção Corretiva.....	6
2.2.3 Manutenção Preventiva.....	7
2.2.3.1 <i>Manutenção de Rotina</i>	7
2.2.3.2 <i>Manutenção Preditiva</i>	7
2.2.3.3 <i>Manutenção Periódica</i>	8
2.2.4 Manutenção por Melhorias	8
2.3 Engenharia de Manutenção	9
2.4 Gerenciamento da Manutenção	9
2.5 Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC)	10
2.5.1 Objetivos da Manutenção Centrada em Confiabilidade	12
2.5.2 Funções de um Ativo	13
2.5.3 Estado de Falha	14
2.5.4 Modos de Falha.....	14
2.5.5. Causa da Falha	14
2.5.6 Efeitos de Falha.....	15
2.5.7 Análise de Modo Falha e Efeito (FMEA).....	15
2.6 Planos de Manutenção	18
2.6.1 Rotas de Inspeção	18
2.6.2 Instrução de Trabalho	19
2.7 Padronização da Manutenção	19
2.8 Bombas Centrífugas	20
2.8.1 Tipos de Bomba Centrífuga.....	20
2.8.1.1 <i>Bomba Axial</i>	21
2.8.1.2 <i>Bomba Radial</i>	21
2.8.1.3 <i>Bomba de Fluxo Misto</i>	22

3 METODOLOGIA	23
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
4.1 Coleta de dados	26
4.1.1 Seleção do Sistema	26
4.1.2 Obtenção dos Dados relacionados a Manutenção.....	28
4.1.3 Identificação do Problema	28
4.2 Aplicação do FMEA	30
4.3 Elaboração do Plano de Manutenção	31
4.3.1 Rotas de Inspeção	33
4.3.1.1 <i>Aplicativo para Execução da Rota de Inspeção</i>	34
4.3.2 Instrução de Trabalho	36
4.3.3 Intregração da Equipe de Manutenção.....	38
5 CONCLUSÃO	39
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	40
APÊNDICES	44

1 INTRODUÇÃO

O setor sucroalcooleiro brasileiro tem suas características diferentes das plantações de outros países, por exemplo, a maior parte da cana processada é de propriedade de usinas de açúcar, as normas internacionais ficam de olho nas atividades industriais, algumas das quais são plantações direcionadas a terceiros. Outro destaque é a diversidade de produtos produzidos pelas usinas, como açúcar, etanol, cachaça, rapadura e bagaço para cogeração de energia (CONAB, 2019).

A constante evolução tecnológica traz cada dia ao mercado uma novidade em processos e máquinas que aumenta em proporção significativa a produção, no entanto, essas evoluções exigem que as empresas adotem novos métodos para garantir uma boa manutenibilidade de seus equipamentos. Dessa maneira a redução de custos nas indústrias de cana está diretamente relacionada há um retorno maior do investimento.

Para Viana (2002), manutenção significa manter o que se tem, e isso existe no ser humano há muitos anos. A existência de equipamentos cada vez mais complexos e produtivos exige que eles tenham um alto nível de disponibilidade, e o custo de sua inatividade tornou-se alto, criando a necessidade de seu uso racional.

A equipe de manutenção intervém diretamente na lucratividade da empresa, pois é por meio dela que os ativos são mantidos em bom estado de funcionamento. Portanto, a manutenção pode ser considerada uma função estratégica, pois agrega valor ao produto. Devido à globalização, há interesse em reduzir a probabilidade de falha de equipamentos e aumentar sua confiabilidade. Além disso, o patrimônio não deve ser visto apenas como fonte de renda, mas como um recurso que pode ser controlado e explorado, pois seu uso indevido pode resultar em prejuízo financeiro, risco às pessoas, ao meio ambiente, ao patrimônio e à imagem da empresa (NÓBREGA, 2011).

Com a evolução da manutenção, a melhor estratégia passa a ser a garantia da melhor qualidade e desempenho do produto exigido pela sociedade, abordando as questões ambientais e de segurança de processos e pessoas, impulsionando o surgimento de métodos de Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC).

Viana (2002), explicou que uma abordagem de manutenção centrada na confiabilidade visa estudar os modos de falha de um determinado componente e, assim, colocar em prática as medidas preventivas relevantes a serem tomadas. A MCC fornece a base para programas de manutenção que visam a redução dos custos de manutenção, principalmente a manutenção

preventiva, aumentando a disponibilidade da planta, fornecendo uma base sistemática para processos de melhoria contínua, aumento da segurança e proteção ambiental.

O princípio deste trabalho é buscar através de análises de dados obtidos por programas de manutenção, a elaboração de um plano de manutenção para bombas centrífugas de uma usina do ramo sucroalcooleiro, utilizando a metodologia MCC. Com as informações fornecidas no presente trabalho, é esperada ações preventivas, com o plano de manutenção, de modo a evitar ou reduzir significativamente a ocorrência das falhas classificadas como críticas, e reduzindo os impactos na produção.

1.1 Objetivos

Desenvolver e implantar um plano de manutenção para bombas centrífugas numa empresa do setor sucroalcooleiro, utilizando a metodologia de Manutenção Centrada em Confiabilidade.

1.2 Objetivos Específicos

- Analisar dados baseados nos históricos de quebra das bombas;
- Aplicar a ferramenta da qualidade FMEA para identificar os itens críticos e suas possíveis falhas;
- Elaborar o plano de manutenção, baseado na MCC, para as bombas centrífugas;

1.3 Justificativa

De acordo com Marcorin e Lima (2003), a falta de um planejamento na manutenção gera um aumento de custo para a empresa, como mão de obra, peças de reposição, etc. O aumento significativo está no custo da produção, ou seja, do equipamento para em manutenção, a falta de disponibilidade, redução da qualidade e reprocesso. Devido à importância das bombas centrífugas em vários processos dentro da planta industrial, as manutenções corretivas podem se tornar corriqueiras, desse modo aumentando os custos de manutenção e isso pode ser reduzido com a implantação de um plano de manutenção baseado na metodologia MCC, com o intuito de diminuir significativamente paradas de máquinas e gastos não programados com manutenção dessas turbomáquinas.

Benini e Santos (2021) validam a efetivação da metodologia MCC, ao aplicá-la em uma embaladora à vácuo de uma linha de produção do segmento alimentício. Onde foram coletados os dados sobre a máquina, estudado os modos e efeitos de falha, e avaliadas as tarefas aplicáveis. Com os resultados atingidos, concluíram que a metodologia MCC contribuiu para o

aumento da confiabilidade e disponibilidade do ativo, permitindo também uma economia de recursos. Implicando para a empresa, uma linha de produção com mais lucro e eficiência.

Seguindo esse pressuposto, o estudo proposto é justificado pela importância da manutenção preventiva de bombas centrífugas, para o aumento da vida útil das mesmas, possibilitando o tempo ótimo de manutenção, gerando benefícios a produção.

1.4 Questão Problema ou Problema de Pesquisa

Para Xenos (1998), a confiabilidade de um equipamento permite decidir sobre a qualidade e frequência das intervenções necessárias. A Manutenção Centrada em Confiabilidade é uma técnica que analisa quando e se a manutenção é factível e efetiva. Permite elevar a eficiência da manutenção, preservando as funções do sistema, através da utilização da técnica de Análise de Modos e Efeitos de Falhas (FMEA), estabelecendo assim um plano integrado de manutenção que aumente a qualidade e a produtividade das empresas.

Com a implantação do plano de manutenção para bombas centrífugas baseado na metodologia MCC, espera-se que a empresa obtenha benefícios na manutenção e diminuição de paradas não programadas.

O presente trabalho aborda como problema de pesquisa a pergunta: Como deve ser um plano de manutenção de uma bomba centrífuga, afim de trazer benefícios a empresa evitando a ocorrência de falhas?

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este referencial destina-se a fornecer conhecimento sobre a história e evolução da manutenção e métodos de manutenção centrados na confiabilidade.

2.1 Manutenção

A manutenção industrial é parte importante das operações de uma empresa e pode ser entendida como uma série de ações necessárias para que os equipamentos voltem ao uso normal. Atividades como reparo, prevenção, proteção e substituição de peças e equipamentos fazem parte da área de manutenção. A manutenção é uma combinação de ações, que podem ser técnicas ou administrativas, incluindo uma equipe de supervisão, para que juntas possam assegurar a confiabilidade dos equipamentos (SOUSA, 2018).

Para Motter (1992) a manutenção é um conjunto de técnicas capazes de conservar tão bem quanto máquinas, instalações e edificações, durante o maior tempo possível, com máxima eficiência (limites a serem conquistados), tendo sempre em vista diminuir desperdícios, satisfazer e motivar tanto os que recebem como os que fazem manutenção.

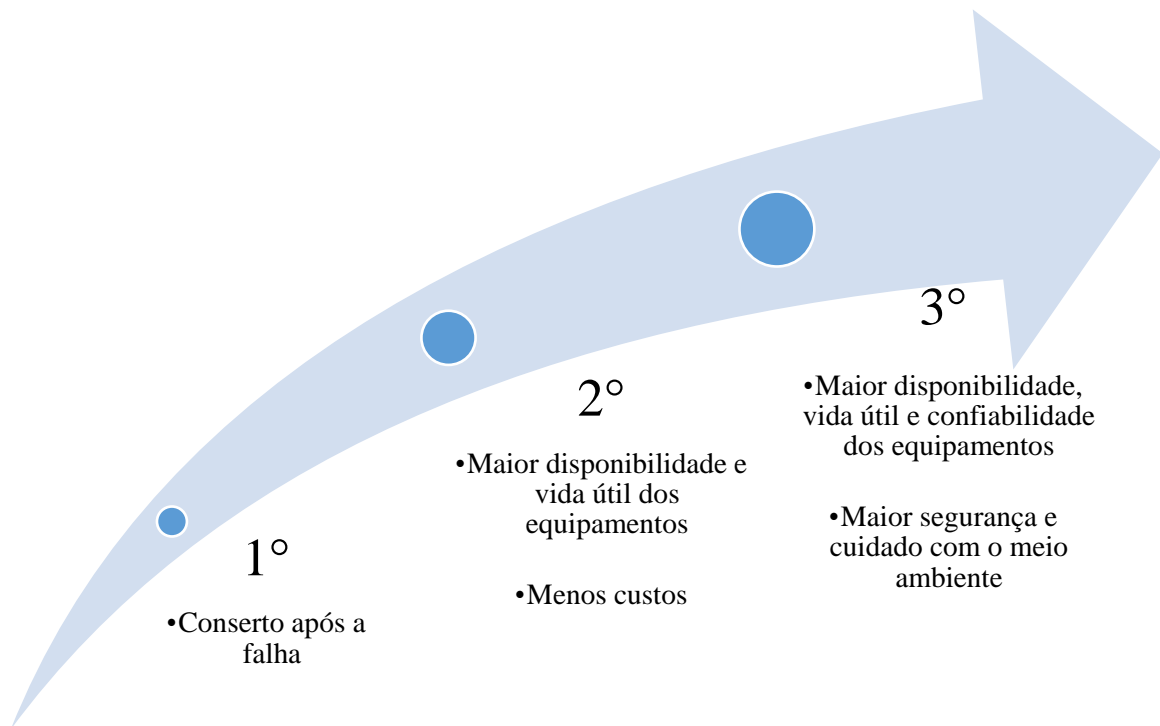
Já a definição proposta por Farias (1994) para a manutenção, é manter os equipamentos em funcionamento como foram projetados, sendo que Kardec e Nascif (2009) definem o ato de realizar manutenção como uma forma de garantir a disponibilidade da função dos equipamentos e instalação de modo a atender a um processo de produção e a preservação do meio ambiente, com confiabilidade, segurança e custos adequados.

Xenos (1998) divide as atividades da manutenção em atividade de melhoria e atividade da manutenção, somente manter o equipamento nas condições originais é insuficiente e a introdução de melhoria, que visa aumentar a produtividade, também deve fazer parte do trabalho do departamento de manutenção.

As atividades de manutenção resultam de ações tomadas no dia a dia para prevenir ou corrigir eventuais anomalias ou falhas detectadas nos equipamentos pelos operadores da produção ou pelas equipes de manutenção. Estas atividades devem ser executadas sistematicamente pelos departamentos de produção e de manutenção através do cumprimento dos padrões de operação. Por sua vez as atividades de melhoria visam melhorar as condições originais de operação, desempenho e confiabilidade. O objetivo destas atividades é atingir novos patamares de produção, tomando ações específicas que resultam na modificação de padrões e procedimentos existentes (XENOS, 1998).

As atividades de manutenção evoluíram de sistemas robustos, de baixa complexidade, baixa mecanização e baixa demanda para sua operação e manutenção (primeira geração) para uma situação em que a sociedade tem uma necessidade crescente de produção em massa, os sistemas são altamente complexos e mais onerosos a falhas e falta de mão de obra qualificada (segunda geração) e aumento da automação industrial, acompanhado pelo estabelecimento e exigência de padrões de qualidade, segurança e meio ambiente (terceira geração), maior dependência da manutenção (MOUBRAY, 2000; KARDEC, 2001; SIQUEIRA, 2005). A figura 1 mostra as gerações da manutenção:

Figura 1 - Gerações da Manutenção



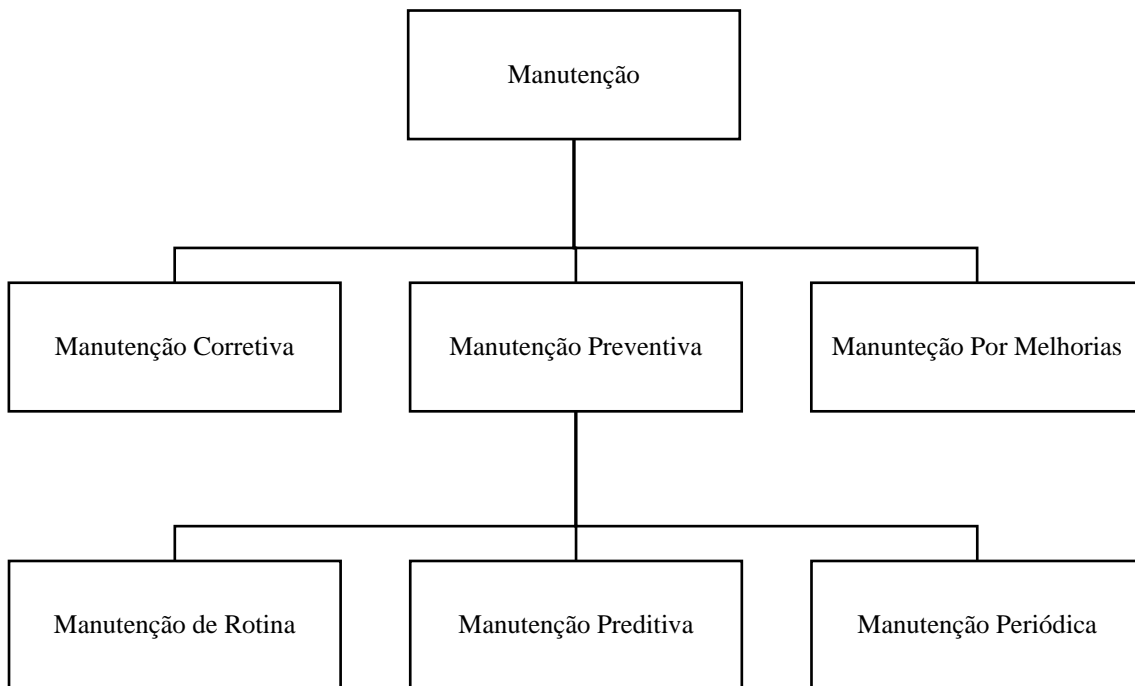
Fonte: Adaptado de Moubray (2000)

2.2 Tipos de Manutenção

Com base em parâmetros previamente determinados, os tipos de manutenção podem ser classificados de acordo com a forma como a manutenção do equipamento é realizada. Cada método é mais adequado ao problema que a empresa enfrenta e determina qual tipo de

manutenção satisfaz o mesmo processo produtivo, seja um gargalo no próprio processo, mão de obra qualificada ou o tipo de máquina que está realizando o reparo. Para selecionar com sucesso o tipo de manutenção, todos os requisitos técnicos impostos pelo equipamento devem ser considerados para determinar qual manutenção é a melhor resposta (BOGO, 2017). Patton (1995) salienta que a manutenção pode ser dividida em corretiva; preventiva: de rotina, preditiva, periódica; e por melhorias, como mostra a figura 2:

Figura 2 - Tipos de Manutenção



Fonte: Próprio Autor (2022)

2.2.1 Manutenção Corretiva

Esse tipo de manutenção é a menos viável, pois exige a confiabilidade do equipamento, já que a mesma só é realizada após o equipamento já estar em um estado crítico, seja por falha ou quebra. Tem-se duas subdivisões na manutenção corretiva, uma sendo a manutenção inesperada, sendo a mais crítica devido à necessidade de parar o equipamento e assim comprometendo a produção ou os demais componentes, acarretando grandes perdas para a empresa. O outro tipo de manutenção é a ocasional, quando o equipamento apresenta um defeito porem não interfere na produção ou na qualidade do produto (SCHNEIDER, et al., 2010).

Segundo Xenos (1998) na escolha por este método de manutenção consideram-se fatores econômicos, e realizando o seguinte questionamento avalia-se a viabilidade de adotar

esse método ou não: é mais barato consertar uma falha após seu acontecimento do que trabalhar com ações preventivas? Mesmo ao optar pela manutenção corretiva, o ideal é sempre mitigar o evento de falhas.

2.2.3 Manutenção Preventiva

Conjunto de ações preventivas consumadas em intervalos de tempos fixos ou de acordo com critérios preestabelecidos sempre que for possível identificar precisamente uma vida útil, a partir da frequência de falha em função do tempo, é possível estabelecer um intervalo fixo para aplicar ações preventivas baseadas nesse tempo. Segundo Xenos (1998), esse tipo de manutenção é a mais cara, se analisar apenas do ponto de vista do custo da manutenção, devido à troca de peças e reformação dos componentes antes de atingirem seus limites de vida. Por outro lado, a ocorrência de falhas e interrupções não programadas da produção diminui a disponibilidade do ativo. A manutenção preventiva procura evitar a ocorrência da falha, principalmente nos setores onde o fator de segurança se sobrepõe aos demais, exemplo aeronaves e elevadores. Kardec e Nascif (2010) definem manutenção preventiva como a atuação realizada para a reduzir ou evitar a falha ou queda no desempenho, obedecendo a um plano previamente elaborado, baseado em intervalos de tempo definidos. O ponto negativo com relação a manutenção preventiva é a introdução de defeitos não existentes no equipamento, devido a falha humana ou do sobressalente, contaminações introduzidas no sistema de óleo, danos durante a partida e parada bem como a falha dos procedimentos de manutenção.

2.2.3.1 *Manutenção de Rotina*

A manutenção de rotina são as inspeções e verificações das condições dos itens físicos, tanto de sua integridade quanto sua operação. Mirshawka e Olmedo (1993) citam a manutenção de rotina como aquela normalmente associada a intervenções leves que se efetua em intervalos de tempos pré-determinados, nesse tipo de manutenção tem-se uma grande participação dos operadores dos equipamentos, não só o pessoal da manutenção. Para evitar a degradação dos ativos, a manutenção de rotina se faz presente no dia a dia. Em outras palavras, a manutenção de rotina também nomeada de manutenção autônoma (LIMA, 2000).

2.2.3.2 *Manutenção Preditiva*

A manutenção preditiva foi a primeira grande mudança cultural da manutenção (KARDEC & NASCIF, 2010), diferente da manutenção preventiva, onde manutenções são efetuadas em intervalos de tempos pré-determinados e muitas vezes prematuramente, este tipo

de manutenção já é capaz de promover um rendimento óptimo aos equipamentos, e a pausa na linha de produção só é realizada com base no histórico da propensão da falha. Para Moubrey (2000) pode-se evidenciar que alguma falha está em seu estágio final, e assim, se faz possível tomar uma decisão para prevenir a falha completa e/ou evitar consequências maiores. Sua vantagem é o aumento da disponibilidade do equipamento, controle de materiais, melhora na produtividade, redução de estoque e mais segurança (SCHNEIDER et al., 2010).

Segundo Kardec e Nascif (2010) a manutenção preditiva é a ação realizada com base em alteração de parâmetros de condição ou desempenho, cujo acompanhamento segue um sistema. A manutenção preditiva constitui-se no monitoramento, por inspeções e medições, das condições do equipamento até que os limites de deterioração predeterminados sejam alcançados, o que conseguirá determinar a desmontagem para reforma ou substituição de peças e componentes. Estas ações visam identificar os sinais de prováveis falhas no instante de sua ocorrência (XENOS, 1998).

2.2.3.3 Manutenção Periódica

A manutenção periódica pode ser descrita como a manutenção executada em intervalos pré-determinados de tempo. Lima (2000) acentua que o intervalo entre intervenções é definido proporcionalmente à degradação do item físico, e a intervenção acontece no tempo determinado, independente da condição do componente. A Manutenção Periódica são ações tomadas para que as falhas sejam evitadas ou ao menos reduzidas, respeitando um plano elaborado de modo prévio, baseado em intervalos estabelecidos de tempo. Para muitos autores a Manutenção Periódica é uma subdivisão da Manutenção Preventiva, para outros, as definições de Manutenção Periódica são as mesmas de Manutenção Preventiva.

2.2.4 Manutenção por Melhorias

A Manutenção por Melhoria é a tomada de decisões com o intuito de eliminar ou reduzir consideravelmente a necessidade de manutenção (PATTON, 1995). No contexto de manutenção, colocar em prática a Manutenção por Melhorias significa implementar a melhoria contínua nos itens físicos para que os mesmos desempenhem suas funções de acordo com suas especificações originais, e que além disso, possam ser adaptados para um melhor desempenho através de modificações, modernizações, reprojeto, etc. (XENOS, 1998). A meta da Manutenção por Melhorias é melhorar a operação, a confiabilidade e a capacidade dos ativos, e trata-se de um preceito que consiste em aplicar melhorias para um ganho na vida útil dos mesmos (LIMA, 2000).

2.3 Engenharia de Manutenção

O princípio das políticas de manutenção tradicionais sempre foi marcado por muita expectativa por parte da gerência de manutenção e presidentes das entidades. Como toda novidade divulgada, cada nova política prometia ser a salvação para os males da manutenção, dos custos e da produção, renegando as já existentes como ultrapassadas e obsoletas. Esse contexto de utilização de políticas da “moda” prejudicou o desenvolvimento de programas de manutenção eficientes e duradouros até meados da década de 1970, quando estudos mostraram, e têm mostrado, que não é possível uma solução única, genérica e que nenhuma política de manutenção é intrinsecamente melhor que outra, tendo aplicações diferentes, sendo necessário, desta forma, a determinação do ponto ótimo de cada política, segundo as características de cada organização (GERAGHETY, 1996). Segundo Trombeta (2017) entre os anos 1950 e 1960 veio a necessidade de conter despesas e expandir a capacidade de respostas e conduziram a manutenção a acatar uma perspectiva global, surgindo então a engenharia de manutenção. Para Figueiredo (2017 apud Viana, 2002), a finalidade principal da engenharia de manutenção é propor a tecnologia na manutenção, sanando os problemas encontrados nos equipamentos e processo com embasamento empírico e científico.

A engenharia de manutenção significa uma mudança cultural, é deixar de ficar consertando continuamente, para procurar as causas básicas, modificar situações permanentes de mau desempenho, deixar de conviver com problemas crônicos, melhorar manutenibilidade, dar padrões feedback e sistemáticas, desenvolver o projeto e interferir tecnicamente nas compras (KARDEC & NASCIF, 2010).

2.4 Gerenciamento da Manutenção

O gerenciamento da manutenção está diretamente ligado a dinâmica e ao dia a dia da organização, objetivando alcançar as metas traçadas, pois o sistema que muitas empresas trabalham é de produção contínua, exigindo cada vez mais dos equipamentos industriais, portanto, tudo isso requer uma manutenção cada vez mais eficaz, alinhada com os propósitos da instituição. O gerenciamento da manutenção age em prol de redução dos gastos diminuindo a quantidade de paradas age diretamente no estoque, eliminando o excesso com enfoque na prioridade, e suaviza o tempo ociosos dos equipamentos, maximizando a vida útil do item físico. (KUMAR, 2018).

A importância do gerenciamento da manutenção está diretamente ligada ao crescimento da empresa de forma ascendente e sustentável, e para obter um crescimento saudável é

necessário que as empresas adotem sistema de manutenção, que seja focado no ciclo de vida do ativo e desse modo maximizar a confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade dos equipamentos, para que se possa atender o exigido da produção, atendendo ainda os requisitos de qualidade e tempo, e tudo isso deve ser atendido de forma eficaz quanto aos custos e atendimento das normas de segurança e ambiental (RATBY, et al. 2018).

Faria (2013) acredita que a importância da gestão da manutenção reside em três razões básicas a saber, aspectos econômicos, legais e sociais. Se uma redução de custos está relacionada a uma menor intervenção no equipamento, maior será a redução de custos, desta forma, uma boa manutenção aumentará a vida útil do equipamento e levar em consideração que uma boa manutenção reduzirá o desperdício. Com os equipamentos industriais, tudo isso exige uma manutenção cada vez mais eficiente, o que está de acordo com as metas da agência, porém, a qualidade do produto final não será a mesma, pois cada parada do equipamento afeta diretamente a produção. A gestão da manutenção trabalha para minimizar custos; reduzir o número de paradas; atuar diretamente no estoque, eliminar excessos e focar nas prioridades; também reduz o tempo de inatividade dos equipamentos e maximiza a vida útil dos ativos. (KUMAR, 2018).

E por fim o gerenciamento da manutenção está ligado ao conceito de engenharia de manutenção ou engenharia de confiabilidade, onde é visada a melhoria contínua do processo produtivo, incorporando inteligência, conhecimento e análise de dados. Todo esse procedimento é necessário, pois a partir dos dados de confiabilidade são tomadas as decisões gerenciais da empresa no campo de manutenção, buscando a melhoria da produção e resultado operacional e econômico. A engenharia de confiabilidade, permite que uma estratégia seja renovada de maneira contínua e justificada (RATBY, et al. 2018).

2.5 Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC)

No advento da economia globalizada, observou-se um aumento na demanda por produtos e sistemas de melhor desempenho a custos competitivos. Concomitantemente, veio a necessidade de redução na probabilidade de falhas em produtos (sejam elas falhas que simplesmente aumentam os custos associados aos produtos, ou falhas que possam implicar riscos sérios à segurança pública), o que resultou numa ênfase crescente em sua confiabilidade. Atualmente uma das principais preocupações nos segmentos industriais é a confiabilidade de sistemas e equipamentos devido a associação de riscos à segurança operacional, ao meio ambiente e a otimização dos recursos. A confiabilidade só começou a gerar interesse, mesmo

que indiretamente, a partir da abolição de políticas de manutenção puramente corretivas, em meados da década de 1950, com o surgimento da manutenção planejada. O conhecimento formal resultante da análise de falhas e da busca da minimização de sua ocorrência provê uma rica variedade de contextos nos quais surgem considerações acerca da confiabilidade (FOGLIATO E RIBEIRO, 2009).

A MCC surgiu devido a necessidade de certificação da linha de aeronaves Boeing 747 (o Jumbo), pela FAA (*Federal Aviation Authority*) nos Estados Unidos, mesmo com a evolução dos componentes, aumento na confiabilidade de sistemas de segurança e o incremento da manutenção preventiva, a FAA (*Federal Aviation Agency*) estava preocupada com o índice de defeitos em motores da época. Com a implementação da confiabilidade para sistema de propulsão, concluíram que o item tem um modo de falha dominante, sendo assim, só as revisões programadas teriam pouco efeito na confiabilidade total desse item (MOUBRAY, 1997). Em 1968, criou-se a Força-Tarefa na United Airlines, conhecida como MSG-1 (*Maintenance Steering Group*), para rever a aplicabilidade dos métodos existentes nessas aeronaves. Desta comissão, foi originado um documento que introduziu os conceitos da MCC (SIQUEIRA, 2005).

Posteriormente, a abordagem foi rapidamente alargada a outras aplicações e modelos de negócio, paralelamente à sua normalização, ao mesmo tempo que se propunham diferentes abordagens. A aplicação do MCC foi seguida pelas Forças Armadas dos Estados Unidos: Marinha, 1972 e 1981, Força Aérea, 1974, e as indústrias elétrica e nuclear, a partir de 1985 (SIQUEIRA, 2005). Desde então, tem sido adotado por diversos setores produtivos, desde a indústria petroquímica até hospitais e tecnologia da informação. A Manutenção Centrada na Confiabilidade pode ser definida como o processo de determinar o que deve ser feito para garantir que qualquer ativo tangível em seu ambiente operacional continue a fazer o que seus usuários desejam (MOUBRAY, 2000).

É um método de análise de funcionalidade do sistema e modos de falha, seguido da identificação das tarefas de manutenção mais adequadas com base em critérios de priorização baseados em fatores ambientais, econômicos, operacionais e de segurança (RIGONI, 2009). A tabela 1 destaca as notáveis expectativas da manutenção centrada na confiabilidade sobre a manutenção tradicional.

Tabela 1 - Comparação Entre a Manutenção Tradicional e a MCC

Característica	Manutenção tradicional	MCC
Foco	Equipamento	Função
Objetivo	Manter o equipamento	Preservar a função
Atuação	Componente	Sistema
Atividades	O que pode ser feito	O que deve ser feito
Dados	Pouca ênfase	Muita ênfase
Documentação	Reduzida	Obrigatória e Sistemática
Metodologia	Empírica	Estruturada
Combate	Deterioração do equipamento	Consequência das falhas
Normalização	Não	Sim
Priorização	Inexistente	Por função

Fonte: Siqueira (2009)

2.5.1 Objetivos da Manutenção Centrada em Confiabilidade

O objetivo do MCC se resume em critérios de manutenção que identificam modos de falha que podem levar à falha funcional de qualquer item físico em seu ambiente operacional (Siqueira, 2005). Moubrey (2000) mostra resultados significativos com a implementação da MCC, descrita como uma manutenção com maior otimização de custos, justa e muito mais bem sucedida.

Para Siqueira (2005), os objetivos do MCC incluem proteger a funcionalidade dos ativos, restaurar a confiabilidade e a segurança após danos, otimizar a disponibilidade e reduzir os custos do ciclo de vida e a execução exclusiva das tarefas necessárias, com base no modo de falha, seu impacto e consequências, e a documentação dos motivos para a escolha dessas tarefas.

A metodologia da MCC é estruturada de modo a responder oito questões (Siqueira, 2005):

1. Quais as funções a preservar?

2. Quais as falhas funcionais?
3. Quais os modos de falha?
4. Quais os efeitos de falha?
5. Quais as consequências das falhas?
6. Quais as tarefas aplicáveis e efetivas?
7. Quais as alternativas restantes?
8. Quais as frequências ideais das tarefas?

A fim de responder essas perguntas, a metodologia da MCC é separada em sete etapas, conforme salientado por Siqueira (2005), sequenciadas conforme a seguir:

1. Seleção do Sistema e Coleta de Informações;
2. Análise de Modos de Falhas e Efeitos;
3. Seleção de Funções Significantes;
4. Seleção de Atividades Aplicáveis;
5. Avaliação da Efetividade das Atividades;
6. Seleção das Atividades Aplicáveis e Efetivas;
7. Definição da Periodicidade das Atividades.

Essas etapas são mediadas através da obtenção de dados, análise, relatório de resultados e interface entre si, com o apoio de análise de sistemas ou ferramentas de modelagem, cada uma contribuindo com a construção, e no final, o plano de manutenção e a frequência ideal das tarefas de manutenção retratadas no plano.

2.5.2 Funções de um Ativo

Antes de aplicar um método para determinar o que um dispositivo precisa fazer para continuar atendendo aos usuários, é necessário definir o que o ativo pretende alcançar, considerando-se o ambiente operacional em que está conectado. Segundo Moubray (1997), o processo de implementação da manutenção centrada na confiabilidade começa com a definição da funcionalidade de cada ativo em estudo, tendo-se o nível de desempenho desejado de cada ativo. Divide-se essas funções em duas categorias distintas:

- Funções Primárias: Identificam o motivo da compra do aparelho, ou seja, são a finalidade principal para a qual o aparelho foi adquirido. Nesta categoria são abordados parâmetros como vazão, velocidade, capacidade de armazenamento e qualidade do produto.
- Funções Secundárias: Indicam as preferências adicionais dos usuários sobre o desempenho do ativo, ou seja, o que se deseja além de suas funções principais. Exemplos de funções secundárias são: conforto, segurança, controle de ruído, integridade mecânica e eficiência energética.

2.5.3 Estado de Falha

O termo falha geralmente está associado a um evento que ocorre em um equipamento de um sistema que acaba comprometendo sua capacidade de operação. A NBR5462 define uma condição de falha como uma indicação de que um componente não pode desempenhar sua função pretendida. Na lógica da MCC, quando o ativo deixa de desempenhar as funções necessárias para garantir o desempenho de produção exigido pelo usuário, o estado de falha é chamado de falha funcional (MOUBRAY, 1997). No entanto, a perda completa da capacidade de desempenhar funções não é a única condição para classificar uma falha como uma falha funcional. Falhas parciais, ou seja, falhas onde o desempenho do equipamento está abaixo do nível permitido, também são classificadas como falhas funcionais (SILVA, 2007). Como resultado, algumas funções do dispositivo podem falhar enquanto outras funções ainda podem funcionar.

2.5.4 Modos de Falha

Siqueira (2012) descreve os modos de falha como eventos ou condições físicas que levam à falha funcional. Todos os modos de falha devem ser identificados para que um evento possa ser previsto e quando ele ocorrerá, seu impacto no sistema possa ser avaliado e ações corretivas ou preventivas possam ser tomadas (MOUBRAY, 1997).

2.5.5. Causa da Falha

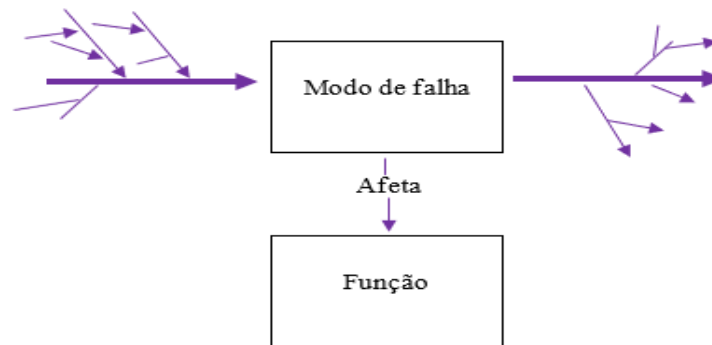
As medidas preventivas de gestão de falhas devem sempre visar a causa da falha (a origem do problema), o evento que produziu (induziu ou causou) a ocorrência de um determinado modo de falha. Segundo Bloch e Geitner aud Zaions (2003), as causas de falha podem estar relacionadas a: defeitos de projeto, defeitos de material, defeitos de processamento

ou fabricação de componentes, defeitos de instalação e montagem, condições de uso imprevistas ou desatualizadas. Projeto defeituoso, manutenção ou operação inadequada.

2.5.6 Efeitos de Falha

Segundo Siqueira (2005), os efeitos dos modos de falha são observados após sua ocorrência, afetando a função principal como esquematiza a figura 3, e através de seus estudos, podem ser determinados os possíveis efeitos dos modos de falha no funcionamento do sistema. Este efeito não deve ser confundido com sintomas de falha, pois os sintomas são o que precede a falha.

Figura 3 - Correlação Entre Causa, Modo de Falha e Efeitos de Falha



Fonte: Próprio Autor (2022)

2.5.7 Análise de Modo Falha e Efeito (FMEA)

O FMEA (*Failure Mode and Effects Analysis*) é uma técnica que tem como objetivo reconhecer e avaliar as falhas potenciais, identificar ações que possam eliminar a chance de ocorrência e documentar o estudo, criando referencial técnico para auxiliar em revisões futura (FOGLIATO & RIBEIRO, 2009).

Um FMEA é realizado por um grupo de pessoas de diversas áreas da indústria que estudam a estrutura de um produto ou dispositivo e seu processo de fabricação para identificar possíveis falhas ou defeitos e assim determinar o que deve ser feito para evitar esses erros. Esta é uma abordagem muito geral, utilizada em várias indústrias ao redor do mundo, e pode ser aplicada a qualquer estrutura, incluindo a indústria sucroenergética brasileira (LIU e KONG et al., 2018). Basicamente, um FMEA é representado por uma tabela que deve ser utilizada para descrever o risco de falha que o equipamento pode apresentar, dando pontuações para parâmetros como Detecção (D), Severidade (S) e Ocorrência (O), integrados em uma escala multiplicativa com o objetivo de ter um RPN (Risk Priority Number) (MAHMOUDI et al.

2018). As Tabelas 2, 3 e 4 respectivamente, representam os parâmetros de risco de falhas e pontuações.

Tabela 2 - Matriz de Severidade

Score	Efeito da severidade	Severidade
1	A falha não teria efeito real no sistema. Provavelmente, a falha nem seria notada.	Muito baixa
2	A falha causa pequenos transtornos. Provavelmente a falha será notada, com leves variações no desempenho do sistema.	Baixa
3		
4	A falha ocasiona razoável insatisfação. Será notado a deterioração no desempenho do sistema.	Moderada
5		
6		
7	Provoca um alto grau de insatisfação. O sistema se torna inoperante. A falha não envolve riscos à segurança operacional ou descumprimento dos requisitos legais.	Alta
8		
9	Envolve riscos à operação segura do sistema e/ou descumprimento dos requisitos legais	Muita alta
10		

Fonte: Adaptado de Lafraia (2001)

Tabela 3 - Matriz de Ocorrência

Score	Possíveis taxas de falhas	Ocorrência
1	$< 1 \text{ em } 10^6$	Remota: Falha improvável
2	1 em 200000	Baixa: Relativamente poucas falhas
3	1 em 4000	
4	1 em 1000	Moderada: Falhas ocasionais
5	1 em 400	
6	1 em 80	
7	1 em 40	Alta: Falhas frequentes
8	1 em 20	
9	1 em 8	Muito alta: Falhas persistentes
10	1 em 2	

Fonte: Adaptado de Lafraia (2001)

Tabela 4 - Matriz de Detecção

Score	Probabilidade de detecção	Detecção
1	Certamente será detectada	Muito alta
2	Quase certo que será detectada	Alta
3	Grande possibilidade de ser detectada	
4	Boa possibilidade de ser detectada	Moderada
5	Média possibilidade de ser detectada	
6	Pequena possibilidade de ser detectada	
7	Muito pequena possibilidade de ser detectada	baixa
8	Remota possibilidade de ser detectada	
9	Quase impossível de ser detectada	Muito baixa
10	Impossível de ser detectada	

Fonte: Adaptado de Lafraia (2001)

Com os valores atribuídos de Severidade, Ocorrência e Detecção dos modos de falha, calcula-se o seu grau de prioridade de risco como o produto entre frequência de ocorrência de um evento (O), impacto ou magnitude das consequências potenciais deste evento (S) e sua probabilidade de detecção (D). No âmbito desta definição, o risco se traduz em um índice numérico adimensional, que varia de 0 a 1000. O valor de risco é então categorizado, conforme apresentado na Tabela 5.

Tabela 5 - Grau de Prioridade de Risco

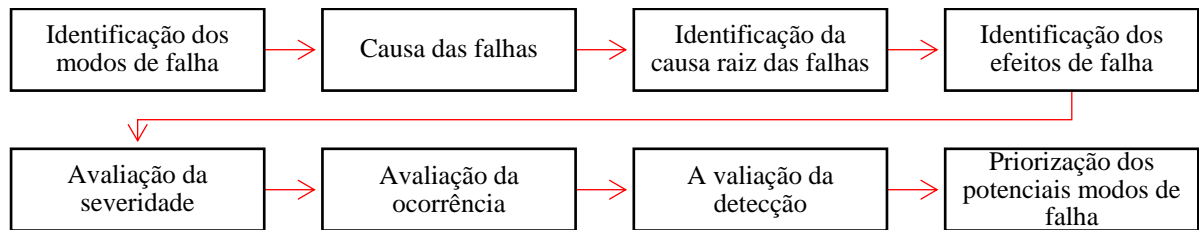
Matriz de Criticidade – RPN				
	A	B	C	D
Risco	Alto	Médio	Baixo	Muito baixo
	≥ 500	$\geq 100 < 500$	$\geq 50 < 100$	< 50

Fonte: Adaptado de Lafraia (2001)

Para Caiado (2011) o objetivo da FMEA com análise de risco é detectar e mensurar a criticidade dos modos de falha dos variados componentes físicos, com foco nos efeitos das falhas e sua consequência na função dos sistemas e subsistemas. A FMEA vem se mostrando

ser uma ferramenta crucial no aumento da qualidade e confiabilidade. Oliveira (2015), aponta que a aplicação da análise FMEA pode ser implementada desde o projeto até o processo produtivo, alavancando a confiança e reduzindo os riscos de desvios no projeto ou produto, e aumentando a qualidade em procedimentos, também para demarcar prioridades de ações corretivas. A figura 4 deixa claro de como deve ser o desenvolvimento do FMEA

Figura 4 - Etapas do Desenvolvimento do FMEA



Fonte: Próprio Autor (2022)

2.6 Planos de Manutenção

Segundo Xenos (2004), um plano de manutenção é um documento onde se registra todas as informações consideráveis de um dado equipamento, implicando sua completa vistoria, e aplicando as ações preventivas. A carência de uma manutenção preventiva é o estímulo para a construção do plano de manutenção, que deverá ser implementado de maneira criteriosa, com a exposição de todas as ações preventivas a serem tomadas, a fim de evitar falhas e garantir um maior desempenho dos ativos. Portanto, quando já são conhecidas as tarefas de inspeções, reforma ou troca de equipamentos, assim como, a frequência de tais tarefas torna-se fácil elaborar o plano de manutenção. Os padrões de manutenção precisam conter, entre outras informações, instruções detalhadas sobre o que inspecionar, trocar ou reformar, com qual intervalo esses procedimentos devem ser realizados, em que circunstâncias e como estas atividades devem ser efetuadas. Um plano de manutenção faz com que a disponibilidade das máquinas de uma planta fabril se estenda por períodos maiores, aumentando as chances da produção de elementos conformes, diminuindo os tempos ociosos e contribuindo para o ganho da companhia.

2.6.1 Rotas de Inspeção

Segundo Soeiro et al. (2017), os planos de inspeção definem as rotas de inspeção, por meio de linhas de processo, guiadas por equipamentos, por similaridade, por tempo de operação, por criticidade de equipamentos na linha de processo. O plano de inspeção define inspeções visuais e auditivas, limpeza, monitoramento de temperatura, corrente elevada,

ocorrência de vazamentos e ruídos anormais. As inspeções visuais são muito úteis porque possuem características importantes como operação simples, sem necessidade de instrumentação, resposta rápida, potencial para evitar a escalada do evento antes de todas as outras intervenções de manutenção e facilidade de treinamento.

A periodicidade e a frequência das inspeções visuais permitem que o inspetor ou operador seja sensível à observação de alterações, por menores que sejam, como padrões de ruídos, vibrações anormais, identificação de temperaturas fora do padrão, ocorrência de vazamentos e a integridade geral de conservação dos equipamentos.

2.6.2 Instrução de Trabalho

A instrução de trabalho é o nome dado a um documento técnico usado para interpretar e padronizar tarefas operacionais. Descreve ou ilustra como uma atividade específica deve ser realizada em um processo.

Uma instrução de trabalho é um documento normativo que visa descrever de maneira simples e direta a forma correta de realizar uma atividade (operação e/ou tarefa), portanto, deve ser escrita passo a passo para que qualquer trabalhador que realize tal uma operação descreve atividades podem alcançar os resultados esperados (CAROLINA, 2013).

2.7 Padronização da Manutenção

Xenos (2004), defende que a padronização é uma maneira de melhorar o desempenho e a gestão das tarefas de reparação. O cuidado eficaz e eficiente é muito importante. O processo de reparo padrão é uma lista detalhada de etapas que definem o trabalho de reparo e é um padrão escrito para as atividades a serem executadas.

Os benefícios de uma manutenção devidamente regulamentada são significativos, pois protegerão a segurança e a saúde dos funcionários, garantirão níveis de qualidade de manutenção, melhorarão o tempo de resposta do serviço, cumprirão as regulamentações e fornecerão uma base para investigações de acidentes (TELLES, 2017). Para estabelecer um método de identificação qualitativa e quantitativa do grau de deterioração dos equipamentos, devem ser utilizados critérios de inspeção para especificar os itens a serem inspecionados e sua frequência (XENOS, 2004). Em certo sentido, desenvolver padrões é trabalhoso e deve ser desenvolvido por especialistas na área. Esses padrões devem ser revisados regularmente para manter sua eficácia, além da supervisão dos supervisores para garantir que sejam aplicados. O

treinamento dos funcionários envolvidos no processo é fundamental, e a criação de padrões simples e compreensíveis garante que isso seja alcançado (SUZUKI, 1994).

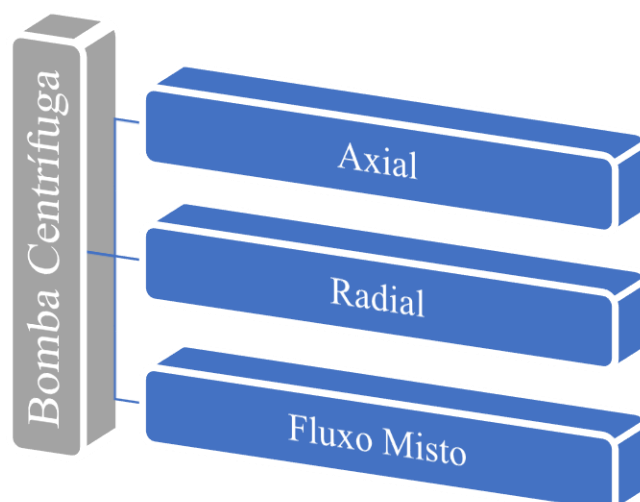
2.8 Bombas Centrífugas

As bombas centrífugas são uma subcategoria de turbobombas cuja finalidade é transportar fluidos por fluxo. Se trata de uma máquina hidráulica geratriz, o trabalho mecânico recebido é convertido em energia, que é transferida para o fluido na forma de pressão e energia cinética. As bombas centrífugas são cada vez mais utilizadas devido à sua flexibilidade operacional, baixo custo de manutenção em comparação com outros tipos de bombas e os maiores avanços tecnológicos em sua fabricação. As bombas centrífugas são usadas em uma variedade de aplicações, incluindo: abastecimento de água e irrigação, instalações de geração de energia, proteção contra inundações, tratamento e tratamento de esgoto, indústria alimentícia, indústria química e petroquímica, indústria de processo (por exemplo, têxtil e couro), eletrodomésticos, mineração e processamento de minério, controle ambiental, naves espaciais, motores de aeronaves e veículos (YEDIDIAH, 1996).

2.8.1 Tipos de Bomba Centrífuga

Em geral, as bombas centrífugas podem ser classificadas de três maneiras diferentes: por características estruturais, função e velocidade específica (YEDIDIAH, 1996). A figura 5, demonstra o modo esquemático de como as bombas centrífugas são subdivididas de acordo com a necessidade de aplicação.

Figura 5 - Tipos de Bombas Centrífugas

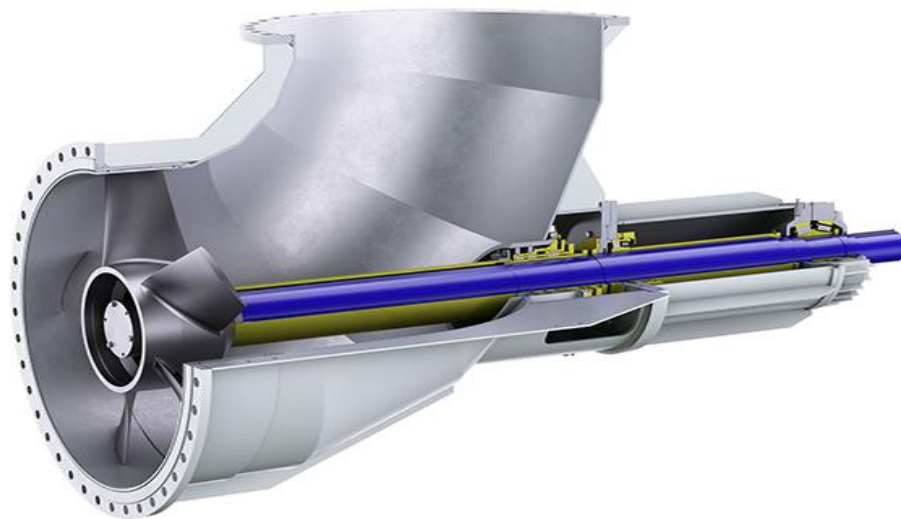


Fonte: Próprio Autor (2022)

2.8.1.1 Bomba Axial

As bombas de fluxo axial exemplificada na figura 6, também conhecidas como bombas de hélice ou centrífugas, são usadas em aplicações de alto fluxo, baixa queda e em campos de engenharia onde são necessários grandes volumes de água, mas a baixa pressão é um dispositivo robusto. Como tratamento de água, aplicações petroquímicas, para refinarias. De acordo com Hibbeler (2016), bombas de fluxo axial podem fornecer altas vazões, mas têm a menor desvantagem de baixas pressões. Portanto, esse tipo de bomba funciona bem para remover água de locais mais rasos, onde muita água requer pouca pressão, mas não muda de direção. Hibbeler (2016) também diz que o fluido entra em uma bomba e sai da linha de transmissão axialmente através de um rotor com várias palhetas.

Figura 6 - Bomba Centrífuga com Fluxo Axial



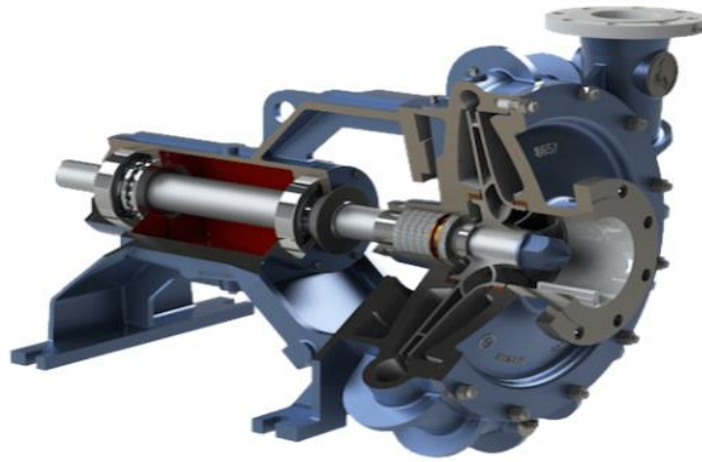
Fonte: Sulzer (2020)

2.8.1.2 Bomba Radial

As bombas centrífugas radiais ilustrada na figura 7 caracterizam-se basicamente por possuírem um braço giratório, rotor, dotado de pás ou hélice onde o fluido entra no centro e é acionado pela periferia do rotor. Segundo Hibbeler (2016) esse tipo de bomba direciona o fluxo radial em relação às pás rotativas. O fundamento básico da bomba centrífuga foi demonstrado pela primeira vez por Drmour, em 1730, envolvendo uma bomba simples feita de tubos retos formando a letra T. Houghtalen (2012) afirma que as bombas modernas são máquinas construídas sobre ela, o mesmo sistema hidráulico, mas com uma nova configuração mais

eficiente. Este tipo de bomba possui alimentação própria fornecida por um motor conectado ao eixo do rotor que gera energia central.

Figura 7 - Bomba Centrífuga com Fluxo Radial

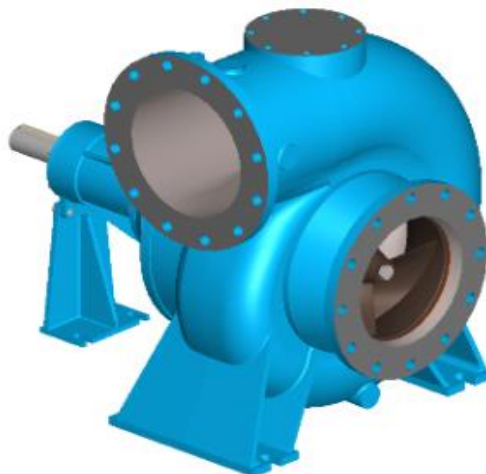


Fonte: Equipe (2008)

2.8.1.3 Bomba de Fluxo Misto

Nas bombas centrífugas diagonais o líquido entra axialmente no rotor e as pás apresentam dupla curvatura criando uma trajetória de hélice cônica, sendo as beiradas bastante inclinadas em relação ao eixo. Houghtalen (2012) salienta que as bombas mistas são equipamentos indicados para elevar líquidos em poços profundos fornecendo fluxo de alta pressão. Um exemplo da bomba de fluxo misto é mostrado na figura 8.

Figura 8 - Bomba Centrífuga com fluxo Misto

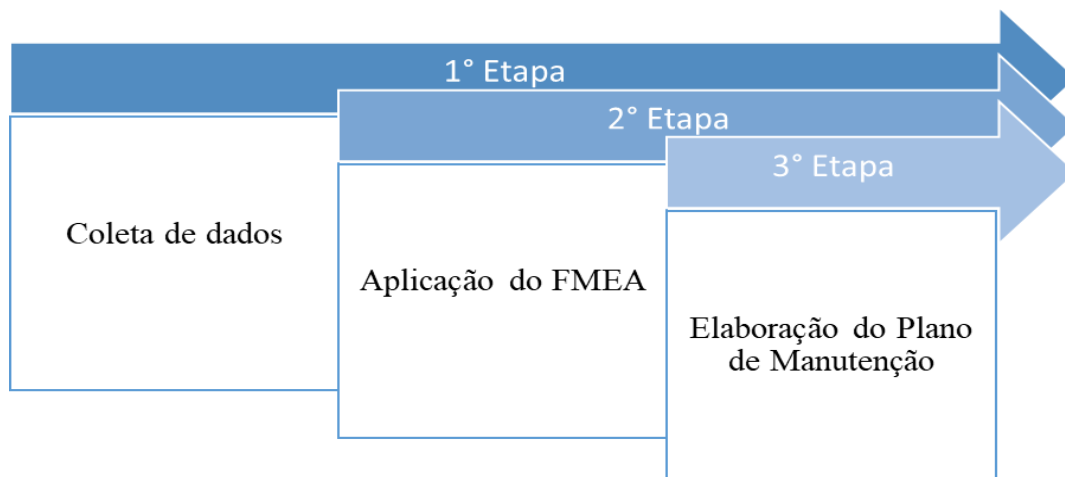


Fonte: ExportersIndia (2014)

3 METODOLOGIA

Para um melhor entendimento e desenvolvimento, este trabalho foi dividido em três etapas. A figura 9 mostra de forma clara como as etapas foram divididas, sendo a primeira a coleta de dados referente aos equipamentos da planta, a segunda a aplicação do FMEA para as bombas centrífugas, e por fim a terceira, a construção do plano de manutenção para as mesmas.

Figura 9 - Etapas do Desenvolvimento do Trabalho



Fonte: Próprio Autor (2022)

Quanto à metodologia, esta pesquisa é qualitativa, pois se aplica ao universo de significados, motivações, aspirações, crenças, valores e atitudes (MINAYO, 2003). Assim, o estudo não tem representação numérica, pois envolve entender e explicar a manutenção da bomba centrífuga e propor um cronograma de manutenção para a mesma.

Quanto aos objetivos da pesquisa, pode ser identificada como exploratória, pois segundo Gil (2002), a mesma visa explicar e proporcionar maior familiaridade com o problema. Portanto, pode-se classificar como tal já que envolve um levantamento bibliográfico, que busca encontrar padrões, ideias ou suposições sobre a manutenção desse ramo.

Do ponto de vista dos métodos técnicos, trata-se de uma pesquisa-ação, pois inclui um estudo detalhado dos modos de falha da bomba centrífuga, visando estudar os problemas de pesquisa e implementar soluções.

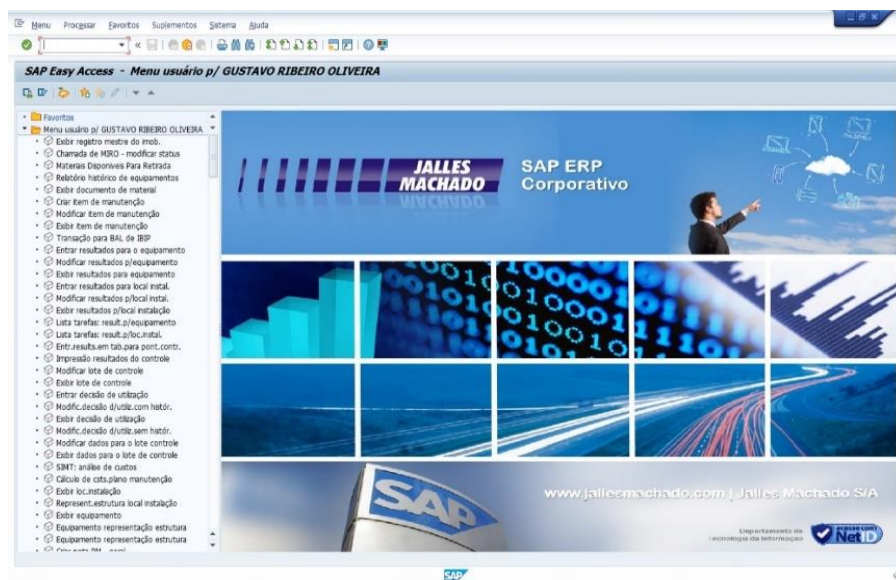
Aspectos relacionados à manutenção, confiabilidade e risco, inseridos na revisão bibliográfica, serviram como suporte para as etapas apresentadas a seguir, de modo que o objetivo deste estudo fosse alcançado, gerando um mapeamento de riscos robusto que assegure

a boa operação das bombas centrífugas na planta. A metodologia utilizada neste trabalho, teve como base as seguintes etapas:

A primeira etapa do trabalho, foi a realização de uma pesquisa bibliográfica, envolvendo métodos de manutenção, planos de manutenção e padronização, como também as informações acerca do equipamento estudado, realizando o levantamento do funcionamento e dados operacionais do mesmo, de modo a obter suas descrições técnicas.

Realizou-se uma coleta dos dados sobre falhas dos equipamentos, avarias e ciclos de manutenção. Esta etapa incluiu a verificação do banco de dados para obter informações sobre o tempo de inatividade e o tempo de reparo de todos os componentes da bomba centrífuga. Essa coleta foi realizada por meio do programa de gestão de manutenção da empresa, o SAP (Systeme, Anwendungen und Produkte in der Datenverarbeitung), representado na figura 10 a seguir.

Figura 10 - Layout do SAP (Systeme, Anwendungen und Produkte in der Datenverarbeitung)



Fonte: Próprio Autor (2022)

Também foi analisado o processo de manutenção, desde a entrada de uma bomba para manutenção, até o preenchimento de ordens de manutenção, etc., observando e interagindo com a equipe para entender os métodos de manutenção utilizados pela empresa e o trabalho diário dos colaboradores.

Na segunda etapa foi aplicada a Metodologia da MCC, principalmente a realização do FMEA, uma ferramenta estendida para confiabilidade de equipamentos, proposta por Fogliatto e Ribeiro (2009). Após investigar os dados do sistema de manutenção com foco nas atividades

corretivas, um plano de manutenção pode ser desenvolvido com base no FMEA. A ferramenta permitiu a análise detalhada dos componentes listando suas funções, modos de falha e efeitos. Esta etapa permitiu uma revisão das tarefas de manutenção atualmente em uso, indicando onde as tarefas ou frequências precisam ser alteradas.

O objetivo da terceira e última etapa foi a confecção de um plano de manutenção para bomba centrífuga. O resultado dessa etapa incluiu o desenvolvimento de um plano de manutenção com atividades e periodicidade, baseadas nos modos de falha dos componentes, afim de aumentar a disponibilidade do equipamento.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Coleta de dados

4.1.1 Seleção do Sistema

Ainda em fase inicial de pesquisa, foi determinado qual sistema seria avaliado. Dentro da empresa estudada, devido à importância da atividade de bombeamento, o estudo focou nas bombas centrífugas, que relataram um número considerável de falhas, resultando em um custo significativo em relação ao custo total de manutenção de todos os equipamentos da planta, como mostra a tabela 6.

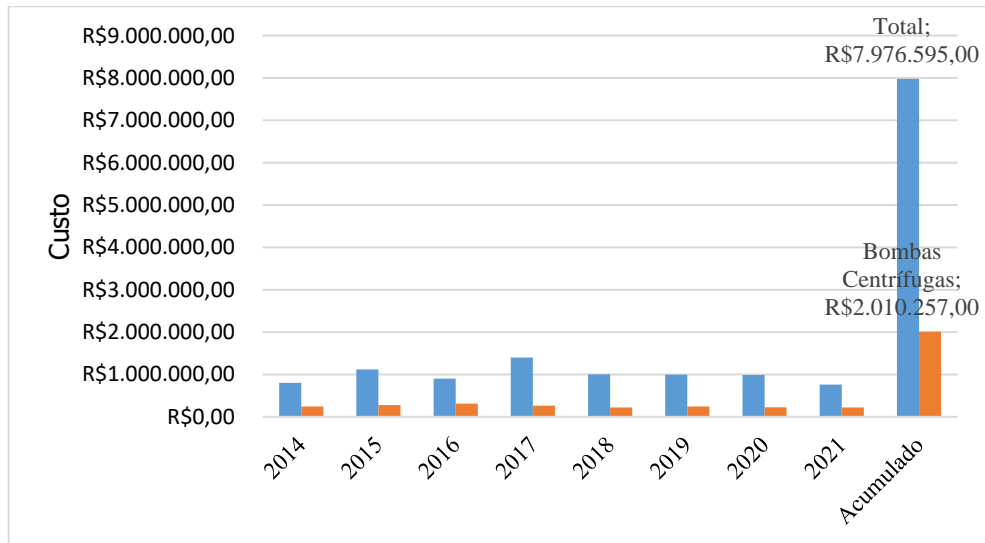
Tabela 6 - Custo Total de Manutenção X Custo Manutenção de Bombas Centrífugas

Ano	Total	Bombas Centrífugas
2014	R\$ 803.562,00	R\$ 245.469,00
2015	R\$ 1.121.010,00	R\$ 279.523,00
2016	R\$ 901.180,00	R\$ 310.632,00
2017	R\$ 1.400.600,00	R\$ 264.250,00
2018	R\$ 1.005.300,00	R\$ 219.654,00
2019	R\$ 996.323,00	R\$ 245.619,00
2020	R\$ 986.600,00	R\$ 225.646,00
2021	R\$ 762.020,00	R\$ 219.464,00
Acumulado	R\$ 7.976.595,00	R\$ 2.010.257,00

Fonte: Próprio Autor (2022)

Neste caso, optou-se por analisar o equipamento, extraindo seu impacto na qualidade do produto, produção e custos de manutenção. A figura 11 mostra um gráfico para uma melhor visualização do cenário atual em relação ao custo total com manutenção, e o custo relacionado as manutenções com bombas, onde o custo da manutenção total é representado pela barra azul, e o custo da manutenção com bombas centrífugas representado pela barra laranja.

Figura 11 - Manutenção Total x Manutenção em Bombas Centrífugas



Fonte: Próprio Autor (2022)

O gasto com manutenções em bombas centrífugas comparado ao gasto geral de manutenção mostra o quão importante é estudar uma tratativa que possa mudar esse quadro. A figura 12 demonstra em porcentagem, o cenário atual dos custos, sendo 20,13% do custo acumulado com manutenção de bombas centrífugas, e 79,87% com custo de manutenção dos demais equipamentos.

Figura 12 - Custo Total com Manutenção x Custo com Manutenção em Bombas Centrífugas



Fonte: Próprio Autor (2022)

4.1.2 Obtenção dos Dados relacionados a Manutenção

Para cada tipo de informação e dados indispensáveis para a realização deste trabalho, foi necessária uma forma diferente de coleta. Para poder investigar as entradas de bombas na oficina, suas datas de serviço precisaram ser tabuladas para quantificar quais bombas na oficina têm mais registros de reparo.

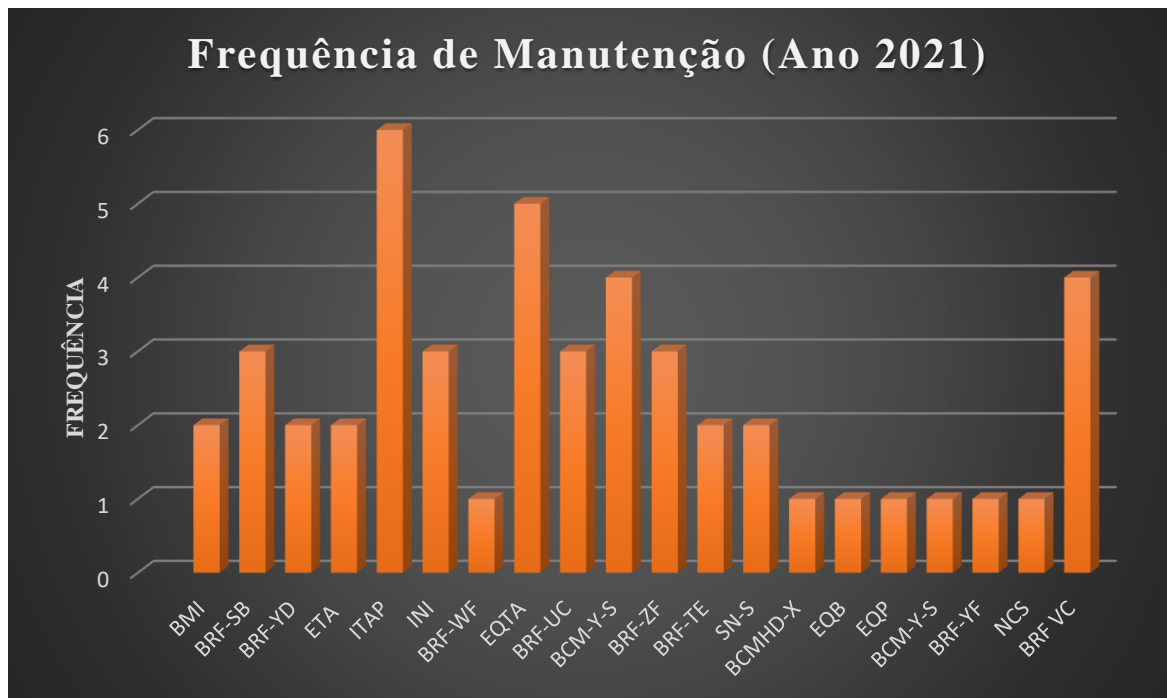
Para o histórico de falhas, foi consultado o software próprio da empresa, o SAP, responsável por toda a gestão da manutenção, desde as ordens de partida até as paradas finais, bem como o controle de paradas e falhas de máquinas. O programa também trata falhas, o que auxilia na sua análise. Relatórios em estilo de planilha são gerados a partir dele, onde os eventos podem ser filtrados por data, hora de parada, componentes com falha e suas causas. Como resultado, pode ser gerado um histórico do que causou a parada da máquina e o que fazer com ela e, a partir desses dados, pode-se construir cada causa descrita pelos operadores e técnicos. Para nortear o estudo, extraiu-se do SAP o histórico das manutenções em bombas no ano de 2021, apresentado no apêndice A.

4.1.3 Identificação do Problema

Ao extrair os dados de manutenção das bombas centrífugas e identificar quais desses dispositivos estavam na fila de manutenção com mais frequência, conseguiu-se determinar que a bomba do modelo ITAP é o dispositivo mais frequente.

Observando a figura 13, identificou-se que diversas bombas apresentavam altos números de reincidência, porém para o estudo desse trabalho, optou-se por focar os estudos na bomba de caldo primário ilustrada na figura 14, devido a sua criticidade para o processo e pelo fato de ter tido mais intervenções.

Figura 13 - Frequência de Manutenção das Bombas Centrífugas no Ano de 2021



Fonte: Próprio Autor (2022)

Figura 14 - Bomba Centrífuga Modelo ITAP



Fonte: Próprio Autor (2022)

4.2 Aplicação do FMEA

Em muitas situações associadas à análise de falhas, uma vez identificada a causa imediata e potencial (raiz), ações corretivas podem ser tomadas. Nos casos em que o motivo não é determinado, é necessária uma análise mais aprofundada. Para uma análise mais aprofundada, recomenda-se usar a experiência do fabricante para detectar a causa raiz.

Nesse contexto, o desenvolvimento do FMEA é um processo indutivo e sistemático. O primeiro passo em tal procedimento foi entender a funcionalidade do sistema, coletar dados de campo e entrevistar especialistas mais experientes com o equipamento/processo em estudo.

Os resultados do FMEA de bombas centrífugas foram obtidos em reunião com equipe multidisciplinar de operadores que lidam diretamente com o equipamento, técnicos de manutenção; engenheiros, gestores e manuais de fabricantes de bombas centrífugas. As opiniões de todos os profissionais nem sempre convergem para o mesmo resultado. Por outro lado, a imagem do gestor é crucial na mediação do debate e do consenso. À medida que os itens que irão compor a planilha FMEA são debatidos, a função de processo de cada item é analisada individualmente, identificando possíveis modos de falha dos eventos que justificam o item no sistema e o potencial impacto das falhas.

Referente aos itens selecionados para análise dos modos de falha e seus efeitos, não houve dificuldades de identificação, pois todos os itens possuem histórico de falhas documentado em bases de dados e/ou literatura específica sobre o assunto, assim, sendo necessário apenas identificar e debater a causa raiz das falhas. A etapa final foi calcular o valor de RPN (Risk Priority Number) de cada item, multiplicando o índice de severidade (S), ocorrência (O) e detecção (D), para identificar seu índice de criticidade, para então, dar ênfase a esses componentes na periodicidade de manutenção. A figura 15 demonstra com detalhes a construção do formulário do FMEA mencionado nesse capítulo, para alguns componentes da bomba, como o rotor, o eixo e os rolamentos, e no apêndice B está o formulário do FMEA completo, contemplando todos os componentes da bomba centrífuga.

Figura 15 - Aplicação do FMEA

ANÁLISE DE MODOS DE FALHA E EFEITO									
FMEA			Engenharia de Manutenção					Data: 21/04/2022	
Bomba centrífuga			Elaborado por: Gustavo Ribeiro Oliveira					Revisão 01	
ITEM	FUNÇÃO	MODO DE FALHA	EFEITO DA FALHA	CAUSA DA FALHA	S	O	D	RPN	CRITICIDADE
Rotor	Converter a energia do motor em energia cinética para o fluido.	Fornecimento insuficiente e de energia cinética.	Ruído anormal; Vibração.	Desgaste por cavitação.	10	7	5	350	B
				Corrosão.	9	8	7	504	A
				Desgaste por recirculação.	10	8	7	560	A
			A bomba não recalca.	Obstrução de passagem de fluidos.	9	8	1	72	C
Eixo	Transmitir o torque de partida e durante a operação para o rotor, enquanto apoia as outras partes giratórias.	Não transmite torque.	Fluido não é recalçado.	Fratura do eixo por fadiga.	9	6	1	54	C
				Deformação no rasgo de chaveta	8	5	1	40	D
Rolamentos	Suportar o eixo da bomba centrífuga.	Não suportar o eixo da bomba centrífuga.	Danos no eixo e nos demais componentes.	Fratura por fadiga do rolamento devido à montagem incorreta ou desalinhamento.	9	5	1	45	D
				Vibração excessiva e sobreaquecimento dos rolamentos.	Desgaste do rolamento por falta de lubrificante.	8	8	1	64

Fonte: Próprio Autor (2022)

4.3 Elaboração do Plano de Manutenção

Com base nos modos de falha críticos definidos na subseção anterior, foi elaborada uma proposta de plano de manutenção para o cenário atual da máquina, na qual foram estabelecidas as atividades e seus respectivos ciclos durante a aplicação da ferramenta FMEA, com base na classificação de criticidade e riscos. As tratativas para garantir a confiabilidade da bomba foram pensadas visando aproveitar melhor a mão de obra da equipe de execução, otimizando também o tempo. As tarefas de manutenção foram selecionadas com base no modo de falha de cada

componente do equipamento, especificando os parâmetros de aceitação assim como o responsável por executar a tarefa, o tempo de execução, e sua periodicidade. A figura 16 mostra o plano de manutenção, contemplando as tratativas para o rotor, o eixo, e os rolamentos:

Figura 16 - Plano de Manutenção baseado na MCC

PLANO DE MANUTENÇÃO						
Bomba Centrífuga		Elaborado por: Gustavo Ribeiro Oliveira			Data: Jun/2022	
Engenharia de Manutenção		Revisão 01			Validade: Jun/2025	
ITEM	ATIVIDADE DE MANUTENÇÃO	PARÂMETRO DE ACEITAÇÃO	CONDIÇÃO	TIPO DE MANUTENÇÃO	RESPONSÁVEL	PERIODICIDADE
Rotor	Verificar integridade física da superfície	O material não deve apresentar aspecto esponjoso, rendilhado, corroído, ranhuras e ondulações	Parado	Preventiva	Mecânico	Bienal
Eixo	Verificar integridade física	Eixo íntegro, sem sinais de trincas, marcações, corrosão ou quaisquer outras anomalias.	Parado	Preventiva	Mecânico	Bienal
Rolamentos	Verificar se há folgas no acoplamento	Sem folga excessiva	Parado	Preventiva	Mecânico	Bienal
	Inspeção por líquido penetrante	Sem identificação de trincas	Parado	Preventiva	Mecânico	Bienal
	Conferir a excentricidade entre os rolamentos e o eixo	Com excentricidade entre os rolamentos e o eixo	Parado	Preventiva	Mecânico	Bienal
	Verificar integridade física	Rolamentos íntegros, sem sinais de marcações, desgastes ou trincas	Parado	Preventiva	Mecânico	Bienal
	Análise de vibração	Valor RMS da velocidade de vibração (mm/s) = 1,2 a 3	Em operação	Preditiva	Terceiro	Mensal

Fonte: Próprio Autor (2022)

O plano proposto é demonstrado detalhadamente no Apêndice C por completo. Este plano de manutenção foi recomendado para a empresa e foi projetado para reduzir o tempo de inatividade dos dispositivos em estudo e, assim, diminuir os custos. O custo de aquisição de peças novas para substituição em caso de quebra também deverá ser significativamente menor.


O próximo passo foi colocar em prática o plano de manutenção. Durante a sua execução, foi assegurada a monitorização dos seus resultados (neste caso, monitorização das avarias, suas causas e frequência). É importante ressaltar que o MCC deve focar na obtenção de resultados de longo prazo para melhor avaliar a eficácia do método.

4.3.1 Rotas de Inspeção

Com o plano de manutenção montado, roteiros de inspeção foram definidos com base na periodicidade das tarefas atribuídas e tipos de inspeção. Para que a equipe de manutenção possa lidar com as avarias identificadas e garantir o cumprimento das tarefas, atualmente, ao realizar a rota, o técnico de manutenção ou operador preenche um gabarito de inspeção via papel, onde se tem os dados referentes ao equipamento, local onde se encontra, número de ordem de serviço (os), oficina responsável, o tipo de rota, e há também campos de preenchimento, onde o executante da rota assina o seu nome, preenche a data e a hora que as verificações foram feitas, e um campo para o coordenador da área assinar, validando a execução das tarefas.

A equipe do PCM (Planejamento e Controle da Manutenção), emite as ordens de serviço para a execução das rotas de inspeção, assim, é entregue ao colaborador designado para executar a rota o gabarito de inspeção demonstrado na figura 17, onde são preenchidas todas as informações coletadas durante a efetuação da rota, como o detalhamento das anomalias encontradas ou sugestões de melhoria.

Figura 17 - Demonstração do Gabarito de Inspeção

			Data:	
			Hora:	
Área: Centrifugação		Equipamento: Motobombas		Executante:
Rota: Mecânica	Máquina em movimento		RI Nº 1001-0602-RM0002	OS:
PARÂMETRO DE ACEITAÇÃO	STATUS		OBSERVAÇÃO	
	OK	NÃO OK		
Bomba sem ruído anormal				
Todos os parafusos de fixação presentes				
Sem vazamentos				
Etiqueta (TAG) visível e sem danos				
Sem vibração anormal				
Sem oxidação no equipamento				
Sem excesso de sujeira				
Bicos graxeiros íntegros				
Sem movimentação da chapa de base				
Sem presença de fissuras no concreto				

Fonte: Próprio Autor (2022)

4.3.1.1 Aplicativo para Execução da Rota de Inspeção

Kardec e Nascif (2012) enfatizam que alcançar um salto efetivo de competitividade requer um estado de constante mudança, de quebra de paradigmas. Acrescentou ainda que a adoção de novos processos pode levar a melhores resultados com menor consumo de energia, tornando as organizações mais competitivas.

Como mencionado na seção anterior, ao executar uma rota de inspeção, o responsável pela rota preenche o gabarito de inspeção com os dados coletados. A maior dificuldade é a ansiedade da equipe de manutenção diante dos desvios que demoram a ser sanados. Seguindo essa premissa, para solucionar esse problema, o SIGOP (Sistema de Gerenciamento de Atividades Operacionais) mostrado na figura 18 foi criado, o qual é um aplicativo que visa

facilitar a execução e o controle das rotas de inspeção, informando a todos sobre o andamento dos serviços em tempo real.

Figura 18 - Interface do Aplicativo SIGOP

The image shows a mobile application interface for 'Rota de Inspeção' (Inspection Route). At the top, there is a dark blue header bar with a back arrow on the left, a home icon, and a vertical ellipsis menu on the right. Below the header, the title 'Rota de Inspeção' is displayed in a bold, dark blue font. Underneath the title is a 'Histórico' (History) section, indicated by a clock icon and the text 'Histórico'. The main area contains five stacked, rounded rectangular input fields, each with a dropdown arrow on the right side. The fields are labeled: 'Unidade', 'Área', 'Equipamento', 'TAG', and 'Número da rota'. At the bottom left, there is a square icon with a diagonal line. At the bottom right, there is a dark blue button with the text 'Iniciar rota' and a right-pointing arrow icon.

Fonte: Próprio Autor (2022)

O SIGOP desempenha o mesmo papel que o gabarito de inspeção, porém, as informações serão preenchidas digitalmente, enviadas instantaneamente para o SAP, para análise e tomada de ações imediatas.

Com o uso do aplicativo espera-se como benefícios a melhoria significativa das rotas em campo, como:

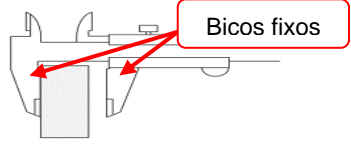
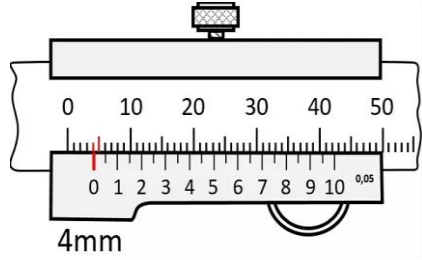
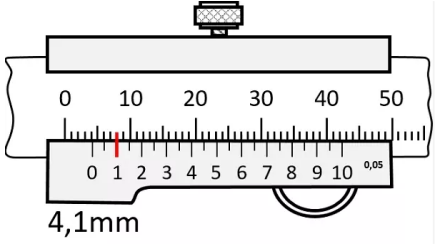

- Monitoramento em tempo real;
- Recebimento de alertas automático, para tratar a falha o mais rápido possível;
- Análise de tendência multidisciplinar;
- Facilidade de integração entre operação, manutenção e processos;
- Acompanhamento do histórico das variáveis medidas;
- Possibilidade de acompanhar a evolução das falhas;
- Possibilidade de tratamento estatístico dos dados;
- Cadastramento efetivo das notas de manutenção;

4.3.2 Instrução de Trabalho

Algumas tarefas de manutenção descritas no plano, necessitam de um pouco mais de atenção do que outras, por fatores como segurança ou complexidade. Portanto, para algumas dessas tarefas foram elaboradas instruções de trabalho. As IT (Instruções de Trabalho) são ferramentas para documentar e padronizar as tarefas, nelas são descritas o passo a passo de como deve ser realizada as mesmas, do início ao fim, especificando os EPI's e ferramentas necessárias para execução, como ilustra a figura 19, onde é demonstrado como medir o diâmetro de um eixo.

Ao elaborar as IT é possível padronização as atividades, obter ganhos na qualidade da execução das tarefas e definir cada etapa das atividades.

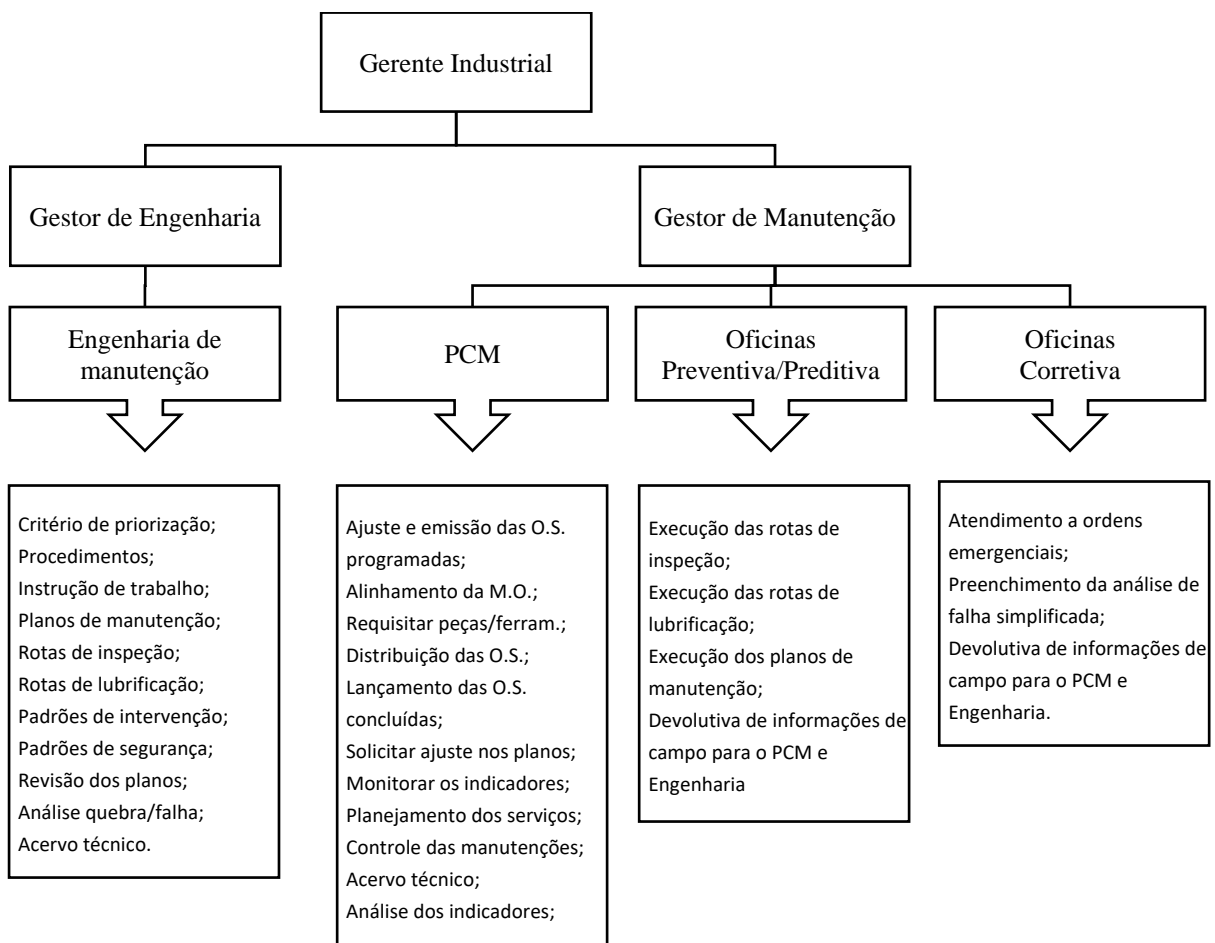
Figura 19 - Demonstração da Instrução de Trabalho

PASSO	RESPONSÁVEL	PROCEDIMENTO	ILUSTRAÇÃO
1	Mecânico	Colocar o eixo bem-posicionado no centro da parte de medição (bicos fixos);	
2	Mecânico	Após colocar o eixo na parte correta do paquímetro, observar onde o 0 (zero) da parte móvel (nônio) está e com qual número da parte fixa ele está coincidindo, isto indicará o primeiro número da <u>medida</u> ; NOTA: Como exemplifica a figura, o 0 (zero) do nônio está entre o 4mm e o 5mm da escala fixa milimétrica, isto indica que o primeiro número da medida é o 4mm.	
3	Mecânico	Em seguida vemos qual a marcação que coincide em ambas as escalas, na fixa e móvel e observamos o número da escala móvel que coincidiu, este será o segundo número, representando os décimos de milímetros; NOTA: No exemplo coincidiu com o número 1, este será os décimos da medida 0,1mm. Para o exemplo a medida final da peça seria 4,1mm.	
4	Mecânico	Anote a medida para conferir com as especificações dimensionais do eixo;	

4.3.3 Intregração da Equipe de Manutenção

Para implementar e integrar programas de manutenção dentro de uma planta fabril, é necessária uma comunicação bidirecional entre todos os departamentos, promovendo o diálogo e gerando ideias para melhorar a gestão da manutenção. Como as funções de manutenção permeiam as metas organizacionais, os controles existentes da planta devem ser usados para melhorar a comunicação e a troca de informações entre os funcionários. Estabelecer a organização da equipe de manutenção mais adequada para uma planta requer uma avaliação de longo prazo. O operador deve seguir as instruções do técnico de serviço para uma operação adequada, sem danificar a máquina em caso de mau funcionamento. Com essa premissa, a etapa final da pesquisa é integrar a metodologia com toda a equipe e treiná-los. A figura 20 detalha o organograma da manutenção, destacando todos os departamentos que atuam diretamente na manutenção dos equipamentos, e suas respectivas responsabilidades.

Figura 20 - Organograma da Manutenção



Fonte: Próprio Autor (2022)

5 CONCLUSÃO

Através deste trabalho foi possível demonstrar sistematicamente a introdução da manutenção, com foco na confiabilidade, e mostrar como a manutenção vem desempenhando um papel cada vez maior na economia mundial, principalmente devido à crescente inserção das empresas no contexto de crescimento nacional.

Acessando o sistema de gerenciamento de manutenção da empresa, obteve-se o histórico de falhas das bombas centrífugas, possibilitando o estudo das mesmas. Utilizando a ferramenta FMEA da MCC, pode-se realizar uma análise robusta de funções, modos de falha e seus efeitos, identificando falhas com alta probabilidade de ocorrência e selecionando tarefas adequadas com base em suas consequências. O risco associado a cada possibilidade de falha foi avaliado baseado no valor de confiabilidade do equipamento, levando em consideração seu índice de frequência, grau de severidade e nível de detecção.

Após o processo de aprendizagem e aplicação da MCC, fica evidente o conhecimento gerado e registrado sobre as bombas centrífugas. Portanto, considerando o desenvolvimento do trabalho apresentado nos capítulos anteriores, pode-se afirmar que o objetivo geral proposto foi alcançado: apresentar um plano de manutenção bem estruturado e detalhado, com informações claras e objetivas, incluindo todas as rotinas, preventivas e preditivas, para evitar falhas críticas nas bombas centrífugas. Através da aplicação desse plano de manutenção espera-se reduzir o tempo de manutenção, bem como reduzir o trabalho desnecessário e melhorar a disponibilidade física e a confiabilidade das bombas centrífugas, sem esquecer que o plano de manutenção é um documento vivo que precisa de revisões constantes para incremento de melhorias.

Em um mundo altamente avançado tecnologicamente, é imperativo manter o foco, antecipando futuras inovações tecnológicas para atender as necessidades corporativas. Portanto, o uso de um aplicativo para facilitar a execução de rotas de inspeção é proposto como uma nova solução para otimizar e simplificar o uso de recursos operacionais.

Melhorias no plano de manutenção devem sempre ser implementadas, e novos modos de falha sempre surgirão, exigindo revisão periódica. É necessário monitorar as falhas e seu registro. Assim, como recomendação para trabalhos futuros, realizar uma análise dos resultados do plano de manutenção apresentado neste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BENINI, L.; SANTOS, A. **Utilização da manutenção centrada em confiabilidade (MCC) em embaladora à vácuo de alimentos**. The Journal of Engineering and Exact Sciences – jCEC, Vol. 07 N. 02. journal homepage: <https://periodicos.ufv.br/ojs/jcec> ISSN: 2527- 1075, 2021.
- BOGO, S. E. S. **Manutenção preventiva de equipamentos produtivos e seu impacto na redução dos gargalos no processo industrial em uma empresa do ramo eletroeletrônico do PIM**. Universidade federal do Amazonas. Manaus, 2017.
- Bomba Centrífuga Série EQ. **Equipe-bombas** 2008. Disponível em: <<https://equipe-bombas.com.br/bomba-centrifuga-serie-eq/>>. Acesso em: 09 de maio de 2022.
- Bomba de fluxo axial do tipo Ensival Moret CAHR. **Sulzer** 2019. Disponível em: <https://www.sulzer.com/pt-br/brazil/shared/products/axial-flow-pump-type-ensival-moret-cahr>. Acesso em: 09 de maio de 2022.
- CAIADO, Rodrigo Goyannes G. Contribuição da Manutenção Centrada em Confiabilidade no Setor de Instrumentação de uma Indústria do Segmento de Petróleo. Projeto Final Engenharia de Produção UFF. Dezembro, 2011.
- CAROLINA, A. “**Descrição de Instrução de Trabalho: Padronizando para Eficiência**”. Disponível em: < <https://blogdaqualidade.com.br/descricao-de-instrucao-de-trabalho-padronizando-para-eficiencia/> >. Acesso em: 07 de maio de 2022.
- CONAB: Companhia nacional de abastecimento: **Perfil do setor do açúcar e etanol no Brasil**. Brasília. ISSN:2448-3737, 2019.
- FARIA, J. G. A. **Administração de Manutenção**. São Paulo: Edgard Blucher, 1994.
- FARIA, N. A. C. **Elaboração e implementação de um plano geral de manutenção preditiva, preventiva e curativa na Lipor – Serviço Intermunicipalizado de Gestão de Resíduos do Grande Porto**. 2013. 116 f. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Industrial e Gestão) – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal, 2013.
- FIGUEIREDO, D. L. D. **Indicadores de performance: Um enfoque na gestão da manutenção**. Simpósio de Engenharia de Produção. Disponível em: < https://sienpro.catalao.ufg.br/up/1012/o/DANIELLE_LIMA_DE_FIGUEIREDO.pdf>. Acesso em: 15 de abril de 2022.
- FOGLIATTO, F. S.; RIBEIRO, J. L. D. “**Confiabilidade e Manutenção Industrial**”. Elsevier, 2009.
- GERAGHETY, T. **Obtendo Efetividade do Custo de Manutenção Através da Integração das Técnicas de Monitoramento de Condição, RCM e TPM**. Maintenance Magazine, vol. 11, 1996.
- GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. São Paulo: Atlas, 2002.

- HIBBELER, R. C. **Mecânica dos fluidos**. 1^oed. São Paulo: Editora Pearson 2016.
- HOUGHTALEN, R. J. **Engenharia hidráulica**. 1^oed. São Paulo: Editora Pearson 2012.
- KARDEC, A.; NASCIF, J. **Manutenção: Função estratégica**. 3^a edição, Editora Qualitymark, Rio de Janeiro, 2010.
- KARDEC, A.; NASCIF J. **Manutenção: Função Estratégica**. 3^a edição. Rio de Janeiro: Qualitymark: Petrobrás, 2009.
- KARDEC, A.; NASCIF, J. **Manutenção: Função Estratégica**. Qualitymark, Rio de Janeiro, 2001.
- Kardec, A.; e Nascif, J. **Manutenção: função estratégica**. 4 ed. Rio de Janeiro, 2012.
- KUMAR, D. **Sustainable Management of Coal Preparation. Chapter 18: Maintenance Management**. 2018 Elsevier Inc. All rights reserved, 2018.
- LAFRAIA, J. R. B. **Manual de Confiabilidade, Mantenabilidade e Disponibilidade**. Editora Qualitymark, Rio de Janeiro, RJ, 2001.
- LIMA, R. S. **TPM – Total Productive Management – Curso de Formação de Multiplicadores**. Ed. Advanced Consulting & Training, São Paulo – SP, 2000.
- LIU, Q.; DONG, M.; CHEN, F. **Single-machine-based joint optimization of predictive maintenance planning and production scheduling**. Department of Industrial Engineering, Business School, University of Shanghai for Science and Technology, 516 Jungong Road, Shanghai, 200093, PR China. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing* 51 (2018) 238–247. Elsevier, 2018.
- MAHMOUDI, M.; MAHDIRAJI, H. A.; JAFARNEJAD, A.; SAFARI, H. **Dynamic prioritization of equipment and critical failure modes**. Kybernetes © Emerald Publishing Limited 0368-492X DOI 10.1108/K-08-2018-0417, 2018.
- MARCORIN, Wilson Roberto; LIMA, Carlos Roberto Camello. **Análise dos Custos de Manutenção e de Não-manutenção de Equipamentos Produtivos**. *Revista De Ciência & Tecnologia*, Piracicaba, v. 11, n. 22, p.35-42, 2003. Disponível em: <<http://www.unimep.br/phpg/editora/revistaspdf/rct22.pdf>>. Acesso em: 24 fev. 2022.
- MINAYO, M. C. S. **Pesquisa social: teoria, método e criatividade**. 22 ed. Rio de Janeiro: Vozes, 2003.
- MIRSHAWKA, V.; OLMEDO, N. L. **Manutenção – Combate aos Custos da Não-Eficácia – A vez do Brasil**. São Paulo: Editora Makron Books do Brasil Editora Ltda., 1993.
- Mixed Flow Pump. **ExportersIndia** 2014. Disponível em: <<https://www.exportersindia.com/product-detail/mixed-flow-pump-4339947.htm>>. Acesso em: 09 de maio de 2022.

MOUBRAY, J. **Reliability-Centered Maintenance**. New York: Industrial Press, 1997.

MOUBRAY, J. **Manutenção Centrada em Confiabilidade**. São Paulo: Aladon Ltda, 2000.

MOUBRAY, J. **MCCII – Reliability – Centered Maintenance**. Second edition, New York: Industrial Press Inc., 2000.

MOTTER, O. **Manutenção Industrial: O Poder Oculto na Empresa**. São Paulo: Hemus, 1992.

NBR 5462-1994, **Confiabilidade e manutenibilidade**, Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, 1994.

NÓBREGA, P. R. L. “**Manutenção de compressores alternativos e centrífugos**”, Ed. Synergia, 2011.

OLIVEIRA, J. C. Santana de; CAMPOS, Hebert; BOCCALETTI, Helder; Aplicação do método FMEA de Processo. Disponível em: < http://revistasapere.inf.br/site2/artigos/2015-2/SAPERE_2015-2_01.pdf>. Acesso em: 09 de abril de 2022.

PATTON, J. D. **Maintainability and Maintenance Management**. New York: Instrument Society of America, 1994. 452 p.

PATTON, J. D. **Preventive Maintenance**. New York: Instrument Society of America, 1995. 202 p.

RATBY, M.; MABROUKI, M. **Optimization of the Maintenance and Productivity of Industrial Organization**. University Sultan Moulay Slimane, Faculty of science and technology, Industrial Engineering Laboratory, Beni Mellal, Morocco. International Journal of Applied Engineering Research ISSN 0973-4562 Volume 13, Number 8 (2018) pp. 6315-6324. India publications, 2018.

RIGONI, Emerson. **METODOLOGIA PARA IMPLANTAÇÃO DA MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE: uma abordagem fundamentada em Sistemas Baseados em Conhecimento e Lógica Fuzzy**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2009. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Santa Catarina.

SAM YEDIDIAH. **Centrifugal Pump User's Guidebook Problems and Solutions by Sam Yedidiah** 1996. Disponível em: < <https://engineeringbookspdf.com/centrifugal-pump-users-guidebook-problems-and-solutions-pdf-free-download/7826/>>. Acesso em: 21 de março de 2022.

SCHNEIDER, C. F.; PERINAZZO, R. V.; SOUZA, A. S.; MAHLER, M.; TAUCHEN, J. A. **Manutenção preventiva: Estudo de caso em um comércio varejista de automóveis seminovos**. 2010. Disponível em: http://www.fahor.com.br/publicacoes/saep/2010_manutencao_preventiva_varejo_veiculos.pdf> Acesso em: 22 de março de 2022.

SILVA, D. R. B. **Instrumentação de Turbina Hidráulica Baseada nos Conceitos de Manutenção Centrada em Confiabilidade**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2007.

SIQUEIRA, I. P. D. **Manutenção Centrada na Confiabilidade: Manual de Implementação**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2005.

SIQUEIRA, I. P. D. **Manutenção Centrada na Confiabilidade**. 2. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2012. 408 p.

Soeiro, M. V. A.; OLIVIO, A.; LUCATO, A. V. R. **Gestão da manutenção**. Editora e Distribuidora Educacional S.A. Londrina, 2017.

SOUSA, E. D. **Grau de confiabilidade operacional de transformadores de instrumentos para sistemas de energia elétrica**. Universidade federal do Pará. Instituto de tecnologia programa de pós-graduação em engenharia elétrica. Belém, 2018.

SUZUKI, T. **TPM in Process Industries**. USA, Portland: Productivity Press, 1994.

TAVARES, L. A. **A Evolução da Manutenção**. Revista Nova Manutenção y Qualidade Nº54. 2005 TELLES, J. (2017). Acesso em: 07 de abril de 2022.

TROMBETA, A. **50 tons de manutenção classe mundial, 2017**. Disponível em: <<http://manutencao.net/artigo/50-tons-para-a-manutencao-classemundial/#.WuWp1kxFzVI>>. Acesso em: 07 de abril de 2022.

VIANA, H. R. G. **Planejamento e Controle da Manutenção**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002.

XENOS, H. G. **Gerenciando a Manutenção Produtiva: o caminho para eliminar falhas nos equipamentos e aumentar a produtividade**. Nova Lima: INDG Tecnologia e serviços Ltda, 2004.

XENOS, H. G. **Gerenciamento da Manutenção Produtiva**. Belo Horizonte: Editora de Desenvolvimento Gerencial, 1998.

ZAIONS, D. R. **Manutenção Industrial com Enfoque na Manutenção Centrada em Confiabilidade**. Porto Alegre: UFRGS, 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia), Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2003.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Histórico sobre a manutenção de bombas centrífugas no ano de 2021.

Sequência	Fabricante	Modelo	Data de entrada
1	Imbil	BMI	10/04/2021
2	Equipe	BRF-SB	14/04/2021
3	Equipe	BRF-YD	15/04/2021
4	KSB	ETA	19/04/2021
5	Imbil	ITAP	26/04/2021
6	Imbil	INI	29/04/2021
7	Imbil	BRF-WF	04/05/2021
8	Imbil	ITAP	14/05/2021
9	Equipe	BRF-SB	16/05/2021
10	KSB	ETA	23/05/2021
11	Imbil	INI	07/06/2021
12	Equipe	BRF-SB	07/06/2021
13	Equipe	EQTA	11/06/2021
14	Equipe	EQTA	17/06/2021
15	Equipe	BRF-UC	28/06/2021
16	Equipe	BCM-Y-S	03/07/2021
17	Equipe	BRF-ZF	04/07/2021
18	Imbil	INI	13/07/2021
19	Equipe	BCM-Y-S	15/07/2021
20	Imbil	BMI	25/07/2021
21	Equipe	EQTA	27/07/2021
22	Equipe	BRF-ZF	02/08/2021
23	Equipe	BRF-TE	09/08/2021
24	Equipe	BCM-Y-S	24/08/2021
25	Equipe	SN-S	04/09/2021
26	Equipe	EQTA	08/09/2021
27	Equipe	BRF-UC	16/09/2021
28	Equipe	BCM-Y-S	20/09/2021
29	Imbil	ITAP	21/09/2021
30	Equipe	BCMHD-X	30/09/2021
31	Equipe	BRF-ZF	10/10/2021
32	Equipe	EQB	12/10/2021
33	Imbil	ITAP	18/10/2021
34	Equipe	BRF-YD	25/10/2021
35	Equipe	BRF-UC	25/10/2021
36	Equipe	EQP	27/10/2021
37	Imbil	ITAP	30/10/2021
38	Equipe	BRF-TE	01/11/2021
39	Equipe	BCM-Y-S	07/11/2021
40	Equipe	EQTA	08/11/2021
41	Equipe	BRF-YF	10/11/2021
42	Equipe	SN-S	16/11/2021
43	Imbil	NCS	17/11/2021
44	Equipe	BRF VC	20/11/2021
45	Imbil	ITAP	22/11/2021

APÊNDICE B – Resultado da aplicação completa do FMEA.

ANÁLISE DE MODOS DE FALHA E EFEITO									
FMEA			Engenharia de Manutenção		Data: 21/04/2022				
BOMBA CENTRÍFUGA			Elaborado por: Gustavo Ribeiro Oliveira		Revisão 01				
Item	Função	Modo de falha	Efeito da falha	Causa da falha	S	O	D	RPN	CRITICIDADE
Rotor	Converter a energia do motor em energia cinética para o fluido.	Fornecimento insuficiente de energia cinética.	Ruído anormal; Vibração.	Desgaste por cavitação.	10	7	5	350	B
				Corrosão.	9	8	7	504	A
				Desgaste por recirculação.	10	8	7	560	A
Porca (Rotor)	Juntamente ao elemento rosqueado do eixo, fixar o	Fixação ineficaz do rotor ao eixo.	A bomba não recalca	Obstrução de passagem de fluidos.	9	8	1	72	C
				Desgaste da rosca da porca.	9	6	1	54	C
Arruela (Rotor)	Fortalecer a articulação entre a porca e o rotor.	Falta de aperto entre a porca e o rotor.	Vibração excessiva; Risco a integridade aos demais componentes.	Falta da arruela entre o rotor e a porca do rotor.	8	6	3	144	B
				Fatiga do eixo por fadiga.	9	6	1	54	C
Eixo	Transmitir o torque de partida e durante a operação para o rotor, enquanto apoia as outras partes giratórias.	Não transmite torque.	Fluido não é recalcado.	Deformação no rasgo de chaveta.	8	5	1	40	D
				Assentamento ineficaz da junta devido a presença de partículas estranhas/sujidade.	6	6	1	36	D
Junta (tampa da caixa de mancal)	Atuar na vedação da caixa de mancal.	Não veda adequadamente a caixa de mancal.	Vazamento do lubrificante. Danos aos rolamentos.	Desgaste da junta.	6	6	2	72	C
				Montagem da junta na posição invertida.	6	7	2	84	C

Item	Função	Modo de falha	Efeito da falha	Causa da falha	S	O	D	RPN	CRITICIDADE
Rolamentos	Suportar o eixo da bomba centrífuga.	Não suportar o eixo da bomba centrífuga.	Danos no eixo e nos demais componentes. Vibração excessiva e sobreaquecimento dos	Fratura por fadiga do rolamento devido à montagem incorreta ou Desgaste do rolamento por falta de lubrificante.	9	5	1	45	D
Parafuso (Tampa do mancal)	Fixar a tampa do mancal no pedestal.	Não fixa adequadamente a tampa do mancal no pedestal.	Vazamento do lubrificante, desgaste da junta, retentor e rolamentos.	Desgaste e folga dos parafusos da tampa da caixa de mancal.	6	5	1	30	D
Porca (parafuso da tampa do mancal)	Permitir a união entre a tampa do mancal e o pedestal de em conjunto com parafuso.	União ineficaz da tampa do mancal ao pedestal.	Vazamento do lubrificante, desgaste do retentor, da junta, da tampa da caixa de mancal e dos rolamentos.	Desgaste da porca.	6	5	1	30	D
Carcaça (voluta)	Transferir a pressão do fluido da bomba para a coluna de recalque.	Ineficiência da transformação de energia.	Redução da energia de pressão entregue ao fluido.	Corrosão/erosão e/ou trinca.	9	8	7	504	A
Junta da carcaça	Atuar na vedação da carcaça da bomba.	Não atua na vedação da carcaça da bomba.	Vazamento do fluido de trabalho.	Desgaste da junta.	6	6	1	36	D
Prisioneiros da carcaça	Fixar a carcaça ao pedestal.	Os prisioneiros não transmitem a fixação	Vazamento do fluido de trabalho, vibração	Torque insuficiente permitindo folga dos prisioneiros.	6	4	1	24	D
Porca do prisioneiro da carcaça	Junto ao prisioneiro da carcaça, fixar a carcaça ao pedestal.	Fixação ineficaz da carcaça ao pedestal.	Vazamento do fluido de trabalho, vibração excessiva.	Desgaste da porca.	6	4	1	24	D
Parafusos da base	Fixar a bomba na base.	Os parafusos da base não fixam adequadamente a bomba na base.	Vibração, ocasionando desgaste dos rolamentos, eixo e demais componentes.	Folga dos parafusos da base.	10	7	2	140	B
Porca do parafuso da base	Junto ao parafuso da base, fixar a bomba na base.	Fixação ineficaz da bomba na base.	Excessiva vibração, desgaste dos rolamentos, eixo e demais componentes.	Desgaste da porca do parafuso da base.	10	7	2	140	B

Item	Função	Modo de falha	Efeito da falha	Causa da falha	S	O	D	RPN	CRITICIDADE
Gaxeta	Vedar para prevenir vazamento do fluido, porém permitindo o gotejamento necessário para lubrificação na região de contato com o eixo.	Gotejamento além do ideal.	Excesso de vazamento do lubrificante;	Desgaste das gaxetas devido a impurezas na caixa de gaxetas.	8	8	1	64	C
		Não permite gotejamento.	Desgaste prematuro das gaxetas e do eixo.	Aperto insuficiente da sobreposta.	8	8	1	64	C
	Impedir entrada de ar e corpos estranhos para	Vedação parcial.	Deficiência no recalque do fluido.	Excesso de aperto da sobreposta	7	9	1	63	C
Anel Cadeado	Direcionar o líquido de selagem e distribuí-lo circunferencialmente aos anéis de gaxeta.	Não distribui o fluxo do lubrificante adequadamente.	Desgaste prematuro dos anéis de gaxetas e do eixo.	Orifícios do anel cadeado obstruídos, ou montagem incorreta.	7	7	1	49	D
	Vedar parcialmente e oferecer ajuste de aperto aos anéis de gaxeta.	Folga dos prisioneiros.	Vazamento do lubrificante, desgaste dos anéis de gaxetas e do eixo.	Eventual afrouxamento das porcas dos prisioneiros (da sobreposta).	7	4	1	28	D
Chaveta (Rotor)	Garantir a transmissão de torque do eixo ao rotor.	Não habilita transmissão de torque do eixo para o rotor.	A bomba não recalca o fluido.	Chaveta danificada.	9	7	3	189	B
	Garantir a transmissão de torque do eixo do motor eixo da bomba.	Não habilita transmissão de torque do eixo do motor para o eixo da bomba.	A bomba não recalca o fluido.	Chaveta danificada.	9	7	2	126	B
Conjunto defletor de água	Impedir que o fluido bombeado vaze para a caixa de selagem.	Permitir que o fluido bombeado vaze para a caixa de selagem.	Contaminação do lubrificante, e desgaste do rolamento mais próximo da caixa de selagem.	Anel "O" danificado/desgastado.	4	4	4	64	C
	Proteger a carcaça contra desgastes excessivos.	Proteção ineficaz da carcaça.	Desgaste da carcaça e possivelmente do rotor.	Desgaste prematuro da placa de desgaste.	5	6	3	90	C
Bujão do Dreno	Drenar o lubrificante acumulado na bandeja.	Não permite a retenção do lubrificante na	Vazamento do lubrificante acumulado.	Danos no bujão.	1	3	1	3	D

APÊNDICE C – Resultado completo do Plano de Manutenção.

PLANO DE MANUTENÇÃO						
BOMBA CENTRÍFUGA		ELABORADO POR: GUSTAVO RIBEIRO OLIVEIRA			DATA: Jun/2022	
ENGENHARIA DE MANUTENÇÃO		REVISÃO 01			VALIDADE: Jun/2025	
ITEM	ATIVIDADE DE MANUTENÇÃO	PARÂMETRO DE ACEITAÇÃO	CONDIÇÃO	TIPO DE MANUTENÇÃO	RESPONSÁVEL	PERIODICIDADE
Rotor	Verificar integridade física da superfície	O material não deve apresentar aspecto esponjoso, rendilhado, corroido, ranhuras e	Parado	Preventiva	Mecânico	Bienal
Porca (Rotor)	Verificar integridade física	Sem sinais de desgaste/corrosão dos filetes da rosca	Parado	Preventiva	Mecânico	Bienal
Arruela (Rotor)	Verificar integridade física	Sem deformações	Parado	Preventiva	Mecânico	Bienal
Eixo	Verificar integridade física	Eixo íntegro, sem sinais de trincas, marcações, corrosão ou quaisquer outras	Parado	Preventiva	Mecânico	Bienal
	Verificar se há folgas no acoplamento	Sem folga excessiva	Parado	Preventiva	Mecânico	Bienal
Tampa da caixa de mancal	Inspeção por líquido penetrante	Sem identificação de trincas	Parado	Preventiva	Mecânico	Bienal
	Verificar se há vazamento do lubrificante	Sem vazamentos	Em operação	Rotina	Operador	Diário
Junta (tampa da caixa de mancal)	Verificar se a superfície da tampa da caixa de mancal se encontra limpa	Superfície da tampa da caixa de mancal livre de partículas estranhas/sujidade.	Em operação	Rotina	Operador	Diário
	Verificar integridade física	Junta em boas condições de trabalho	Parado	Preventiva	Mecânico	Mensal
Rolamentos	Conferir a excentricidade entre os rolamentos e o eixo	Com excentricidade entre os rolamentos e o eixo	Parado	Preventiva	Mecânico	Bienal
	Verificar integridade física	Rolamentos íntegros, sem marcações, desgastes/trincas	Parado	Preventiva	Mecânico	Bienal
Cavalete suporte	Análise de vibração	Valor RMS da velocidade de vibração (mm/s) = 1,2 a 3	Em operação	Preditiva	Terceiro	Mensal
	Verificar nível de óleo	Nível de óleo entre os pontos de mínimo e máximo indicado no visor de óleo	Em operação	Preventiva	Mecânico	Semanal
	Análise de óleo	Sem contaminação	Em operação	Preditiva	Terceiro	Mensal

ITEM	ATIVIDADE DE MANUTENÇÃO	PARÂMETRO DE ACEITAÇÃO	CONDIÇÃO	TIPO DE MANUTENÇÃO	RESPONSÁVEL	PERIODICIDADE
Parafuso (Tampa do mancal)	Verificar integridade física	Sem sinais de desgaste/corrosão	Em operação	Rotina	Operador	Diário
	Verificar fixação	Sem movimentação	Em operação	Rotina	Operador	Diário
Porca (parafuso da tampa do mancal)	Verificar integridade física	Sem sinais de desgaste/corrosão dos filetes da rosca	Em operação	Rotina	Operador	Diário
	Verificar fixação	Sem movimentação	Em operação	Rotina	Operador	Diário
Carcaça/voluta	Verificar integridade física	Superfície da carcaça não deve apresentar aparência lisa e sulcos rasos na direção do escoamento do fluido.	Parado	Preventiva	Mecânico	Bienal
	Verificar se há vibração excessiva	Sem vibração excessiva	Em operação	Rotina	Operador	Diário
	Verificar se há ruído anormal	Sem ruído anormal	Em operação	Rotina	Operador	Diário
	Inspeção por líquido penetrante	Sem identificação de trincas	Parado	Preventiva	Mecânico	Bienal
Junta da carcaça	Análise de temperatura	Temperatura máxima de 80°C	Em operação	Preditiva	Mecânico	Mensal
	Verificar a integridade física	Junta em boas condições de trabalho	Parado	Preventiva	Mecânico	Mensal
Parafusos da base	Verificar integridade física	Sem sinais de desgaste/corrosão	Em operação	Rotina	Operador	Diário
	Verificar fixação	Sem movimentação	Em operação	Rotina	Operador	Diário
Porca (parafuso da base)	Verificar integridade física	Sem sinais de desgaste/corrosão dos filetes da rosca	Em operação	Rotina	Operador	Diário
	Verificar fixação	Sem movimentação	Em operação	Rotina	Operador	Diário
Gaxeta	Verificar o fluxo de fluido que goteja	Gotejamento de 45 à 60 gotas por minuto	Em operação	Rotina	Operador	Diário
	Verificar a integridade física dos anéis de gaxetas	Sem cortes, amassamento ou qualquer outra anomalia	Parado	Preventiva	Mecânico	Mensal

ITEM	ATIVIDADE DE MANUTENÇÃO	PARÂMETRO DE ACEITAÇÃO	CONDIÇÃO	TIPO DE MANUTENÇÃO	RESPONSÁVEL	PERIODICIDADE
Selo Mecânico	Verificar integridade física de todo o conjunto do selo	Conjunto íntegro, sem deformação ou quaisquer outros danos.	Em operação	Rotina	Mecânico	Mensal
	Verificar se há vazamentos	Sem vazamentos aparentes	Parado	Preventiva	Mecânico	Mensal
Anel Cadeado	Verificar a integridade física do anel cadeado	Sem sinais de trincas	Parado	Preventiva	Mecânico	Mensal
	Verificar se os orifícios do anel cadeado estão obstruídos	Orifícios do anel cadeado sem obstrução	Parado	Preventiva	Mecânico	Mensal
Sobreposta	Verificar integridade física da sobreposta	Sem desgaste	Em operação	Rotina	Mecânico	Semanal
	Verificar fixação	Ajustada com os prisioneiros, garantindo o gotejamento ideal	Em operação	Rotina	Mecânico	Semanal
	Verificar integridade física dos prisioneiros	Sem sinais de desgaste/corrosão	Em operação	Rotina	Mecânico	Semanal
Chaveta (Rotor)	Verificar condição do rasgo da chaveta	Rasgo da chaveta íntegro, sem deformações	Parado	Preventiva	Mecânico	Bienal
	Verificar integridade física da chaveta	Chaveta íntegra, sem sinais de trincas ou deformações	Parado	Preventiva	Mecânico	Bienal
Chaveta (Acoplamento)	Verificar condição do rasgo da chaveta	Rasgo da chaveta íntegro, sem deformações	Parado	Preventiva	Mecânico	Mensal
	Verificar integridade física da chaveta	Chaveta íntegra, sem sinais de trincas ou deformações	Parado	Preventiva	Mecânico	Mensal
Conjunto defletor de água "O"	Verificar a integridade física do anel	Íntegro, sem deformações	Parado	Preventiva	Mecânico	Mensal
Anéis de desgaste	Verificar integridade física	Sem desgaste excessivo	Parado	Preventiva	Mecânico	Bienal
Bujão do Dreno	Verificar se há vazamento do líquido acumulado da bandeja	Sem vazamentos	Em operação	Rotina	Operador	Diário
	Verificar integridade física do bujão de dreno	Íntegro, sem desgaste ou qualquer outra anomalia	Em operação	Rotina	Operador	Diário