

Faculdade Evangélica de Goianésia - FACEG
Curso de Engenharia Mecânica

FELIPE DUARTE FARIA
JOÃO DE DEUS VIEIRA CARRILHO

**PROCESSO DE MELHORIA REALIZADO NO LABORATÓRIO QUÍMICO DE
EXTRAÇÃO MINERAL BASEADO NA MANUTENÇÃO CENTRADA EM
CONFIABILIDADE UTILIZANDO O *SOFTWARE* ORIEN**

Publicação Nº 10

Goianésia - GO
2023

**FELIPE DUARTE FARIA
JOÃO DE DEUS VIEIRA CARRILHO**

**PROCESSO DE MELHORIA REALIZADO NO LABORATÓRIO QUÍMICO DE
EXTRAÇÃO MINERAL BASEADO NA MANUTENÇÃO CENTRADA EM
CONFIABILIDADE UTILIZANDO O *SOFTWARE* ORIEN**

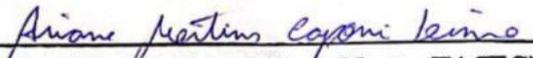
Publicação Nº 10

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO, EM FORMA DE ARTIGO,
SUBMETIDO AO CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA DA FACEG**

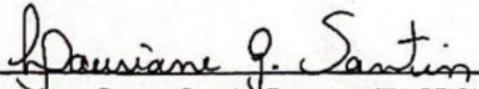
Aprovados por:



**Alessandro Moraes Martins, Mestre (FACEG)
(ORIENTADOR)**



**Ariane Martins Caponi Lima, Mestre (FACEG)
(EXAMINADOR INTERNO)**



**Lauriane Gomes Santin, Doutora (FACEG)
(EXAMINADOR INTERNO)**

**Golanésia - GO
2023**

FICHA CATALOGRÁFICA

FELIPE DUARTE FARIA
JOÃO DE DEUS VIEIRA CARRILHO

Processo de melhoria realizado no laboratório químico de extração mineral baseado na manutenção centrada em confiabilidade utilizando o *software* Orien (ENM/FACEG, Bacharel, Engenharia Mecânica, 2023).

ARTIGO – FACEG – FACULDADE EVANGÉLICA DE GOIANÉSIA

Curso de Engenharia Mecânica.

- | | |
|---------------|------------------------|
| 1. MCC | 2. Plano de manutenção |
| 3. Manutenção | 4. Laboratório |
| I. ENM/FACEG | II. Título (Série) |

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

FARIA, F. D. CARRILHO, J. D. V. Processo de melhoria realizado no laboratório químico de extração mineral baseado na manutenção centrada na confiabilidade utilizando o *software* Orien, Publicação 10 2023/1 Curso de Engenharia Mecânica, Faculdade Evangélica de Goianésia - FACEG, Goianésia, GO, 26p. 2023.

CESSÃO DE DIREITOS

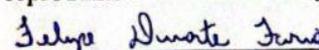
NOME DO AUTOR: Felipe Duarte Faria, João de Deus Vieira Carrilho

TÍTULO DO TRABALHO DO ARTIGO: Processo de melhoria realizado no laboratório químico de extração mineral baseado na manutenção centrada na confiabilidade utilizando o *software* Orien.

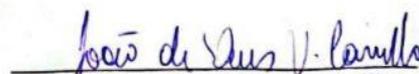
GRAU: Bacharel em Engenharia Mecânica

ANO: 2023

É concedida à Faculdade Evangélica de Goianésia - FACEG a permissão para reproduzir cópias deste TCC e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.



Felipe Duarte Faria
Rua 47 - Santa Clara
76380-272 - Goianésia/GO - Brasil



João de Deus Vieira Carrilho
Rua 28 - Carrilho
76385-190 - Goianésia/GO - Brasil

PROCESSO DE MELHORIA REALIZADO NO LABORATÓRIO QUÍMICO DE EXTRAÇÃO MINERAL BASEADO NA MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE UTILIZANDO O *SOFTWARE* ORIEN

Felipe Duarte Faria¹
João de Deus Vieira Carrilho²
M.E Alessandro Morais Martins³

RESUMO

Com mercados cada vez mais competitivos, exigências que antes não eram mantidas em destaque, como a qualidade nos sistemas de produção, hoje são requisitos básicos para a permanência no mundo dos negócios (KARDEC; NASCIF, 2009). Este artigo faz um estudo da Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) e apresenta um processo de melhoria em um laboratório químico de extração mineral. Neste estudo, serão aplicados os princípios da MCC para identificar as falhas mais críticas do laboratório químico e propor estratégias de manutenção que visam melhorar sua confiabilidade e desempenho. Ao final, os resultados alcançados foram a redução de paradas não programadas, o aumento da vida útil do laboratório e a melhoria geral na vida útil dos ativos.

Palavras-chave: manutenção; plano de manutenção; laboratório Químico.

¹ Discente do curso de Engenharia Mecânica da FACEG. E-mail: jdvcarriho@gmail.com

² Discente do curso de Engenharia Mecânica da FACEG. E-mail: felipefaria03@outlook.com

³ Mestre, professor do curso de Engenharia Mecânica da FACEG. E-mail: alessandromartins@docente.evangelicagoianesia.edu.br

1. INTRODUÇÃO

A busca por uma planta industrial produtiva depende diretamente da disponibilidade dos seus equipamentos, por isso a maioria das empresas busca a implantação de estratégias de manutenção visando o aumento da confiabilidade dos seus recursos. Organizações reconhecem que os seus ativos são recursos estratégicos essenciais. Percebe-se que sua viabilidade depende da qualidade competitiva de seus ativos para atingir seus objetivos. Empresas precisam identificar e avaliar seus conhecimentos, além de gerenciar recursos de forma eficaz para alcançar e manter o alto desempenho (DUARTE *et al.*, 2014).

Para Nóbrega (2011), a manutenção é uma ferramenta poderosa para o desenvolvimento de estratégias de monitoramento e manutenção na conservação de ativos industriais. Sendo assim a otimização dos recursos por meio da padronização e com foco nas melhores práticas utilizando padrões mundiais torna-se uma forma interessante de atingir os objetivos da empresa.

A equipe de manutenção está diretamente envolvida na lucratividade da empresa, pois mantém os ativos em boas condições. Portanto, a manutenção pode ser considerada uma função estratégica, pois agrega valor ao produto. Busca-se reduzir as chances de falhas dos equipamentos, aumentando a confiabilidade. Além disso, o patrimônio não deve ser considerado apenas como fonte de renda, mas como um recurso que pode ser controlado e explorado, pois seu mau uso pode gerar prejuízos econômicos, riscos às pessoas, ao meio ambiente, ao patrimônio e à imagem corporativa da empresa (NÓBREGA, 2011).

Viana (2002), explicou que uma abordagem de manutenção centrada na confiabilidade visa estudar os modos de falhas de um determinado componente e, assim, implementar as ações preventivas relevantes a serem tomadas. A manutenção centrada em confiabilidade fornece a base para programas de manutenção que visam à redução dos gastos com reparos, particularmente a manutenção preventiva, aumentando a disponibilidade da planta, fornecendo uma base sistemática para o processo de melhoria contínua, segurança e proteção do meio ambiente.

Segundo Marcorin e Lima (2003), à importância dos equipamentos de laboratório em diversos processos dentro de uma planta industrial, as manutenções corretivas podem se tornar comuns, assim os custos de manutenção podem aumentar e isso pode ser reduzido através da implementação de um plano baseado em manutenção de acordo com a metodologia MCC, reduzindo significativamente o tempo de máquina parada e gastos não planejados.

Marcorin e Lima (2003), disseram que a falta de planejamento de manutenção aumenta os custos da empresa como mão de obra, peças de reposição, dentre outros custos. O aumento é significativo devido aos custos de produção, como por exemplo, com equipamentos de manutenção, falta de disponibilidade de recursos, má qualidade e retrabalho.

Benini e Santos (2021), usam a metodologia Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC), para analisar uma embaladora a vácuo em uma linha de produção de alimentos. Foram recolhidos dados através da máquina e das suas avarias, incluindo as causas e efeitos identificados. Em seguida, eles consideraram as tarefas de manutenção relevantes para determinar se o método MCC melhorou a confiabilidade e a economia da máquina. Suas descobertas afirmam que o método é ótimo para aumentar a lucratividade e reduzir custos de maneira eficiente, o que é muito benéfico para a empresa.

1.1 JUSTIFICATIVA

A indústria de extração mineral é vital para diversos setores econômicos, e o laboratório químico desempenha um papel fundamental na análise e controle de qualidade dos minerais, portanto, é de suma importância garantir que os ativos responsáveis pelo processamento das análises não falhem, que os mesmos possam desempenhar suas funções com êxito. Sendo assim, este estudo é justificado pela importância da manutenção preventiva em equipamentos industriais, para o aumento da vida útil dos mesmos, possibilitando o tempo ótimo de manutenção, gerando benefícios a produção.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Implementar estratégias de manutenção centrada no método Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC), no laboratório químico de uma mineradora no estado de Goiás, por meio de análises de falhas de ativos desenvolvendo planos de manutenção a fim de aumentar a vida útil dos equipamentos.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Implementação dos planos de manutenção, baseado na MCC, nos equipamentos do laboratório;
- Reduzir falhas nos ativos aumentando a vida útil;
- Comparar o antes e depois com o processo de melhoria dos planos de manutenção.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 MANUTENÇÃO

Banco Filho (2005), diz que a finalidade da manutenção é definir metas e objetivos por meio de procedimentos e especificações de trabalho para melhor aproveitamento de pessoas, máquinas e materiais de uma organização.

Slack, Chambers e Johnston (2009), definem a manutenção como a forma que as organizações mantém suas instalações físicas na tentativa de evitar falhas. Nos tempos modernos, o objetivo da manutenção não é apenas consertar, nem agir antes que ocorra uma falha, mas agir de forma que a falha não ocorra enquanto o sistema estiver programado para funcionar.

A manutenção dos equipamentos das empresas desempenham um papel significativo nas operações diárias. Isso pode ser feito por meio da substituição de peças desgastadas, proteção contra danos, reparos técnicos e tarefas administrativas, como supervisão do processo. Ao trabalharem em equipe, essas ações garantem que os equipamentos continuem operando com desempenho ideal (SOUSA, 2018).

Para Kardec e Nascif (2002), um conceito moderno de manutenção pode ser definido como: "garantir a disponibilidade de equipamentos e funções do dispositivo para atender o processo produtivo, com confiabilidade, segurança, proteção ambiental e custo adequado". Com o novo desafios impostos pela globalização, alta competitividade e alta velocidade de mudança torna a manutenção uma das principais atividades para o processo ser produtivo, exigindo ser ágil e antecipar problemas futuros.

Kardec e Nascif (2002), discorrem de comparações entre times de manutenção de brigada de incêndio: em caso de emergência a brigada teve que se movimentar rapidamente, mas a principal atividade da brigada, a partir de então, foi prevenir novos incêndios.

Kardec e Nascif (2002), sobre técnicas de manutenção diz que atualmente existem 6 tipos básicos de manutenção definidos, que são: corretiva, preventiva, preditiva, detectiva, proativa e corretiva planejada.

2.2 TIPOS DE MANUTENÇÃO

2.2.1 Manutenção Corretiva

Segundo Kardec e NASCIF (2002), a manutenção corretiva é a correção de erros aleatórios. Caracteriza-se pela atuação de realizar manutenção em eventos que já ocorreram, seja uma falha ou desempenho inferior abaixo da expectativa.

Para Pinto e Xavier (1999 apud JUNIOR, 2006), esse tipo manutenção ocorre depois que um equipamento falha ou degrada sem tempo para preparar para o serviço. Falhas aleatórias podem ter consequências bastante graves para equipamentos, ou seja, o grau de dano pode ser bem maior quando uma empresa tem como principal manutenção, a manutenção corretiva (KARDEC; NASCIF, 2002).

2.2.2 Manutenção Preventiva

Pereira (2009), a manutenção preventiva é executada em intervalos pré-determinados ou de acordo com padrões prescritos, com o objetivo de diminuir a probabilidade de falhas ou degradação no funcionamento do ativo.

Pinto e Xavier (1999 apud JUNIOR, 2006), declaram que, ao contrário da manutenção corretiva, a manutenção preventiva visa evitar a falha do equipamento. Essa manutenção é realizada em equipamentos não defeituosos, ou seja, que operam em condições perfeitas.

A manutenção preventiva por oportunidade utiliza-se do seguinte pensamento: "se as máquinas estão paradas, anteciparemos e realizaremos a manutenção do sistema". Tarefas realizadas com resultado do planejamento de inspeções e monitoramento preditivo deve ser classificadas como manutenção preventiva (FILHO, 2005).

2.2.3 Manutenção Preditiva

Manutenção preditiva são parâmetros de monitoramento do desempenho de máquinas e equipamentos no qual se projeta e define o momento correto de intervenção para maximizar a utilização de ativos (OTANI e MACHADO, 2008).

Seguindo o mesmo conceito, Pereira (2009), diz que a manutenção preditiva permite garantir a qualidade do serviço, com base na aplicação sistêmica de técnicas analíticas, utilizando meios de monitoramento ou amostragem para minimizar ou prevenir a manutenção corretiva (PEREIRA, 2009).

Filho (2005), também sugere que as intervenções de manutenção preditiva são a detecção precoce de sintomas de mau funcionamento. Bons instrumentos, programas de computadores e treinamento de pessoal faz com que a manutenção preditiva seja uma das formas mais baratas e seguras de fazer manutenção.

2.2.4 Manutenção Detectiva

A manutenção detectiva é uma prática realizada em sistemas de proteção ou controle, com o propósito de identificar falhas ocultas ou que não podem ser detectadas pelo pessoal de operação e manutenção. Um exemplo comum é o circuito responsável pelo acionamento de um gerador em um hospital. Caso ocorra uma falta de energia e o circuito esteja com algum defeito, o gerador não será acionado. Com o crescente uso de sistemas automatizados nas operações, garantir a confiabilidade desses sistemas torna-se um fator de extrema importância (XAVIER, 2001).

Segundo o autor SOUZA (2008), “O termo manutenção detectiva é derivado da palavra 'detecção' e é referenciado desde a década de 90. Essa manutenção intervém nos sistemas de proteção para detectar falhas ocultas que não são percebidas pelo operador”.

2.2.5 Manutenção Proativa

A manutenção proativa envolve “a identificação sistemática e a eliminação de problemas potenciais relacionados a todos os aspectos de confiabilidade, disponibilidade e sustentabilidade” (HANSEN, 2002). Segundo Kardec e Nascif (2002), a manutenção é estratégica e requer foco nos resultados do negócio da organização.

2.2.6 Manutenção Corretiva Planejada

A manutenção corretiva planejada ocorre durante a preparação para a manutenção. É uma correção feita como resultado de um monitoramento preditivo, detectivo ou mesmo uma decisão gerencial que foi executada até que a falha ocorra. "Planejar em seu próprio nome", sugerindo que tudo é planejado, muitas vezes é mais barato, seguro e rápido (OTANI & MACHADO, 2008). Segundo Kardec & Nascif (2009), a adoção de tal política de manutenção corretiva planejada pode advir de diversos fatores, a saber: possibilidade de conciliar necessidades de intervenção com benefícios de produção, questões relacionadas à segurança, melhor planejamento de serviços, garantia da existência de recursos físicos (peças de reposição, equipamentos, ferramentas) e recursos humanos com habilidades para realizar serviços de manutenção podem ser adquiridos fora da empresa.

2.3 MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE (MCC)

A Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC), refere-se a uma abordagem para garantir que todos os componentes de um ativo ou sistema operacional estejam em conformidade, garantindo a usabilidade contínua, com qualidade e segurança. Em vez de substituir as abordagens tradicionais de manutenção, como preventiva, preditiva ou corretiva, o MCC serve como complemento, o que facilita a gestão do ativo (PEREIRA, 2009)

Rigoni (2009), diz que o MCC é um método que analisa a funcionalidade do sistema e os modos de falha e, em seguida, identifica as tarefas de manutenção mais adequadas com base em critérios de prioridade baseados em fatores econômicos, ambientais, operacionais e de segurança.

Pereira (2009), resume a prática MCC em:

- Focar nos pontos críticos dos equipamentos, com tarefas mais eficazes, reduzindo a manutenção preventiva;
- Reduzir as ocorrências de falhas, utilizando o método de análise de falhas;
- Utilizar a manutenção preventiva substituindo componentes;
- Utilizar de reformas grandes nos ativos somente em grandes paradas, mantendo os equipamentos com custos mínimos enquanto executa suas funções;
- Uso do método de Modo de Falha e Análise de Efeitos (FMEA).

Para Siqueira (2005), os objetivos do MCC incluem proteger a funcionalidade do ativo, restaurar a confiabilidade e a segurança após danos, otimizar a disponibilidade e reduzir os custos do ciclo de vida e executar exclusivamente as tarefas necessárias de acordo com o modo de operação.

2.4 METODOLOGIA FMEA

Para Matos e Milan (2009), FMEA do inglês *Failure Mode and Effect Analysis* que significa “modo de falha e análise de efeitos” e é usado para identificar e eliminar quaisquer problemas potenciais que possam surgir de um produto. A metodologia identifica e hierarquiza falhas, destacando a causa, possibilitando sanar problemas encontrados. Para Stamatis (1995), a utilização do FMEA serve para melhorar a qualidade e segurança de produtos e serviços, melhorar a imagem da empresa com competitividade, ajudar a aumentar a satisfação do cliente, reduzir custos e desenvolvimento de produtos e auxiliar no processo de diagnóstico e estabelecendo priorização de ações corretivas.

2.5 ENGENHARIA DE MANUTENÇÃO

Kardec e Nascif (2002), diz que a engenharia de manutenção deve ser praticada, significando uma mudança na cultura. É parar de reparar com frequência, alterar o baixo desempenho, parar de trabalhar com problemas de longa data, melhorar padrões e sistemas, desenvolver a manutenibilidade, fornecendo feedback ao projeto e interferir tecnicamente na aquisições de novos produtos.

Segundo Fabro (2003 apud JUNIOR, 2006), quando uma empresa começa a praticar a engenharia de manutenção deve-se investigar as causas de interrupções, modificar casos crônicos de falhas e melhorar sistemas, afim de garantir maior disponibilidade para a indústria, usando técnicas a um custo aceitável. Portanto, a engenharia de manutenção é responsável por gerenciar o processo de manutenção, buscando melhorar continuamente sua eficiência.

Fabro (2003 apud JUNIOR, 2006), cita as seguintes atividades a ser utilizadas na engenharia de manutenção:

- Melhorar a relação com fornecedores;
- Melhorias na manutenção, com estudos, automação e planos de manutenção.
- Inserir treinamentos para os colaboradores;
- Apoiar as equipes de manutenção com melhores técnicas;
- Elaborar procedimentos com arquivos técnicos (documentos técnicos em geral).

3 METODOLOGIA

O escopo da implantação da manutenção centrada em confiabilidade do laboratório químico, teve como objetivo melhorias nos processos de manutenção do laboratório, com os propósitos de definir hierarquias, grupos de trabalho, sobressalentes, gerenciar custos, padronizar e criar planos de manutenção de acordo com o modelo operacional da empresa. O trabalho se baseia no ATD do inglês *Asset Tactics Development*, que é o desenvolvimento de táticas de manutenção. Dentro do ATD observa-se alguns processos os quais serão seguidos com o objetivo de atingir o êxito na implementação MCC.

O Filtro de Mangas, por se tratar de um mais robusto e com grande importância no cenário do laboratório foi o equipamento escolhido para ser detalhado nesse trabalho, a fim de mostrar as táticas desenvolvidas para melhorar o desempenho e garantir que esse ativo venha a executar com êxito as funções para o qual foi projetado.

Dentro do laboratório, o Filtro de Mangas desempenha funções essenciais. Durante o processo de extração mineral, é comum a geração de poeira e partículas sólidas no ar. O filtro de mangas é projetado especificamente para capturar essas partículas, garantindo a qualidade do ar no ambiente de trabalho e prevenindo a contaminação. Além disso, contribui para a melhoria da eficiência do processo, pois ao capturar as partículas presentes no ar, evita obstruções em tubulações e válvulas, reduzindo a necessidade de manutenção e interrupções no processo de extração mineral.

Diferentes formas de coleta são necessárias para os vários tipos de informações e dados que são essenciais para a realização deste trabalho. Para o histórico de falhas, foi consultado o software da própria empresa, responsável por toda a gestão da manutenção, desde a ordem de partida até a parada final, e o controle de paradas e quebras de máquinas. Para nortear o estudo, extraiu-se do sistema de gerenciamento de manutenção, todo o histórico até então registrado das manutenções do Filtro de Mangas.

Figura 1 – Filtro de Mangas.



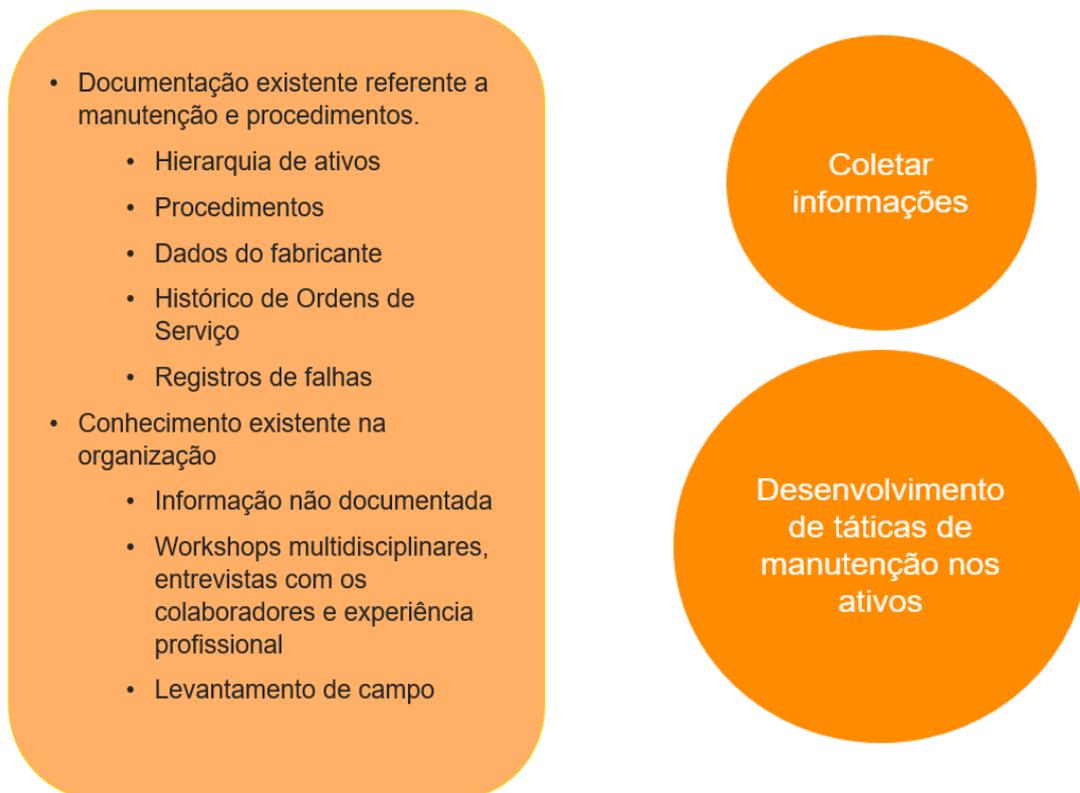
Fonte: Próprio Autor (2023)

Para o desenvolvimento de um plano de manutenção, existem etapas cruciais que devem ser seguidas cuidadosamente. Essas etapas ajudam a garantir que todas as necessidades de manutenção sejam identificadas e abordadas de maneira eficaz. Ao seguir essas etapas cruciais, as organizações podem desenvolver planos de manutenção robustos, que ajudarão a garantir a confiabilidade, disponibilidade e vida útil prolongada dos equipamentos, contribuindo para a eficiência operacional e a redução de custos a longo prazo.

A primeira delas é a coleta de informações. Nessa etapa é necessário coletar todo tipo de informação possível referente a todos os ativos presentes naquele setor, tais como:

- a) hierarquia de ativos, que se estuda o processo desde o início até o fim do local onde será implantado a melhoria de MCC;
- b) precisa-se entender os procedimentos operacionais que são adotados por normas internas da empresa, dados do fabricante, histórico de ordens de serviço.
- c) registro de falhas que diz respeito a todo histórico de operação daquele equipamento, como tempo de operação, registro de manutenções realizadas;
- d) o que falhou no equipamento, que seria qual componente quebrou, quando ocorreu, e quando foi realizada a última troca do componente do equipamento;
- e) é de suma importância realizar reuniões, bate-papos, e interações com os colaboradores da empresa, para que se entenda todo o processo e possa-se atingir o maior nível de confiabilidade possível.

Figura 2 – Método de trabalho e processo ATD - Etapas do Desenvolvimento do Trabalho.

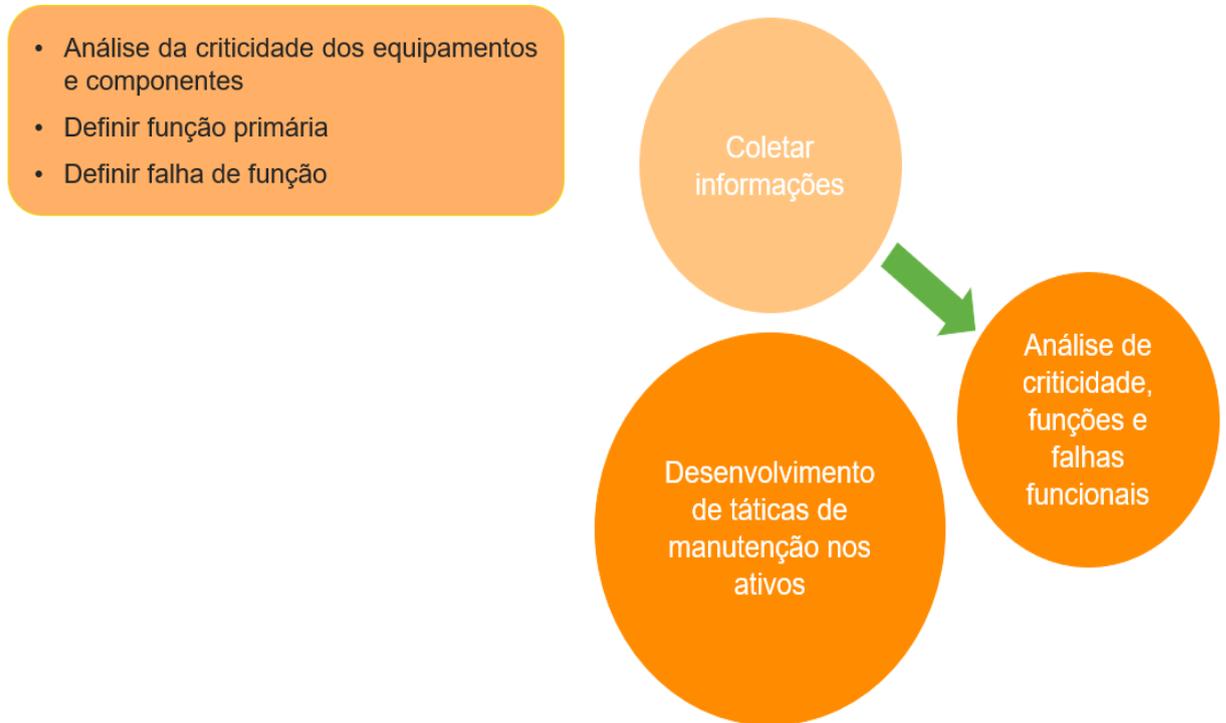


Fonte: Próprio Autor Adaptado (2023)

Na etapa 2 do fluxo de trabalho, é uma parte fundamental do projeto, nela é definida a relevância do equipamento. Essa etapa é importante porque nela será avaliada o que será colocado como prioridade, para que o equipamento não chegue ao ponto crítico que seria a paralisação. Essa etapa tem o intuito de reduzir os riscos de custos excedentes sobre mão de obra, recursos de manutenção ou falhas operacionais.

A seguir tem-se a Análise de Criticidade, como pode ser observado na Figura 3, essa análise é o processo de classificação de risco potencial dos ativos, onde através de uma abordagem sistemática, é possível avaliar o nível de criticidade de equipamentos e insumos.

Figura 3 – Método de Trabalho e Processo ATD - Análise de criticidade.



Fonte: Próprio Autor Adaptado (2023)

Seguindo o regimento da empresa e tendo em vista as normas a serem respeitadas internamente, dentro da análise de criticidade serão analisados os seguintes pontos:

- **Despesas de capital** - Avaliar quanto a quebra desse equipamento vai custar e impactará financeiramente;
- **Cronograma do projeto** - Se o equipamento falhar, quanto impactará no cronograma de manutenção da empresa;
- **Custo Operacional** - Esse equipamento impactará no custo operacional;
- **Volumes de produção** - Em caso de falha, quanto impactará na produção;
- **Receita** - Se o equipamento quebrar, quanto impactará na receita da empresa;
- **Segurança pessoal** - Se o equipamento falhar, qual seria o risco pra um colaborador que estiver no local;
- **Saúde** - Se esse equipamento falhar pode trazer danos à saúde dos colaboradores daquele local;
- **Comunidade** - Se o equipamento quebrar, terá algum impacto na comunidade local da empresa;
- **Compliance** - Se o equipamento falhar, qual o impacto dele nos negócios da empresa;
- **Reputação** - Quanto isso impactará na reputação da empresa.

Todos esses tópicos são analisados de acordo com um padrão de manutenibilidade pré-estabelecido pela empresa onde será analisado em quanto tempo esse equipamento tem probabilidade de falhar. A seguir será apresentada a escala utilizada nessa avaliação:

- A-** Quase certo (2 ou mais vezes no ano);
- B-** Provável (menos de 2 vezes no ano);
- C-** Possível (1 vez por ano);
- D-** Improvável (1 vez a cada 5 anos);
- E-** Raro (somente a cada 10 anos ou mais).

Na parte superior da matriz é indicado qual seria o o risco dessa falha para cada tópico citado acima dentro desse período.

- 1-** Menor;
- 2-** Médio;
- 3-** Grave;
- 4-** Maior;
- 5-** Catastrófico.

Todo esse esquema descrito anteriormente é também demonstrado na Figura 4 a seguir:

Figura 4 - Tabela de Análise de Criticidade.

		1 - Menor	2 - Médio	3 - Grave	4 - Maior	5 - Catastrófico
Escala utilizada para avaliar a probabilidade do equipamento falhar →	A - Quase certo	3	5	7	7	7
	B - Provavel	3	3	5	7	7
	C - Possivel	1	3	5	5	7
	D - Improvavel	1	1	3	5	5
	E - Raro	1	1	3	5	5

← Risco das falhas para cada tópico de manutenibilidade

Fonte: Orien (2023)

Na Figura 4, é apresentada uma matriz de criticidade, sendo recomendada pelo Japan Institute of Plant Maintenance (JIPM, 1995) a utilização da classificação ABC como ferramenta para avaliar a criticidade de máquinas ou sistemas em um processo industrial. É possível adicionar critérios adicionais conforme o nível de detalhamento desejado. No fluxo de análise, os responsáveis selecionam os critérios e direcionam a avaliação do sistema por meio de perguntas, inserindo o ativo nas classes críticas. Ao final da análise, a manutenção é orientada para cada sistema ou equipamento com base em sua classificação. (JIPM, 1995; SIQUEIRA, 2009)

No próximo processo será determinado os modos de falha. Nessa etapa distingue-se o item de manutenção, o mecanismo e causa da falha. O modo de falha é uma descrição ou categoria que define como um sistema, componente ou processo pode deixar de funcionar corretamente ou atender aos requisitos especificados. É uma parte fundamental da análise de falhas e engenharia de confiabilidade, que envolve identificar os diferentes modos de falha que podem ocorrer e entender as causas subjacentes. Por exemplo, no diagrama da figura 5, a causa da falha é identificada como um eixo empenado, que foi causado por uma sobrecarga. Portanto, é conduzido um estudo para prevenir que essa situação ocorra novamente.

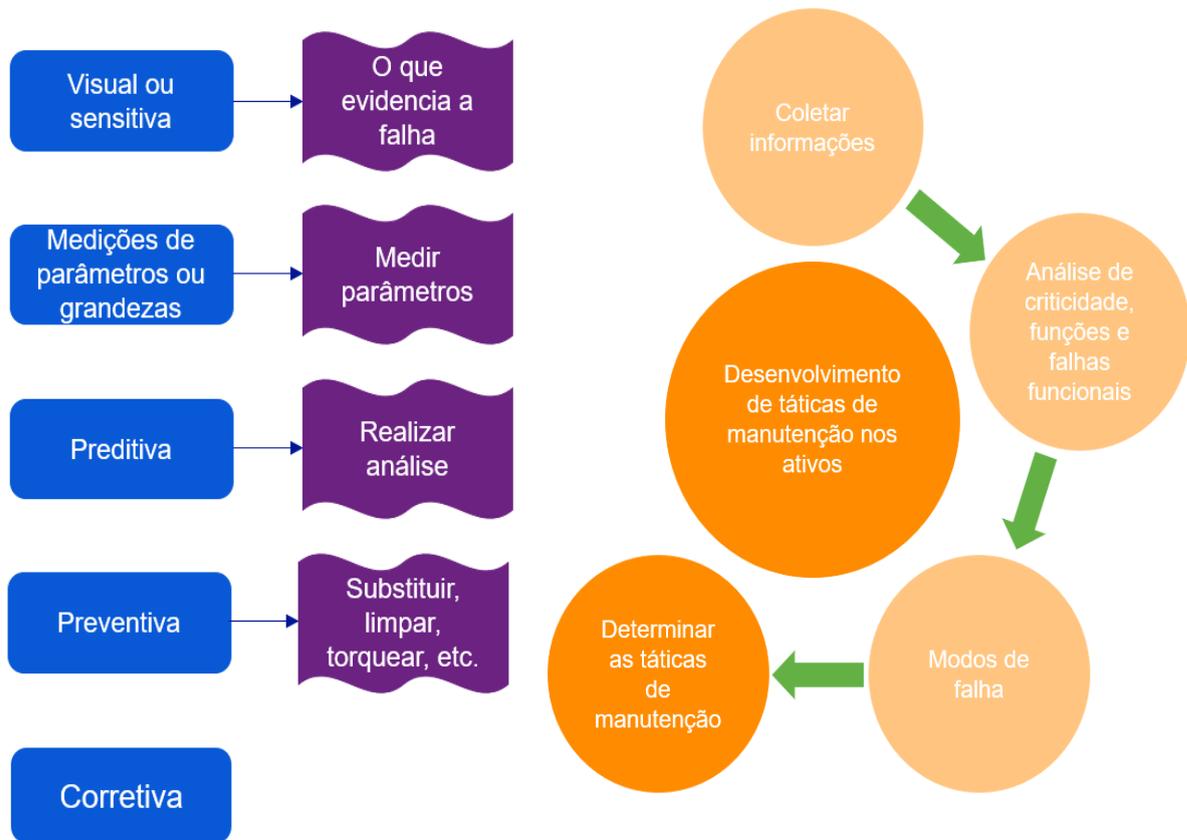
Figura 5 – Método de trabalho e processo ATD - Determinar os modos de falha.



Fonte: Próprio Autor Adaptado (2023)

A Figura 6, é definido qual tipo de manutenção será usado para determinado plano e equipamento. Na sensitiva, os técnicos utilizam seus sentidos visuais para detectar problemas aparentes, como rachaduras, vazamentos, corrosão, folgas, desalinhamentos ou qualquer outra anomalia que possa comprometer a operação ou segurança do equipamento. Seguindo para medições de parâmetros ou grandeza, tem-se a manutenção que envolve a calibração, verificação e ajuste periódicos dos instrumentos de medição para garantir que eles estejam fornecendo leituras precisas e consistentes. Já manutenção preditiva serão utilizadas técnicas e tecnologias como análise de vibração, ultrassom e outras para monitorar o estado dos equipamentos e prever possíveis falhas, antes que elas ocorram. Dessa forma, é possível evitar interrupções não planejadas e reduzir custos decorrentes de paradas inesperadas. A manutenção preventiva envolverá a substituição de componentes, a limpeza, o aperto ou torqueamento, a lubrificação e outras ações para garantir o bom funcionamento dos equipamentos.

Figura 6 – Determinar táticas de manutenção do equipamento



Fonte: Próprio Autor Adaptado (2023)

Na última etapa do método de trabalho e do processo ATD (desenvolvimento de táticas de manutenção) Será a etapa onde é definida a frequência de manutenção, duração e recursos. Essa etapa é simples, mas é de suma importância para o planejamento da manutenção e a disponibilidade do ativo no processo industrial. Por exemplo, para trocar o pneu de um carro, a cada quanto tempo é preciso para trocar? Quanto tempo gasta para trocar o pneu? Quantos pneus são necessários? Quantos profissionais são necessários para realizar a troca? Quais as ferramentas os colaboradores utilizarão etc.

Na Figura 7, é apresentada a frequência das tarefas de manutenção, estabelecendo os intervalos nos quais os planos devem ser executados. Por exemplo, uma inspeção pode ser realizada a cada 28 dias. Em seguida, é definida a duração das tarefas de manutenção, permitindo o agendamento das atividades semanais dos colaboradores de forma a garantir a conclusão de todos os planos dentro do prazo estipulado.

Figura 7 – Frequência das tarefas, duração e Recursos.



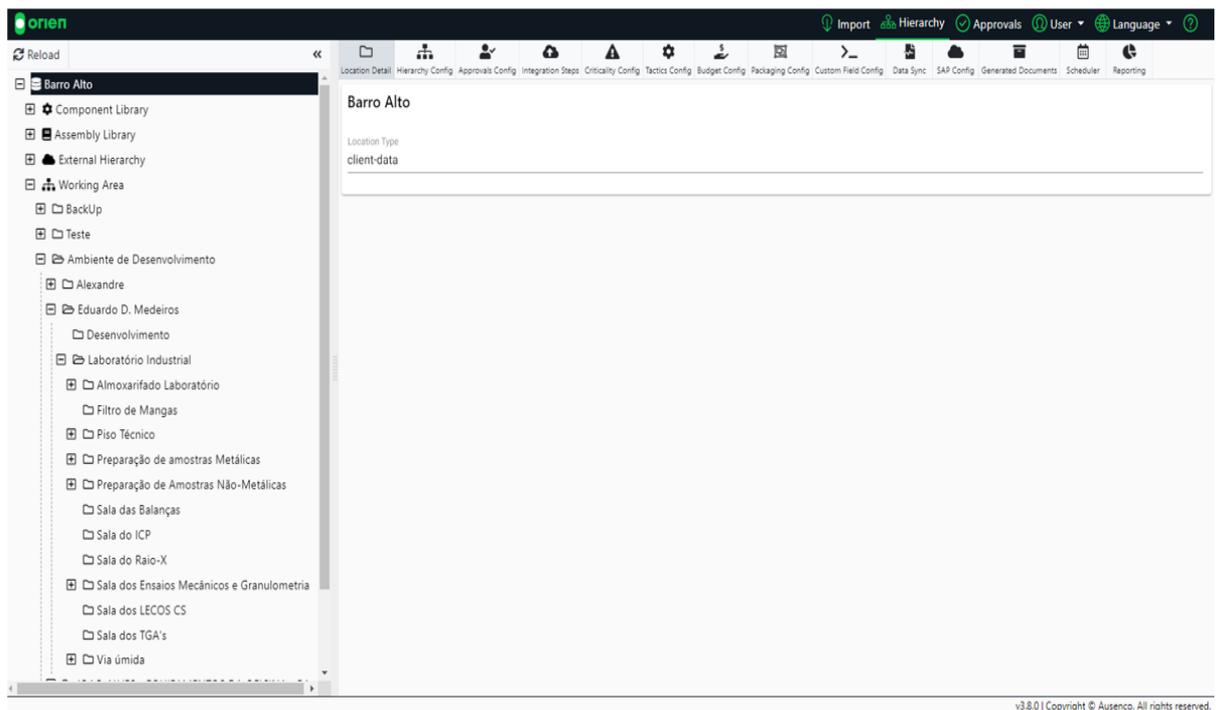
Fonte: Próprio Autor Adaptado (2023)

Uma etapa crucial é a alocação adequada da mão de obra, assegurando que cada tipo de atividade seja atribuída ao profissional com a habilidade correspondente. Por exemplo, um mecânico realiza exclusivamente serviços de mecânica, enquanto um instrumentista dedica-se unicamente a tarefas de instrumentação. Essa abordagem garante eficiência e qualidade nas intervenções.

Por fim, é necessário determinar as peças sobressalentes necessárias para evitar escassez de recursos durante a execução dos planos. Isso é fundamental para evitar atrasos nas entregas e prevenir danos aos equipamentos. Dessa forma, é possível manter a operação contínua e eficaz do sistema de manutenção.

Esse projeto foi realizado dentro da plataforma chamada Orien, que é uma plataforma desenvolvida pela Ausenco. O Orien possibilita o gerenciamento dos ativos, é um sistema em nuvem, para elaboração, controle e consolidação de estratégias e orçamentos de manutenção. Esse software possibilita que todos esses processos de MCC (Manutenção Centrada em Confiabilidade), sejam padronizados, organizados e que todas as informações criadas pelos consultores fiquem armazenados em nuvem para que nada seja perdido.

Figura 8 – Página Inicial do Orien.



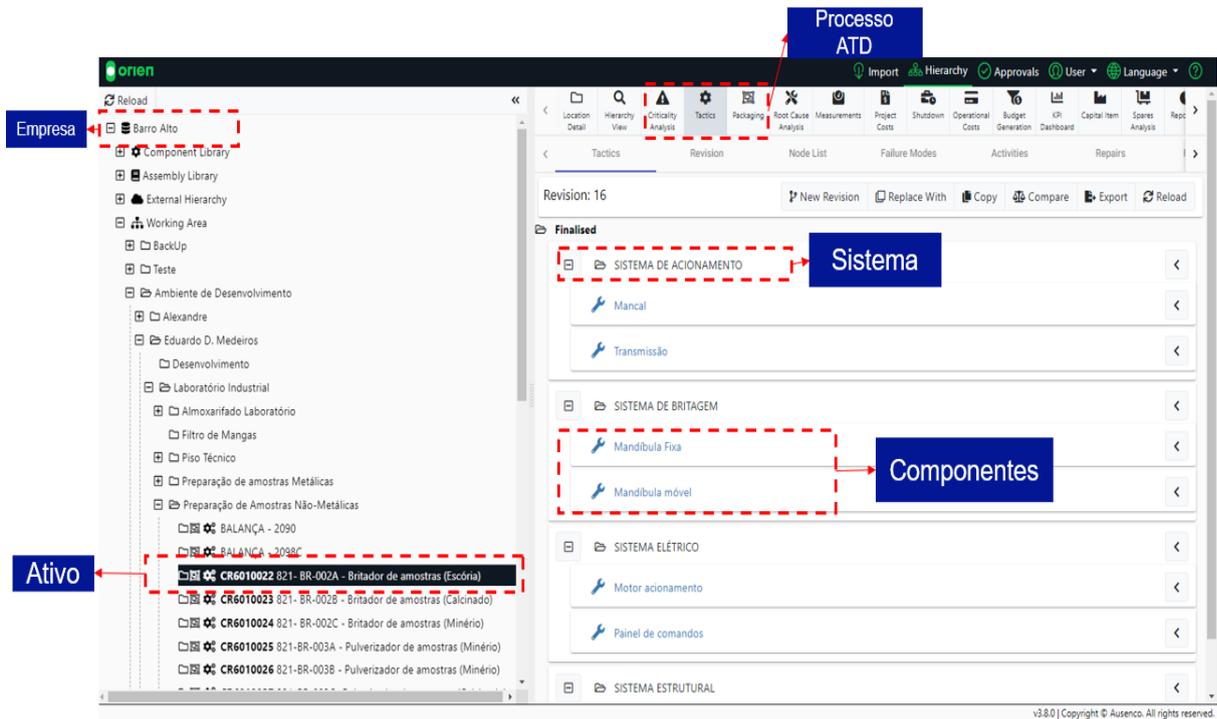
Fonte: Orien (2023)

Como um *software* de gerenciamento de ativos, o Orien permite que as empresas acompanhem e gerenciem seus ativos de forma mais eficaz ao longo do ciclo de vida, desde a aquisição até a desativação. Ele oferece recursos para rastrear e monitorar o desempenho dos ativos, planejar manutenções preventivas, programar inspeções, controlar custos, gerenciar inventários e muito mais.

O Orien permite uma visão integrada e em tempo real dos ativos, fornecendo informações valiosas para otimizar a utilização, reduzir falhas e aumentar a eficiência operacional. Ele também pode ajudar a melhorar a conformidade regulatória, minimizar riscos e estender a vida útil dos ativos.

A Figura 9 ilustra a área de desenvolvimento do Orien, que apresenta informações sobre a localização da empresa, seguida pelo ativo que representa o equipamento no qual serão elaboradas as táticas de manutenção e os planos correspondentes. Ao clicar na descrição do ativo, o processo ATD será aberto, permitindo o desenvolvimento das táticas de manutenção. Nesse processo, serão descritos o sistema de acionamento do equipamento e seus componentes associados.

Figura 9 - Área de desenvolvimento do trabalho.



Fonte: Orien (2023)

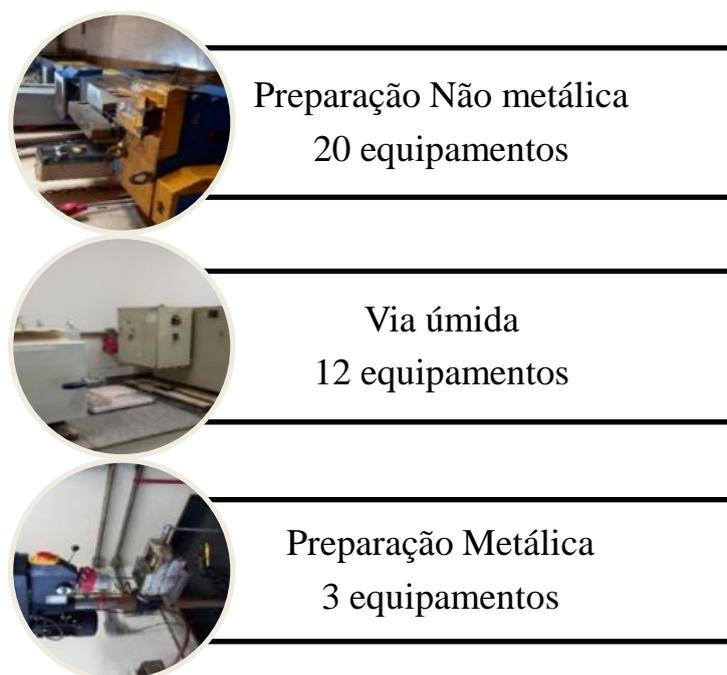
A seguir é feita a descrição geral de como o processo de gerenciamento de ativos funciona dentro do Orien.

- **Registro de ativos:** O primeiro passo é registrar todos os ativos relevantes no sistema. Isso envolve coletar informações detalhadas sobre cada ativo, como características, localização, histórico de manutenção e qualquer outra informação relevante.
- **Monitoramento e rastreamento:** O software permite o monitoramento contínuo dos ativos, geralmente por meio de sensores, dados de manutenção ou outras fontes de dados.
- **Manutenção preventiva:** Com base nos dados coletados, o software pode ajudar a programar manutenções preventivas para garantir o bom funcionamento e a vida útil dos ativos. Isso pode incluir a criação de planos de manutenção, agendamento de inspeções regulares e realização de tarefas de manutenção preventiva.
- **Gerenciamento de manutenção corretiva:** Quando ocorre uma falha ou problema com um ativo, o software pode auxiliar no gerenciamento da manutenção corretiva. Ele pode ajudar a rastrear as solicitações de serviço, atribuir tarefas às equipes de manutenção, acompanhar o progresso das atividades e registrar informações sobre as ações corretivas realizadas.
- **Análise de dados e relatórios:** O software de gerenciamento de ativos geralmente inclui recursos de análise de dados, permitindo identificar tendências, padrões e áreas de melhoria.
- **Ciclo de vida do ativo:** O software acompanha o ciclo de vida completo de cada ativo, desde a aquisição até a desativação. Ele pode fornecer informações sobre o desempenho ao longo do tempo, custos associados, histórico de manutenção, substituições e descarte adequado.

4 DISCUSSÃO E RESULTADOS

Após a coleta dos dados iniciais do problema, levantamento do maquinário para estudo e a inserção das variáveis no Orien, foi possível a construção dos planos de manutenção, aumentando significativamente a confiabilidade do laboratório. Como o laboratório possui vários equipamentos que impactam diretamente na eficiência da produção, um criterioso estudo foi necessário para identificação das causas das falhas, análise de suas causas considerando o projeto ou processo. Para elaboração do plano foram considerados 35 equipamentos, todos dispostos no laboratório, podendo ser divididos em tipos de atuação como exposto na Figura 10:

Figura 10 – Classificação dos equipamentos.



Fonte: Próprio Autor (2023)

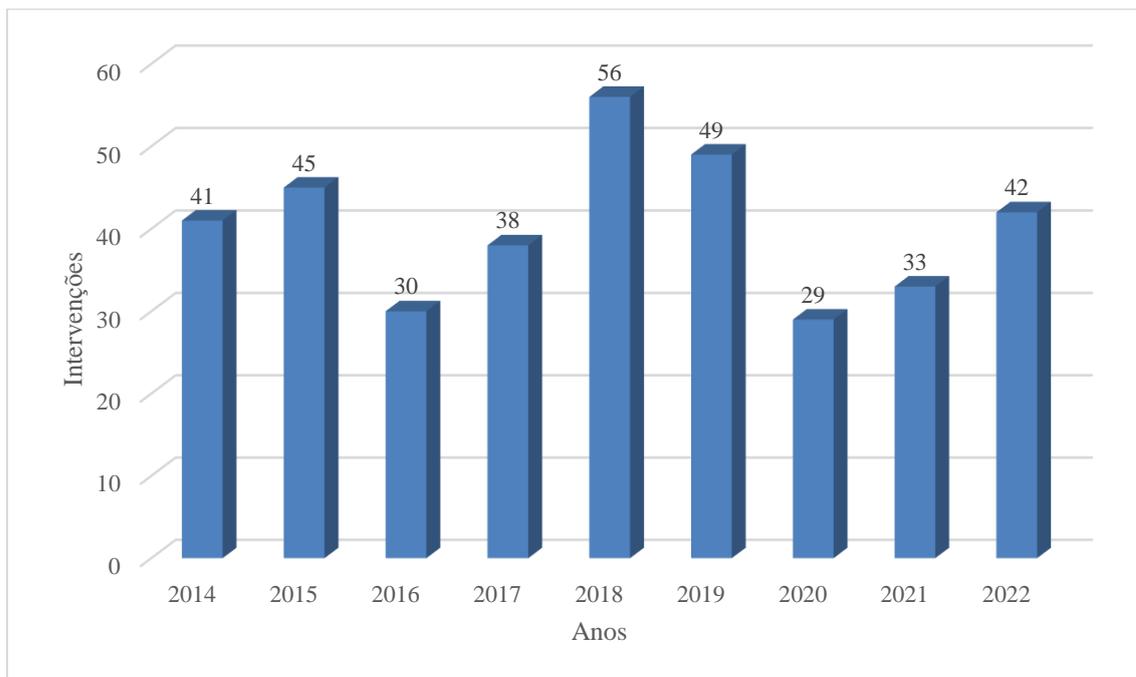
Dentro do laboratório químico de extração mineral, existem diversos equipamentos de preparação não metálica que desempenham um papel fundamental na realização dos processos de análise e caracterização das amostras minerais. Esses equipamentos são projetados para lidar com materiais não metálicos, como rochas, minerais, solos e sedimentos, e desempenham um papel crucial na obtenção de resultados precisos e confiáveis.

Na via úmida esses equipamentos são projetados para lidar com amostras minerais em meio aquoso, permitindo a separação, purificação e quantificação de diferentes componentes presentes nas amostras.

Contudo, os equipamentos da preparação metálica exerce a função de lidar com materiais metálicos, como minérios, concentrados ou ligas, permitindo a obtenção de informações valiosas sobre sua composição, estrutura e propriedades físicas e químicas.

Após coletar os dados de falhas do filtro de mangas no *software* de gestão da manutenção (SAP) da empresa, foram identificados diversas intervenções ao longo de aproximadamente nove anos. Durante esse período, conforme descrito na Figura 11 foram realizadas um total de 373 manutenções, resultando em uma média de 41 falhas por ano, o que equivale a cerca de três falhas por mês. Esses números destacam um volume significativo de falhas para um equipamento de extrema importância no laboratório, ressaltando a necessidade crucial da manutenção preventiva para reduzir esses índices de falhas no ativo.

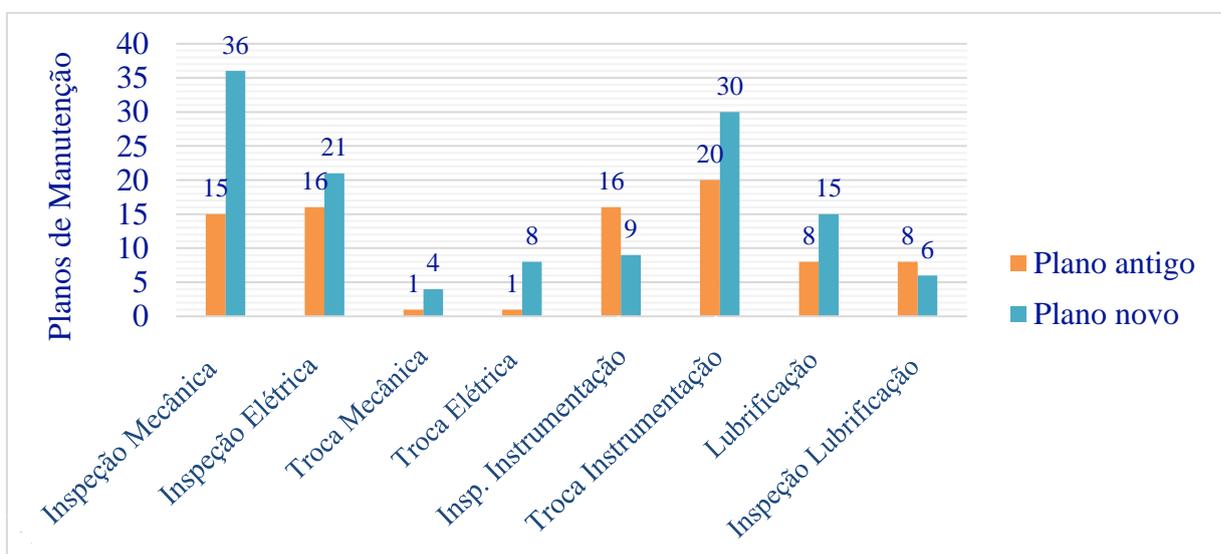
Figura 11 - Histórico de Intervenções no Filtro de Mangas Por Ano.



Fonte: Próprio Autor (2023)

O histograma abaixo, exposto pela Figura 12 demonstra a correlação entre os planos antigos com os planos novos, no que se refere aos pacotes de manutenção, evidenciando o aumento dos planos de manutenção com a implementação das táticas de manutenção, o que denota o investimento da manutenção preventiva, onde a mais chances de prevenir falhas, evitando assim uma possível quebra.

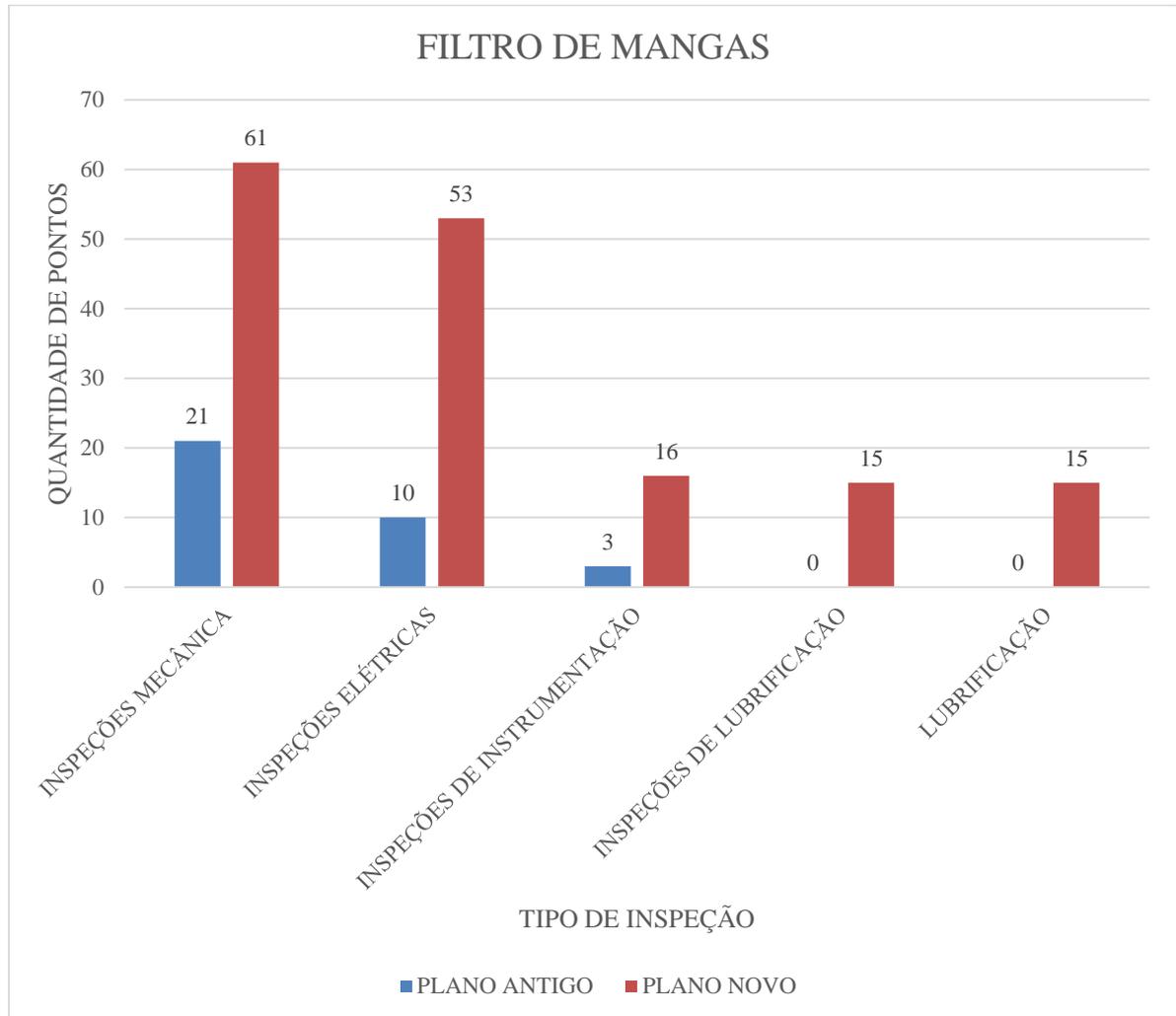
Figura 12 - Correlação Entre Os Planos Antigos Com Os Planos Novo.



Fonte: Próprio Autor (2023)

Na Figura 13, é apresentado um gráfico que ilustra as táticas desenvolvidas para comparar os resultados antes e depois da implementação dos planos de manutenção do Filtro de Mangas, em relação aos diferentes tipos de manutenção e à quantidade de pontos a serem inspecionados. Aumentar a frequência dos planos demonstra ser vantajoso, pois inspeções mais frequentes tornam mais fácil a detecção precoce de falhas.

Figura 13 – Antes e Depois dos Pontos a Serem Inspecionados no Filtro de Mangas.



Fonte: Próprio Autor (2023)

Para o histórico de falhas, foi consultado o software da própria empresa, responsável por toda a gestão da manutenção, desde a ordem de partida até a parada final, e o controle de paradas e quebras de máquinas. Com base nos modos críticos de falha definidos, foi elaborada uma proposta de plano de manutenção para a condição atual da máquina, onde foram identificadas as atividades ao longo do estudo e seus respectivos períodos conforme criticidade e classificação de risco. As medidas tomadas para garantir a confiabilidade do Filtro de Mangas visam o melhor aproveitamento da mão de obra da equipe executora e a otimização do tempo.

Para um melhor aproveitamento do plano, gere um arquivo de cadastro através do Orien, conforme mostra a Figura 14, primeira página do arquivo.

Figura 14 – Plano de Manutenção.

	336d INSP MEC FILTRO L	Documento Controlado
Locais de instalação ou equipamento a ser aplicado: FSQ004_001_7500_9815 /		

Instruções De Segurança

- Avaliação completa dos riscos pessoais (5 S, Avaliação de riscos pré-trabalho)
- Para trabalhos offline isolado como por AAMC controle de padrão de energia 
- Use equipamento de proteção individual obrigatório (EPI)     
- Cumpra as regras de ouro

 **Ferramentas Especiais**

Qty	Descrição	Tempo
-----	-----------	-------

 **Equipamentos e Serviços especiais**

Qty	Descrição	Tempo
-----	-----------	-------

Especificar condições e restrições das tarefas**Instruções de preenchimento**

- Marque o "Código de condição" (0,1, 2 ou 3) para as inspeções ou serviços executados listados abaixo.
 - 0 - Atividade não executada;
 - 1 - Atividade executada e nenhum desvio encontrado;
 - 2 - Desvio encontrado e ação corretiva imediata necessária;
 - 3 - Desvio encontrado e ação corretiva posterior necessária (Criar Nota).
- Adicione detalhes na "tabela de comentários adicionais" quando qualquer inspeção ou serviço estiver fora dos limites aceitáveis e para atividades não executadas.

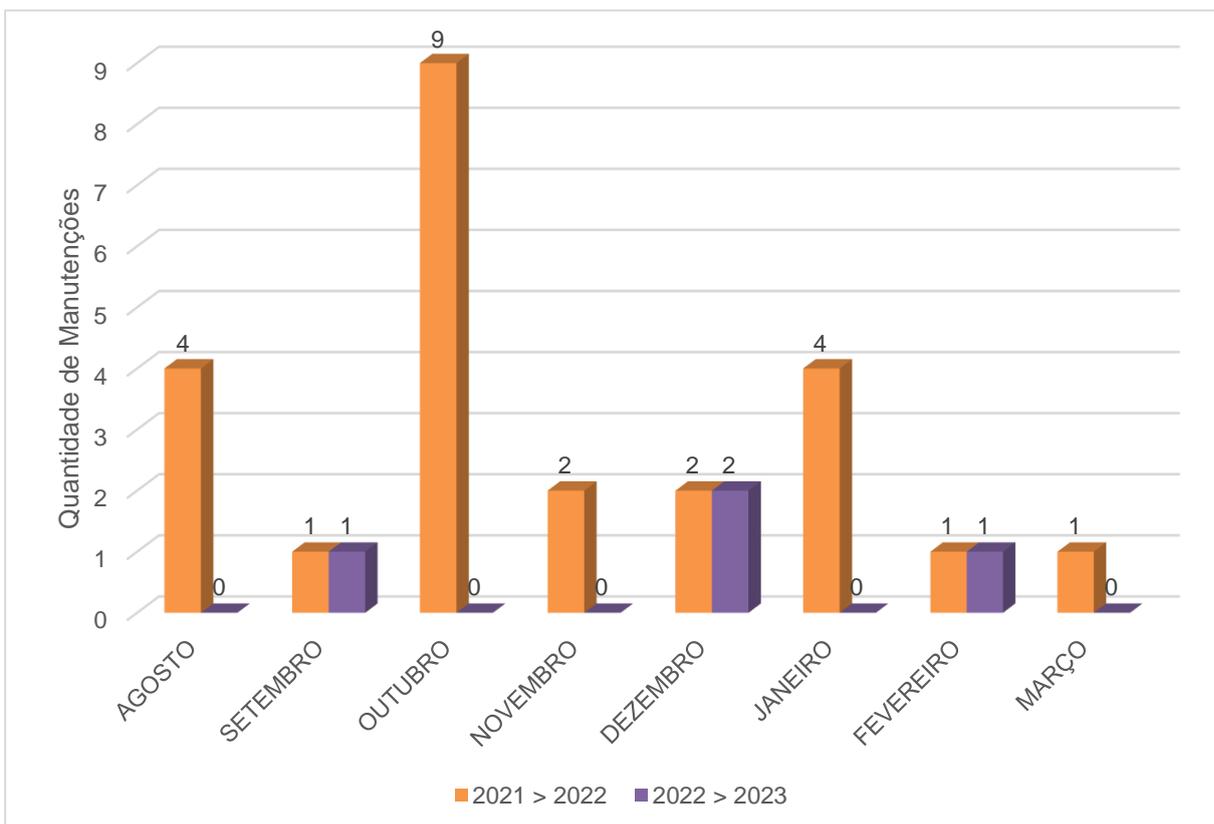
Equipamento:	541-FL-020 FILTRO DE MANGA PRIMÁRIO(DM6010014)		
541-FL-021/023/025/027/029/031/033/035-PSL-002			
Damper de entrada ()	Limites aceitáveis	Ação Corretiva (limites aceitáveis não atendidos)	Código Condição
1.1. Inspeccionar atuador por desgaste	Não deve ser observado desgaste que acarrete em passagem interna no atuador	Solicitar substituição do atuador	0 1 2 3
Pleno2 x8 ()	Limites aceitáveis	Ação Corretiva (limites aceitáveis não atendidos)	Código Condição
1.2. Inspeccionar vedações por quebra	Vedações não devem apresentar quebra	Solicitar substituição das vedações	0 1 2 3

Fonte: Próprio Autor (2023)

4.1 AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS

Considerando o Plano de Manutenção criado, realizou-se um levantamento das intervenções prestadas ao Filtro de Mangas em um período de oito meses, entre agosto de 2021 a março de 2022 e as comparou com as intervenções entre agosto de 2022 a março de 2023, para avaliar sua eficácia. A Figura 15 apresenta essas intervenções por ano, o que justifica a aplicação do Plano de Manutenção proposto.

Figura 15 - Comparativo Entre o Antes e Depois da Implementação do Plano em um Mesmo Período.



Fonte: Próprio Autor (2023)

Comprova-se, assim, a efetividade do estudo realizado, no qual foi observada uma redução de falhas no ativo destacado na Figura 15. Especificamente no mês de outubro, nota-se uma diminuição de 83,4% do número de falhas no período de 2022/2023 em relação ao período de 2021/2022, evidenciando a eficácia do uso de táticas de manutenção para o desenvolvimento de planos de manutenção, com a melhoria no âmbito dos planos, a tendência é que esse número melhore constantemente.

A efetividade da implementação do sistema de manutenção preventiva tornou-se evidente a partir da elaboração dos planos de manutenção e da organização do calendário das atividades. O controle das tarefas foi realizado por meio do sistema SAP, permitindo a extração de todos os dados relacionados às falhas, observando-se uma redução significativa em comparação ao ano anterior, quando a manutenção preventiva não era priorizada.

Como resultado, obteve-se diminuição nas intervenções em todo período monitorado como mostra a Figura 15, separado mês a mês. Com a aprimoramento contínuo dos planos, no decorrer das detecções de novas falhas e tratamento das mesmas, a tendência é que esses números diminuam.

5 CONCLUSÃO

Na atual situação de mercado altamente competitivo para empresas globais, é sempre importante buscar métodos de gestão que possam tornar as empresas mais atraentes e competitivas no mercado global. A gestão da manutenção sofreu mudanças conceituais significativas ao longo dos últimos anos e mudou os objetivos da atividade, do conceito de reparar falhas para evitar que elas aconteçam. Gerenciar a confiabilidade dos equipamentos e processos da empresa é um fator muito importante no mundo atual. Desenvolver um plano de manutenção é uma parte muito importante desse processo de melhoria, pois permite a investigação de questões que afetam diretamente a segurança, qualidade, produção e custos de uma empresa.

O presente trabalho apresenta o estudo de máquinas do laboratório técnico de uma mineradora do estado de Goiás, cujo objetivo principal foi analisar e propor um plano de manutenção adaptado à situação encontrada. Com intuito de atingir os objetivos de maneira contundente e organizada, é preciso seguir uma série de passos como sugere a metodologia.

Neste estudo, o Filtro de Mangas foi a escolha para melhor demonstrar as etapas de elaboração do Plano de Manutenção. Através da análise dos tipos, métodos e técnicas de manutenção, bem como da análise e estudo da vida útil dos equipamentos após a doação, a possibilidade de implementar tipos de manutenção preventiva, que permitirão reduzir a taxa de falhas e aumentar a confiabilidade destes equipamentos. A princípio, os dados foram coletados nos sistemas e softwares da empresa. Esses dados foram compilados em planilhas e submetidos a filtros, gerando um banco de dados com informações relevantes para o planejamento da manutenção.

Ao analisar os resultados obtidos após a implementação dos novos planos, comparando o antes e depois, com a diminuição de 83,4% entre os períodos avaliados, fica em evidência a importância de se trabalhar adotando técnicas de prevenção de falhas, mostrando a redução clara do risco de quebras inesperadas, gerando uma economia considerável para companhia. Desta forma, o modelo adotado adapta-se perfeitamente ao perfil das máquinas, não requer alto investimento, só uma organização por parte dos responsáveis do laboratório, onde é necessário a realização de treinamentos, e também, a aplicação das planilhas de controle de manutenções diárias e manutenções programadas, para que o plano de manutenção possa garantir o resultado esperado. Pode-se dizer que os resultados são satisfatórios, e os objetos de pesquisa podem ser implementados passo a passo e de forma simples.

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.
- FILHO, Gil Branco. **Planejamento e Controle da Manutenção.** ABRAMAN: Curso de Planejamento e Controle de Manutenção, março 2005.
- HANSEN, Robert C. **Eficiência Global dos Equipamentos: uma poderosa ferramenta de Produção/Manutenção para aumento dos lucros.** Porto Alegre: Bookman, 2002.
- JAPAN INSTITUTE FOR PLANT MAINTENANCE (JIPM). **600 Forms Manual.** Japan, 1995.
- JUNIOR, Estevam Elpídio Campos. **Reestruturação da Área de Planejamento, Programação e Controle na Gerência de Manutenção Portuária – CVRD.** Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAABGGUAK/planejamento-programacaomanutencao>>. Acesso em: 19 novembro 2022.
- KARDEC, Alan; NASCIF, Júlio. **Manutenção: Função Estratégica.** Rio de Janeiro: Quality Editora LTDA, 2002.
- KARDEC, A.; NASCIF, J. **Manutenção: função estratégica.** 3. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2009.
- KARDEC, A.; NASCIF, J. **Manutenção: Função estratégica.** 3ª edição, Editora Qualitymark, Rio de Janeiro, 2010.
- 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: 20 out. 2022.
- MATOS, R. B. de; MILAN, M. **Aplicação sistêmica do modo de análise de falhas e efeitos (FMEA) para o desenvolvimento de indicadores de desempenho de empresas de pequeno porte.** *Rev. Árvore*, Viçosa, v. 33, n. 5, Outubro de 2009. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010067622009000500020&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 07 dez. 2022.
- OTANI, M.; MACHADO, W. V. **A proposta de desenvolvimento de gestão da manutenção industrial na busca da excelência ou classe mundial.** *Revista Gestão Industrial*. Vol.4, n.2, 2008.
- PEREIRA, Mário Jorge. **Engenharia de Manutenção - Teoria e Prática.** 1. ed. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna, 2009.
- PINTO, Alan K., XAVIER, Júlio A. N., **Manutenção Função Estratégica.** Rio de Janeiro: Qualitymark Ed., 2001.
- 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.

- 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: 19 de novembro de 2022.
- SIQUEIRA, Y. P. D. S. **Manutenção centrada na confiabilidade: manual de implantação.** 1ª (Reimpressão). ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2009.
- SOUZA, 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.
- SOUZA, J. B. **Alinhamento das estratégias do Planejamento e Controle da Manutenção (PCM) com as finalidades e função do Planejamento e Controle da Produção (PCP): Uma abordagem Analítica.** Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Ponta Grossa, 2008. 169 páginas.
- STAMATIS, D. H. **Failure mode and effect analysis: FMEA from theory to execution.** Wisconsin: ASQ Quality Press, 1995. 494 p.
- VIANA, H. R. G. **Planejamento e Controle da Manutenção.** Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002.
- Xavier, Júlio Nascif. **Manutenção – Tipos e Tendências.** Disponível em: <www.manter.com>. 2003. Acesso em: 3 de maio de 2018.
- XENOS, H. G. **Gerenciamento da Manutenção Produtiva.** Belo Horizonte: Editora de Desenvolvimento Gerencial, 1998.