



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO – UFOP**

**ESCOLA DE MINAS**

**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**



**RAPHAEL TEIXEIRA MARINS**

**ESTUDO DAS CONTRIBUIÇÕES DA MANUTENÇÃO PREDITIVA EM  
QUIPAMENTOS DE MINERAÇÃO PARA CONSOLIDAÇÃO DE UMA BASE  
TEÓRICA PARA ÁREA DA MANUTENÇÃO**

**OURO PRETO - MG  
2024**

**RAPHAEL TEIXEIRA MARINS**  
**raphaelmarins200@hotmail.com**

**ESTUDO DAS CONTRIBUIÇÕES DA MANUTENÇÃO PREDITIVA EM  
EQUIPAMENTOS DE MINERAÇÃO PARA CONSOLIDAÇÃO DE UMA BASE  
TEÓRICA PARA ÁREA DA MANUTENÇÃO**

Monografia apresentada ao Curso de  
Graduação em Engenharia Mecânica  
da Universidade Federal de Ouro  
Preto como requisito para a obtenção  
do título de Engenheiro Mecânico.

**Professor orientador:** DSc. Washington Luis Vieira da Silva

**OURO PRETO – MG**  
**2024**

## SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

M339e Marins, Raphael Teixeira.

Estudo das contribuições da manutenção preditiva em equipamentos de mineração para consolidação de uma base teórica para área da manutenção. [manuscrito] / Raphael Teixeira Marins. Raphael Teixeira Marins. - 2024.

57 f.: il.: color., gráf., tab..

Orientador: Prof. Dr. Washington Luis Vieira Silva.

Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Graduação em Engenharia Mecânica .

1. Tecnologia. 2. Manutenção - Manutenção Preditiva. 3. Localização de falhas (Engenharia) - Previsibilidade de Falhas. 4. Minas e recursos minerais. 5. Produtividade. 6. Economia - Custo - Redução. I. Marins, Raphael Teixeira. II. Silva, Washington Luis Vieira. III. Universidade Federal de Ouro Preto. IV. Título.

CDU 621

Bibliotecário(a) Responsável: Maristela Sanches Lima Mesquita - CRB-1716



## FOLHA DE APROVAÇÃO

**Raphael Teixeira Marins**

### **Estudo das contribuições da Manutenção Preditiva em equipamentos de mineração para consolidação de uma base teórica para área da manutenção**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Mecânico

Aprovada em 26 de Setembro de 2024

#### Membros da banca

DSc. Washington Luis Vieira da Siva - Orientador (Universidade Federal de Ouro Preto)  
DSc. Diogo Antônio de Sousa (Universidade Federal de Ouro Preto)  
MSc. Sávio Sade Tayer (Universidade Federal de Ouro Preto)

Washington Luis Vieira da Siva, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 01/10/2024



Documento assinado eletronicamente por **Washington Luis Vieira da Silva, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 09/10/2024, às 06:18, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [http://sei.ufop.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **0791750** e o código CRC **4FC40648**.

A Deus dedico mais esta etapa vencida,  
junto a meus pais Edem e Eliane, meus  
irmãos, Gabriel e Samuel pelo apoio e  
incentivo para a conquista de meus  
sonhos.

## **AGRADECIMENTO**

A Deus, pela força de vontade na busca incessante por minhas conquistas.

A meus pais por me darem condições de vida, apoio e incentivo dia após dia diante de todas as dificuldades vivenciadas.

Ao meu orientador Washington, desde o início da graduação até a elaboração desta monografia, pelo incentivo e orientação esplêndida. Por confiar constantemente nas minhas habilidades e pela disposição em esclarecimentos de minhas dúvidas ao longo do desenvolvimento acadêmico.

Aos professores do curso de Engenharia Mecânica da UFOP, por suas importantes contribuições para o aprimoramento dos meus conhecimentos ao longo da graduação. Especialmente ao professor Sávio pelos conselhos sobre o mercado de trabalho e postura como indivíduo perante a vida.

Aos meus amigos, companheiros de classe, pela motivação aos estudos, em especial à meu irmão, Gabriel Teixeira Marins, quem tanto me ajudou nos trabalhos e longos dias de estudos acadêmicos.

*“Talvez não tenhamos conseguido fazer o melhor. Mas lutamos para que o melhor fosse feito. Não somos o que deveríamos ser, não somos o que iremos ser, mas graças a Deus não somos o que éramos”.*

Martin Luther King

## RESUMO

Em meio aos desafios enfrentados na indústria da mineração, a todo momento buscando melhores resultados no que tange redução de custos e maior produtividade, surge a necessidade dos serviços de manutenção integrada à gestão da manutenção. Ao longo dos anos, a manutenção vem sendo aprimorada e desenvolvida conforme as inovações tecnológicas, sendo aplicado variados métodos de manutenção em variadas circunstâncias e/ou equipamentos. Dentre os diferentes métodos de manutenção, tem-se a manutenção preditiva, alvo de estudo da presente pesquisa. A manutenção preditiva é essencial para a gestão estratégica, pois evita perdas de desempenho, reduz falhas, prolonga a vida útil dos equipamentos e melhora a qualidade da produção. Ao prever com maior precisão o momento das falhas, ela aumenta a disponibilidade física, prolonga os intervalos entre paradas e maximiza o desempenho dos componentes. Assim o presente trabalho tem como objetivo abordar quais as contribuições da manutenção preditiva no setor da mineração para consolidação de uma base teórica para a área de manutenção. O arranjo do trabalho conta com profunda fundamentação bibliográfica dos métodos de manutenção. A pesquisa, de cunho teórico, foi realizada a partir de estudos de casos práticos já publicados com critérios específicos estabelecidos para seleção, priorizando aqueles que são relevantes para a aplicação da manutenção preditiva no setor de mineração. Cada caso foi descrito com seus principais objetivos e resultados. Contudo, elaborou-se um quadro consolidado das contribuições da manutenção preditiva para a fundamentação teórica para a área da manutenção. O quadro das contribuições conta ainda com a classificação de relevância dos estudos de caso a partir da adaptação da escala de Likert. Ao fim, foi possível identificar as contribuições da manutenção preditiva relacionadas com bons resultados, consolidando então uma base teórica para a manutenção.

**Palavras-chave:** Tecnologia. Manutenção Preditiva, Previsibilidade de Falhas, Mineração, Produtividade, Redução de Custos.

## ABSTRACT

*Amid the challenges faced by the mining industry, which is constantly seeking better results in terms of cost reduction and increased productivity, the need for maintenance services integrated with maintenance management has arisen. Over the years, maintenance has been improved and developed in line with technological innovations, with various maintenance methods being applied in various circumstances and/or equipment. Among the different maintenance methods, predictive maintenance is the subject of study in this research. Predictive maintenance is essential for strategic management, as it prevents performance losses, reduces failures, extends the useful life of equipment and improves production quality. By predicting failure times more accurately, it increases physical availability, extends downtimes and maximizes component performance. Thus, this work aims to address the contributions of predictive maintenance in the mining sector to consolidate a theoretical basis for the maintenance area. The work arrangement has a deep bibliographical foundation of maintenance methods. The theoretical research was conducted based on previously published case studies with specific criteria established for selection, prioritizing those that are relevant to the application of predictive maintenance in the mining sector. Each case was described with its main objectives and results. However, a consolidated framework of the contributions of predictive maintenance to the theoretical foundation for the maintenance area was developed. The framework of contributions also includes the classification of relevance of the case studies based on the adaptation of the Likert scale. In the end, it was possible to identify the contributions of predictive maintenance related to good results, thus consolidating a theoretical basis for maintenance.*

**Keywords:** Technology. Predictive Maintenance, Failure Prediction, Mining, Productivity, Cost Reduction.

**LISTA DE SIMBOLOS**

RUL	<i>Remaining Useful Life</i> (Vida Útil Restante)
ML	<i>Machine Learning</i> (Aprendizado de Máquina)
IoT	<i>Internet of Things</i> (Internet das Coisas)
mm/s	milímetros por segundo
ppm	partes por milhão
PQI	Índice de Qualidade de Partículas
PIG	<i>In Line Inspections</i> (Instrumento de Inspeção em Linha)
MFL	<i>Magnetic Flux Leakage</i> (Vazamento de Fluxo Magnético)
UT	<i>Ultrasonic Testing</i> (Ensaio de Ultrassom)
TMFL	<i>Thermal Mechanical Fatigue Life</i> (Vida de Fadiga Mecânica Térmica)

**LISTA DE FIGURAS**

Figura 1 – Tipos de Manutenção.....	12
Figura 2 – Fluxograma metodológico.....	22
Figura 3 – Espectro de vibração monitorado pelo <i>DynaLogger</i> .....	31
Figura 14 – Mancal de rolamento de um tambor monitorado com <i>DynaLogger</i> .....	31
Figura 5 – PIG UT-C.....	34

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Analogia Saúde Humana x Máquina.....	6
Tabela 2 – Técnicas para a aplicação da manutenção preditiva.....	15
Tabela 3 – Variações mais comuns na escala Likert.....	17
Tabela 4 – Categorias da Escala Likert.....	18
Tabela 5 – Exemplo de escala de Likert.....	19
Tabela 6 – Exemplo de escala de Likert.....	24
Tabela 7 – Técnica de Coleta de Dados .....	24
Tabela 8 – Relevância dos estudos em Escala Likert Adaptada.....	27
Tabela 9 - Estudos de Manutenção Preditiva relacionados à mineração .....	29
Tabela 10 – Resultado da análise de desgaste e contaminação do óleo lubrificante do motor da carregadeira C.....	33
Tabela 11 – Resultado da Análise de Óleo lubrificante na Carregadeira C.....	33
Tabela 12 – Intervalos de inspeções por PIG .....	35
Tabela 13 – Vantagens e desvantagens de inspeções por PIG.....	36
Tabela 14 – Contribuições da Manutenção preditiva na mineração para consolidação de uma base teórica para a manutenção.....	37



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1	Formulação do Problema.....	1
1.2	Justificativa.....	2
1.3	Objetivos.....	3
1.3.1	Geral .....	3
1.3.2	Específicos.....	3
1.4	Estrutura do Trabalho .....	3
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>5</b>
2.1	Manutenção .....	5
2.2	Métodos de Manutenção.....	6
2.3	Manutenção Preditiva .....	13
2.4	Escala Likert .....	17
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>20</b>
3.1	Tipo de Pesquisa.....	20
3.2	Materiais e Métodos .....	21
3.3	Variáveis e Indicadores .....	23
3.4	Instrumento de coleta de dados .....	24
3.5	Tabulação dos Dados.....	25
3.6	Considerações finais sobre o capítulo .....	25
<b>4</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>26</b>
4.1	Características dos casos .....	26
4.1.1	Caso 1: <i>Abordagens adotáveis para manutenção preditiva na indústria de mineração: uma visão geral. (Outubro 2023) Autores: Oluwatobi Dayo-Olupona, Bekir Genc, Turgay Celik, Samson Bada.....</i>	28
4.1.2	Caso 2 - <i>Monitoramento preditivo online de ativos industriais com uso de sensores via bluetooth: Estudo de caso na indústria de mineração. (2022) Autor: Geovani Lima Teles .....</i>	30
4.1.3	Caso 3: <i>Proposição de um plano de Manutenção Preditiva para motores a diesel de máquinas carregadeiras que executam serviços de apoio a atividade de Mineração (2023) Autor: Breno de Oliveira Faria.....</i>	32
4.1.4	Caso 4: <i>Métodos de inspeção de tubulações de transporte de minério: o caso da integridade de dutos (2017) Autor: Caio Costa e Silva .....</i>	34

4.1.5	Contribuições da Manutenção Preditiva no setor da mineração para consolidação de uma base teórica para a área da Manutenção.....	36
2.	<i>Monitoramento preditivo online de ativos industriais com uso de sensores via bluetooth: Estudo de caso na indústria de mineração. (2022) Autor: Teles, Geovani Lima.....</i>	37
4.	<i>Métodos de inspeção de tubulações de transporte de minério: o caso da integridade de dutos (2017) Autor: Silva, Caio Costa.....</i>	37
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>38</b>
5.1	Conclusão .....	38
5.2	Recomendações .....	38
	<b>REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>40</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Formulação do Problema

Em meio a vida em sociedade, onde pessoas necessitam de produtos e serviços, surge primeiramente a necessidade de se produzir determinado bem, ou preparar certa ferramenta para efetuar algum serviço. Conseqüentemente, para que tais bens/serviços tenham o pleno funcionamento, é necessário uma ou mais ações pré-determinadas para que isso aconteça. Logo, a manutenção se apresenta como objeto de estudo constantemente pesquisado e implementado, com pretensão de reduzir custos e aumentar produtividade das empresas.

Tendo em vista os estudos efetuados, segundo a NBR-5462 (1994, p.6), a manutenção é "a combinação de ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou recolar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida".

Nesse sentido, surge uma abordagem de manutenção, designada como *atividades de manutenção*, que na visão de Xenos (1998, p.20) tem o objetivo de “manter as condições originais de operação e desempenho dos equipamentos por meio de reestabelecimento de eventuais deteriorações destas condições”.

Considerando a necessidade das atividades de manutenção, convém-se adotar um ou mais métodos específicos para se realizar a manutenção. Assim, são apresentados por Xenos (1998), manutenção preventiva, manutenção preditiva, manutenção corretiva, melhoria dos equipamentos, manutenção produtiva, e prevenção de manutenção. Entretanto, essa pesquisa tem como objeto de estudo a manutenção preditiva, descrita conforme Xenos (1998, p.25) como sendo “uma maneira de inspecionar os equipamentos, de forma a otimizar a troca das peças ou reforma dos componentes a fim de estender o intervalo de manutenção, pois permite prever quando a peça ou componente estarão próximos do seu limite de vida”.

Dessa forma, a proposta do estudo é verificar, a partir da abordagem teórica e estudo de casos já aplicados, a relevância e os benefícios da manutenção preditiva no âmbito da manutenção.

Diante do contexto, tem-se a seguinte problemática:

**Quais as contribuições da manutenção preditiva no setor da mineração para consolidação de uma base teórica para a área de manutenção?**

## 1.2 Justificativa

No cenário atual, onde empresas enfrentam alta concorrência, o preço de um item está relacionado diretamente aos custos de produção. Assim, a manutenção tem influência direta no processo produtivo, pois quanto menor o número de paradas não planejadas, maior será a produtividade. Nesse sentido, segundo Siqueira (2010), a gestão estratégica deve executar a manutenção de maneira eficaz, a fim de evitar perdas de desempenho, reduzir o número de falhas, prolongar vida útil, impedir fabricação de produtos de má qualidade, diminuir poluição ambiental, entre outros.

Na visão de Kardec e Nascif (2009, p. 9):

A Manutenção existe para que não haja manutenção; estamos falando da manutenção corretiva não planejada. Isto parece paradoxal à primeira vista, mas numa visão mais aprofundada, vemos que o trabalho da manutenção está sendo enobrecido, onde cada vez mais o pessoal da área precisa estar qualificado e equipado para evitar falhas, e não para corrigi-las.

Dessa forma, a manutenção exerce um papel crucial na prevenção de falhas. Em se tratando de manutenção preditiva, é possível pré-determinar com maior assertividade o momento em que a falha irá ocorrer. Logo, a manutenção preditiva propicia benefícios que envolvem maior disponibilidade física, intervalos maiores de paradas de produção, e principalmente, aproveitamento do desempenho até o limite do componente.

Este ramo de estudo, vem sendo aperfeiçoado de acordo com os avanços tecnológicos, pois a manutenção preditiva se desenvolve com a criação de equipamentos capazes de detectar eventos de degradações dos componentes, através de medições de variáveis como vibração, desgaste, ruído, temperatura, pressão, etc. Essa evolução contribui para um diagnóstico mais apurado sobre a tendência de ocorrer uma falha.

Assim, pode-se dizer que a manutenção preditiva é otimizada através da inovação dos dispositivos de inspeção, que possibilitam modernas técnicas de supervisão e diagnósticos. Portanto, este estudo tem como foco os conhecimentos teóricos, e estudos de casos, com as mais modernas habilidades técnicas. Tudo isso com o intuito de apresentar as contribuições da manutenção preditiva no setor da mineração para consolidação de uma base de estudos da manutenção contemporânea.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Geral**

Analisar as contribuições da manutenção preditiva no setor da mineração para consolidação de uma base teórica para a área de manutenção.

### **1.3.2 Específicos**

- Realizar um estudo teórico sobre: manutenção, métodos de manutenção, manutenção preditiva, métodos de manutenção preditiva, implementação da manutenção preditiva;
- Elaborar um procedimento metodológico para entender as contribuições da manutenção preditiva para área de manutenção;
- Selecionar casos práticos que aplicaram a manutenção preditiva no setor da mineração;
- Elaborar um quadro das contribuições da manutenção preditiva para consolidar uma base teórica para manutenção.

## **1.4 Estrutura do Trabalho**

Este trabalho é dividido em cinco capítulos.

O primeiro capítulo aborda uma breve introdução do tema, contextualizando a situação problema, posteriormente é apresentada a justificativa da elaboração do estudo. Em seguida, são listados os objetivos gerais e específicos, e por último tem-se a estrutura do trabalho.

O segundo capítulo contém a revisão bibliográfica para fundamentação teórica da pesquisa, relacionando os diferentes tipos e formas da manutenção, bem como vantagens e desvantagens de cada um. Ademais, encontra-se de modo aprofundado materiais bibliográficos a respeito da manutenção preditiva, a fim de firmar o embasamento do trabalho.

O terceiro capítulo é composto pela metodologia utilizada no desenvolvimento do tema proposto, de acordo com o objetivo envolvido.

O quarto capítulo discute os resultados obtidos na pesquisa, destacando os impactos proporcionados quando se implementa a manutenção preditiva de maneira eficaz.

O quinto capítulo trata das conclusões, com as contribuições do assunto proposto, evidenciando os pontos relevantes do conteúdo abordado, bem como recomendações a serem seguidas com base nos resultados obtidos desse trabalho.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo aborda definições da manutenção e os dos diferentes tipos de manutenção a partir referenciais bibliográficos. Além disso, conta com embasamento direcionado à manutenção preditiva.

### 2.1 Manutenção

Sabe-se que a manutenção é fundamental dentro do processo produtivo empresarial, por isso é constantemente estudada e aperfeiçoada para trazer melhorias dentro dos diversos setores da indústria. Posto isso, torna-se importante conceituar a manutenção na perspectiva teórica, para então engrandecer a base do referido estudo.

Partindo da designação do vocábulo “manutenção”, o dicionário Aurélio *apud* Xenos (1998, p.18), tem a definição desse termo como “as medidas necessárias para a conservação ou a permanência de alguma coisa ou de uma situação”, ou ainda como “os cuidados técnicos indispensáveis ao funcionamento regular e permanente dos motores e máquinas”.

Do ponto de vista normativo, conforme a NBR-5462 (1994, p.6), a manutenção é definida como “a combinação de todas as ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou realocar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida”.

Mirshawka e Olmedo (1993, p.14) compreendem manutenção como um “conjunto de atividades e recursos aplicados aos sistemas ou equipamentos, visando garantir a consecução de sua função dentro de parâmetros de disponibilidade, de qualidade, de prazos, de custos e vida útil adequado”.

Kardec e Nascif (2009, p.23) trazem o conceito desse termo que tem como finalidade “garantir a confiabilidade e a disponibilidade da função dos equipamentos e instalações, de modo a atender a um processo de produção ou de serviço, com segurança, preservação do meio ambiente e custos adequados”.

Na visão de Xenos (1998), as atividades de manutenção têm por objetivo manter as condições originais de operação dos equipamentos, além de evitar a degradação ocasionada pelo desgaste natural. Ainda segundo o autor, o desgaste implica em perdas de qualidade e desempenho, paradas no processo produtivo, e poluição ambiental.

Para Monchy (1989) a manutenção pode ser entendida como a medicina das máquinas, exemplifica isso a partir de uma analogia da manutenção com a medicina, fazendo uma comparação prática da saúde humana com a saúde da máquina. Tal relação, pode ser compreendida conforme a Tabela 1.

Tabela 1 – Analogia Saúde Humana x Máquina.

<b>Analogia</b>			
<b>SAÚDE HUMANA</b>		<b>SAÚDE DA MÁQUINA</b>	
Conhecimento do homem; Conhecimento das doenças; Carnê de saúde; Dossiê médico; Diagnóstico, Exame, Visita médica; Conhecimento dos tratamentos; Tratamento curativo; Operação.	Nascimento	Entrada em Operação	Conhecimento tecnológico; Conhecimento dos modos de falha; Histórico; Dossiê da máquina; Diagnóstico, Perícia, Inspeção; Conhecimento das ações curativas; Retirada do estado de parte, Reparo; Renovação, Modernização, Troca.
	Longevidade	Durabilidade	
	Boa Saúde	Confiabilidade	
	Morte	Sucata	
<b>MEDICINA</b>		<b>MANUTENÇÃO INDUSTRIAL</b>	

Fonte: Adaptado de Monchy (1989).

Observa-se na Tabela 1, algumas analogias entre saúde humana e máquina. Monchy (1989) ainda destaca a importância em lembrar que nesta abordagem, em nenhum momento, há a intenção de fazer algum juízo de valor sobre a importância relativa homem/máquina.

Dentre as diversas referências bibliográficas disponíveis sobre manutenção, é possível perceber com clareza, que a manutenção tem o propósito fundamental de alcançar maior confiabilidade e disponibilidade física dos ativos, para então propiciar maior produtividade aliado a custos reduzidos.

## 2.2 Métodos de Manutenção

A manutenção pode ser realizada de acordo com um ou mais métodos a serem aplicados para sua execução. Por isso é importante detalhá-los e diferenciá-los quanto à necessidade, e aplicabilidade. Os tipos de manutenção existentes são caracterizados pela maneira como é feita a intervenção nos equipamentos, sistemas ou instalações.

Diferentes autores abordam variados métodos de intervenções nos equipamentos, que simplesmente são formas de implementação das ações nos ativos, a depender de fatores estratégicos adotados por cada empresa.

Exemplificando, Mochy (1989) apresenta as definições de manutenção corretiva e manutenção preventiva. A NBR 5462 (1994) prevê três tipos de manutenção: preventiva, preditiva e corretiva. Xenos (1998) classifica a manutenção como: corretiva, preventiva, preditiva, melhoria dos equipamentos, produtiva, e prevenção de manutenção. Viana (2002) tipifica a manutenção como: corretiva, preventiva, preditiva e autônoma. Por fim, Kardec e Nascif (2009) classifica a manutenção na seguinte tipologia: corretiva, preventiva, preditiva, detectiva e engenharia de manutenção.

Há de se convir, que com o passar dos anos e devido ao avanço tecnológico, houve o aperfeiçoamento desses métodos e também o surgimento de novos métodos de manutenção.

Considerando os diversos métodos de manutenção existentes, faz-se necessário compreendê-los. Um enfoque maior é dado à manutenção preditiva, já que este método é o objeto de estudo da pesquisa

- Manutenção Corretiva

A mais primitiva, manutenção corretiva, é definida conforme Associação Francesa de Normatização – A.F.N.O.R *apud* Monchy (1989 p.37) como “operação de manutenção realizada após falha”.

Um conceito similar ao anterior é dito por Xenos (1998 p.23), que indaga a manutenção corretiva como aquela que “é feita depois que a falha ocorreu”.

Outra definição semelhante, é dada pela NBR-5462 (1994, p.7) que conceitua a manutenção corretiva como “manutenção efetuada após a ocorrência de uma pane, destinada a recolocar um item em condições de executar uma função requerida”.

Kardec e Nascif (2009 p.39) tem concepção análoga ao definir a manutenção corretiva como “a atuação para a correção da falha ou do desempenho menor do que esperado”. Os autores ainda trazem as seguintes classificações desse método: manutenção corretiva não planejada, classificada como intervenção na correção da falha que ocorre de maneira aleatória, e a manutenção corretiva planejada, classificada como intervenção na correção da perda de desempenho ou intervenção de correção da falha advinda de decisão gerencial.

No entanto, na manutenção corretiva o fator econômico deve ser considerado, por conta desse tipo de manutenção ser mais acessível em termos de custos de aplicação. Sabendo disso, Xenos (1998 p.23) apresenta a seguinte formulação, “do ponto de vista do custo de manutenção, a manutenção corretiva é mais barata do que prevenir as falhas nos equipamentos. Em compensação, pode causar grandes perdas por interrupção da produção”.

- Manutenção Preventiva

Quando se fala em prevenção, o significado da palavra remete a ações, atos, medidas, ou precauções para que algo prejudicial não aconteça. Consequentemente, a definição de manutenção preventiva tem esse viés, e é prescrita pela Associação Francesa de Normatização – A.F.N.O.R *apud* Monchy (1989 p.39) como “manutenção efetuada com a intenção de reduzir a probabilidade de falha de algum bem, ou degradação de um serviço prestado”. Monchy (1989 p.39) complementa essa definição ao afirmar que a manutenção preditiva é “uma intervenção de manutenção prevista, preparada e programada, antes da data provável do aparecimento da falha”.

Em se tratando de normas, a ABNT através da NBR-5462 (1994 p.7), conceitua a manutenção preventiva como “manutenção efetuada em intervalos predeterminados, ou de acordo com critérios prescritos, destinada a reduzir a probabilidade de falha ou a degradação do funcionamento de um item”.

Nessa mesma linha de pensamento, a classificação de manutenção preventiva é relatada por Viana (2002) como todo tipo de serviço realizado numa máquina que não esteja apresentando falha, sendo aplicada periodicamente, ainda na condição de pleno estado de funcionamento, resultando em menores possibilidades de falha.

A definição de manutenção preventiva formulada por Kardec e Nascif (2009 p.42) é designada da seguinte forma, “manutenção preventiva é a atuação realizada de forma a reduzir ou evitar a falha ou queda no desempenho, obedecendo a um plano previamente elaborado, baseado em intervalos definidos de tempo”.

Na concepção de Xenos (1998), é ponderado que a manutenção preventiva deve ser a principal atividade de manutenção dentro da empresa, sendo ela responsável sistematicamente pelas inspeções, reformas e trocas periódicas. O autor assume que a manutenção preventiva só se compara à manutenção corretiva do ponto de vista dos custos envolvidos. Isso por levar em consideração que os componentes devem ser trocados ou reformados antes do fim de vida útil, o que gera um custo mantenedor mais elevado.

Para Xenos (1998 p.24), a utilização da manutenção preventiva destaca os seguintes benefícios:

A frequência da ocorrência das falhas diminui, a disponibilidade dos equipamentos aumenta e também diminuem as interrupções inesperadas da produção. Ou seja, se considerarmos o custo total, em várias situações a manutenção preventiva acaba sendo mais barata que a manutenção corretiva, pelo fato de se ter domínio das paradas dos equipamentos, ao invés de se ficar sujeito às paradas inesperadas por falhas nos equipamentos.

- Melhoria dos Equipamentos

Este método de manutenção descrito por Xenos (1998) tem a finalidade de fazer melhorias nos equipamentos que vão além das suas especificações originais. Essas melhorias são comumente chamadas *dekaizen*, termo de origem japonesa que significa promover melhorias contínuas. No que se refere a manutenção, significa conceber melhorias progressivas, ou seja, em vez de simplesmente reparar o equipamento, são realizadas alterações em seus parâmetros, nos padrões de operação e manutenção, e no projeto (XENOS, 1998).

A melhoria dos equipamentos, de acordo com Xenos (1998), necessita de uma investigação minuciosa da causa fundamental da falha, com isso buscam-se soluções para que o equipamento não tenha reincidência das mesmas falhas.

- Prevenção de Manutenção

O método de prevenção de manutenção descrito por Xenos (1998) é baseado em ações conjuntas aos fabricantes desde a fase de elaboração do projeto. Assim, esse método tem como objetivo, desenvolver um menor volume de serviços obrigatórios de manutenção para um item, sem que o desempenho seja prejudicado durante a operação. Isso quer dizer que é preciso realizar alterações nas especificações técnicas durante a fase de desenvolvimento do projeto, para então disponibilizar o produto no mercado que exija menores números de intervenções durante sua operação.

- Manutenção Detectiva

A manutenção detectiva começou a ser referenciada na literatura a partir dos anos 1990 (KARDEC e NASCIF, 2009). Sua ascensão se deve aos avanços tecnológicos sofridos nesses anos, o que promoveu o desenvolvimento de dispositivos de aquisição de sinais, e sua atuação destinou-se a detectar falhas ocultas ou não perceptíveis em sistemas de controle comando e proteção (KARDEC e NASCIF, 2009).

Um exemplo clássico de aplicação de manutenção detectiva são testes em um circuito que comanda a entrada de um gerador em um hospital, caso falte energia e o circuito esteja com falha, o gerador não entra em operação, por esse motivo o circuito deve ser inspecionado e testado periodicamente, a fim de verificar sua funcionalidade e aumentar a confiabilidade (FREITAS, 2016). Portanto, as ações executadas para verificar se um sistema de proteção ainda está funcionando são primordiais para garantir a confiabilidade (KARDEC e NASCIF, 2009).

Logo, as atividades de verificação funcional se tornam cada vez mais importantes à medida que o nível de automatização dentro das indústrias aumenta. Desse modo, quanto maior a criticidade de operação, maior será a necessidade de implementação de métodos detectivos em sistemas que não suportam falhas (COSTA, 2013).

- Manutenção Autônoma

Quando se fala em manutenção autônoma, quer dizer que parte das responsabilidades das atividades de manutenção são transferidas para os operadores (XENOS 1998). Essa técnica de manutenção pode ser praticada com o seguinte objetivo proposto por Xenos (1998 p.237) como sendo “contribuir para o aumento da eficiência do trabalho de manutenção, resultando na diminuição das falhas dos equipamentos e no aumento de sua produtividade”.

Sabendo disso, esse modelo atribui competências simples a serem efetuadas pelos operadores. Dentre as atividades básicas de manutenção autônoma, Xenos (1998) destaca as principais: limpeza, lubrificação e redução de vibrações por meio de fixação adequada das diversas partes dos equipamentos.

O mesmo pensamento tem Viana (2002), quando define a manutenção autônoma como todas as atividades que envolvem os operadores das máquinas, com o objetivo de manter as funcionalidades e a integridade dos equipamentos. De acordo com o autor, tais atividades são compostas por serviços de limpeza, lubrificação e tarefas elementares da manutenção.

Um ponto importante a se destacar, é o treinamento e supervisão dos operadores pela equipe de manutenção, isso para ter uma maior acurácia dos operadores na realização de um serviço de manutenção (XENOS 1998). Para complementar os treinamentos, o autor relata que são disponibilizados manuais de procedimentos das atividades de manutenção a serem realizadas.

Por fim, Xenos (1996) ressalta que a manutenção autônoma não tem o viés de eliminar de vez todos os serviços executados pelo setor de manutenção, mas sim, reduzir as

intervenções nos ativos através de serviços básicos que podem ser feitos pelos operadores. Em caso de anomalias mais graves que podem levar a falhas, o autor afirma a necessidade de se acionar a equipe de manutenção para intervir na solução do problema.

- Manutenção Produtiva

O conceito de manutenção produtiva, segundo Xenos (1998), pode ser entendido como uma forma de avaliar qual ou quais métodos de manutenção devem ser utilizados considerando fatores como natureza e criticidade da falha do equipamento para a produção. Ou seja, de acordo com o autor, é preciso avaliar para cada situação qual será o método de manutenção mais conveniente, eficiente e econômico a ser escolhido.

Sendo assim, a metodologia da manutenção produtiva, prescrita por (Xenos 1998 p.28), “abrange todas as etapas do ciclo de vida do equipamento, desde a sua especificação até o sucateamento, e leva em consideração os custos de manutenção e a produtividade do equipamento ao longo das etapas do seu ciclo de vida útil.”

De maneira resumida, Xenos (1998) ressalta que a manutenção produtiva não somente tem o objetivo de evitar falhas, mas também utilizar da combinação de métodos de manutenção que mais se adequam para que a produção não fique prejudicada, gerando como consequência maiores retornos econômicos para toda empresa.

- Engenharia de Manutenção

A Engenharia de Manutenção é considerada como uma transformação cultural que proporciona uma quebra de paradigma na Manutenção, estando ligada diretamente à implementação de melhorias contínuas e consolidação de rotinas das atividades de manutenção (KARDEC e NASCIF, 2009).

A Engenharia de Manutenção é entendida por Machado *apud* Xavier (2003 p.5) como:

é o conjunto de atividades que permite que a confiabilidade seja aumentada e a disponibilidade garantida. Ou seja, é deixar de ficar consertando — convivendo com problemas crônicos —, mas melhorar padrões e sistemáticas, desenvolvendo a manutenibilidade, dar feedback ao projeto e interferir tecnicamente nas compras. Quem só faz a manutenção corretiva continua “apagando incêndio”, e alcançando péssimos resultados. Desta forma, a organização que utilizar a manutenção corretiva, mas incorporando a preventiva e a preditiva, rapidamente estará executando a engenharia de manutenção.

Para Kardec e Nascif (2009), as atribuições dessa metodologia são: aumentar a confiabilidade, a disponibilidade e a segurança; melhorar a manutenibilidade e a capacitação

peçoal; solucionar problemas tecnológicos; eliminar problemas crônicos; gerir materiais sobressalente; dar suporte à execução; fazer estudo e análise de falhas; acompanhar indicadores; zelar pela documentação técnica; elaborar planos de manutenção e inspeção fazendo sua análise crítica e participar de novos projetos.

Todas essas atribuições são essenciais para a gestão estratégica no domínio da manutenção, que compete à engenharia da manutenção, conforme a Figura 1.

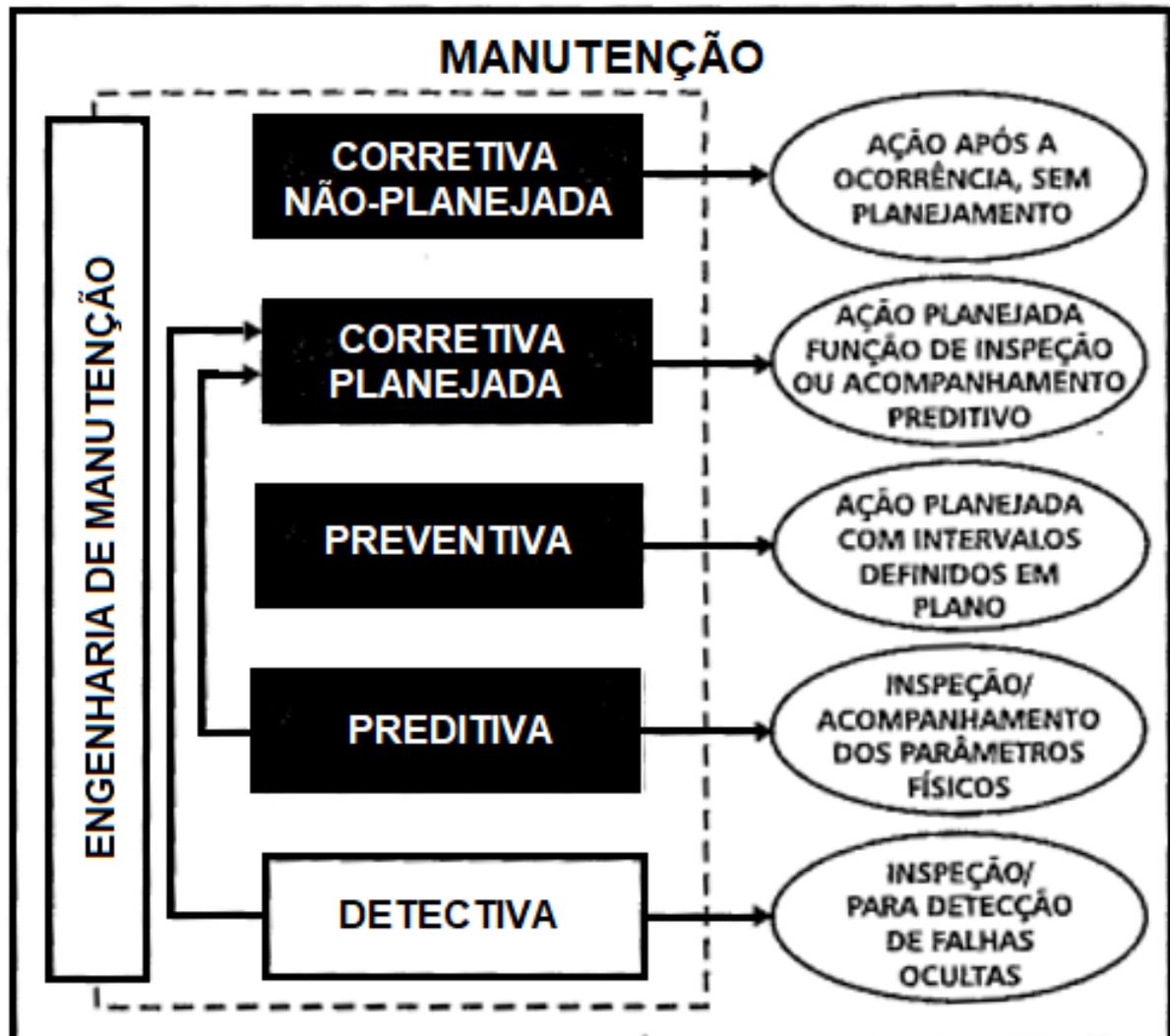


Figura 1 – Tipos de Manutenção  
Fonte: Adaptado de Kardec e Nascif (2009).

Observa-se na Figura 1, as diferenças dos tipos de manutenção por suas determinações, inclusive como a Engenharia de Manutenção se posiciona nesse panorama.

Em concordância com Mirshawka e Olmedo (1993), uma das metas da gestão da manutenção é maximizar a produção. Para os autores, esse objetivo é alcançado através do aumentando a disponibilidade dos equipamentos, aliado a menores custos e aos mais altos

padrões de qualidade, tudo isso em conformidade às normas de segurança e sem danos ao meio ambiente.

### 2.3 Manutenção Preditiva

Apresenta-se neste tópico os diversos conceitos relacionados à manutenção preditiva. A princípio é importante esclarecer que esse método de manutenção faz parte da manutenção preventiva. Assim, Xenos (1998 p.25) apresenta a seguinte afirmação:

Ao colocarmos em prática a manutenção preditiva, suas tarefas devem fazer parte do planejamento da manutenção preventiva. A final de contas, a manutenção preditiva é mais uma maneira de inspecionar os equipamentos.

Se tratando de referências normativas, a NBR 5462 (1994, p. 7) define manutenção preditiva como:

Manutenção que permite garantir uma qualidade de serviço desejada, com base na aplicação sistemática de técnicas de análise, utilizando-se de meios de supervisão centralizados ou de amostragem, para reduzir ao mínimo a manutenção preventiva e diminuir a manutenção corretiva.

Na perspectiva de Caetano (2018 p.2), a manutenção preditiva é apresentada da seguinte forma:

A manutenção preditiva é uma metodologia utilizada na conservação de ativos, realizada a partir da análise de dados obtidos através de instrumentos específicos durante inspeções em campo, ou seja, enquanto as máquinas e equipamentos estão operando e por consequência sujeitas a gerar as evidências necessárias para indicar ou não a necessidade de se programar uma manutenção preventiva ou corretiva.

Para Viana (2002 p.11) esse método é definido como “tarefas de manutenção preventiva que visam acompanhar a máquina ou as peças, por monitoramento, por medições ou por controle estatístico e tentam prever a proximidade da ocorrência da falha”. O autor ainda diz que o objetivo deste método é delimitar o tempo correto da necessidade da parada do equipamento para realização da manutenção, pois com isso são evitadas desmontagens para inspeções, fazendo com que o item seja utilizado até o máximo de sua vida útil.

De acordo com Kardec e Nascif (2009, p.45), a manutenção preditiva tem o seguinte objetivo:

Prevenir falhas nos equipamentos ou sistemas através de acompanhamento de parâmetros diversos, permitindo a operação contínua do equipamento pelo maior tempo possível. Na realidade, o termo associado à Manutenção Preventiva é o de prever as condições dos equipamentos. Ou seja, a Manutenção Preditiva privilegia a disponibilidade à medida que não promove a intervenção nos equipamentos ou sistemas, pois as medições e verificações são efetuadas com o equipamento produzindo.

Ao fazer uso desse método, torna-se mais prático determinar quando a falha irá ocorrer, criando então certa previsibilidade. Com isso, é possível planejar uma manutenção corretiva programada, de modo a acertar todos os elementos que necessitam de trocas ou reparos. Dessa forma, a tendência é um aumento no intervalo de tempo entre paradas programadas dos equipamentos (KARDEC e NASCIF, 2009).

Este mesmo pensamento da manutenção preditiva é apresentado por Xenos (1998 p.25) quando afirma que “a manutenção preditiva permite otimizar a troca das peças ou reforma dos componentes e estender o intervalo de manutenção, pois permite prever quando a peça ou componente estarão próximos do seu limite de vida”.

Para Xenos (1998), as manutenções preditivas tendem a ser tratadas como um assunto bastante avançado dentro da manutenção, por conta do uso de tecnologia exigido pelos aparelhos de medição. O autor menciona que algumas empresas designam uma equipe independente com qualificação específica para a realização destes tipos de serviços de manutenção.

Notavelmente, a manutenção preditiva se aprimora e ganha espaço nas empresas ao passo dos avanços tecnológicos. Assim, novas ferramentas são desenvolvidas para o sensoriamento e análises laboratoriais, a ponto de gerar diagnósticos mais precisos dos componentes presentes nos equipamentos. Por sua vez, o resultado da análise dos parâmetros acaba por otimizar a troca de peças ou reforma das máquinas, fazendo com que as manutenções preventivas atuem próximas ao final da vida útil da peça (XENOS, 1998).

Percebe-se então, a quebra de um paradigma na manutenção sendo proporcionado pela manutenção preditiva, é o que diz Kardec e Nascif (2009, p.45) ao relatarem que a manutenção preditiva “tanto mais se intensifica quanto mais o conhecimento tecnológico desenvolve equipamentos que permitem avaliação confiável das instalações e sistemas operacionais em funcionamento”.

Para que este método seja aplicado, Kardec e Nascif (2009) estabelecem algumas condições básicas de adoção da manutenção preditiva, tais como:

- O equipamento, sistema ou instalação deve permitir algum tipo de monitoramento;
- Deve ser economicamente viável;
- As falhas devem ser oriundas de causas que possam ser identificadas e com isso ter sua progressão acompanhada, devendo ser estabelecido um programa de acompanhamento, análise e diagnóstico, sistematizado.

Tendo isso em vista, a manutenção preditiva dependa da permissibilidade de monitoramento de cada equipamento. Por se tratar de um método mais sofisticado, há diversos dispositivos de inspeção das máquinas que determinam o período ideal e necessário para a intervenção da manutenção. (NETO *apud* SLACK *et al.*, 2002)

Então, para se realizar o monitoramento dos equipamentos, são necessárias ferramentas e/ou sistemas de medição capazes de identificar anomalias a depender das variáveis mais comuns, sendo algumas citadas por Viana (2002) como desgaste, temperatura e vibrações.

Assim, Viana (2002) detalha quatro técnicas preditivas muito utilizadas na indústria nacional, sendo elas: termografia, ultrassom, análise de vibrações, e análise de óleos lubrificantes. Na tabela 2 são apresentadas as características de cada técnica preditiva definida por Viana (2002).

Tabela 2 – Técnicas para a aplicação da manutenção preditiva.

<b>TÉCNICA</b>	<b>CARACTERÍSTICAS</b>
Ensaio por Ultrassom	Método não destrutivo que possui o objetivo de detectar defeitos ou descontinuidades internas nas peças.
Análise das vibrações mecânicas	Com a utilização de acelerômetros para a captação das vibrações existentes em um equipamento, é possível através de estudos determinar o estado funcional do mesmo
Análise de óleos lubrificantes	Através do monitoramento quantitativo de partículas sólidas presentes no fluido, além da análise das características físicas e químicas do mesmo, é possível determinar o momento exato da troca do óleo e identificar sintomas de desgastes em determinados componentes.
Termografia	Ensaio não destrutivo que permite a verificação da temperatura das superfícies de forma remota através de dispositivos que possuem radiação infravermelha.

Fonte: Adaptado de Viana (2002).

Observa-se na Tabela 2, a designação de cada técnica a fim de identificar alterações em parâmetros de operação preestabelecidos.

Outra determinação de técnicas preditivas é dada por Caetano (2018), tais como: análise de vibrações, análise de fluídos, análise termográfica, análise superficial e estrutural. Para Caetano (2018), estas são realizadas a partir de ensaios não destrutivos (END), utilizados principalmente na engenharia forense, mecânica, civil, elétrica e eletrônica. O autor ainda

ressalta que a utilização da manutenção preditiva se faz necessária quando a manutenção preventiva não é suficiente para evitar falhas que geram manutenções corretivas, levando à queda da produtividade e prejuízos financeiros para a empresa.

Para Teles (2019, p. 47) os principais objetivos da manutenção preditiva são:

1. Determinar antecipadamente a necessidade de serviços de manutenção numa peça ou componente específico de uma máquina ou equipamento;
2. Eliminar desmontagem desnecessárias para inspeção;
3. Aumentar o tempo de disponibilidade das máquinas e equipamentos;
4. Reduzir as intervenções de corretiva;
5. Impedir o aumento dos danos;
6. Aproveitar a vida útil total dos componentes e de um equipamento;
7. Aumento do grau de confiabilidade das máquinas e equipamentos.

Para que estes objetivos sejam alcançados fica implícita a necessidade de alguns investimentos, tais como: qualificação da mão de obra para coleta de dados nos equipamentos, aquisição de aparelhos de coleta de dados com maiores precisões, bem como profissionais qualificados para analisar os dados coletados. Por isso, é importante avaliar a viabilidade econômica para sua utilização (TELES, 2019).

Com base nisso, a manutenção preditiva vem ganhando espaço no ramo da manutenção, pois há uma tendência na redução do uso da manutenção preventiva, já que a demanda por paralisação dos equipamentos e dos sistemas, por sua vez, a manutenção corretiva não planejada acaba se tornando um indicador da ineficiência da manutenção (FREITAS, 2016).

As vantagens da manutenção preditiva estão relacionadas à redução dos custos e prazos de manutenção, previsibilidade de falhas com maior antecedência, melhoria das condições de operação dos equipamentos, entre outros (MIRSHAWKA *apud* REIS *et al.* 2010).

De acordo com o contexto, percebe-se que as técnicas preditivas quando utilizadas corretamente, proporcionam a otimização da programação da manutenção, por fornecer informações exatas sobre a vida útil dos componentes. Com isso, o ativo se mantém em sua função requerida por mais tempo, visto que o monitoramento reduz as chances de falhas inesperadas que levam a paradas não programadas. Assim, refletem-se em retornos econômicos, relacionados a maior produtividade, disponibilidade do ativo e previsibilidade das intervenções de acordo com a tendência de ocorrência das falhas, o que evita gastos desnecessários e menores perdas de produção.

## 2.4 Escala Likert

A escala de verificação de Likert envolve a definição de um construto e a criação de um conjunto de afirmações relacionadas a essa definição, nas quais os participantes indicarão seu nível de concordância (SILVA e COSTA 2014).

Os itens apresentados de maneira mutuamente exclusiva tratam de uma dimensão específica do fenômeno em estudo, com o objetivo de mensurá-lo. As pontuações de todos os itens do questionário devem ser agregadas para formar uma pontuação composta, que, no conjunto, avalia um único traço unidimensional (JOSHI *et al.*, 2015).

A escala Likert utiliza uma escala ordinal para medir graus de concordância e discordância em respostas de escolha fixa. Ela é projetada para avaliar atitudes ou opiniões, com base no princípio de que essas atitudes podem ser quantificadas (BOWLING, 1997; BURNS; GROVE, 1997).

Tabela 3: Variações mais comuns na escala Likert

<b>Acordo</b>	<b>Frequência</b>
Concordo Fortemente	Muito frequentemente
Concordo	Frequentemente
Indeciso	Ocasionalmente ou Não sei
Discordo	Raramente
Discordo Fortemente	Nunca
<b>Importância</b>	<b>Probabilidade</b>
Muito importante	Quase sempre verdadeiro
Importante	Geralmente verdadeiro
Moderadamente Importante ou Não sei	Ocasionalmente Verdadeiro ou Não sei
De pouca importância	Geralmente não é verdade
Sem importância	Quase nunca é verdade

Fonte: Adaptado pelos autores a partir de Bowling (1997), Burns, Grove (1997), Singh, (2006).

A criação da escala Likert está diretamente ligada ao propósito da pesquisa. Em alguns casos, o objetivo é compreender as opiniões, percepções, relevância ou pontos de vista dos participantes em relação a uma ou mais variáveis que se interconectam no fenômeno em estudo (COSTA, 2018; JOSHI *et al.*, 2015).

Há também a relação entre o número ideal de escalas a ser adotado, o Quadro 2 sumariza os posicionamentos de diversos autores sobre essa questão.

Tabela 4 – Categorias da Escala Likert

<b>Número de categorias</b>	<b>Considerações e ideias</b>	<b>Autores</b>
2 a 4 categorias	De modo geral não é recomendado, pois uma escala com duas a quatro categorias mostrou o menor índice de confiabilidade. Um número par de opções deve ser apenas usado quando os pesquisadores pretendem induzir as ideias ou atitudes dos participantes através de respostas como "Concordo" ou "Discordo".	Preston e Colman (2000)
5 categorias	Fornece confiabilidade estatística e intervalos facilmente medidos. Um número ímpar de opções é usado quando os pesquisadores precisam de uma âncora neutra.	Lissitz e Green (1975); Boote (1981)
6 ou 7 categorias	A mente humana tem um período de julgamento absoluto que pode distinguir no máximo 7 categorias por vez. Talvez por isso, uma escala de 7 pontos mostrou a maior confiabilidade.	Green e Rao (1970); Miller (1956); Oaster (1989)
Mais de 20 Categorias	Argumentou-se que as escalas psicológicas exigem mais de 20 categorias para obter informações completas das respostas	Garner (1960)
Irrelevante	Não há indicação no efeito qualitativo nas respostas baseado no número de escalas. A confiabilidade é independente do número de opções.	Schuts e Rucker (1975); Bendig, (1953, 1954); Komorita, (1963); Matell & Jacoby, (1971).

Fonte: Júnior (2024).

Com base nas informações apresentadas, nota-se que um aumento no número de categorias nem sempre garante maior confiabilidade (CHANG, 1994), sendo esta independente da quantidade de opções. No entanto, é recomendável utilizar um número ímpar de categorias para garantir que opiniões neutras ou a falta de opinião não sejam desconsideradas. (JUNIOR, 2024)

Outro fator relevante é que todas as perguntas sejam dispostas de forma a manterem um alinhamento único na escala Likert, de modo que as variações do menor ao maior valor representem um contínuo crescente (JUNIOR, 2024).

Abaixo, segue uma classificação da escala Likert baseada em níveis de concordância para medição de satisfação com um serviço, em 5 pontos.

Tabela 5 – Exemplo de escala de Likert.

<b>ESTOU SATISFEITO COM O SERVIÇO RECEBIDO:</b>				
Discordo totalmente	Discordo parcialmente	Não concordo nem discordo	Concordo parcialmente	Concordo totalmente
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>

Fonte: Costa e Silva (2014)

Assim, pode-se dizer que a grande vantagem da escala de Likert é sua facilidade de manuseio, pois é fácil a um pesquisado emitir um grau de concordância sobre uma afirmação qualquer (COSTA, 2011).

### 3 METODOLOGIA

Este capítulo tem como finalidade apresentar o desenvolvimento metodológico bem como destacar o tipo de pesquisa utilizado. Contém a descrição dos materiais e métodos utilizados, junto às variáveis e indicadores da pesquisa. Ademais, se encontra o instrumento de coleta de dados e tabulação dos dados, por fim tem-se as considerações finais do capítulo.

#### 3.1 Tipo de Pesquisa

Primeiramente, faz-se necessário conceituar o que é pesquisa. Para Gil (2002, p. 17), pesquisa é definida como: “o procedimento racional e sistemático que tem como objetivo proporcionar respostas aos problemas que são propostos”. Para Lakatos & Marconi (2003, p. 155) pesquisa é “um procedimento formal, com método de pensamento reflexivo, que requer um tratamento científico e se constitui no caminho para conhecer a realidade ou para descobrir verdades parciais”.

Em relação aos objetivos da pesquisa, elas podem ser classificadas em três grupos: pesquisas exploratórias, pesquisas descritivas e pesquisas experimentais (GIL, 2002).

Dentre os tipos de pesquisa perante os objetivos, a presente, é classificada como exploratória. Assim, pesquisa exploratória, segundo Gil (2002, p.41) tem o objetivo de:

Proporcionar maior familiaridade com o problema, com vistas a torná-lo mais explícito ou a constituir hipóteses. Pode-se dizer que estas pesquisas têm como objetivo principal o aprimoramento de ideias ou a descoberta de intuições. Seu planejamento é, portanto, bastante flexível, de modo que possibilite a consideração dos mais variados aspectos relativos ao fato estudado.

Também é possível classificar os tipos de pesquisa quanto a forma de abordagem. Com isso, são designados três grupamentos, sendo eles: pesquisas quantitativas, pesquisas qualitativas e pesquisas de métodos mistos, sendo a última a junção das primeiras (GIL 2019).

Sendo assim, esta pesquisa assume o tipo qualitativa, tal qual pode ser conceituada por Gil (2019, p.57) como: “pesquisas qualitativas caracterizam-se pela utilização de dados qualitativos, com o propósito de estudar a experiência vivida das pessoas e ambientes sociais complexos, segundo a perspectiva dos próprios atores sociais.”

Por fim, se faz necessário a caracterização da pesquisa com base nos procedimentos técnicos adotados. Assim, Gil (2002) classifica a pesquisa quanto aos procedimentos técnicos como bibliográfica, documental, experimental, estudo de caso, pesquisa-ação e pesquisa

participante. É importante salientar que a pesquisa pode empregar um ou mais procedimentos técnicos em sua conjuntura.

Por assim dizendo, a presente pesquisa é tipificada como bibliográfica e concomitantemente baseada em estudos de caso. As definições de cada um dos procedimentos técnicos são expressadas a seguir.

Na perspectiva de Gil (2019, p.43), a pesquisa bibliográfica é apresentada como:

A pesquisa bibliográfica é elaborada com base em material já publicado. Tradicionalmente, essa modalidade de pesquisa inclui ampla variedade de material impresso, como livros, revistas, jornais, teses, dissertações e anais de eventos científicos. Todavia, em virtude da disseminação das novas tecnologias de comunicação e informação, passaram a incluir materiais em outros formatos, como discos, fitas magnéticas, microfilmes, CDs, bem como o material disponibilizado pela Internet.

Para Gil (2019, p.49), o conceito de estudo de caso “consiste no estudo profundo e exaustivo de um ou poucos casos, de maneira que permita seu amplo e detalhado conhecimento, tarefa praticamente impossível mediante outros delineamentos já considerados.

Em síntese, de acordo com os princípios apresentados, pode-se dizer que se trata de uma pesquisa exploratória qualitativa, fundamentada em estudos de casos e revisões bibliográficas. O caráter exploratório se dá visto que a pesquisa é embasada em estudos de casos diversificados, donde são coletadas as informações preponderantes do referido trabalho. Assim, juntamente à revisão bibliográfica, o estudo se engrandece no sentido de possibilitar entendimento aprofundado dos conceitos pronunciados. A pesquisa é de natureza qualitativa pois tem como objetivo promover e analisar de forma qualitativa as contribuições da implementação do modelo de manutenção preditivo para a base da manutenção.

### **3.2 Materiais e Métodos**

A Figura 2 ilustra o procedimento metodológico adotado no desenvolvimento da pesquisa.

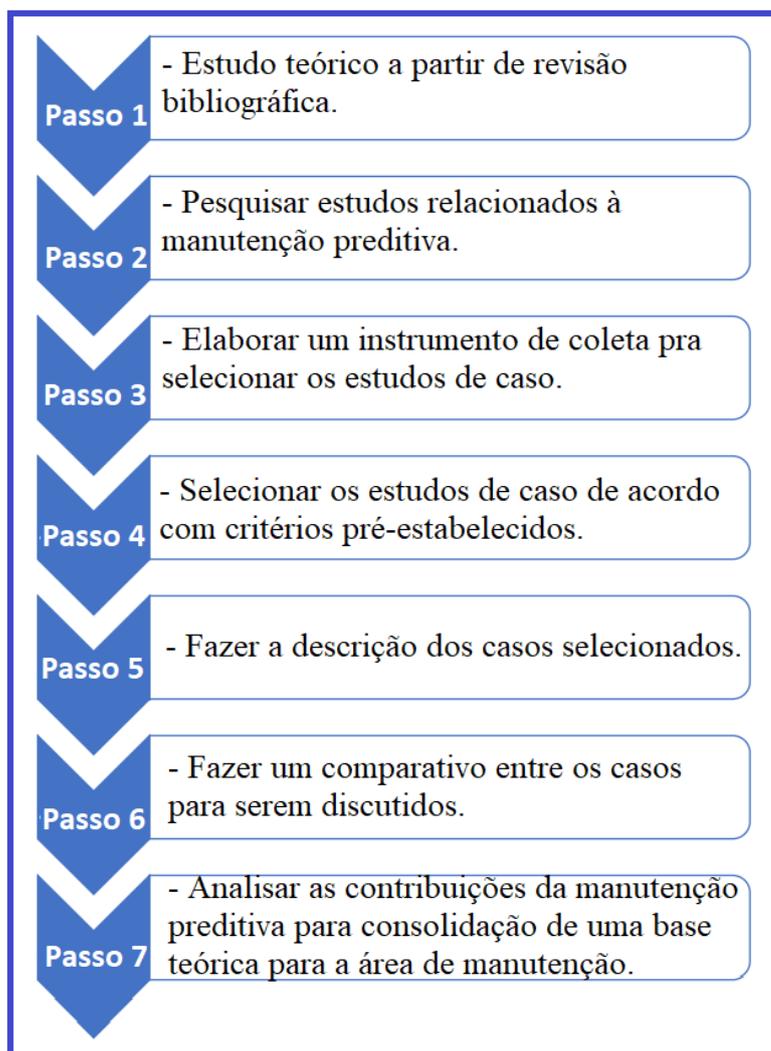


Figura 2 – Fluxograma metodológico.

Fonte: Pesquisa Direta (2024)

Conforme apresentado no fluxograma da Figura 2, a pesquisa é composta por sete passos descritos a seguir.

A princípio é realizado o levantamento teórico a partir de revisões bibliográficas a fim de indagar conceitos relacionados ao referido estudo. Os fundamentos bibliográficos provêm de artigos, dissertações, teses e livros relacionados à manutenção.

Em seguida é necessário pesquisar estudos voltados à manutenção preditiva, já que este é o foco do trabalho.

Depois disso, é elaborado um instrumento de coleta de dados para selecionar os estudos de casos mais relevantes a partir de critérios pré-estabelecidos, que são: pertinência/correlação, inovação, impacto, disponibilidade de dados e variedade. Além disso, é analisado minuciosamente as fontes autorais, bem como se o conteúdo servirá como base para o objetivo geral da pesquisa.

Com a seleção dos estudos de casos realizada, a etapa seguinte é então descrever os casos utilizando o *Microsoft Office Word*, a fim de identificar as possíveis contribuições do método de manutenção preditiva.

Após descrição dos casos, os dados são reunidos em uma tabela desenvolvida no *Microsoft Office Excel*, para discussão dos resultados obtidos.

Por fim, é realizado uma análise qualitativa das contribuições da manutenção preditiva para consolidação de uma base teórica para a área de manutenção, junto à classificação de relevância de cada estudo a partir da adaptação da escala de Likert.

### **3.3 Variáveis e Indicadores**

Para Marconi (2003, p. 137), o conceito de variável pode ser entendido da seguinte forma:

Uma variável pode ser considerada como uma classificação ou medida; uma quantidade que varia; um conceito operacional, que contém ou apresenta valores; aspecto, propriedade ou fator, discernível em um objeto de estudo e passível de mensuração.

Para Gil (2019, p. 85), as variáveis “constituem importante elemento a ser considerado no processo de pesquisa. Graças a elas torna-se possível identificar e mensurar os fenômenos que se deseja pesquisar”

Segundo Ferreira, Cassiolato e Gonzalez (2009 p. 24):

O indicador é uma medida, de ordem quantitativa ou qualitativa, dotada de significado particular e utilizada para organizar e captar as informações relevantes dos elementos que compõem o objeto da observação. É um recurso metodológico que informa empiricamente sobre a evolução do aspecto observado.

A Tabela 6 apresenta as variáveis e indicadores utilizados nesta pesquisa.

Tabela 6 - Variáveis e indicadores.

<b>Variáveis</b>	<b>Indicadores</b>
Manutenção Preditiva	Ensaio não destrutivo; <i>Softwares</i> ; Controle e acompanhamento; Desenvolvimento de técnicas novas; Ciclo de vida dos equipamentos; Ferramentas da Manutenção;
Gestão da Manutenção	Plano de melhoria contínua; Plano de manutenção preditivo; Treinamentos; Folha de verificação; Domínio da tecnologia de manutenção mais adequada;
Escala Likert	Pertinência / Correlação; Inovação; Impacto; Disponibilidade de Dados; Variedade.

Fonte: Pesquisa Direta (2024)

Através da Tabela 6, pode-se observar que os indicadores utilizados no trabalho são ensaios não destrutivos, plano de manutenção preditivo, softwares, controle e acompanhamento, plano de melhoria contínua, desenvolvimento de técnicas novas, domínio da tecnologia de manutenção mais adequada, ciclo de vida dos equipamentos, ferramentas da manutenção, treinamentos e folha de verificação. Já as variáveis do processo são manutenção preditiva e gestão da manutenção.

### 3.4 Instrumento de coleta de dados

O instrumento de coleta de dados desta pesquisa é um roteiro elaborado com critérios para seleção dos estudos de caso. A Tabela 7 exemplifica a maneira que os dados serão dispostos.

Tabela 7 – Técnica de Coleta de Dados

Estudo de Caso	Contribuição	Relevância
Nome, Título, Registro		Escala Lickert adaptada.

Fonte: Pesquisa Direta (2024)

A Tabela 7 apresenta o modelo de coleta de dados a partir da análise dos estudos de casos tais como livros, revistas, artigos científicos, monografias, dissertações, dentre outros.

### 3.5 Tabulação dos Dados

A tabulação dos dados desta pesquisa utiliza dos recursos das aplicações do *Microsoft Office Excel*, e *Microsoft Office Word*, utilizando-os para melhor organização, compreensão e visualização das informações coletadas. Assim, a tabulação dispõe de gráficos e tabelas para análise das informações, além de conter resumos com síntese e conclusões dos referidos assuntos.

### 3.6 Considerações finais sobre o capítulo

Neste capítulo foi caracterizado o tipo de pesquisa utilizada no desenvolvimento do trabalho, além da disposição dos materiais e métodos. Também foram apresentadas as variáveis e indicadores que fazem parte do estudo, assim como o instrumento de coleta de dados juntamente às ferramentas para tabulação dos dados.

O próximo capítulo aborda as discussões e resultados dos do levantamento das informações relacionadas aos estudos de casos onde são apresentadas as informações relevantes do tema proposto.

## **4 RESULTADOS**

Este capítulo apresenta os casos selecionados e os respectivos resultados. É explorado e contextualizado a importância da manutenção preditiva na indústria de mineração, apresentando uma visão geral dos desafios enfrentados, as soluções tecnológicas emergentes e as percepções obtidas através dos artigos científicos estudados. Ao longo deste capítulo, são examinados casos específicos que ilustram a implementação de estratégias de manutenção preditiva, fornecendo uma visão abrangente de como essa abordagem está revolucionando a gestão de ativos na mineração.

### **4.1 Características dos casos**

Dentre a diversidade de casos voltados à área da Manutenção Preditiva, foram selecionados quatro casos publicados entre 2017 e 2023. Dessa forma, a pesquisa assume um aspecto mais contemporâneo e compatível com as tecnologias aplicadas na atualidade.

Para garantir que os estudos de caso selecionados forneçam percepções relevantes e que consigam representar uma ampla gama de cenários e desafios, adotou-se uma abordagem sistemática e criteriosa.

O primeiro passo no processo de seleção foi uma revisão extensa da literatura existente sobre manutenção preditiva voltada à mineração. Esta revisão incluiu artigos acadêmicos embasados em relatórios técnicos, publicações da indústria e estudos de caso documentados previamente. A revisão da literatura ajudou a identificar as práticas atuais, as tecnologias emergentes e os desafios comuns enfrentados pela indústria de mineração em relação à manutenção preditiva.

Com base na revisão da literatura, foram identificadas empresas do ramo mineral que utilizam de projetos que implementaram com sucesso estratégias de manutenção preditiva. A seleção incluiu empresas de diferentes portes e localizações geográficas, garantindo uma diversidade de contextos operacionais e ambientais.

Para garantir que os estudos de caso fossem representativos e proporcionassem uma visão abrangente, foram estabelecidos critérios específicos de seleção para que então seja feita a classificação de acordo com a escala Likert. Os principais critérios incluem:

- **Pertinência / Correlação:** O estudo de caso deve estar diretamente relacionado à aplicação de manutenção preditiva na mineração.
- **Inovação:** Preferência por casos que utilizam tecnologias modernas e abordagens inovadoras.
- **Impacto:** Casos que demonstram um impacto significativo na eficiência operacional, redução de custos ou aumento da segurança.
- **Disponibilidade de Dados:** Acesso a dados detalhados e relevantes que permitam uma análise aprofundada.
- **Variedade:** Inclusão de diferentes tipos de equipamentos, condições operacionais e desafios específicos da mineração.

Assim, classificou-se cada estudo de caso conforme cumprimento dos requisitos de pertinência / correlação, inovação, impacto, disponibilidade de dados e variedade. Ou seja, o atendimento do número de quesitos reflete à nota de classificação de relevância de cada pesquisa.

A Tabela 8 apresenta como foi elaborado a medição de relevância dos estudos de caso em acordo com a escala Likert adaptada.

Tabela 8: Relevância dos estudos em Escala Likert Adaptada

RELEVÂNCIA DOS ESTUDOS DE CASO DA PESQUISA:				
Não relevante	Pouco relevante	Moderadamente relevante	Relevante	Muito Relevante
1	2	3	4	5
				

Fonte: Adaptado de Costa e Silva (2014)

Como visto na Tabela 8, adotou-se a ilustração simbólica para designar a relevância dos estudos de casos avaliados em cada pesquisa.

De posse dos estudos de caso, optou-se pela seleção de quatro publicações para composição do quadro das contribuições da manutenção preditiva na mineração. Assim, o trabalho tem como objetivo principal investigar as contribuições e relevância na manutenção preditiva.

A seguir são detalhados os resultados de cada caso

#### **4.1.1 Caso 1: Abordagens adotáveis para manutenção preditiva na indústria de mineração: uma visão geral. (Outubro 2023)**

**Autores: Oluwatobi Dayo-Olupona, Bekir Genc, Turgay Celik, Samson Bada.**

A escolha deste caso se deve à abordagem generalista sobre o assunto de manutenção preditiva. Em sua revisão bibliográfica é destacado a importância da manutenção preditiva para o diagnóstico e prognóstico de falhas nos equipamentos. Além disso, é destacado a aplicabilidade desse método de manutenção, pois sabe-se que é um método que se aprimora junto ao desenvolvimento tecnológico, que por sua vez, necessita de elevado investimento financeiro. Contudo, a pesquisa ressalta que os meios preditivos necessitam de prévia análise de criticidade do equipamento, para que então se aplique os métodos de manutenção preditiva ao mesmo.

Quanto aos estudos de casos presentes no artigo, foi conduzida uma revisão abrangente da literatura para investigar como o Aprendizado de Máquina (*ML – Machine Learning*) pode fazer a diferença quando o assunto é manutenção, visando determinar a tomada de decisão. O estudo focou especialmente em tecnologias preditivas aplicadas à manutenção de equipamentos na indústria de mineração. A revisão oferece uma visão geral das práticas de manutenção específicas desse setor, examinando também métodos e processos de manutenção preditiva utilizados em outras indústrias que poderiam ser adaptados. Além disso, o texto leva em conta diferentes abordagens e modelos de manutenção preditiva, incluindo métodos estatísticos e baseados em ML aplicáveis à formulação de estratégias de manutenção preditiva.

A Tabela 9 do artigo apresenta treze estudos de caso sobre manutenção preditiva em máquinas e equipamentos de mineração, evidenciando a aplicação de algoritmos de *Machine Learning* que proporcionaram resultados significativos para diagnóstico e prognóstico de falhas. Para a presente pesquisa, foram selecionados os estudos de caso que, de acordo com o autor, destacam três ou mais contribuições relevantes para a manutenção preditiva.

Tabela 9 - Estudos de Manutenção Preditiva relacionados à mineração.

Referência	Máquina / Equipamento	Algoritmo de ML	Visão geral do de cada artigo
Sharma <i>et al.</i> (2022)	Pá Carregadeira	Desenvolvimento de modelo de previsão RUL	O desenvolvimento de modelo de previsão RUL ( <i>Remaining Useful Life</i> ) refere-se ao processo de construção de modelos preditivos que estimam quanto tempo um equipamento, componente ou sistema continuará a funcionar antes de falhar. Esses modelos são essenciais em manutenção preditiva e gestão de ativos, pois ajudam a prever quando a manutenção deve ser realizada para evitar falhas inesperadas e maximizar a vida útil dos equipamentos. O objetivo é calcular com precisão o tempo restante até a falha com base em dados históricos, condições de operação atuais e outras variáveis relevantes.
Cofre-Martel <i>et al.</i> (2021)	Linha de processamento mineral de cobre	Desenvolvimento de modelo de diagnóstico para múltiplas classificações de modo de falha	O estudo é relevante para a indústria de mineração, especialmente na manutenção preditiva, onde a identificação precisa de falhas potenciais pode otimizar a eficiência operacional e reduzir os tempos de inatividade. Os dados são coletados de sensores instalados nos equipamentos, permitindo uma análise detalhada e precisa dos padrões de falha. Este tipo de modelo de diagnóstico é essencial para melhorar a confiabilidade dos sistemas e prolongar a vida útil dos equipamentos na indústria de mineração.
Patil <i>et al.</i> (2021)	Caminhões subterrâneos e carregadores	Projeto de modelo preditivo para freios, motor e transmissão	O artigo da revista <i>OPSEARSH</i> aborda o desenvolvimento de um modelo preditivo para otimizar a disponibilidade de caminhões subterrâneos e carregadores na mineração, com foco em sistemas críticos como freios, motor e transmissão. Usando técnicas de aprendizado de máquina, o modelo prevê falhas iminentes, ajudando a melhorar o planejamento de manutenção e reduzir o tempo de inatividade dos equipamentos. A pesquisa destaca a aplicabilidade prática do modelo em ambientes reais de mineração, onde as condições severas tornam a manutenção preditiva especialmente desafiadora
Aqueveque <i>et al.</i> (2021b)	Peneiras Vibratórias	Sistema de monitoramento de vibração baseado em IoT para máquinas de mineração em tempo real	O estudo descreve o desenvolvimento de um sistema de monitoramento baseado em <i>IoT</i> ( <i>Internet of Things</i> ) para máquinas de mineração, focado na detecção em tempo real de vibrações. O sistema utiliza sensores integrados que coletam dados de vibração das máquinas, transmitindo essas informações em tempo real para uma plataforma central. Esse monitoramento contínuo permite a identificação precoce de falhas potenciais, melhorando a manutenção preditiva e reduzindo o tempo de inatividade das máquinas, o que é crucial em ambientes de mineração severos
Aqueveque <i>et al.</i> (2021a)	Peneiras Vibratórias	Desenvolvimento de um Sistema CyberFísico para Detecção Precoce de Falhas em Peneiras Vibratórias	O artigo de Aqueveque <i>et al.</i> (2021) descreve o desenvolvimento de um sistema ciberfísico especializado para detecção precoce de falhas em peneiras vibratórias usadas na mineração. Utilizando sensores sem fio e técnicas de aprendizado de máquina, o sistema monitora as condições das peneiras, identificando anomalias com até 168 horas de antecedência. Com precisão de 95% a 98%, o sistema ajuda a evitar paradas não planejadas e melhora a disponibilidade operacional dos equipamentos, sendo otimizado para suportar ambientes vibratórios severos e superar os sistemas de

			monitoramento genéricos.
Guerrum <i>et al.</i> (2021)	Triturador de mandíbula	Projeto RUL para um britador de mandíbula	O estudo foca no desenvolvimento de um modelo para estimar a vida útil restante (RUL) do britador, ajudando a prever quando a manutenção é necessária antes que ocorram falhas. A abordagem proposta utiliza dados operacionais coletados de sensores instalados nos britadores para treinar modelos de aprendizado de máquina, que então preveem o tempo restante de operação antes que uma falha crítica possa ocorrer. Este tipo de manutenção preditiva é essencial para a indústria de mineração, pois melhora a eficiência operacional, reduz os custos com manutenção não planejada e minimiza o tempo de inatividade dos equipamentos.
Rocha <i>et al.</i> (2021)	Correia Transportadora	Detecção automática de anomalias na inspeção de transportadores de correia	O artigo "ROSI: <i>a robotic system for harsh outdoor industrial inspection</i> " de Rocha <i>et al.</i> (2021) apresenta o ROSI, um sistema robótico desenvolvido para inspeções industriais em ambientes adversos. O estudo detalha o design e as tecnologias do sistema, destacando sua capacidade de operar em condições desafiadoras, como ao ar livre e em locais industriais. As contribuições para a manutenção preditiva incluem a melhoria da capacidade de monitoramento e inspeção em condições extremas, o que permite a detecção antecipada de problemas e a realização de manutenções preventivas de forma mais eficiente e segura. O ROSI, ao automatizar a inspeção em ambientes difíceis, promove uma abordagem mais proativa na gestão de manutenção e redução de falhas inesperadas.

Fonte: Adaptado de Oluwatobi Dayo (2023).

#### **4.1.2 Caso 2 - Monitoramento preditivo online de ativos industriais com uso de sensores via bluetooth: Estudo de caso na indústria de mineração. (2022)**

**Autor: Geovani Lima Teles**

O estudo de caso realizado por Teles apresenta a implementação de melhorias no monitoramento de ativos por meio de sensores *Bluetooth*, destacando benefícios que vão além da manutenção, como a redução de riscos ocupacionais devido à eliminação de cabos, o que também evita manutenções na rede de comunicação. Nesse contexto, o grupo de trabalho da indústria avaliou a solução *DynaPredict* como uma alternativa para substituir os métodos de monitoramento *offline* e *online* cabeado, com o objetivo de diminuir custos de implementação e manutenção da estrutura cabeada e ampliar o número de ativos monitorados, ao mesmo tempo em que reduz a exposição a riscos no ambiente de trabalho.

Quanto a análise de dados, uma vez que os sensores *DynaLogger* são fixados nos equipamentos, cadastrados na árvore de ativos da plataforma web e configurados com seus limites de operação, é possível realizar o acompanhamento online da saúde do ativo. Com a leitura periódica dos valores de vibração e temperatura, seja pelo aplicativo móvel ou via

*Gateway*, é possível realizar uma análise completa de dados, através de ferramentas práticas que apoiam a tomada de decisão e as ações da equipe de Manutenção.

Para exemplificar a utilidade da ferramenta, é apresentado na Figura 3 o monitoramento de um motor que apresentava níveis elevados de vibração, levando a uma intervenção quando esses níveis começaram a indicar o início de uma falha. Após a substituição do motor, o equipamento voltou a operar normalmente.

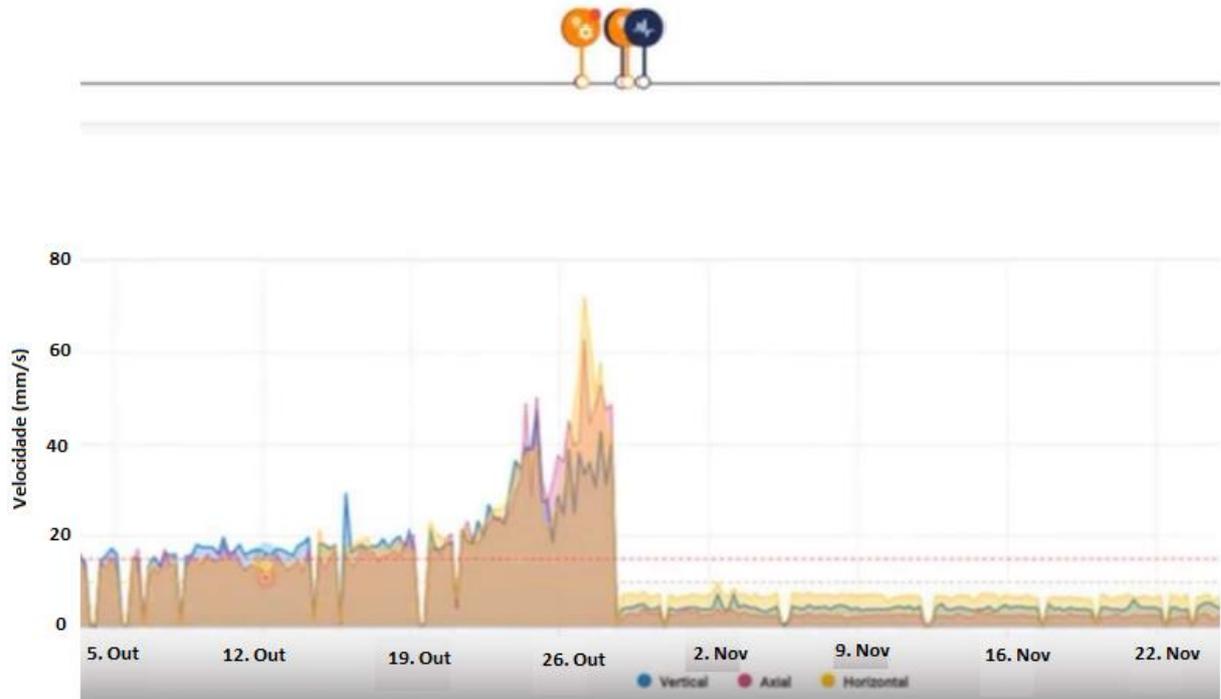


Figura 3 – Espectro de vibração de um motor monitorado pelo *DynaLogger*  
Fonte: Adaptado de Telles (2023).

Destaca-se na Figura 3, o antes e depois da substituição de um motor.

Já no exemplo mostrado na Figura 4, o inspetor recebeu um alerta sobre a temperatura elevada no mancal de um tambor e conseguiu confirmar essa informação por meio de uma análise termográfica, o que reforçou a confiabilidade do monitoramento online.



Figura 4 – Mancal de rolamento de um tambor monitorado com *DynaLogger*, Fonte: Telles (2023).

Observa-se na Figura 4, a indicação de alerta de temperatura elevada via aplicativo *mobile* e posteriormente confirmado através de análise termográfica.

#### **4.1.3 Caso 3: Proposição de um plano de Manutenção Preditiva para motores a diesel de máquinas carregadeiras que executam serviços de apoio a atividade de Mineração (2023)**

**Autor: Breno de Oliveira Faria**

Neste estudo de caso elaborado por Faria, encontra-se na secção 5.4 a técnica de manutenção preditiva de análise de óleo lubrificante, utilizada nos motores das carregadeiras. De acordo com o autor, através dessa técnica, é possível avaliar a condição do equipamento, detectando problemas em estágios iniciais e evitando falhas prematuras que possam resultar em paradas não programadas e conseqüentemente perda de produtividade.

Em motores de combustão interna, essa ferramenta é crucial para monitorar a condição real do equipamento e identificar problemas como desgaste excessivo e contaminação do lubrificante por água ou partículas de poeira. Embora o setor de manutenção realizasse análises do óleo lubrificante, essas análises não seguiam um plano de manutenção específico e eram realizadas de forma esporádica (FARIA, 2023).

A pesquisa de Faria, levou em conta a análise de óleo lubrificante de três carregadeiras, designadas simplismente pelos nomes A, B, C. Diante da disposição dos dados, tomou-se os resultados da carregadeira C para efeito de estudo e comparação, isto é, devido ao maior número de variações de parâmetros e status do óleo lubrificante.

De acordo com o estudo, apresentam-se nas Tabelas 10 e Tabela 11 os resultados da análise do óleo lubrificante do motor da carregadeira C.

Tabela 10 – Resultado da análise de desgaste e contaminação do óleo lubrificante do motor da carregadeira C.

Dados da Amostra						Desgaste				Contaminação			Água
Amostra	Status	Coleta	Horímetro do Motor	Horímetro do Óleo	Trocar	Fe (ppm)	Cu (ppm)	Cr (ppm)	PQI	Si (ppm)	Al (ppm)	Dil.Diesel CG (%)	KF Vol. (ppm)
1	Crítico	11/01/2023	8549	-	Sim	427	1	4	2482	29	5	<1	2237
2	Normal	10/11/2022	7891	-	Não	30	1	2	2	7	2	<1	1386
3	Normal	21/05/2022	5560	516	Sim	27	1	1	10	5	1	<1	1238
4	Normal	11/04/2021	5070	516	Sim	30	1	1	13	7	1	<1	1407
5	Anormal	23/02/2021	4554	514	Sim	28	2	1	14	10	3	<1	883

Fonte: Laboratório de Análise de Óleo *apud* Faria (2023)

Tabela 11 – Resultado da Análise de Óleo lubrificante na Carregadeira C.

Amostra	Fluido	Condições do Fluido							Carga Aditiva			
		Visual	Viscosidade 100°C (cSt)	TBN-4739 (mg KOH/g)	Fuligem FTIR(%)	Oxidação (abs/cm)	Ftr	P (ppm)	ZN (ppm)	Zn (ppm)	MG (ppm)	
1	10W30	Partículas Metálicas	9,77	6,989	0,16	13	958	1187	2813	21		
2	-	Normal	13,95	7,57	0,42	10	1029	1234	1318	1325		
3	15W40 (inativo)	Normal	14,98	6,48	0,47	11	1093	1304	4182	15		
4	15W40 (inativo)	Normal	14,63	7,55	0,48	11	1022	1205	3796	21		
5	15W40 (inativo)	Normal	13,25	2,26	0,32	8	603	669	1181	10		

Fonte: Laboratório de Análise de Óleo *apud* Faria (2023)

Após análise detalhada dos dados na Tabela 10 e Tabela 11, Faria constatou uma alta concentração de Ferro e Silício, um Índice de Qualidade de Partículas (PQI) que indica má qualidade de óleo lubrificante, e presença de partículas metálicas, indicando possível contaminação externa e desgaste acentuado do motor. Além disso, o autor constatou que variações na aditivação do óleo podem ter contribuído para o desgaste prematuro.

Diante da avaliação do estudo voltado à carregadeira C, recomendou-se a imediata interrupção do equipamento para vistoria aprofundada do sistema de admissão de ar. Assim, foi realizada a verificação de filtros, tampas, abraçadeiras, e nível de óleo. Então, após 125 horas de operação, sugere-se a troca do óleo e envio de mais uma amostra para análise, informando as horas de uso para nova avaliação específica.

#### **4.1.4 Caso 4: Métodos de inspeção de tubulações de transporte de minério: o caso da integridade de dutos (2017)**

**Autor: Caio Costa e Silva**

O estudo realizado por Silva (2017), analisou dentre os métodos de inspeção de tubulações, as vantagens associadas ao método preditivo de inspeção por PIG (*In Line Inspections*).

A empresa em questão, utiliza o modal dutoviário para transporte da polpa de minério, toda produção é bombeada em três linhas de mineroduto que abrangem os estados de Minas Gerais ao Espírito Santo.

Diante da dependência exclusiva dessa modalidade, faz-se necessário inspeções periódicas afim de garantir a integridade estrutural dos dutos para escoamento da produção.

O recurso de inspeção, denominado Smart PIGs, ou PIGs instrumentados, são dispositivos de inspeção interna de dutos que utilizam técnicas de ensaios não destrutivos para avaliar a condição dos dutos, detectando espessura das paredes, ovalização, amassamentos, corrosões e trincas. Uma de suas principais vantagens é a capacidade de mapear com precisão defeitos ao longo de toda a extensão do duto. Os PIGs com tecnologia MFL (*Magnetic Flux Leakage*) detectam variações na espessura através de um campo magnético, enquanto os PIGs com tecnologia UT utilizam cabeçotes de ultrassom para uma varredura completa da circunferência do duto.

A seguir é apresentado na Figura 5, o exemplo de PIG instrumentado com tecnologia UT-C.



Figura 5: PIG UT-C

Fonte: Silva (2016)

Na Figura 5, é apresentado um PIG com tecnologia UT, equipado com cabeçotes de ultrassom que realizam a detecção da espessura ou de defeitos no tubo.

A Tabela 8 mostra o intervalo entre as inspeções por diferentes tipos de PIG's nos tubos dos mineroduto da empresa em questão.

Tabela 12: Intervalos de inspeções por PIG

<b>Inspeção</b>	<b>Ameaças mapeadas</b>	<b>Intervalo máximo entre inspeções</b>
Smart PIG para corrosão (MFL e/ou UT e/ou TMFL)	Corrosão interna ou externa Erosão Defeitos de laminação Defeitos de fabricação	Recomendável: 5anos Máximo aceitável: 7anos
Smart PIG para trinca ( <i>UT Crack Detection</i> e/ou <i>TMFL</i> )	Trincas	Recomendável: 5anos Máximo aceitável: 7anos
Smart PIG para defeitos geométricos ( <i>Geometric Deformation Tool</i> )	Defeitos geométricos (quantitativamente)	Recomendável: 5anos Máximo aceitável: 7anos
Smart PIG para desvios de traçado ( <i>Inertial Mapping Tool</i> )	Movimentação de solo	Recomendável: 3anos Máximo aceitável: 5anos
Inspeção com PIG de limpeza com placa calibradora ( <i>caliper tool</i> )	Defeitos geométricos (qualitativamente)	Recomendável: anual Máximo aceitável: 2anos

Fonte: Empresa Estudada *apud* Silva (2017)

Pós passagem do PIG pela tubulação, os dados são coletados, e em seguida enviados para confecção de relatório de inspeção detalhando as posições exatas de anomalias, soldas circunferenciais e longitudinais, derivações, suportes e outros componentes identificados na tubulação. Estes dados também são utilizados para outros estudos realizados pela equipe de integridade, como cálculo da taxa de erosão, cálculo da taxa de crescimento de corrosões, entre outros.

No que diz respeito às vantagens e desvantagens do método de inspeção por PIG, o estudo realizado por Silva resume essas informações na Tabela 13.

Tabela 13: Vantagens e desvantagens de inspeções por PIG

<b>Inspeções por smart PIG</b>	
<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Detecção de anomalias em toda extensão do duto com apenas uma inspeção</li> <li>• Detecção de varios tipos de anomalias com apenas uma inspeção</li> <li>• Possibilidade de combinar dois ou mais tipos de inspeção</li> <li>• Pode fornecer informações adicionais sobre a operação do duto</li> <li>• Alta qualidade e confiabilidade dos dados</li> <li>• Os dados fornecidos são base para outros estudos sob o comportamento e vida util da tubulação</li> <li>• Não necessita de pequenos intervalos entre inspeções</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Causa restrições a operação, o que pode restringir a produção</li> <li>• Necessita de mão de obra especializada pra realizar o tratamento dos dados</li> <li>• Custo alto por inspeção</li> <li>• Processamento dos dados gerados não é imediato</li> <li>• Necessita de parâmetros especiais de construção</li> <li>• Poucas empresas fornecem o serviço</li> <li>• Pode causar danos sérios a tubulação em caso de imperícia dos executantes da inspeção</li> </ul>

Fonte: Silva (2016)

#### **4.1.5 Contribuições da Manutenção Preditiva no setor da mineração para consolidação de uma base teórica para a área da Manutenção.**

Perante as informações apresentadas nos estudos de caso citados anteriormente, montou-se o quadro resumo com as principais contribuições da manutenção preditiva para consolidação de uma base teórica para a manutenção:

Tabela 14 – Contribuições da Manutenção preditiva na mineração para consolidação de uma base teórica para a manutenção.

Estudo de Caso	Contribuição	Relevância
<p>1. <i>Abordagens adotáveis para manutenção preditiva na indústria de mineração: uma visão geral. (outubro 2023)</i>            Autores: Oluwatobi, Dayo-Olupona, Bekir Genc, <i>et al.</i></p>	<p>Detecção, prognóstico e diagnóstico de Falhas através de algoritmos baseados em ML.</p>	
<p>2. <i>Monitoramento preditivo online de ativos industriais com uso de sensores via bluetooth: Estudo de caso na indústria de mineração. (2022)</i>            Autor: Teles, Geovani Lima</p>	<p>Análise das condições e tomada de decisão antes que ocorra uma falha, utilizando sensores para monitoramento dos níveis de vibração e temperatura.</p>	
<p>3. <i>Proposição de um plano de Manutenção Preditiva para motores a diesel de máquinas carregadeiras que executam serviços de apoio a atividade de Mineração (2023)</i>            Autor: Faria, Breno de Oliveira</p>	<p>Detecção de problemas em estágios iniciais a fim de evitar falhas prematuras que possam resultar em paradas não programadas e perda de produtividade, através da análise de óleo lubrificante.</p>	
<p>4. <i>Métodos de inspeção de tubulações de transporte de minério: o caso da integridade de dutos (2017)</i>            Autor: Silva, Caio Costa</p>	<p>Avaliação da integridade estrutural de forma a mensurar valores de espessura, ovalização, amassamentos, corrosões e trincas.</p>	

Fonte: Pesquisa Direta (2024)

Junto às contribuições, a Tabela 14 apresenta a relevância destes estudos. Percebe-se que as pesquisas 3 e 4 receberam cinco estrelas pelo fato de atender todos os requisitos das classificações. Já as pesquisas 1 e 4 receberam quatro estrelas por não satisfazer a condição de explicitar os dados detalhados de forma a permitir uma análise técnica aprofundada do estudo.

## **5 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES**

### **5.1 Conclusão**

Diante da problemática proposta pela presente pesquisa, sendo essa avaliar as contribuições da manutenção preditiva no setor da mineração para consolidação de uma base teórica para a área de manutenção.

Com a análise teórica, foi possível distinguir cada método de manutenção com base nas características específicas de cada um. A partir desta revisão, verifica-se que a manutenção e seus métodos de manutenção vêm se aprimorando de acordo com as inovações tecnológicas.

De acordo com os estudos de casos apresentados de manutenção preditiva na mineração, percebeu-se que a manutenção preditiva neste setor, é capaz de identificar anomalias antes mesmo que a falha venha a ocorrer, possibilitando assim a atuação no equipamento de forma planejada a fim de não comprometer seu funcionamento em um momento que esteja em plena operação. Os resultados são menores paradas não programadas, já que as potenciais falhas são identificadas no início de alteração de algum parâmetro construtivo.

Além do mais, a manutenção preditiva permite o acompanhamento da vida útil de diversos ativos da mineração, já que as variáveis de monitoramento podem acompanhadas periodicamente, ou dependendo do equipamento, lidas em tempo real. Sendo assim, é possível determinar o momento certo de se efetuar a troca.

Contudo, pode-se dizer que o objetivo da pesquisa foi alcançado, visto que foram analisados estudos de casos que apresentam a aplicação da manutenção preditiva. Ademais, foi avaliada a relevância desses estudos, categorizada em acordo com a adaptação da escala Likert para o método de manutenção preditiva. Sendo assim, pode-se dizer que o presente estudo alcançou seu objetivo, consolidando-se como uma base teórica para a manutenção.

### **5.2 Recomendações**

A partir do estudo realizado, recomendam-se os seguintes trabalhos futuros:

- Estudo da Integração de Tecnologias Emergentes para a Manutenção Preditiva;

- Proposta de Mapeamento da Vida Útil de Equipamentos Críticos para o Setor/Indústria, a partir da Implementação de Métodos de Inspeção Preditivos;
- Avaliação da Eficácia de Técnicas de Monitoramento em Tempo Real na Manutenção Preditiva: o caso da Confiabilidade de Ativos Industriais.

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- SIQUEIRA, Yony Patriota de. **Manutenção Centrada na Confiabilidade**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2005.
- KARDEC, Alan; NASCIF Júlio. **Manutenção: função estratégica**. 3.ed. Rio de Janeiro: Ed. Qualitymark, 2009. 384 p.
- XENOS, Harilaus G. **Gerenciando a Manutenção Produtiva: O Caminho para Eliminar Falhas nos Equipamentos e Aumentar a Produtividade**. 1.ed. Rio de Janeiro: EDG, 1998. 302 p.
- VIANA, Hebert Ricardo Garcia. **Planejamento e Controle da Manutenção**. 1.ed. Rio de Janeiro: Ed. Qualitymark, 2006. 167 p.
- MONCHY, François. **A Função Manutenção: Formação para a gerência da Manutenção Industrial**. 1.ed. São Paulo: Ed. Durban, 1987. 424 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5462: Confiabilidade e Manutenibilidade**. Rio de Janeiro, 1994. 37 p.
- CAETANO, Eduardo Saar. **O que é MANUTENÇÃO PREDITIVA e qual importância dela na gestão de ativos**. Revista Manutenção, Brasil, 2018.
- NETO, Alexandre Shigunov, e João Augusto Scarpim. **"A terceirização dos serviços de manutenção industrial é viável? Algumas reflexões iniciais."** Qualitas Revista Eletrônica 12, no. 2, 2011.
- TELES, Jhonata. **Planejamento e controle da manutenção descomplicado: uma metodologia passo a passo para implantação do PCM.2**. ed. Brasília: Engeteles editora, 2019. 240p.
- FREITAS, Laís Fulgêncio. **Elaboração de um Plano de Manutenção em uma pequena empresa do setor etal Mecânico de Juiz De Fora com base nos conceitos da Manutenção Preventiva e Preditiva**. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Juiz de Fora. Juiz de Fora – MG, 2016.
- REIS, Zaida Cristiane dos; DENARDIN, Carina Desconzi; MILAN, Gabriel Sperandio. **A Implantação de um Planejamento e Controle da Manutenção: Um estudo de caso desenvolvido em uma empresa do ramo alimentício**. In: VI Congresso Nacional de

Excelência em Gestão, 2010, Niterói. Disponível em: <  
[http://www.excelenciaemgestao.org/Portals/2/documents/cneg6/anais/T10\\_0268\\_0981.pdf](http://www.excelenciaemgestao.org/Portals/2/documents/cneg6/anais/T10_0268_0981.pdf) >  
Acesso em 6 out. 2015.

MIRSHAWKA, Victor; OLMEDO, Napoleão Lopes. **Manutenção – Combate aos custos da não eficácia – A vez do Brasil**. São Paulo: Editora Makron Books do Brasil Ltda., 1993.

COSTA, Mariana de Almeida. **Gestão estratégica da Manutenção: uma oportunidade para melhorar o resultado operacional**. 2013. 103f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2013.

GIL, Antonio Carlos. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas S. A., 2002.

GIL, Antonio Carlos. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social**. São Paulo. Grupo Editorial Nacional. 2019.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Fundamentos de Metodologia Científica**. 5. ed. São Paulo: Atlas S. A., 2003.

FERREIRA, H.; CASSIOLATO, M.; GONZALEZ, R. **Uma experiência de desenvolvimento metodológico para avaliação de programas: o modelo lógico do programa segundo tempo**. Texto para discussão 1369. Brasília: IPEA, 2009.

FUNDAÇÃO NACIONAL DA QUALIDADE. **Indicadores de Desempenho – Estruturação do Sistema de Indicadores Organizacionais**. 3. ed. São Paulo: Fundação Nacional da Qualidade, 2012.

COSTA, João Florêncio da. **Um estudo sobre o uso da escala de Likert na coleta de dados qualitativos e sua correlação com as ferramentas estatísticas**, Revista Contribuições a Las Ciencias Sociales; DOI: 10.55905/revconv.17n.1-021, 02/01/2024.

SILVA, Severino Domingos da; COSTA, Francisco José da: **Mensuração e Escalas de Verificação: uma Análise Comparativa das Escalas de Likert e Phrase Completion**. XVII SEMEAD Seminários em Administração. ISSN 2177-3866 – outubro 2014.

OLUWATOBI, Dayo-Olupona; et al. **Abordagens Adotáveis para Manutenção Preditiva na Indústria de Mineração: Uma Visão Geral**; Elsevier ScienceDirect ReserarchGte, outubro 2023, DOI:10.1016/j.resourpol.2023.104291.

TELLES, Geovani Lima. **Monitoramento Preditivo Online de Ativos Industriais com uso de Sensores via Bluetooth: Estudo de caso na Indústria de Mineração**, 2022 - Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Controle e Automação) - Instituto Federal do Espírito Santo, Serra-ES, 2022.

FARIA, Breno de Oliveira; RAPOSO, Felipe Da Encarnação Assis. **Proposição de um Plano de Manutenção Preditiva para Motores a Diesel de Máquinas Carregadeiras que executam serviços de apoio a atividade de Mineração**, 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) - Instituto Federal Do Espírito Santo, Vitória – ES, 2023

CAIO, Costa E Silva. **Métodos de Inspeção de Tubulações de Transporte de Minério: o caso da Integridade De Dutos.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica Unoversidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto – Mg, 2017.