



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO – UFOP**

**ESCOLA DE MINAS**

**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**



**LEONARDO WESLEY MOL**

**O IMPACTO DA GESTÃO DA LUBRIFICAÇÃO PARA O CONSUMO  
DE ÓLEO LUBRIFICANTE DOS EQUIPAMENTOS MÓVEIS DE  
SUPERFÍCIE NA INDÚSTRIA DE MINERAÇÃO**

**OURO PRETO - MG  
2023**

**LEONARDO WESLEY MOL**  
**leonardo.mol@aluno.ufop.edu.br**

**O IMPACTO DA GESTÃO DA LUBRIFICAÇÃO PARA O CONSUMO  
DE ÓLEO LUBRIFICANTE DOS EQUIPAMENTOS MÓVEIS DE  
SUPERFÍCIE NA INDÚSTRIA DE MINERAÇÃO**

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.

**Professora orientadora:** Zirlene Alves da Silva Santos, PhD

**OURO PRETO – MG**  
**2023**

## SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

M717i Mol, Leonardo Wesley.

O impacto da gestão da lubrificação para o consumo de óleo lubrificante dos equipamentos móveis de superfície na indústria de mineração. [manuscrito] / Leonardo Wesley Mol. - 2023.  
57 f.: il.: color., gráf., tab..

Orientadora: Profa. Dra. Zirlene Alves da Silva SANTOS.  
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Graduação em Engenharia Mecânica .

1. Manutenção. 2. Gestão da lubrificação. 3. Otimização de processos.  
4. Consumo de lubrificantes. 5. Redução de custo. I. SANTOS, Zirlene Alves da Silva. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 624

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



## FOLHA DE APROVAÇÃO

**Leonardo Wesley Mol**

### O IMPACTO DA GESTÃO DA LUBRIFICAÇÃO PARA O CONSUMO DE ÓLEO LUBRIFICANTE DOS EQUIPAMENTOS MÓVEIS DE SUPERFÍCIE NA INDÚSTRIA DE MINERAÇÃO

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 22 de Agosto de 2022

#### Membros da banca

PhD - Zirlene Alves da Silva Santos - Orientador(a) - Universidade Federal de Ouro Preto  
Dr - Claudio Marcio Santana - Universidade Federal de Ouro Preto  
Dr - Diogo Antônio de Sousa - Universidade Federal de Ouro Preto  
Dr - Vinícius Carvalho Teles - Universidade Federal de Ouro Preto

Zirlene Alves da Silva Santos, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 22/08/2023



Documento assinado eletronicamente por **Zirlene Alves da Silva Santos, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 22/08/2023, às 18:43, 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 **0578974** e o código CRC **54864DE0**.

À Deus dedico mais esta etapa vencida,  
minha mãe, meu irmão e a minha noiva  
pelo apoio.

## **AGRADECIMENTO**

À toda minha família, principalmente minha mãe Maria de Lourdes e meu irmão Luesley, por todo suporte e incentivo.

À minha noiva Ellen por ter acreditado em mim e não me deixado desistir.  
Aos meus avós João e Maria por sempre estarem presentes quando precisei.

A minha orientadora Zirlene Alves da Silva Santos, por tornar este trabalho menos árduo, pelo incentivo e orientação.

Aos professores do curso de engenharia mecânica por suas importantes contribuições para o aprimoramento do trabalho.

A todos companheiros de curso e do trabalho que contribuíram e participaram desta caminhada e ajudaram a ser possível concluir essa etapa Matthews, Luís Eduardo, Lucas e Caíque.

*“Veni, vidi, vici”* (Vim, vi e venci).

Júlio César.

## RESUMO

Dada a importância da gestão da lubrificação no processo de manutenção da indústria de mineração, métodos são elaborados para evitar falhas pela sua má gestão. A gestão da lubrificação otimiza o consumo de lubrificante, minimiza falhas, evita quebras indesejadas e melhora o rendimento operacional através de um plano de lubrificação com intervalos determinados. O presente trabalho tem o objetivo de analisar a metodologia utilizada para controle de consumo de óleo lubrificante nos processos de manutenção preventiva e corretiva em uma empresa do setor de mineração. O estudo em questão tem uma abordagem qualitativa, exploratória e descritiva, com a utilização da técnica de estudo de caso. Para atingir o objetivo da pesquisa foi necessário mapear e analisar o processo de lubrificação e com os dados que são inseridos no SAP (Desenvolvimento de Programas para Análise de Sistema) identificar o consumo de lubrificantes e comparar. O resultado obtido com o emprego da metodologia da gestão da lubrificação para o consumo de óleo lubrificante, culminou em uma redução desse consumo de lubrificantes de 18% do segundo trimestre de 2023 em relação ao primeiro trimestre de 2023.

**Palavras-chave:** Manutenção. Gestão da lubrificação. Otimização de processos. Consumo de lubrificantes. Redução de custo.

## ABSTRACT

*Given the importance of lubrication management in the maintenance process of the mining industry, methods are designed to avoid failures due to poor management. Lubrication management optimizes oil consumption, minimizes failures, prevents unwanted breakdowns and improves operational performance through a sure lubrication plan. This work aims to analyze the methodology used to control lubricating oil consumption in preventive and corrective maintenance processes in a company in the mining sector. The study in question has a qualitative, exploratory and descriptive approach, using the case study technique. To achieve the objective of the research it was necessary to map and analyze the lubricant process and with the data that are inserted in the SAP (Program Development for System Analysis) identify the consumption of lubricants and compare. Effective lubrication management in the mining industry optimizes oil consumption, minimizes failures, and improves operational performance. This study analyzes the methodology used to control lubricating oil consumption in a mining company through qualitative, exploratory, and descriptive case study. The methodology includes mapping and analyzing the lubricant process and using SAP to identify the consumption of lubricants and compare the results. The study shows that the lubrication management methodology led to a reduction of 18% in lubricating oil consumption in the second three months compared to the first three months analyzed period.*

*Keywords: Maintenance. Lubrication management. Process optimization. Consumption of lubricants. Cost reduction.*

**LISTA DE FIGURAS**

Figura 1- Equipamentos móveis de superfície. ....	3
Figura 2 - Visão geral dos parâmetros estruturais de sistemas tribológicos. ....	7
Figura 3 - Desenho esquemático da região de interface entre duas superfícies. ....	8
Figura 4 - Mecanismos de atrito. ....	11
Figura 5 - Classificação dos tipos de desgaste e suas subdivisões. ....	12
Figura 6 - Tipos de Manutenção. ....	15
Figura 7 - Tópicos explorados no capítulo 3. ....	25
Figura 8 - Métodos utilizados. ....	27
Figura 9 – Dados fornecidos pela análise do óleo coletado. ....	30
Figura 10 - Tabela de consumo do lubrificante na manutenção. ....	31
Figura 11 - Comparação do consumo de óleo por tipo de manutenção. ....	31
Figura 12 - Consumo por frota. ....	32
Figura 13 - Itens de conferência da rotina de lubrificação. ....	33
Figura 14 - Informações gerais para destinação de lubrificantes. ....	33
Figura 15 - Comparação trimestral do consumo de óleo lubrificante. ....	35

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Fenômenos tribológicos.....	9
Tabela 2 - modelo de plano de lubrificação .....	23
Tabela 3 - Variáveis e indicadores.....	27
Tabela 4 - Intervalos de troca do óleo.....	29
Tabela 5 - Justificativa do reaproveitamento de lubrificantes.....	34

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1	Formulação do Problema .....	1
1.2	Justificativa .....	4
1.3	Objetivos .....	4
1.3.1	Geral.....	4
1.3.2	Específicos .....	4
1.4	Estrutura do Trabalho .....	5
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>6</b>
2.1	Tribologia.....	6
2.2	Fenômenos tribológicos.....	8
2.2.1	Atrito .....	9
2.2.2	Desgaste .....	11
2.2.3	Lubrificação.....	12
2.3	A manutenção.....	13
2.3.1	Manutenção Corretiva.....	16
2.3.2	Manutenção Preventiva.....	17
2.3.3	Manutenção Preditiva .....	18
2.3.4	Manutenção detectiva .....	20
2.3.5	Gestão da lubrificação.....	20
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>25</b>
3.1	Tipo de pesquisa.....	25
3.2	Materiais e Métodos .....	26
3.3	Variáveis e Indicadores.....	27
3.4	Instrumento de coleta de dados .....	27
3.5	Tabulação de dados .....	28
3.6	Considerações finais .....	28
<b>4</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>29</b>
4.1	Método de controle de consumo de lubrificantes dos equipamentos móveis de superfície .....	29
4.2	Análise da metodologia utilizada nos processos de lubrificação para identificar o consumo de lubrificante e/ou desperdícios.....	32
4.3	Contribuição da metodologia utilizada.....	34

<b>5 CONCLUSÃO .....</b>	<b>36</b>
<b>REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>37</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Formulação do Problema

Com o avanço da tecnologia, a alta competitividade do mercado e a constante busca por melhoria a indústria da mineração se encontra em constante evolução, e para tal, é de suma importância otimizar todos os seus processos de manutenção.

A indústria da mineração representa por mais de 20% das exportações brasileiras na última década, pela grande quantidade de material movimentada, são responsáveis pela construção e disponibilização de infraestruturas logísticas de grande porte, fundamentais para a competitividade do país (CARVALHO et al., 2016).

O Brasil é um dos principais países com enorme potencial no setor de mineração, devido ao seu vasto território e suas ricas reservas naturais. Nunes (2010) define mineração como a atividade de extração de minerais com valor econômico. O autor destaca a importância da atividade para o desenvolvimento da humanidade, pois possibilitou a fabricação de utensílios e ferramentas essenciais para a sobrevivência do homem. Segundo Lima e Teixeira (2006), a mineração é um dos eixos da economia brasileira, contribuindo para a geração de empregos, renda e também para as exportações totais do país; a extração de minerais leva ao desenvolvimento da infraestrutura e dos serviços locais em uma região.

De acordo com o Instituto Brasileiro de Mineração (Ibram, 2021), em 2021 o setor de mineração brasileiro registrou um aumento de 62% no faturamento em relação a 2020, chegando a R\$ 339 bilhões. Quando se trata de mineração no Brasil, o estado de Minas Gerais tem uma grande participação (SOBREIRA et al, 2001). O estado de Minas Gerais tem sido classificado como a segunda região mineradora mais importante do país, respondendo por cerca de 42% de toda a receita brasileira desse setor (IBRAM, 2021).

A extração mineral é realizada através de três operações principais: desmonte, carregamento e transporte. A operação de desmonte é realizada a fim de facilitar a remoção do material para o carregamento, os tratores de esteira são os mais comuns para tal. O objetivo da operação de carregamento é recolher o material desmontado e carregá-lo em um sistema de transporte adequado, as escavadeiras e as carregadeiras de rodas são os mais utilizados. O transporte possui a função de deslocar o material retirado da frente de lavra de minério ou estéril até o seu depósito, podendo ser a usina de beneficiamento, pilha de estéril ou outro destino específico, em sua maior parte, esta operação é feita por caminhões ou

correia transportadora. O planejamento de lavra se apresenta como um processo fundamental para previsão do andamento produtivo, elaboração de orçamentos e escala de produção (RODOVALHO, 2013).

De acordo com Stevenson (2001), os ganhos de produtividade de uma empresa podem ser atribuídos a diversos fatores, como melhoria dos processos produtivos, organização das atividades e alcance da qualidade. A melhoria da produtividade permite que as empresas invistam em novas máquinas e equipamentos e desenvolvam novos produtos, obtendo assim maiores lucros. Ainda segundo o autor, a produtividade é o resultado de entradas e saídas em um sistema de produção. Para dois cenários com o mesmo sistema e a mesma entrada, o cenário com a melhor saída também é o mais produtivo.

A manutenção mecânica é a área que assegura e dá respaldo para uma produção contínua e de qualidade, quando esta é realizada de modo eficiente em todas as suas capacidades, ou seja, de forma preditiva, preventiva e corretiva.

A manutenção industrial pode ser definida como o conjunto de medidas necessárias para manter ou restaurar uma peça, equipamento, máquina ou sistema em condições de funcionamento, a fim de maximizar sua vida útil (BERTULUCCI, 2012).

Na busca pela competitividade e excelência operacional, a manutenção vem assumindo um papel cada vez mais estratégico nas empresas. Por ser o responsável direto pela disponibilidade dos ativos, tem-se mostrado crítico para o desempenho empresarial, e quanto mais eficaz for a gestão da manutenção industrial, melhor será o desempenho (BERTULUCCI, 2012).

A manutenção preventiva é um método de controle realizado para reduzir falhas ou degradação no desempenho por meio de agendamento com base em períodos de tempo fixos. Uma das chaves para uma boa prevenção é estabelecer intervalos de tempo (OTANI e MACHADO, 2008).

A manutenção preditiva é a manutenção que monitora as variáveis e os parâmetros de desempenho das máquinas e equipamentos com o objetivo de definir o momento ideal para intervir, com o máximo aproveitamento do ativo (OTANI e MACHADO, 2008 e COSTA, 2013).

Combinado com um cronograma de lubrificação de qualidade, mão de obra treinada e suporte de Engenharia, fazem os equipamentos apresentarem um bom desempenho durante a operação (MOBLEY, 2008).

Os equipamentos móveis de superfície realizam o desmonte, o carregamento e o transporte, que são um dos principais processos produtivos da mineração, pois afetam diretamente os índices de produtividade em todas as frentes da operação de lavra. De acordo com Quevedo (2009), as operações de carregamento e transporte representam as atividades de retirada do material desmontado na frente de lavra até determinado local de descarga. Cada equipamento possui uma característica específica, onde para a seleção do equipamento devem ser avaliados determinados fatores compatíveis com as necessidades de cada mina, tais como: capacidade de produção, força de desagregação, distância transportada, compatibilidade entre equipamentos, mobilidade para deslocamento, dentre outros. A figura 1 apresenta alguns dos principais equipamentos móveis de superfície utilizados na extração mineral.



Figura 1- Equipamentos móveis de superfície.

Fonte: Pesquisa direta (2023)

A gestão da lubrificação visa desenvolver, criar ou melhorar soluções para as dificuldades envolvendo equipamentos e sua lubrificação. Dentro do processo de manutenção a lubrificação é fundamental para garantir a disponibilidade dos ativos. A lubrificação é um sistema que visa minimizar as falhas, evitar quebras indesejadas e melhorar o desempenho operacional, seguindo um plano de lubrificação prévio, com intervalos de tempo determinados (KARDEC, NASCIF, 2009).

Sendo assim, a gestão da lubrificação pode ser considerada muito importante dentro do processo de manutenção de equipamentos móveis de superfície; pois é um método que permite aumentar a eficiência, possibilita estender a vida útil dos equipamentos e, como consequência, reduzir custos.

Com base no contexto apresentado, a questão problema pertinente ao estudo é:

**Como a gestão da lubrificação contribui para a otimização do consumo de óleo lubrificante dos equipamentos móveis de superfície da indústria de mineração?**

## **1.2 Justificativa**

O custo das atividades de manutenção e a relação de eficácia na prevenção de falhas dos equipamentos pode comprometer os resultados e as metas de lucro de uma organização (Xenos, 1998). Segundo Almeida (2007), os custos gerados pela manutenção correspondem à maior parte dos custos operacionais totais da indústria, podendo representar entre 15% a 30% do custo dos bens produzidos. E por isso, controlar os custos da manutenção é um fator importante a ser conhecido no desempenho dos equipamentos.

A otimização do consumo de óleo lubrificante é essencial dentro da perspectiva da gestão da lubrificação. A gestão da lubrificação contribui de forma efetiva dentro da área de manutenção industrial. A utilização de um lubrificante inadequado, a quantidade incorreta do lubrificante e lubrificações em periodicidades inadequadas podem danificar os componentes antes do esperado.

Portanto, este estudo é significativo principalmente, para evitar falhas pela má gestão da lubrificação na indústria de mineração, para prolongar a vida útil dos componentes, reduzir manutenções não programadas, visando otimizar o consumo de lubrificantes para reduzir desperdícios e conseqüentemente reduzir custos; assim como, tornar os processos mais eficientes e eficazes, mantendo em dia as tarefas de manutenção preventiva e preditiva.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Geral**

Estudo de uma metodologia utilizada para controle de consumo de óleo lubrificante nos processos de manutenção preventiva e corretiva em uma empresa do setor de mineração.

### **1.3.2 Específicos**

- Realizar revisão bibliográfica sobre conceito de tribologia, fenômenos tribológicos, tipos de manutenção e gestão da lubrificação;

- Desenvolver estudo de caso sobre a gestão da lubrificação dos equipamentos móveis de superfície especificamente relacionado ao consumo e desperdício de óleo lubrificante;
- Analisar a metodologia utilizada nos processos de lubrificação para identificar o consumo de lubrificante e/ou desperdícios a partir do banco de dados do sistema SAP (Desenvolvimento de Programas para Análise de Sistema) da empresa área do estudo;
- Demonstrar a contribuição da metodologia utilizada por meio de análise comparativa.

#### **1.4 Estrutura do Trabalho**

A estrutura deste trabalho está dividida em cinco capítulos da seguinte forma: o primeiro capítulo se refere a introdução, constituída pela formulação do problema, justificativa, objetivos gerais e específicos. O segundo capítulo apresenta o embasamento teórico relacionado ao tema tratado no trabalho, que compreende o conceito e definição de lubrificação, os tipos de lubrificação e a gestão da lubrificação. O terceiro capítulo consiste em demonstrar a metodologia utilizada no estudo e seu desenvolvimento. No quarto capítulo trata os resultados e discussões obtidos através dos métodos sugeridos para o desenvolvimento do estudo. E por fim, o quinto capítulo é dedicado às conclusões do estudo.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Tribologia

Em 1966, o termo tribologia foi formalmente introduzido pela primeira vez, em um relatório realizado por H. Peter Jost para o comitê do departamento inglês de educação e ciência. Nesse documento, a tribologia foi definida como a “ciência e tecnologia de superfícies interativas em movimento relativo e dos assuntos e práticas relacionados” (Jost, 1990). De acordo com Jost (1990), o termo tribologia que vem do grego TRIBO que significa atrito, e LOGOS que significa estudo, então, sua tradução seria "Estudo do Atrito" ou a ciência que estuda o atrito.

De acordo com Hutchings (1992), a tribologia se dedica ao estudo do desgaste, da lubrificação e do atrito e pode ser definida como a ciência e a tecnologia da interação e movimento relativo entre superfícies. De acordo com SKF (2013), a tribologia é definida como "a ciência e a tecnologia das interações entre superfícies envolvendo movimento relativo e assuntos e práticas relacionadas".

A área da tribologia está se desenvolvendo rapidamente, uma vez que, é fundamental o ser humano desenvolver novas tecnologias que consigam diminuir os esforços devido ao atrito, reduzindo o desgaste dos materiais e conseqüentemente aumentando sua vida útil. No desenvolvimento de novos materiais, conhecer os princípios básicos das interações friccionais que ocorrem quando dois ou mais corpos estão em contato dinâmico é fundamental para seu aprimoramento e qualidade. A base de conteúdos necessários para a Tribologia vem da física, química, mecânica e da ciência dos materiais, as quais juntas formam todo o conteúdo essencial para o entendimento e a análise de sistemas tribológicos (ANAND, 2017).

Segundo Zum Gahr (1987), os desafios da tribologia também incluem o estudo científico de vários tipos de atrito, lubrificação e desgaste, bem como a aplicação técnica de descobertas tribológicas. A tribologia abrange diversas áreas do conhecimento incluindo a física, química, mecânica e ciência dos materiais com a finalidade de explicitar e ter a capacidade de antecipar comportamentos de sistemas físicos utilizados em sistemas mecânicos (RADI *et al.* 2007).

Os parâmetros estruturais de um sistema tribológico consistem em componentes que estão em contato uns com os outros e se movem em relação uns aos outros (triboelementos 1 e 2), o elemento interfacial (3), entre as partes de contato e o meio ambiente (4). A disposição

dos tribossistemas pode ser “fechada” ou “aberta”. Fechado significa que todos os componentes em processo de atrito e desgaste, como rolamentos e redutores, interagem de forma contínua, repetitiva ou cíclica. Aberto significa que os elementos do sistema tribológico não estão constantemente envolvidos em processos de fricção ou desgaste, e o material entra e sai do sistema, por exemplo, peças usinadas (CZICHOS, 2020).

Os elementos estruturais (1) e (4) são ainda descritos por uma série de propriedades necessárias para cumprir o propósito funcional do tribossistema, como demonstra a seguir a figura 2:

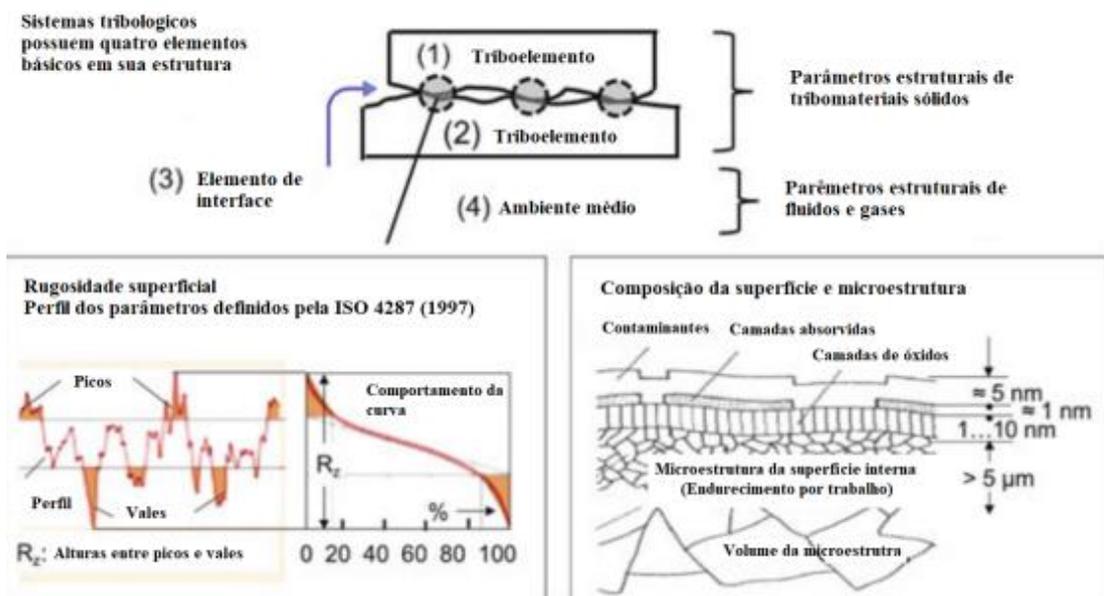


Figura 2 - Visão geral dos parâmetros estruturais de sistemas tribológicos.  
Fonte: Adaptado de Czichos (2020)

A ilustração contida na figura 1 mostra a composição da microestrutura, incluindo propriedades de superfície, características de pico e vale, como comprimento e altura, e camadas formadas na interface de contato.

• Parâmetros estruturais dos triboelementos (1) e (2) segundo Czichos (2020):

- Geométricos: geometria, forma, dimensões;
- Químicos: composição química e composição molecular;
- Parâmetros físicos, como condutividade térmica;
- Parâmetros mecânicos, como módulo de elasticidade, dureza e tenacidade a fratura.
- Rugosidade da superfície, composição da superfície e microestrutura.

• Parâmetros estruturais dos triboelementos (3) e (4):

- Parâmetros químicos, como composição, aditivos, acidez e umidade
- Parâmetros físicos, como densidade e condutividade térmica
- Parâmetros mecânicos: como viscosidade e suas variações sobre pressão e temperatura.

## 2.2 Fenômenos tribológicos

Segundo Hutchings (1992), o movimento relativo entre sólidos é muito importante para o funcionamento de peças mecânicas e são raras as máquinas e/ou dispositivos sem partes móveis em sua composição. No entanto, esse movimento de contato entre sólidos causa desgaste das peças devido ao atrito, que é a principal causa de perda de material e deterioração de peças mecânicas.

Um sistema tribológico consiste nas superfícies de dois corpos em contato móvel entre si e superfícies adjacentes. O tipo, curso e grau de desgaste são determinados pelo material e rugosidade da superfície, materiais intermediários, influências de áreas adjacentes e condições de operação (ZUM-GAHR, 1987).

Conforme Medeiros (2010) quando duas superfícies se tocam, uma conexão é formada entre elas chamada de área de contato aparente. No entanto, cada superfície individual tem uma "superfície alta", também conhecida como saliência. Quando duas superfícies se tocam, o contato real deve se referir ao contato fino. Não importa quão fino seja o acabamento da superfície do corpo, a superfície raramente é perfeitamente lisa. Esse contato facilita a formação de 'junções' de saliências que determinam a intensidade da força de atrito gerada, conforme é visto na figura 3:

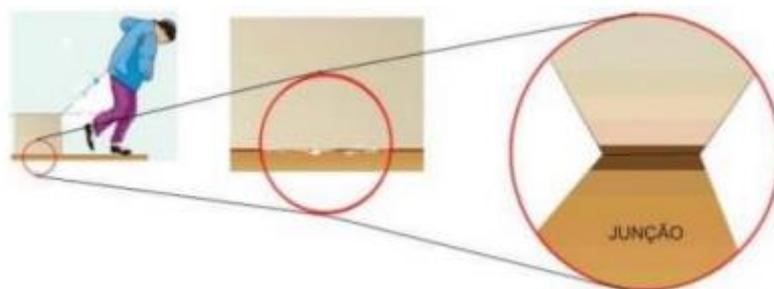


Figura 3 - Desenho esquemático da região de interface entre duas superfícies.  
Fonte: Medeiros (2010)

De acordo com Stoeterau, (2004, p.13),

durante o processo de escorregamento relativo, as superfícies modificam suas características básicas, de um valor maior ou menor. Elas podem se tornar mais lisas ou mais rugosas, ter propriedades físicas, tais como dureza, alteradas, e podem ainda

perder material através do processo de desgaste. Essa mudança nas superfícies benéficas como acontece em situações de amaciamento, para produzir condições de operação próximas a ideal, ou desastrosas, quando ocorre a falha da superfície (perda da função técnica), necessitando da substituição da peça.

A tabela 1 relaciona os principais fenômenos tribológicos estudados pela tribologia, já que a mesma se trata da ciência que estuda as condições de interação entre superfícies em movimento relativo.

Tabela 1 - Fenômenos tribológicos

Fenômenos	Característica
Atrito	Efeito causado pela presença de uma força tangencial entre duas superfícies sólidas em contato quando elas permanecem conectadas devido à presença de uma força normal.
Desgaste	Perda de material da superfície de um corpo como consequência da interação com outro corpo.
Lubrificação	Aplicação de um lubrificante entre as superfícies em contato para reduzir o atrito e o desgaste.

Fonte: Adaptado Nunes (2008)

As soluções para problemas tribológicos vêm de sólidos com formas e propriedades mecânicas conhecidas, mas as irregularidades reais da superfície das peças mecânicas variam muito e suas propriedades estão longe do ideal. Assim, só é possível obter uma solução próxima da realidade, mas graças às ferramentas estatísticas à nossa disposição é possível calcular a média sobre toda a superfície sob investigação e esta aproximação é uma boa aproximação, o suficiente para resolver os problemas de engenharia propostos (KRAGELSKY, 1981).

Então, o objetivo da tribologia é estudar as mudanças causadas pelo que acontece entre entradas e saídas, e combinar distúrbios de atrito inerentes a um sistema e as diversas perdas produzidas (CZICHOS, 2020).

### 2.2.1 Atrito

Segundo a norma ASTM G40, a força de atrito (F) é a força resistiva tangencial na área de contato entre duas superfícies quando uma superfície tende a se mover em relação à outra sob a ação de uma força externa. O coeficiente de atrito ( $\mu$ ) é a razão adimensional entre a força de atrito (F) e a força normal aplicada (N) (ASTM G40-99, 1999), logo:

$$\mu = \frac{F}{N}$$

Equação 1: coeficiente de atrito em função das forças de atrito e normal aplicadas.

O atrito é uma das principais causas de desgaste e perda de energia, e o estudo dos efeitos desse fenômeno abrange vários ramos da ciência. Em aplicações de tecnologia de ponta, como automotiva e aeroespacial, os engenheiros precisam entender quais os mecanismos causam atrito e como esse fenômeno afeta o funcionamento do sistema, melhorando sua eficiência e contribuindo na redução de custos (Hutchings, 2001).

Czichos (2020) fornece uma visão geral do mecanismo de atrito considerando o balanço de energia do atrito sólido. A energia mecânica associada ao atrito sólido entre dois elementos tribológicos (1), (2) incluem:

- Introdução da energia mecânica: formação da área real de contato, crescimento da junção no início do movimento relativo
- Processo de transformação:
  - (a) adesão e cisalhamento
  - (b) deformação plástica
  - (c) adesão
  - (d) histerese e amortecimento
- Processo de dissipação
  - (a) processos térmicos
  - (b) contato entre (1) e (2) com tensões residuais, geração de defeitos pontuais e deslocamentos
  - (c) emissões, como calor, ruídos, detritos, triboluminescência.

Na figura 4, é possível observar os parâmetros envolvidos no mecanismo de atrito:

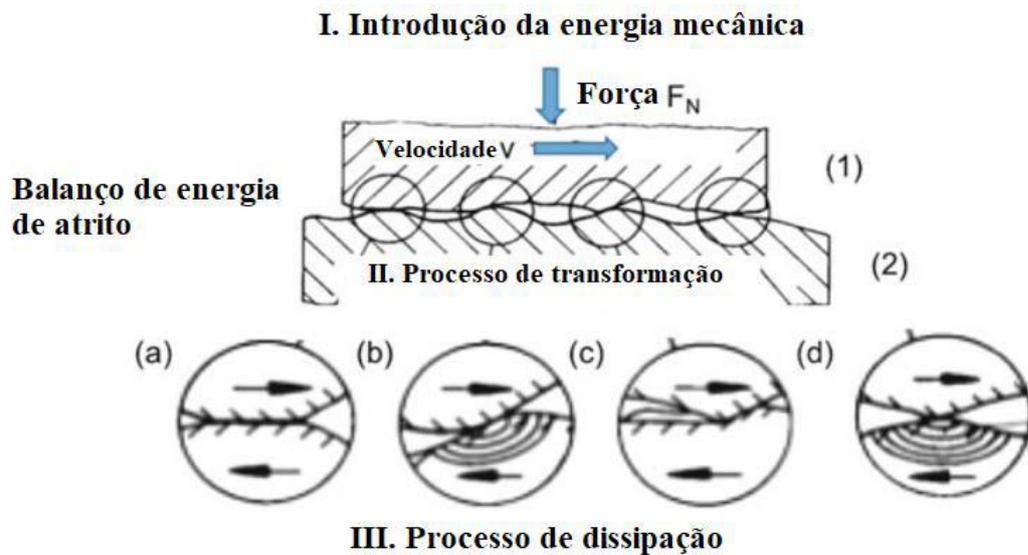


Figura 4 - Mecanismos de atrito.  
Fonte: Adaptado Czichos (2020)

Inúmeras variações podem ocorrer quando dois materiais entram em contato um com o outro durante o movimento. Logo, os resultados obtidos em laboratório não podem ser considerados como o comportamento exato do material quando usado como produto final (Radi, 2008).

### 2.2.2 Desgaste

O desgaste também pode ser definido como a ação mecânica de sólidos, líquidos ou gases. Essa ação remove ou altera o material quando entra em contato com outro sólido, causando danos à superfície (BOTH, 2011).

Segundo Czichos (2020), o desgaste é um processo de deterioração de uma superfície sólida, geralmente envolvendo perda de material devido ao movimento relativo entre as partes do sistema de atrito. Já Zum Gahr (1987) define desgaste como “desgaste é a perda gradual de substância de uma superfície do corpo como resultado do movimento relativo à superfície do corpo”.

Budinski (1988) classifica os tipos de desgaste da seguinte maneira, como pode ser visto na figura 5:



Figura 5 - Classificação dos tipos de desgaste e suas subdivisões.  
Fonte: Budinski (1988)

De acordo com Hutchings (1992) o desgaste é um fenômeno determinado pelo teste do sistema, analisando parâmetros como propriedades de superfície, química do material, distância de deslizamento, velocidade e carga aplicada. Portanto, para definir a validade das propriedades tribológicas, é necessário delimitar o sistema no qual o equipamento está inserido.

### 2.2.3 Lubrificação

O conceito de lubrificação baseia-se no princípio da inserção de um elemento lubrificante intermediário entre as superfícies em contato das peças de um conjunto mecânico em que se deseja minimizar o atrito estático ou dinâmico (ALMEIDA, 2017). De acordo com Blau (2009), a lubrificação inclui não apenas a seleção e formulação do lubrificante, mas também o projeto da geometria de contato e os métodos de distribuição, filtragem e condicionamento.

Segundo Norton (2013) existem três categorias de sistemas de lubrificação: filme total, filme misto e lubrificação de contorno. Se duas superfícies estiverem completamente separadas por um filme lubrificante, elas estarão sujeitas à lubrificação por filme total. A lubrificação de filme total é classificada em três tipos: hidrostática, hidrodinâmica e elasto-hidrodinâmica. A lubrificação de contorno é usada quando a geometria, alta rugosidade da

superfície, carga excessiva ou lubrificação insuficiente podem colocar duas superfícies em contato físico uma com a outra e causar desgaste ou abrasão e a lubrificação por filme misto consiste em uma conexão parcial do filme lubrificante com algumas asperezas de contato entre as superfícies.

A lubrificação é um processo fundamental para reduzir o atrito e o desgaste em máquinas e equipamentos com superfícies que se movem. O objetivo da lubrificação é formar uma película lubrificante entre as superfícies de contato para evitar o contato direto de metal com metal e reduzir o desgaste e o acúmulo de calor.

Muitas vezes, a lubrificação inadequada pode levar a danos maiores à máquina do que a falta de lubrificação. Um cronograma de manutenção preventiva inclui limpeza dos pontos de lubrificação, troca de filtros, verificação e retirada de lubrificantes contaminados ou velhos e cuidados básicos para evitar contaminação durante o uso (PALMER, 2012).

### **2.3 A manutenção**

Gregório (2018) afirma que, manutenção é uma palavra derivada do latim, que significa “manter o que se tem”, assim como a língua a palavra é muito antiga. A manutenção industrial, por outro lado, surgiu por volta do século XVI, quando a produção artesanal começou a declinar, dando espaço à produção industrial.

Existem diversos relatos sobre o surgimento da manutenção, mas de fato o primeiro surgimento veio com a primeira revolução industrial, Moubrey (1997) divide em três gerações as fases da manutenção:

- O período que antecede a Segunda Guerra Mundial, o operador desempenhava papel na manutenção e era responsável pela limpeza e lubrificação do equipamento. Entretanto, naquele período, não existia um sistema estruturado de manutenção, as intervenções no equipamento ocorriam apenas quando falhava ou quebrava.
- A geração de sistemas de manutenção surgiu no início da Segunda Guerra Mundial, impulsionada pela necessidade de garantir maior disponibilidade e confiabilidade dos equipamentos industriais para atender à demanda crescente de produtos. Nessa época, foram estabelecidos planos de manutenção preventiva, com o objetivo de não apenas evitar falhas, mas também prolongar

a vida útil dos equipamentos e alinhar a capacidade de produção das organizações com as necessidades de demanda.

- A geração que surgiu na década de 70 representou um marco importante, pois consolidou e aprimorou conceitos vindos das gerações anteriores, além de incorporar laços fundamentais relacionados à segurança, qualidade e meio ambiente, juntamente com a manutenção. Nesse período, houve uma significativa integração entre mecanização e automação, possibilitando o avanço das técnicas de manutenção. Essa integração foi essencial para impulsionar o desenvolvimento e a evolução da área.

Como aponta Almeida (2014), em diversas instalações de produção, seja de alimentos ou de fabricação de peças, a ocorrência de falhas de máquinas leva a perdas severas de produtividade, resultando em perda de lucros, podendo levar ao prejuízo. Quando uma máquina quebra por falta de manutenção adequada, ela prejudica a capacidade da empresa de fabricar os produtos que são comercializados, resultando em perda de vendas e ainda mais prejuízos.

Ainda segundo Almeida (2014, p. 15), a manutenção pode ser definida como “a totalidade dos cuidados e procedimentos técnicos essenciais para garantir o bom funcionamento de máquinas, equipamentos, peças, moldes e ferramentas e a realização de reparos”.

Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas - NBR 5462 (1994, p. 07.), A manutenção é o conjunto de ações técnicas e administrativas, abrangendo também a supervisão, com o propósito de preservar ou restaurar um item ao estado em que seja capaz de desempenhar a função exigida. Manutenção envolve a prática de manter, cuidar e preservar, administrar e gerenciar uma determinada máquina ou equipamento, com o objetivo de aumentar sua confiabilidade e assegurar que ele funcione sem apresentar defeitos (SOUZA, 2012).

Conforme afirma Xenos (1998, p. 18), as atividades de manutenção têm como propósito:

Evitar a degradação dos equipamentos e instalações, causada pelo seu desgaste natural e pelo uso. Esta degradação se manifesta de diversas formas, desde a aparência externa ruim dos equipamentos até perdas de desempenho e paradas da produção, fabricação de produtos de má qualidade e poluição ambiental.

A manutenção oferece diversos benefícios e vantagens significativas. Ao aprimorar as práticas de manutenção, é possível alcançar uma redução nos custos operacionais, ao mesmo tempo em que se aumenta a produtividade e se promove uma maior confiabilidade e disponibilidade dos equipamentos. Esses aprimoramentos contribuem diretamente para aumentar a competitividade da empresa (MENDES e RIBEIRO, 2011).

Outra vantagem notável é a redução do desperdício de tempo, mão de obra e material. Com uma manutenção adequada e preventiva, os resultados obtidos são muito satisfatórios. Além disso, é importante ressaltar que toda a linha de produção da empresa conta com o bom funcionamento dessas máquinas, o que garante que a produção se mantenha dentro do planejado (VIANA, 2002).

Fogliatto e Ribeiro (2009) estudaram outro conceito fundamental: a confiabilidade, que passou a ter cada vez mais um relevante papel na manutenção. Ao adotar uma abordagem de manutenção centrada em confiabilidade, eles desenvolveram estratégias de reparo mais eficientes para os equipamentos, resultando em uma operação mais segura, com melhores benefícios e custos reduzidos.

Para melhor ilustrar os diversos tipos de classificação dos métodos de manutenção, que serão explicados individualmente, Xenos (1998) define os tipos de manutenção, conforme ilustra a figura 6.

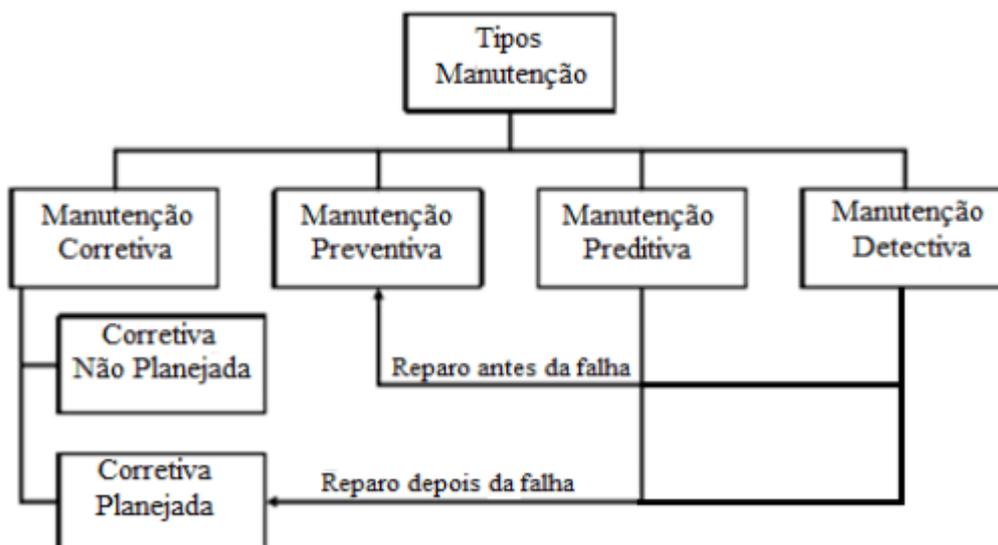


Figura 6 - Tipos de Manutenção.  
Fonte: Xenos (1998)

Xenos (1998) demonstra na figura 5 os tipos de manutenção, cada método possui sua particularidade, cabendo a engenharia definir o melhor método a ser aplicado em seu processo produtivo.

### 2.3.1 Manutenção Corretiva

De acordo com a NBR 5462-1994 (1994), a manutenção corretiva é definida como a intervenção realizada após a ocorrência de uma pane, com o objetivo de restaurar um item às condições necessárias para executar uma função específica.

Conforme Almeida (2014), a manutenção corretiva consiste em um conjunto de ações que são executados com o propósito de responder de imediato às necessidades de produção quando uma máquina ou equipamento para de funcionar. Nesse contexto, a equipe de manutenção atua de forma imediata para restabelecer o mais rápido possível o funcionamento do equipamento. No entanto, quando uma máquina apresenta falha e necessita de reparo, o serviço que o mecânico estava executando é imediatamente interrompido para que ele possa se dedicar ao conserto da máquina parada.

Segundo Kardec e Nascif (2009), a manutenção corretiva consiste na intervenção para corrigir falhas ou baixo desempenho apresentado por um equipamento ou sistema. Essa forma de manutenção é aplicada em duas condições específicas: quando o equipamento demonstra desempenho abaixo do esperado, identificado pelo monitoramento das variáveis operacionais, ou quando ocorre uma falha no funcionamento.

Já, de acordo com Xenos (1998, p. 23), “a manutenção corretiva é sempre realizada após a ocorrência da falha, considerando os fatores econômicos”. O autor ainda questiona se “é mais barato corrigir uma falha ou tomar ações preventivas?”

A manutenção corretiva pode ocorrer de duas formas: a não planejada, ocorre após uma falha inesperada na máquina ou equipamento, e a planejada, quando é identificado uma baixa performance do equipamento a correção é feita de forma programada e planejada (PINTO e XAVIER *apud* GARCIA, 2006).

A manutenção corretiva representa uma intervenção imediata para evitar consequências graves aos equipamentos, à segurança dos funcionários ou ao meio ambiente. Nesse sentido, este tipo de manutenção aguarda a ocorrência de um problema para realizar a intervenção, já que o custo gerado pela parada da produção não é levado em consideração (VIANA, 2002).

### 2.3.2 Manutenção Preventiva

Localiza-se na NBR 5462 (1994, p.07), que “manutenção preventiva é realizada em intervalos pré-definidos ou de acordo com critérios estabelecidos, com o objetivo de diminuir a possibilidade de falha ou deterioração do funcionamento de um item”.

De acordo com Gregório (2018), as atividades industriais encaram o desafio de conservar as máquinas e equipamentos utilizados nos processos produtivos em perfeito estado de funcionamento. Para o objetivo ser alcançado, é fundamental realizar o monitoramento rotineiro do desempenho desses elementos, que são comumente referidos como parque instalado ou parque fabril.

Ainda segundo Gregório (2018), A manutenção preventiva é executada de forma planejada, em intervalos pré-determinados ou conforme critérios específicos, em equipamentos que estejam em pleno funcionamento, ou seja, que não apresentem falhas. Essa abordagem tem como finalidade reduzir a possibilidade de falhas ou deterioração no desempenho de um item. Seu principal propósito é prevenir interrupções indesejadas na produção.

Kardec & Nascif (2009) apresentam que devem ser considerados os seguintes fatores para adotar uma política de manutenção preventiva:

- Em situações em que a manutenção preditiva não é viável;
- Em casos que envolvam a segurança pessoal ou da instalação, exigindo intervenção imediata, geralmente para substituição de componentes;
- Quando se apresenta uma oportunidade em equipamentos críticos de difícil disponibilidade para operação;
- Em situações que envolvam riscos de impacto ambiental;
- Em sistemas complexos e/ou que operam de forma contínua.

Xenos (1998, p. 24), afirma que:

A manutenção preventiva, feita periodicamente, deve ser a atividade principal de manutenção em qualquer empresa. Na verdade, a manutenção preventiva é o coração das atividades de manutenção. Ela envolve algumas tarefas sistemáticas, tais como as inspeções, reformas e trocas de peças, principalmente. Uma vez estabelecida, a manutenção preventiva deve ter caráter obrigatório.

Ao ser implementada, a manutenção preventiva possibilitará o controle das substituições de peças e das lubrificações realizadas nas máquinas da empresa, o que

acarretará na antecipação das compras de peças, uma maior otimização da mão de obra dos profissionais de manutenção e, o mais importante, prevenirá paradas não programadas na produção (ALMEIDA, 2015).

Para Pereira (2011), a manutenção preventiva possui um foco contínuo na melhoria, visando diminuir a indisponibilidade e o aprimoramento do desempenho das máquinas e equipamentos, o que resulta em um aumento da produtividade. Além dos benefícios já citados, um plano de manutenção preventiva possui como objetivo manter o equipamento em seu melhor estado de operação, reduzindo o risco de falhas, aumentando a durabilidade, melhorando a confiabilidade e a regularidade das operações no sistema produtivo.

### **2.3.3 Manutenção Preditiva**

Esse tipo de manutenção é baseado em inspeções periódicas, durante as quais são observados fenômenos como temperatura, vibração, ruídos excessivos, entre outros, por meio de instrumentos específicos. Através desta análise é possível avaliar a real das condições do equipamento e o monitoramento da progressão de eventuais defeitos, permitindo o planejamento de intervenções de curto prazo para substituição de peças e correção de falhas. Além disso, essa abordagem indica o tempo de vida útil dos componentes das máquinas e equipamentos, bem como as condições necessárias para otimizar esse tempo de vida útil (ALMEIDA, 2015).

A NBR 5462-1994 (1994, p.7), fundamenta:

Manutenção que permite garantir uma qualidade de serviço desejada, com base na aplicação sistemáticas 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.

De acordo com Kardec e Nascif (2009), a manutenção preditiva, em sua forma ideal, visa atingir a menor frequência possível de intervenções, pois se baseia em dados históricos e informações em tempo real de diferentes partes da operação para antecipar problemas antes que eles ocorram.

Segundo Gregório (2018), a manutenção preditiva utiliza técnicas de análise de forma planejada e sistemática, com o intuito de minimizar as intervenções de manutenção preventiva e corretiva. Esse sistema permite que o componente seja utilizado ao longo de toda a sua vida útil, evitando perdas de tempo na produção. No entanto, é importante destacar que os custos de manutenção são elevados, devido ao uso de ferramentas sofisticadas que demandam atualizações constantes.

Xenos (1998, p. 24), afirma:

ser uma modalidade mais onerosa, olhando pelo prisma de custos, pois os componentes e peças dos equipamentos são reformados ou mesmo trocados antes sequer de atingirem seus limites de vida. Esse tipo de manutenção permite otimizar a remoção das peças, troca ou reforma dos componentes, estendendo o intervalo de manutenção e permitindo prever o tempo de vida das peças ou componentes.

Seleme (2015) para adotar a Manutenção Preditiva são necessários alguns itens mínimos, conforme estão listados a seguir:

- O equipamento, o sistema ou a instalação devem ser possíveis realizar algum tipo de monitoramento/medição;
- O equipamento, o sistema ou a instalação devem fazer jus a esse tipo de ação, devido aos altos custos envolvidos;
- As falhas devem ser originadas por motivos que possam ser monitoradas e ter sua progressão acompanhada;
- Seja determinado um projeto de acompanhamento, análise e diagnóstico sistematizado.

Quando a manutenção preditiva opera de forma efetiva e ativamente como uma estratégia de manutenção, somente é realizada quando necessária, ou seja, pouco antes de uma falha ocorrer nas máquinas ou equipamentos. Isso proporciona diversas economias de custo (KARDEC e NASCIF, 2009).

Para Gregório (2018), a manutenção preditiva viabiliza que alguns objetivos sejam alcançados:

- Determinar de forma antecipada a necessidade de serviços de manutenção em uma determinada peça da máquina, possibilitando seu máximo aproveitamento;
- Analisar fenômenos com instrumentos específicos, eliminando desmontagens desnecessárias para inspeção;
- Aumentar o tempo de disponibilidade dos equipamentos, acompanhando a evolução do defeito;
- Evitar emergências e transtornos causados por paradas imprevistas ocasionadas por defeitos que já haviam sido identificados, mas ficaram sem acompanhamento;

- Impedir que o defeito agrave os danos e estenda-se a outros componentes da máquina;
- Reduzir custos e garantir a qualidade dos produtos ou serviços da empresa.

#### **2.3.4 Manutenção detectiva**

A Manutenção Detectiva começou a ser referenciada na literatura a partir da década de 1990 e pode ser definida como a abordagem que visa atuar em sistemas de proteção, comando e controle, com o objetivo de identificar falhas ocultas que não são perceptíveis à equipe de operação e manutenção (KARDEC; NASCIF, 2009).

Ainda de acordo com Kardec e Nascif (2009), a manutenção detectiva consiste em verificações no sistema realizadas por especialistas, sem que seja necessário interromper a operação. Essas verificações têm a capacidade de identificar falhas ocultas e, se necessário, corrigir a situação, mantendo o sistema em funcionamento.

De acordo com as observações de Slack et al. (2008), a essência da manutenção detectiva está associada à teoria de que erros humanos são toleráveis até certo ponto, e que, antes de uma falha acontecer, esses dispositivos emitem sinais de alerta que podem ser percebidos por uma operação inadequada.

Segundo Souza (2008), o propósito prático dessa abordagem de manutenção é elevar a confiabilidade dos equipamentos, pois consiste na intervenção em sistemas de proteção para detecção de falhas ocultas, imperceptíveis para o pessoal de operação. Dessa forma, a manutenção detectiva é amplamente empregada em processos industriais críticos, especialmente quando o nível de automação aumenta, tornando-se intolerante a falhas.

A manutenção detectiva assume um importante papel quando o grau de automação nas indústrias aumenta ou quando o processo é crítico e não é possível tolerar falhas (COSTA, 2013).

#### **2.3.5 Gestão da lubrificação**

De acordo com Smith e Jones (2018), o gerenciamento eficaz da lubrificação envolve uma abordagem sistemática, incluindo a seleção do lubrificante apropriado, a criação de um programa de lubrificação, o monitoramento regular da condição do lubrificante e a aplicação de técnicas de análise de óleo.

A gestão da lubrificação torna-se mais abrangente quando adaptada às condições do ativo, resultando em aumento da eficiência e aumento da produtividade do empreendimento (SILVA E WALLBANK, 1998).

Conforme destaca Chen e Zhang (2019), um programa de lubrificação eficiente deve possuir intervalos de lubrificação bem definidos, procedimentos de aplicação adequados e monitoramento regular das condições dos lubrificantes. Os registros documentados dessas atividades são essenciais para facilitar a manutenção preventiva e a tomada de decisões.

É importante compreender o regime de lubrificação aplicado, avaliando a carga, a velocidade e a rugosidade da superfície (DUARTE, 2005).

Um dos sistemas de lubrificação mais importantes em tribologia é o regime hidrodinâmico que promove um ótimo desempenho tribológico. Nesse caso, a espessura do filme lubrificante é geralmente maior que a rugosidade da superfície do par tribológico, os dois não entram em contato direto e a carga atuante no sistema é suportada pelo filme lubrificante. Para atingir esse regime, os contatos entre as superfícies devem ser geometricamente semelhantes (ALVES e MELLO, 2015).

A lubrificação hidrostática é realizada pela introdução de um lubrificante (possivelmente ar ou água) na área de carga do mancal a uma pressão alta o suficiente para separar as superfícies com um filme de óleo relativamente espesso. Portanto, ao contrário da lubrificação hidrodinâmica, não há necessidade de mover uma superfície em relação à outra (SHIGLEY, 1984).

A lubrificação elasto-hidrodinâmica é definida como um tipo de lubrificação hidrodinâmica cujas propriedades básicas são a deformação elástica dos corpos em contato e a mudança na viscosidade devido à pressão. A deformação do corpo deve ser incluída no modelo básico de lubrificação elasto-hidrodinâmica. (STACHOWIAK e BATCHELOR, 2005). A lubrificação elasto-hidrodinâmica, ao ser formado o filme na interface, os corpos em contato sofrem deformação elástica (BAYER, 1994).

A principal função dos lubrificantes é reduzir o atrito e o desgaste entre as superfícies de contato e garantir uma separação eficiente e suave entre as mesmas. As principais funções dos lubrificantes em diversas aplicações são: (STACHOWIAK; BATCHELOR, 2013).

a) Controle de atrito, convertendo o atrito sólido em atrito fluído para evitar perda de energia;

- b) Controle de desgaste; minimizando o contato causador de desgaste entre as superfícies deslizantes;
- c) Controle de temperatura, absorção do calor gerado pelo contato da superfície;
- d) Controle de corrosão para evitar a destruição ácida de metais;
- e) Dispositivos de transmissão de potência que agem como meios hidráulicos e transmitem potência com perdas mínimas;
- f) Absorção de choque, conversão de energia mecânica em energia fluida;
- g) Remover as impurezas, evitando a formação de borras e vernizes;
- h) Vedações que impeçam o vazamento de lubrificantes, a entrada de corpos estranhos ou a entrada de outros líquidos ou gases.

Assim Fitch *et al* (2020) evidencia, fatores como viscosidade, temperatura operacional, carga e condições ambientais devem ser considerados ao selecionar um lubrificante adequado. As especificações do fabricante também são importantes para garantir o desempenho e a compatibilidade adequados do lubrificante.

A análise das amostras dos lubrificantes, medições de temperatura, inspeção visual e outras técnicas de diagnóstico são usadas para avaliar a qualidade e o desempenho do lubrificante. Baseado nessas informações, ajustes podem ser feitos, como substituição de lubrificantes contaminados, otimização dos intervalos de lubrificação ou alteração dos procedimentos de aplicação (RAO *et al* 2017).

Segundo Falcão (2012), mais importante do que o uso de lubrificantes é a sua substituição regular conforme as recomendações do fabricante, principalmente nas indústrias de mineração e metalúrgica, onde há excesso de partículas contaminantes. Devido ao uso prolongado, o lubrificante perde suas propriedades. Logo, a substituição é necessária para garantir que mantenha sua performance e as peças continuem desempenhando suas funções recomendadas durante o processo e funcionem corretamente.

A tabela 2 demonstra um exemplo que é comumente utilizado na indústria para padronizar e sistematizar a rotina de lubrificação dos equipamentos.

Tabela 2 - modelo de plano de lubrificação

(Nome da Empresa)					
Plano de Lubrificação					
Máquina: Torno mecânico	Marca: Romi	Modelo: Centur 30	Ano de fabricação: 2009	Setor: Usinagem	Aprovação: Gerente de manutenção
Partes a serem lubrificadas	Frequência	Especificação do lubrificante	Observações		
Cabeçote fixo (engrenagens de mudança do RPM)	A cada 12 meses	Óleo Lubrificante (Shell Omala S2G <sup>®</sup> ou Shell Omala S4GX <sup>®</sup> )	Verificar o nível no visor		
Guias lineares do barramento	Diariamente	Óleo lubrificante (Shell Tonna S2M <sup>®</sup> )	Aplicar uma película com trincha após a limpeza da máquina		
Avental do Carro principal	A cada 18 meses	Óleo Lubrificante (Shell Omala S2G ou Shell Omala S4GX)	Verificar o nível no visor		
Caixa Norton	A cada 18 meses	Óleo Lubrificante (Shell Omala S2G ou Shell Omala S4GX)	Verificar o nível no visor		
Guias lineares do carro transversal	Diariamente	Óleo lubrificante (Shell Tonna S2M)	Aplicar uma película com trincha após a limpeza da máquina		
Guias lineares do carro superior	Diariamente	Óleo lubrificante (Shell Tonna S2M)	Aplicar uma película com trincha após a limpeza da máquina		

Fonte: Almeida (2017).

Para Mobley (2008) e Viana (2002), um gerenciamento adequado da lubrificação, o cronograma de lubrificação deve ter as seguintes características:

- Identificação dos equipamentos e pontos a serem lubrificados;
- Identificar o tipo de lubrificante adequado para cada dispositivo ou máquina;
- Identificação do tipo de lubrificação (lubrificação total, lubrificação limite ou lubrificação mista);
- Tipo de método de aplicação;
- Mão de obra em quantidade adequada;
- Frequência de lubrificação (intervalo de tempo);
- Precauções de segurança para equipamentos de lubrificação em operação.

Almeida (2017), complementa que o cronograma de lubrificação deve registrar todas as máquinas que necessitam de lubrificação para controle na gestão da manutenção preventiva, juntamente com as respectivas identificações. Este documento não só é obrigatório para as empresas, como também é muito útil para as práticas de manutenção preventiva, pois permite gerir e planejar quais as máquinas e equipamentos que devem ser

lubrificados e com que frequência devem ser lubrificados. O entendimento dos assuntos tratados no presente capítulo é fundamental para a compreensão do estudo em questão. A fundamentação sobre a tribologia e seus fenômenos bem como os conceitos da manutenção e a gestão da lubrificação são de grande valia para as possíveis soluções do trabalho proposto.

### 3 METODOLOGIA

Neste capítulo aborda-se a natureza da pesquisa, a classificação e os materiais e métodos utilizados. De forma a classificá-la quanto a sua abordagem, a coleta e análise dos dados e apresentação dos mecanismos técnicos utilizados. Sendo assim, a figura 7 apresenta as etapas da pesquisa:

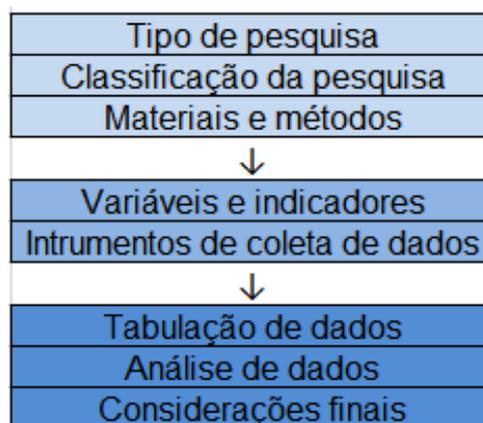


Figura 7 - Tópicos explorados no capítulo 3.  
Fonte: Pesquisa direta (2022)

#### 3.1 Tipo de pesquisa

De acordo com Gil (2008) a pesquisa é um processo sistemático e formal de apresentar o método científico e tem como propósito a descoberta de soluções para problemas usando procedimentos científicos.

Segundo Assis (2021), a pesquisa pode ser dividida em dois métodos fundamentais da investigação científica conforme a sua natureza, entre o método qualitativo e o método quantitativo.

O modelo de pesquisa quantitativo, para Polit et al. (2004), possui a tendência de esclarecer o raciocínio dedutivo, as regras de lógica e as habilidades mensuráveis da experiência humana. Conforme Gil (2008), é possível mensurar, através de testes estatísticos, em resultados numéricos, a probabilidade de que uma determinada solução esteja correta, assim como a sua margem de erro.

A pesquisa qualitativa objetiva somente o aprofundamento do entendimento de um grupo social, sem abranger a abordagem numérica. Isso ocorre devido ao fato de os pesquisadores qualitativos não seguirem um único modelo de pesquisa, uma vez que as ciências sociais possuem suas particularidades, logo, não podem julgar e nem deixar que suas opiniões pessoais interfiram na pesquisa. Logo, a pesquisa qualitativa se importa somente com fatores

que não podem ser quantificados, buscando compreender e explicar a prática das relações sociais (GOLDENBERG, 1997).

Ainda Gil (2008) classifica a pesquisa com base nos objetivos em três diferentes grupos:

- Pesquisa exploratória: Tem por objetivo se ambientar com o problema pouco conhecido, o desenvolvimento, o esclarecimento, e mudanças de conceitos e ideias. Esta pode envolver levantamentos bibliográficos, entrevistas e estudos de caso;
- Pesquisa descritiva: tem como foco descrever as características e fenômenos de determinadas populações. Esta pesquisa possui técnicas padronizadas de coletas de dados, como questionários e observações sistemáticas;
- Pesquisa explicativa: Este tipo de pesquisa é baseado em experimentos e fatores que contribuem para o desenvolvimento de fatores específicos. Gravação, análise e interpretação são usadas para identificar fenômenos. Portanto, em termos de propósito, o estudo em questão se trata de um estudo exploratório. Isso se deve ao fato de que esta pesquisa contém hipóteses simulando casos reais com base em referências bibliográficas para comparação e conclusões.

Lewin (1946), afirma que a pesquisa-ação combina teoria e prática de forma interativa, dando aos participantes a oportunidade de experimentar, refletir e agir para mudar a realidade.

Vergara (2006) considera a pesquisa-ação uma forma especial de pesquisa participante que requer intervenção participativa na realidade social e, portanto, intervencionista em sua finalidade.

Com base no exposto, pode-se considerar a pesquisa como sendo de natureza qualitativa já que não serão utilizadas ferramentas estatísticas durante seu desenvolvimento e de objetivo exploratório. Quanto aos procedimentos técnicos utilizados é definido como bibliográfico, descritivo e utiliza a técnica de estudo de caso.

### **3.2 Materiais e Métodos**

Foram utilizados no presente trabalho os seguintes materiais: livros, monografias, artigos científicos, dissertações, teses, manuais técnicos, *excel* 2019 e SAP (Desenvolvimento de Programas para Análise de Sistema). A figura 8 apresenta as etapas seguidas no desenvolvimento do trabalho.

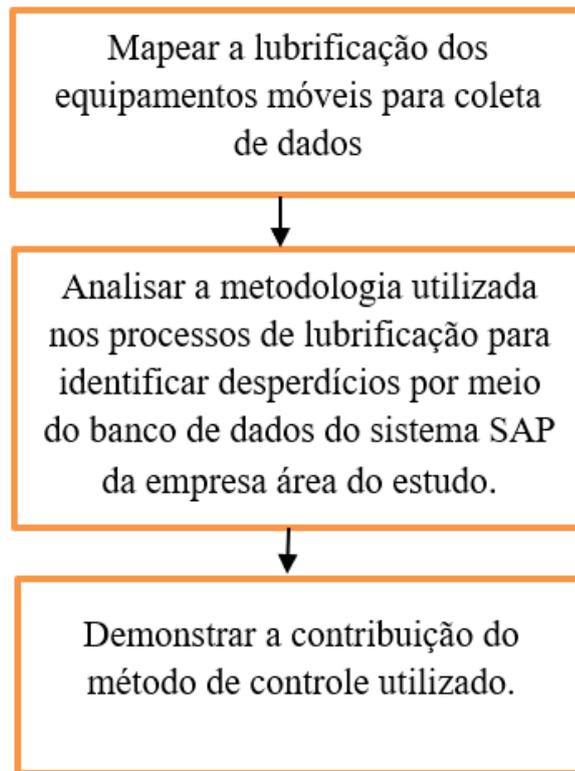


Figura 8 - Métodos utilizados.  
Fonte: Pesquisa direta (2022)

### 3.3 Variáveis e Indicadores

De acordo com Lakatos e Marconi (2003), uma variável pode ser considerada como uma classificação ou como uma medida, sendo uma quantidade aleatória, podendo então assumir vários valores, estes como um conceito operacional ou um fator ou propriedade, que venha a ser objeto de estudo.

Para Gil (2008), variável é definida por diferentes particularidades e valores, variando conforme as circunstâncias e casos especiais.

A tabela 3 apresenta as variáveis que são pertinentes ao estudo e seus respectivos indicadores:

Tabela 3 - Variáveis e indicadores

<b>Variáveis</b>	<b>Indicadores</b>
Lubrificação	Consumo de lubrificantes.

Fonte: Pesquisa direta (2022)

### 3.4 Instrumento de coleta de dados

O instrumento de coleta de dados foram tabelas desenvolvidas no *excel*.

### **3.5 Tabulação de dados**

Para tabulação dos dados, foi utilizado o *software Microsoft Excel 2019*.

### **3.6 Considerações finais**

O Capítulo 3 apresentou a metodologia utilizada no desenvolvimento deste trabalho. Foram demonstrados os materiais e métodos; variáveis e indicadores; instrumentos de coleta de dados; ferramentas de análise de dados.

## 4 RESULTADOS

O presente trabalho analisa a contribuição da metodologia utilizada para controle de consumo de lubrificantes utilizado pela gestão da lubrificação em equipamentos móveis de superfície na indústria da mineração.

### 4.1 Método de controle de consumo de lubrificantes dos equipamentos móveis de superfície

Para a realização do estudo, foram coletadas as informações de manutenção e operação dos equipamentos, observações sobre todo o processo de planejamento e controle da manutenção e informações específicas do fabricante dos equipamentos sobre a aplicação e utilização dos lubrificantes.

A metodologia em questão baseia-se em prolongar a vida útil e reduzir o consumo de lubrificante por meio da extensão do tempo de troca e do melhor controle sobre ele, respaldada pelos resultados das análises de óleo coletadas, especificações do fabricante e pelo controle e planejamento eficazes de substituição.

Após realizar as pesquisas bibliográficas e consultas aos manuais de manutenção fornecidos pelo fabricante dos equipamentos é possível compreender e explicar a metodologia para o controle de consumo de óleo lubrificante dos equipamentos móveis de superfície de uma empresa do setor de mineração, a tabela 4 demonstra os intervalos de manutenção e os principais lubrificantes a serem substituídos.

Tabela 4 - Intervalos de troca do óleo

<b>Intervalo da manutenção</b>	<b>Óleos a serem substituídos</b>
500 horas de operação	Óleo do motor
1000 horas de operação	Óleo do motor, transmissão e hidráulico
2000 horas de operação	Óleo do motor, transmissão, hidráulico e eixos
6000 horas de operação	Óleo do motor, transmissão, hidráulico, eixo e radiador

Fonte: Pesquisa direta (2023)

A tabela 4 mostra que as revisões ocorrem a cada 500 horas de operação do equipamento e os principais lubrificantes que são substituídos de acordo com o intervalo da manutenção. Os demais intervalos que não estão descritos se repetem a cada 500 horas, a revisão de 1500 horas é semelhante a revisão de 500 horas, a revisão de 3000 horas é semelhante a revisão de 1000 horas e assim por diante.

Para que possa ser feita a extensão do óleo de forma correta sem causar danos aos componentes, deve-se seguir critérios do fabricante dos equipamentos, tais como:

- Uso do óleo fornecido pelo próprio fabricante, já que o fabricante não garante extensão de óleo para outros fornecedores. Não obedecer às especificações mínimas exigidas pelo fabricante poderá acarretar perda de garantia do componente, caso venha a ocorrer uma falha.
- Coletas de amostras de óleo devem ser feitas a cada 250 horas. As amostras coletadas devem ser analisadas em laboratório e os resultados devem ser acompanhados por um técnico.
- Uso de filtros originais fornecidos pelo próprio fabricante.

Todas as regras devem ser rigorosamente seguidas e toda a equipe de manutenção deverá ter conhecimento do programa de extensão de troca.

Ao iniciar o plano de revisão é coletada uma amostra do óleo de cada compartimento, esta é enviada para laboratório a fim de certificar a qualidade de suas propriedades e as condições do componente, a figura 9 é um exemplo dos dados que são obtidos através da análise do óleo coletado.

INFORMAÇÕES GERAIS DA ANÁLISE DE ÓLEO					
EQUIPAMENTO:		DATA PREVISTA PARA REVISÃO:			SEMANA:
MANUTENÇÃO:	PREVENTIVA		X HORAS		
COMPARTIMENTO	ÓLEO UTILIZADO	ULTIMO SOS	INTERPRETAÇÃO LAB S.O.S.	INTERVENÇÃO	HORA ATUAL DO ÓLEO
MOTOR	SAE 15W40	NORMAL	NÍVEL NORMAL DE DESGATE	SERÁ SUBSTITUÍDO O ÓLEO	
TRANSMISSÃO	SAE 30	NORMAL	NÍVEL NORMAL DE DESGATE	CASO SEJA DRENADO, FAVOR REAPROVEITAR	
HIDRÁULICO	SAE 10W	MONITORAR	MONITORAR	CASO SEJA DRENADO, FAVOR REAPROVEITAR	
DIREÇÃO	SAE 10W	MONITORAR	MONITORAR	CASO SEJA DRENADO, FAVOR REAPROVEITAR	
EIXO	SAE 60	CRÍTICO	CRÍTICO	SERÁ SUBSTITUÍDO O ÓLEO	
RADIADOR	ELC	NORMAL	NÍVEL NORMAL DE DESGATE	CASO SEJA DRENADO, FAVOR REAPROVEITAR	

Figura 9 – Dados fornecidos pela análise do óleo coletado.

Fonte: Pesquisa direta (2023)

É possível verificar na figura 9 os resultados que são obtidos através da coleta e análise de óleo lubrificante bem como as horas de operação do óleo. A interpretação da análise de óleo da coleta é classificada como normal (verde), monitorar (amarelo) e crítico (vermelho), um técnico especialista decide a ação tomada, podendo ser troca do óleo ou do componente ou solicitar nova coleta e inspeção do filtro. A amostra de óleo bem feita e analisada é muito importante para prolongar tanto a vida útil do lubrificante quanto do componente.

As informações da quantidade de litros de óleo substituído ou complementado são anotadas no campo específico do plano de manutenção durante a execução, figura 10, essas informações são inseridas no SAP para auxiliar o controle do consumo de lubrificante.

LUBRIFICAÇÃO											
Compart.	Troca	Abast.	Compart.	Troca	Abast.	Compart.	Troca	Abast.	Compart.	Troca	Abast.
Transmis.			Dif Diant			Roda TD			Eixo Pivot		
Freio			Direção			Roda TE			RES		
CF DD			Motor			Roda DE			Truck		
CF DE			Red Giro			Tandem D					
CF TD			Red Trans			Tandem E					
CF TE			PTO Diant			Radiador					
Dif Tras			Roda DD			Sist. Hidr.					

Figura 10 - Tabela de consumo do lubrificante na manutenção.  
Fonte: Pesquisa direta (2023)

Pode-se observar na figura 10 os campos para serem informados qual o compartimento está sendo aplicado e se o óleo foi substituído ou abastecido, considerando que estas informações influenciam na tomada de decisão em manutenções futuras.

Com as informações que são obtidas do plano de revisão ou na ordem de serviço e inseridas no SAP foi possível observar o consumo de acordo com o tipo de manutenção, que podem ser vistos na figura 11.



Figura 11 - Comparação do consumo de óleo por tipo de manutenção.  
Fonte: Pesquisa direta (2023)

Como ilustrado na figura 11, 65% do óleo é consumido nas manutenções preventivas e 35% é consumido por manutenções corretivas, é importante salientar que quanto maior este número na preventiva, melhor, já que significa que não está ocorrendo falhas catastróficas e facilita o controle do uso dos lubrificantes.

Observando a figura 12 é possível identificar o consumo por frota, separado de acordo com o tipo de operação realizada pelos equipamentos.



Figura 12 - Consumo por frota.  
Fonte: Pesquisa Direta (2023)

A figura 12 demonstra o consumo dividido por frota, onde cada frota possui características e dimensões específicas, bem como volume de reservatórios diferentes. A frota de infra é responsável pelo desmonte, a frota de carga por carregar o material desmontado e a frota de transporte, como seu próprio nome diz, por transportar o material ao seu destino final.

#### **4.2 Análise da metodologia utilizada nos processos de lubrificação para identificar o consumo de lubrificante e/ou desperdícios**

A partir da metodologia implementada e dos parâmetros controláveis foi possível identificar pontos de melhoria do processo de uso do lubrificante, visando sempre a qualidade, a melhoria contínua e a segurança dos equipamentos e dos colaboradores.

A fim de sistematizar a execução da rotina de lubrificação foi inserido o *check-list* de lubrificação, para garantir que seja seguido o rigor padrão do manual de manutenção, a figura 13 apresenta um exemplo utilizado.

ONDE ?	Item	O QUÊ?	STATUS	
Cabine	1	Verificar funcionamento do alarme de ré. Alarme e luzes.	<input type="checkbox"/> OK	<input type="checkbox"/> NOK
Cabine	2	Verificar funcionamento da buzina.	<input type="checkbox"/> OK	<input type="checkbox"/> NOK
Cabine	3	Verificar funcionamento do painel de instrumentos e manômetros. (Segurança)	<input type="checkbox"/> OK	<input type="checkbox"/> NOK
Cabine	4	Inspecionar funcionamento, condição e validade do cinto de segurança.	<input type="checkbox"/> OK	<input type="checkbox"/> NOK
Cabine	5	Inspecionar, limpar ou trocar filtros de ar da cabine. (Ferramenta de soprar)	<input type="checkbox"/> OK	<input type="checkbox"/> NOK
Cabine	6	Inspecionar, limpar ou substituir filtro do ar-condicionado da cabine.	<input type="checkbox"/> OK	<input type="checkbox"/> NOK
Cabine	7	Limpar vidros da cabine.	<input type="checkbox"/> OK	<input type="checkbox"/> NOK
Cabine	8	Verificar e ou completar nível de água do limpador de parabrisas.	<input type="checkbox"/> OK	<input type="checkbox"/> NOK
Cabine	9	Inspecionar paletas dos limpadores de parabrisas.	<input type="checkbox"/> OK	<input type="checkbox"/> NOK
Cabine	10	Limpar visor das câmeras e visor do display WAVS dentro da cabine.	<input type="checkbox"/> OK	<input type="checkbox"/> NOK
Cabine	11	Limpar os faróis do equipamento.	<input type="checkbox"/> OK	<input type="checkbox"/> NOK
Cárter LE	12	Verificar e ou completar o nível do óleo do motor diesel.	<input type="checkbox"/> OK	<input type="checkbox"/> NOK
Plataforma Sup	13	Verificar e ou completar nível do líquido arrefecedor.	<input type="checkbox"/> OK	<input type="checkbox"/> NOK
Máquina LD	14	Verificar e ou completar nível de óleo da transmissão.	<input type="checkbox"/> OK	<input type="checkbox"/> NOK
Máquina LD	15	Verificar e ou completar nível de óleo hidráulico.	<input type="checkbox"/> OK	<input type="checkbox"/> NOK
Plataforma Sup	16	Verificar e ou completar nível de óleo da direção.	<input type="checkbox"/> OK	<input type="checkbox"/> NOK
Máquina	17	Verificar e ou completar nível de óleo do diferencial e comandos finais.	<input type="checkbox"/> OK	<input type="checkbox"/> NOK
Plataforma Sup	18	Verificar e ou completar nível do reservatório de lubrificação automática.	<input type="checkbox"/> OK	<input type="checkbox"/> NOK
Máquina	19	Inspecionar funcionamento do sistema de lubrificação automática.	<input type="checkbox"/> OK	<input type="checkbox"/> NOK

Figura 13 - Itens de conferência da rotina de lubrificação.

Fonte: Pesquisa direta (2023)

Observando a figura 13 pode-se identificar a localização do item a ser conferido, qual o item a ser conferido e a situação que se encontra o mesmo, sendo fundamental para a assertividade e qualidade da lubrificação.

A figura 14 apresenta o modelo de controle aplicado junto ao plano de manutenção para reduzir o consumo do lubrificante, que conseqüentemente, reduz o desperdício de lubrificantes e os custos da área de manutenção.

INFORMAÇÕES GERAIS PARA DESTINAÇÃO DE LUBRIFICANTES							
EQUIPAMENTO:		DATA PREVISTA PARA REVISÃO:		SEMANA:			
MANUTENÇÃO:		PREVENTIVA		X HORAS			
COMPARTIMENTO	ÓLEO UTILIZADO	ÚLTIMO S.O.S.	INTERPRETAÇÃO LAB S.O.S.	INTERVENÇÃO	HORA ATUAL DO ÓLEO	HORA ATUAL DO COMPONENTE	DATA DA ÚLTIMA TROCA DE ÓLEO
MOTOR	SAE 15W40	NORMAL	NÍVEL NORMAL DE DESGASTE				
TRANSMISSÃO	SAE 30	NORMAL	NÍVEL NORMAL DE DESGASTE				
HIDRÁULICO	SAE 10W	NORMAL	NÍVEL NORMAL DE DESGASTE				
DIREÇÃO	SAE 10W	NORMAL	NÍVEL NORMAL DE DESGASTE				
EIXO	SAE 60	NORMAL	NÍVEL NORMAL DE DESGASTE				
RADIADOR	ELC	NORMAL	NÍVEL NORMAL DE DESGASTE				

Figura 14 - Informações gerais para destinação de lubrificantes.

Fonte: Pesquisa direta (2023)

A figura 14 apresenta as informações gerais de destinação do lubrificante, através das informações contidas no mesmo que será tomada as ações de intervenção para o óleo baseado na interpretação da análise do laboratório ou por motivos estratégicos. A folha de verificação é anexada junto ao plano de revisão para que mesmo que o plano de revisão indique sua substituição seja seguido as orientações do método de controle. Então, seguindo as premissas do fabricante é possível, em alguns casos, reutilizar o lubrificante, estendendo assim a sua vida útil.

A aplicação do método de controle considerou os parâmetros principais do processo de lubrificação, as paradas corretivas onde o óleo era drenado por uma falha inesperada não eram monitorados assim como as corretivas programadas, o parâmetro aplicado anteriormente era somente de acordo com os planos de revisão. O acompanhamento das análises das coletas de óleo ajuda a assegurar que o processo seja eficaz e seguro.

### 4.3 Contribuição da metodologia utilizada

Com as significativas mudanças apresentadas no capítulo 4, a equipe de planejamento inseriu na metodologia de controle as informações que justificam o reaproveitamento do lubrificante devido a importância de se ter documentado. Na tabela 5 é possível observar alguns motivos pelos quais foi possível reaproveitar o óleo lubrificante.

Tabela 5 - Justificativa do reaproveitamento de lubrificantes.

REAPROVEITAMENTO DE LUBRIFICANTES									
DATA	EQUIPAMENTO	COMPARTIMENTO	TIPO DE MANUTENÇÃO	MOTIVO DO REAPROVEITAMENTO	HORAS DO ÓLEO	QTD. DE COMPLEMENTO APÓS A TROCA	VISCOSIDADE	UND	TOTAL (litros)
2023	CAMINHÃO	HIDRÁULICO	CORRETIVA	CORRETIVA: SUBSTITUÍDO PINO ÂNCORA					
2023	CAMINHÃO	HIDRÁULICO	CORRETIVA	CORRETIVA: SUBSTITUÍDO PINO ÂNCORA					
2023	CAMINHÃO	HIDRÁULICO	CORRETIVA	CORRETIVA: SUBSTITUÍDO PINO ÂNCORA					
2023	CAMINHÃO	TRANSMISSÃO	PREVENTIVA	NÍVEL NORMAL DE DESGASTE					
2023	CARREGADEIRA	HIDRÁULICO	PREVENTIVA	NÍVEL NORMAL DE DESGASTE					
2023	CARREGADEIRA	EIXO	PREVENTIVA	NÍVEL NORMAL DE DESGASTE					
2023	CARREGADEIRA	TRANSMISSÃO	PREVENTIVA	NÍVEL NORMAL DE DESGASTE					
2023	CARREGADEIRA	DIREÇÃO	PREVENTIVA	NÍVEL NORMAL DE DESGASTE					
2023	CARREGADEIRA	TRANSMISSÃO	PREVENTIVA	NÍVEL NORMAL DE DESGASTE					
2023	TRATOR	HIDRÁULICO	PREVENTIVA	CORRETIVA: SUBSTITUÍDO CILINDROS					
2023	TRATOR	TRANSMISSÃO	CORRETIVA	NÍVEL NORMAL DE DESGASTE					
2023	TRATOR	EIXO	CORRETIVA	NÍVEL NORMAL DE DESGASTE					
2023	CARREGADEIRA	HIDRÁULICO	PREVENTIVA	NÍVEL NORMAL DE DESGASTE					
2023	CAMINHÃO	TRANSMISSÃO	PREVENTIVA	NÍVEL NORMAL DE DESGASTE					

Fonte: Pesquisa direta (2023)

É possível observar na tabela 5 que intervenções não programadas em que ocorreu a substituição do lubrificante ou análise do óleo apontando boas condições do mesmo, indicam que estes lubrificantes ainda atendam as condições de operação e bom funcionamento do sistema, sendo possível drenar o fluido em um recipiente livre de contaminantes podendo reaproveitá-lo.

Após análise da metodologia implementada foi possível observar que o consumo de óleo lubrificante sem o controle adequado no primeiro trimestre representou 18% a mais de consumo do que o segundo trimestre onde o controle estava implementado, conforme ilustra a figura 15.



Figura 15 - Comparação trimestral do consumo de óleo lubrificante.  
Fonte: Pesquisa direta (2023)

Na figura 15 é possível fazer uma análise comparativa do consumo de óleo lubrificante do primeiro e do segundo trimestre. Por se tratar de uma metodologia de alta complexidade no processo de manutenção os resultados obtidos podem ser considerados satisfatórios, tendo em vista que, propõe o controle do consumo e reaproveitamento através da drenagem do óleo que seria descartado.

Portanto é possível concluir que, a gestão da lubrificação utilizando uma metodologia de controle de consumo de óleo lubrificante, contribui para a redução do desperdício de lubrificantes e como consequência a redução dos custos dos processos de manutenção.

## **5 CONCLUSÃO**

### **5.1 Conclusão**

O estudo de caso desenvolvido neste trabalho demonstrou que uma metodologia de controle de consumo de lubrificantes utilizada na gestão da lubrificação contribui para otimizar os processos de lubrificação no sentido de controlar o consumo e reaproveitar o óleo que seria descartado. Dessa forma a questão problema proposta no capítulo 1 deste estudo foi respondida de forma adequada.

É possível concluir que os objetivos propostos foram alcançados e que a gestão da lubrificação é a base da gestão de ativos de uma empresa, e garante não somente a boa qualidade da lubrificação, mas principalmente o bom estado das máquinas lubrificadas. Além disso, revisões regulares de procedimentos e acompanhamento de inovações tecnológicas permitem melhorar continuamente o gerenciamento da lubrificação e adaptar-se às necessidades do mercado e das máquinas em constante evolução.

A importância da gestão da lubrificação torna-se assim perceptível para além da mera manutenção de equipamentos, sendo um fator chave para o sucesso operacional e financeiro da área de manutenção industrial de qualquer empresa que exerça atividades dependentes de máquinas e equipamentos. Logo, investir na gestão eficiente da lubrificação é uma estratégia inteligente e essencial para otimizar processos, garantir a longevidade dos ativos e aumentar a competitividade no mercado.

### **5.2 Recomendações**

Dada a importância que a manutenção e a gestão da lubrificação possuem na indústria, recomenda-se os seguintes trabalhos futuros:

- Pesquisas sobre desenvolvimento de modelos para controle de consumo lubrificante;
- Eficiência da aplicação dos métodos, técnicas e ferramentas da gestão da lubrificação por processo de manutenção;
- Estudo dos indicadores da manutenção aplicados a gestão da lubrificação;
- Estudo da viabilidade econômica do processo.

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ALMEIDA, Márcio T; **Manutenção Preditiva: Confiabilidade e Qualidade**. Itajubá: 2007  
Disponível em: <<https://mtaev.com.br/wp-content/uploads/2018/02/mnt1.pdf>>. Acesso em:  
07/09/2022.

ALMEIDA, P. S. **Manutenção mecânica industrial: conceitos básicos e tecnologia aplicada**. São Paulo: Érica, 2014, p. 15.

ALMEIDA, P. S., **Lubrificação industrial: tipos e métodos de lubrificação**. São Paulo: Érica, 2017, 184p.

ALVES, S. M e Mello, V. S. **Lubrificação. TribLook. Um livro de tribologia e integridade estrutural**. Volume A, 1 ed., p 79-112, Natal, 2015.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM G40-99: terminology relating to wear and erosion**. Philadelphia, 1999.

ANAND, Ankush. **Role of Green Tribology in Sustainability of Mechanical Systems: A State of the Art Survey**. Materials Today, Katra, v. 4, n. 2, p.3659-3665, 24 fev. 2017.

ASSIS, M. C., **Metodologia do Trabalho Científico**. Disponível em:  
<<https://hugoribeiro.com.br/biblioteca-digital/Assis-Metodologia.pdf>>. Acesso em:  
27/09/2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5462: **Confiabilidade e Mantenabilidade**. Rio de Janeiro, p. 37. 1994.

BATCHELOR, A. W.; STACHOWIAK, G. W. **Engineering Tribology**, Elsevier Butterworth-Heinemann, 3 rd Edition, 2005.

BAYER, R.G. **Mechanical wear prediction and prevention**. New York, 1994, p. 657, 1ª Ed. Marcel Dekker.

BERTULUCCI. S. **Manutenção Industrial: Como funciona?** Disponível em:  
<<https://www.citisystems.com.br/manutencao-industrial-como-funciona/>>. Acesso em:  
03/09/2022.

BOTH, Guilherme Brandes. **Caracterização e avaliação tribológica de superfícies resistentes ao desgaste para aplicação em ferramentas de conformação a frio**. 2011. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

BUDINSKI, K. G. **Surface Engineering for Wear Resistance**. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1988.

CARVALHO, P.S.L. *et al.* **Mineração e Metalurgia**. Disponível em: <[https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/14255/2/Panoramas%20Setoriais%202030%20-%20Minera%C3%A7%C3%A3o%20e%20Metalurgia\\_P.pdf](https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/14255/2/Panoramas%20Setoriais%202030%20-%20Minera%C3%A7%C3%A3o%20e%20Metalurgia_P.pdf)>. Acesso em: 03/09/2022.

Chen, J., & Zhang, B. (2019). **Development of an intelligent equipment lubrication management system based on IoT**. *Advances in Mechanical Engineering*, 11(5), 1-10.

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.

CZICHOS, H. **Overview of Tribology**. *Tribologie-Handbuch*. Springer Vieweg, Wiesbaden. 28p. 2020.

DUARTE, Durval Junior. **Tribologia. Lubrificação e Mancais de Deslizamento**. Editora Ciência Moderna. 1ª Edição. P. 256. São Paulo, 2005.

FALCÃO, J. M. S. L. **Modelo multicritério para a seleção de fornecedores na reciclagem do resíduo do óleo lubrificante**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Pernambuco, Pernambuco, 2012.

Fitch, K. S., Bade, K., Widener, S., & Rhodes, S. (2020). **Fundamentals of lubrication for mechanical engineers**. Society of Tribologists and Lubrication Engineers.

FOGLIATTO, F. S.; RIBEIRO, José Luis Duarte: **Confiabilidade e Manutenção Industrial**. 1. ed. São Paulo: Campus-Elsevier, 2009.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GOLDENBERG, M. **A arte de pesquisar**. Rio de Janeiro: Record, 1997.

GREGÓRIO, Gabriela Fonseca Parreira. **Engenharia de manutenção** [recurso eletrônico] / Gabriela Fonseca Parreira Gregório, Danielle Freitas Santos, Auricélio Barros Prata; [revisão técnica: André Shataloff]. – Porto Alegre: SAGAH, 2018.

GREGÓRIO, Gabriela Fonseca Parreira. **Manutenção industrial** [recurso eletrônico] / Gabriela Fonseca Parreira Gregório, Aline Moraes da Silveira, [revisão técnica: Henrique Martins Rocha]. – Porto Alegre: SAGAH, 2018.

HUTCHINGS, I. M. **Tribology: Friction and Wear of Engineering Materials**. Cambridge: Butterworth-Heinemann, 1992.

IBRAM - MINERAÇÃO DO BRASIL. **Mineração em Números**. Disponível em: <<https://ibram.org.br/mineracao-em-numeros/>>. Acesso: 03/09/2022.

JONES, D. R. H. **Engineering Materials 1: An Introduction to Properties, Applications and Design**. São Paulo: Butterworth-Heinemann, 2018.

Jost, H. P., 1990, “**Tribology-origin and future**”, *Wear*, v.136, pp.1-17. Kato, K. Adachi, K., 2001, “**Wear Mechanisms**”, MODERN TRIBOLOGY HANDBOOK, Ed. CRC Press LLC Vol.2 Cap 22.

JOST, H.P, 1960, “**Lubrication (tribology) education and research**, Jost Rep., **Department of Education and Science**. HMSO, London, 1966, p.4. Citado em: SINATORA, A., 2005, “Tribologia: um resgate histórico e o estado da arte”, Prova de Erudição, São Paulo.

KRAGELSKY, Igor Viktorovich; ALISIN, Valeriï Vasil’evich (Ed.). **Friction wear lubrication: tribology handbook**. 1 ed. Moscou: Elsevier, 1981.

LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. **Metodologia Científica**. São Paulo: Atlas, 2004 – 4<sup>a</sup> ed.

Lewin, K. (1946). **Action research and minority problems**. *Journal of Social Issues*, 2(4), 34-46.

LIMA, Maria Helena Rocha; TEIXEIRA, Nilo da Silva. **A contribuição da grande mineração às comunidades locais: uma perspectiva econômica social**. Comunicação Técnica elaborada para o III Fórum de Mineração–Bens Minerais e Desenvolvimento Sustentável, realizado na Univ. Federal de Pernambuco–UFPE–25 a, v. 28, 2006. Disponível em: <<http://www.cetem.gov.br/images/congressos/2006/CAC00410006.pdf>>. Acesso: 03/09/2022.

MEDEIROS, Suelson Diógenes de França. **Análise tribológica de um sistema de acionamento alternativo de pigs para a indústria do petróleo**. 2010. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

MENDES A. A.; RIBEIRO, J.L.D. **Manutenção centrada em Confiabilidade: Uma Abordagem Quantitativa**. Dissertação (Pós-graduação em Engenharia de Produção). Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, 2011.

MOBLEY, R. Keith ; HIGGINS, Lindley R.; WIKOFF, Darrin J. **Maintenance Engineering Handbook**, 7ed, 2008.

MOUBRAY, J. **Introdução à manutenção centrada na confiabilidade**. São Paulo: Aladdin, 1996.

NORTON, Robert L. **Projeto de máquinas**, 4 ed., Porto Alegre, Bookman editora, 2013.

NUNES, Paulo Henrique Farias. **Mineração, meio ambiente e desenvolvimento sustentável: aspectos jurídicos e socioeconômico**. Disponível em: <<https://egov.ufsc.br/portal/sites/default/files/anexos/26164-26166-1-PB.pdf>>. Acesso em: 03/09/2022.

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.

PALMER, D. **Maintenance planning and scheduling handbook**. McGraw-Hill Professional Publishing., 3ª edição. New York, Chicago, San Francisco, Lisbon, London, Madrid, Mexico City, Milan, New Delhi, San Juan, Seoul, Singapore Sydney Toronto, 2012.

PEREIRA, Mário Jorge. **Técnicas Avançadas de Manutenção**. 1.ed. Rio de Janeiro: Ed. Ciência Moderna, 2010. 80 p.

PINTO, A. K.; XAVIER, J. de A. N. **Manutenção: Função Estratégica**. 2. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2006.

PINTO, Alan Kardec; XAVIER, Júlio de A. Nascif. **Manutenção: Função estratégica**. Rio de Janeiro: Quality mark: Abraman, 2009.

POLIT, D.F. *et al.* **Fundamentos de Pesquisa em Enfermagem: Métodos, avaliação e utilização**. 5 ed. Porto Alegre: Artmed, 2004.

QUEVEDO, Johanna Mirelle Gómez. **Modelo de simulação para o sistema de carregamento e transporte em mina a céu aberto**. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção) – Pontifícia Universidade Católica, Rio de Janeiro, 2009.

RADI, Polyana Alves et al. **Tribologia, conceitos e aplicações**. Encontro de Iniciação Científica e Pós-Graduação do ITA–XIII ENCITA/2007, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, SP, Anais do 13º, 2007.

RADI, Polyana Alves. **Estudos de Fenômenos Tribológicos em Materiais Carbonosos**. 2008. 148f. Tese de mestrado em Física e Química dos Materiais Aeroespaciais – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.

Rao, Y., Yang, Y., Zhang, M., & Chen, W. (2017). **Development of an oil monitoring system for condition-based lubrication in wind turbines**. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 13(2), 929-939.

RODOVALHO, E. da C. **Aplicação de ferramentas de simulação em operações mineiras para determinação de índices operacionais utilizados em planos de lavra adaptados ao estudo de caso da Mineração Casa de Pedra - CSN (Congonhas/MG)**. 111f. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) – Universidade Federal de Ouro Preto, 2013.

SELEME, R. **Manutenção industrial: mantendo a fábrica em funcionamento**. Curitiba: Intersaberes, 2015.

SHIGLEY, J. E.; **“Elementos de Máquinas - Volume 1”**, LTC, Rio de Janeiro, 1984.

SILVA, M. B; WALLBANK, J. **Lubrication and application method in machining**. Industrial Lubrication and Tribology, n. 50, p. 149 – 152, 1998.

SKF - Svenska Kullager Fabriken. **Tribologia: uma história inspiradora**. 2013.

SLACK, Nigel; CHAMBERS, Stuart; JOHNSTON, Robert. **Administração da produção**. 5.ed. São Paulo: Atlas, 2008.

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**. 2009. 169 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Ponta Grossa.

SOUZA, Manuela Soares de. **A Importância do Planejamento e Controle da Manutenção: um estudo na Afla indústria de bebidas**. Revista Eletrônica da Faculdade José Augusto Vieira, Lagarto, v. 7, n. 5, p.1-22, set. 2012

STACHOWIAK G.W., Batchelor A.W., **Engineering Tribology**, 4th edition, Butterworth-Heinemann, 2013.

STOETERAU, R. L.. **Apostila de Tribologia**. Departamento de Engenharia Mecânica- Universidade Federal de Santa Catarina, 2004.

VERGARA, Sylvia Constant. **Projetos e Relatórios de Pesquisa em Administração**. 12. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

VIANA, Hebert Ricardo Garcia. **Planejamento e Controle da Manutenção**. 1.ed. Rio de Janeiro: Ed. Qualitymark, 2002. 167 p.

XENOS, Harilaus G. Gerenciando a Manutenção Produtiva – **O Caminho para Eliminar Falhas nos Equipamentos e Aumentar a Produtividade**. 1ª Ed. Belo Horizonte: Editora de Desenvolvimento Gerencial, 1998.

ZUM-GAHR, K-H. **Microstructure and Wear of Materials**. Tribology Series. 10. ed. Elsevier. 1987.