



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO – UFOP**

**ESCOLA DE MINAS**

**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**



**NILTON COSTA PEREIRA DE S. THIAGO NETO**

**ELABORAÇÃO DO PLANO DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA DO  
DISPOSITIVO ROBÓTICO DE INSPEÇÃO DE AMBIENTES  
RESTRITOS E CONFINADOS - ESPELEOROBÔ**

**OURO PRETO - MG  
2022**

**NILTON COSTA PEREIRA DE S. THIAGO NETO**  
**nilton.neto@aluno.ufop.edu.br**

**ELABORAÇÃO DO PLANO DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA DO  
DISPOSITIVO ROBÓTICO DE INSPEÇÃO DE AMBIENTES  
RESTRITOS E CONFINADOS - ESPELEOROBÔ**

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

**Professor coorientador:** MSc. Luiz Guilherme Dias de Barros

**OURO PRETO – MG**  
**2022**

## SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

T422e Thiago Neto, Nilton Costa Pereira De S.  
Elaboração do plano de manutenção preventiva do dispositivo robótico de inspeção de ambientes restritos e confinados - espeleorobô. [manuscrito] / Nilton Costa Pereira De S Thiago Neto. - 2022.  
71 f.: il.: color., tab..

Orientador: Prof. Dr. Washington Luis Vieira da Silva.  
Coorientador: Me. Luiz Guilherme Dias de Barros.  
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Graduação em Engenharia Mecânica .

1. Manutenção. 2. Manutenção - Plano de manutenção preventiva. 3. Manutenção - Manutenção preventiva. 4. Robótica - EspeleoRobô. I. Barros, Luiz Guilherme Dias de. II. Silva, Washington Luis Vieira da. III. Universidade Federal de Ouro Preto. IV. Título.

CDU 621

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



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO  
REITORIA  
ESCOLA DE MINAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECANICA



## FOLHA DE APROVAÇÃO

**Nilton Costa Pereira de S. Thiago Neto**

### **Elaboração do Plano de Manutenção Preventiva do dispositivo robótico de inspeção de ambientes restritos e confinados - espeleorobô**

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 07 de Outubro de 2022

#### Membros da banca

DSc. Washington Luis Vieira da Siva - Orientador (Universidade Federal de Ouro Preto)  
MSc. Luiz Guilherme Dias de Barros - Coorientador(a) (Instituto Tecnológico Vale)  
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 11/10/2022



Documento assinado eletronicamente por **Washington Luis Vieira da Silva, PROFESSOR DEMAGISTERIO SUPERIOR**, em 17/10/2022, às 17:33, 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 **0413391** e o código CRC **30C1DACE**.

**Referência:** Caso responda este documento, indicar expressamente o Processo nº 23109.014260/2022-73

SEI nº 0413391

R. Diogo de Vasconcelos, 122, - Bairro Pilar Ouro Preto/MG, CEP 35400-000  
Telefone: (31)3559-1533 - [www.ufop.br](http://www.ufop.br)

A Deus dedico mais esta etapa vencida, meus pais e irmão, pelo apoio incondicional e companheirismo. Sem vocês esse sonho não seria possível.

## AGRADECIMENTO

Agradeço primeiramente a Deus pela oportunidade de nascer em um lar com tantos exemplos. Aos meus pais por todos os sacrifícios e esforços que se submeteram para sempre me proporcionar o melhor, sendo eles meus maiores exemplos de amor, serviço ao próximo e humildade.

Ao meu irmão por sempre estar comigo e me colocar como prioridade em sua jornada.

Aos meus tios por todo auxílio prestado, principalmente, por me ensinarem o verdadeiro sentido de companheirismo.

Aos meus primos por todos momentos de amor e união que juntos compartilhamos.

À minha avó Bety e à Maria pelo exemplo de trabalho e por todo o carinho que destinaram a mim.

À minha avó Helena pelo o ensinamento do valor da compreensão e do silêncio.

Ao meu avô Nilton que me ensinou o real sentido da vida e de como um cristão deve agir.

À Thayna por me ensinar o verdadeiro sentido do amor e do carinho, me mostrando, apesar da distância, como é ser amado todos os dias.

Aos meus amigos de Petrópolis por toda a parceria e amizade.

Aos meus amigos da UFOP e ITV que me proporcionaram momentos inesquecíveis que levarei comigo em minha trajetória.

Ao meu orientador Washington e meu co-orientador Luiz Guilherme, pelo incentivo, paciência, confiança e orientação de qualidade neste trabalho

Aos meus professores da UFOP por todos os conhecimentos passados em sala de aula, não só para a minha vida profissional, mas também, para minha vida pessoal.

A todos minha eterna gratidão, essa conquista só foi alcançada graças a cada um de vocês. Muito obrigado.

*“Embora ninguém possa voltar atrás e fazer um novo começo, qualquer um pode começar e fazer um novo fim.”*

Chico Xavier

## RESUMO

Com o objetivo de aumentar a confiabilidade do EspeleoRobô, que é uma plataforma móvel teleoperada utilizada para inspeções, este estudo aborda a elaboração do plano de manutenção preventiva para este dispositivo. A inspeção de cavidades, dutos e barragens é uma atividade fundamental para as mineradoras. Todavia, esse tipo de atividade apresenta potenciais riscos para a saúde humana conforme descrito pela Norma Regulamentadora 33 (segurança e saúde nos trabalhos em espaços confinados). Com isso, a utilização de robôs para a realização destas tarefas tem se tornado cada vez mais frequentes. Para atender a NR 33 o Instituto Tecnológico da Vale (ITV) desenvolveu o projeto do EspeloRobô. Com o intuito de garantir o adequado funcionamento de todas as capacidades do robô, a elaboração do plano de manutenção é uma tarefa fundamental para minimizar e até mesmo acabar com as paradas não planejadas do EspeleoRobô. Para a confecção deste plano foi realizada uma pesquisa de abordagem qualitativa e exploratória contendo o estudo da base teórica sobre os métodos de manutenção, apresentado suas principais características, quando e como cada um deve ser escolhido, e sobre o Planejamento e Controle da Manutenção, levando em consideração o estudo dos planos de manutenção, a programação da manutenção e os índices de manutenção. O plano de manutenção foi elaborado contendo o detalhamento das atividades, os insumos, equipamentos, ferramentas necessárias e a frequência que as intervenções deverão ocorrer. Além disso, o plano elaborado será capaz de gerar melhorias tanto nas atividades de manutenção, operação e projeto do robô, aumentando a disponibilidade e a confiabilidade do robô e padronizando todas as atividades de manutenção.

**Palavras-chave:** Manutenção. Plano de manutenção preventiva. Manutenção preventiva. EspeleoRobô.

## ABSTRACT

*To increase the reliability of EspeleoRobô, a teleoperated mobile platform used for inspections, this study approaches the elaboration of the preventive maintenance plan for this device. Inspecting cavities, pipelines and dams is a fundamental activity for mining companies. However, this activity presents potential risks to human health as described by Regulatory Standard 33 (safety and health in work in confined spaces). As a result, using robots to perform these tasks has become increasingly frequent. To meet NR 33, The Instituto Tecnológico Vale (ITV) has developed the EspeloRobô project. To guarantee the proper functioning of all the robot's capabilities, elaborating the maintenance plan is a fundamental task to minimize and even end the unplanned stops of EspeleoRobô. To prepare this plan, we carried out qualitative and exploratory research containing the study of the theoretical basis of maintenance methods, presenting their main characteristics, when and how each one should be chosen. Maintenance Planning and Control consider analyzing maintenance plans, schedules, and rates. The maintenance plan was prepared to contain the details of the activities, the necessary inputs, equipment, tools, and the frequency with those interventions should occur. In addition, the elaborated plan will generate improvements in maintenance activities, operation, and robot design, increasing the robot's availability and reliability and standardizing all maintenance.*

**Key-words:** *Maintenance. Preventive maintenance plan. Preventive maintenance. EspeleoRobô.*

**LISTA DE FIGURAS**

Figura 1 - Fluxograma da escolha do método de manutenção. ....	14
Figura 2 - Exemplo de Rota de Inspeção.....	17
Figura 3 - Roteiro de Lubrificação. ....	18
Figura 4 - Plano de manutenção. ....	28
Figura 5 - Sistema intercambiável de locomoção do EspeloRobô.....	31
Figura 6 - Componentes eletrônicos do EspeleoRobô.....	32
Figura 7 - Etapas da metodologia proposta. ....	36
Figura 8 – Vista explodida do EspeleoRobô. ....	39
Figura 9 - Conjunto interno EspeleoRobô.....	40
Figura 10 - Montagem conjunto interno e laterais. ....	41
Figura 11 - Sistema de movimentação do robô. ....	41
Figura 12 - Lateral EspeleoRobô.....	42
Figura 13 - Mancal EspeleoRobô. ....	43
Figura 14 - Frente e traseira Espeleorobô.....	44
Figura 15 - Tampas superior e inferior EspeleoRobô.....	45
Figura 16 – EspeleoRobô. ....	46
Figura 17 - Parte 1 do plano de manutenção elaborado. ....	47
Figura 18 - Parte 2 do plano de manutenção elaborado. ....	48
Figura 19 - Detalhes 1,2 e 3 da Figura 17. ....	48
Figura 20 - Detalhes 4 e 5 da Figura 17. ....	49
Figura 21- Detalhes 6, 7 e 8 da Figura 17. ....	51
Figura 22 – Detalhes 10 e 9 da Figura 18.....	53
Figura 23 – Detalhes 11 e12 da Figura 18.....	54

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 – Atividades da manutenção.....	5
Tabela 2 – Fatores para a escolha da manutenção corretiva.....	7
Tabela 3 – Tipos de manutenção corretiva.....	8
Tabela 4 – Técnicas para a aplicação da manutenção preditiva.....	10
Tabela 5 – Fatores para a determinação da estratégia de manutenção.....	13
Tabela 6 – Categorias dos planos de manutenção.....	16
Tabela 7 – Balizadores do plano preventivo.....	19
Tabela 8 - Custos da manutenção.....	24
Tabela 9 – Aplicações dos robôs.....	30
Tabela 10 – Principais componentes robóticos e suas funções.....	30
Tabela 11 – Características da abordagem qualitativa.....	33
Tabela 12 – Classificação das pesquisas segundo seus objetivos.....	35
Tabela 13 – Variáveis e indicadores.....	37

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1	Formulação do Problema.....	1
1.2	Justificativa.....	3
1.3	Objetivos.....	4
1.3.1	Geral .....	4
1.3.2	Específicos.....	4
1.4	Estrutura do Trabalho .....	4
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>5</b>
2.1	Manutenção .....	5
2.2	Métodos de manutenção .....	6
2.2.1	Manutenção corretiva .....	6
2.2.2	Manutenção preventiva.....	8
2.2.3	Manutenção preditiva .....	9
2.2.4	Outros tipos de manutenção .....	11
2.2.5	Definição do método de manutenção .....	13
2.3	Planejamento e controle da manutenção – PCM.....	15
2.3.1	Os planos de manutenção .....	15
2.3.2	Planejando e programando a manutenção .....	20
2.3.3	Índices da manutenção.....	21
2.3.4	Elaboração dos planos de manutenção preventiva .....	27
2.4	Robótica.....	29
2.5	EspeleoRobô.....	31
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>33</b>
3.1	Tipo de pesquisa .....	33
3.2	Materiais e métodos.....	35
3.3	Variáveis e indicadores.....	36
3.4	Instrumento de coleta de dados .....	37
3.5	Tabulação dos dados.....	37
3.6	Considerações finais do capítulo .....	37
<b>4</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>38</b>
4.1	Descrição do equipamento.....	38

4.1.1	Conjunto interno.....	39
4.1.2	Laterais direita e esquerda.....	40
4.1.3	Frente e traseira.....	43
4.1.4	Tampas superior e inferior.....	44
4.2	Elaboração do plano de manutenção.....	46
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>55</b>
5.1	Conclusões.....	55
5.2	Recomendações para trabalhos futuros.....	55
<b>6</b>	<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>57</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Formulação do Problema

Com o advento das revoluções industriais e com as crescentes evoluções das tecnologias, o trabalho manual vem cada vez mais sendo substituído pelo trabalho de máquinas, que foram capazes de não somente aumentar a produtividade, mas melhorar significativamente a eficiência, a qualidade e a segurança dos processos produtivos. Dentre estes, é possível citar a ascensão da robótica iniciada na terceira revolução industrial e intensificada dentro do contexto da indústria 4.0. Desta forma, com o grande aumento dos maquinários nos mais diversos setores, principalmente no industrial, é necessário garantir que estes equipamentos funcionem da melhor forma possível e que não apresentem falhas repentinas que possam gerar grandes perdas para a indústria. Com isso, para garantir o perfeito funcionamento destes aparatos é de suma importância a realização de manutenções.

De acordo com 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”. Segundo Xenos (1998), manter está relacionado com a tarefa de fazer tudo que for necessário para garantir que um equipamento funcione corretamente executando as tarefas para quais foi projetado.

Com isso, é possível perceber que a manutenção é o conjunto de atividades que possuem o objetivo de evitar que os equipamentos fiquem parados por motivos de falhas, permitindo que os maquinários funcionem conforme foram projetados. Dentre essas atividades, existe o plano de manutenção.

Logo, o planejamento e a padronização são as bases para assegurar a melhor eficiência das manutenções, garantindo assim a qualidade do serviço. Com isso, a elaboração de um plano de manutenção é uma das tarefas mais importantes dentro de uma indústria para assegurar a boa funcionalidade dos equipamentos.

Assim, Conforme Viana (2002), os planos de manutenção são o conjunto de informações necessárias para nortear as atividades de manutenção preventiva, detalhando as estratégias adotadas para a realização das intervenções e a disposição no tempo das mesmas.

Portanto, conforme é possível verificar a sua importância, o plano de manutenção é aplicado em vários setores da indústria e, também em projetos. Logo, uma das áreas foco desse estudo é a robótica.

Robôs móveis são amplamente utilizados em operações em ambientes severos e desconhecidos com objetivo de aumentar a eficiência, reduzir o tempo de realização destas atividades e principalmente diminuir ou eliminar os riscos a que estas pessoas estão expostas ao realizar tais operações.

Dentre estas, é possível destacar a Espeleologia. Segundo Gèze *apud* Monteiro (2011), a Espeleologia (do latim *spelaeum*, "caverna", da mesma raiz da palavra "espelunca", *logia* - estudos) é a ciência que realiza estudos das cavidades naturais subterrâneas, sua origem e evolução, do meio físico que elas representam, de seu ecossistema atual ou passado, e também, dos meios e técnicas que são próprias do seu estudo. Portanto, é uma ciência multidisciplinar que visa o estudo e a exploração de cavidades.

A inspeção de cavidades é uma tarefa fundamental para as mineradoras, visto que em muitas minas são encontradas cavernas que precisam ser estudadas. Além disso, a inspeção de outros ambientes industriais como moinhos de bola, galerias de barragens, tubulação de rejeitos, e outros oferecem alto risco ao operador ao realizar a atividade. A NR 33 detalha os possíveis riscos ocupacionais presentes em atividades dentro de espaços confinados. Para atender as demandas da NR 33, a Vale (2021) destaca que “utiliza robôs para retirar empregados de situação de risco e aumentar a segurança de suas operações”

Assim, para atender as demandas de inspeção e de segurança, o Instituto Tecnológico Vale (ITV) possui um dispositivo robótico, conhecido como EspeleoRobô, para auxiliar na realização das atividades citadas sem que o operador seja exposto a certos riscos.

Segundo Azpúrua (2021), o EspeleoRobô é um dispositivo robótico capaz de se locomover em terrenos acidentados e realizar a inspeção de cavernas naturais e outros ambientes confinados. O objetivo consiste em evitar, ao máximo, a presença de inspetores e operadores dentro destes locais.

Com o aumento das possibilidades de utilização, o robô começou a ser cedido às áreas operacionais Vale para aumentar o número de áreas atendidas. Com essa cessão, o robô que antes era operado apenas por especialistas do ITV, passa a ser utilizado por inspetores e operadores treinados para operação, mas sem conhecimento de construção e manutenção do dispositivo. Desta forma, a proposta deste estudo é a elaboração do plano de manutenção do

EspeleoRobô a fim de garantir o funcionamento do mesmo além de padronizar a manutenção preventiva, o que pode evitar maiores problemas e danos ao robô com sua utilização constante.

Visto a importância do EspeleoRobô para a realização de inspeções e estudos, principalmente em ambientes confinados nocivos ao ser humano, é necessário o estudo da seguinte problemática:

**Como elaborar o plano de manutenção preventiva para o EspeleoRobô de forma a garantir a sua funcionalidade?**

## **1.2 Justificativa**

Com a crescente popularização da utilização de dispositivos robóticos, cada vez mais robôs estão sendo empregados para a realização de inspeções em ambientes confinados ou em locais onde não é possível a entrada de seres humanos. Com isso, para garantir o funcionamento de todas as capacidades do robô, é importante que sejam realizadas manutenções preventivas a fim de minimizar uma possível falha do equipamento. Portanto, é necessário a confecção de um plano de manutenção para nortear, não somente as datas das manutenções, mas também explicar como elas devem ser realizadas e quais itens devem ser verificados.

Segundo Xenos (1998), a elaboração de um bom plano de manutenção é um importante fator para evitar as falhas e garantir o bom funcionamento dos equipamentos. Um bom plano de manutenção está relacionado com todas as ações preventivas que devem ser levadas em consideração na realização das manutenções, com isso, é necessário realizar estudos para entender as necessidades do equipamento.

A realização de ações preventivas na manutenção, conforme Viana (2002), evita paradas indesejáveis da produção, que geram perdas econômicas para a empresa, sendo mais viáveis financeiramente que as ações corretivas.

Através da elaboração de um bom plano de manutenção para o EspeleoRobô, poderá haver uma melhora na confiabilidade do robô, que conseqüentemente impactará na produtividade das suas tarefas, o qual por sua vez, acarretará em possíveis ganhos financeiros para a empresa e poderá evitar gastos de recursos com medidas emergenciais de manutenção.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Geral**

Elaborar o plano de manutenção preventivo do EspeleoRobô a fim de garantir suas funcionalidades.

### **1.3.2 Específicos**

- Realizar o estudo teórico sobre manutenção, métodos de manutenção, planejamento e controle da manutenção, robótica e EspeleoRobô;
- Elaborar um procedimento metodológico para compreender as especificidades e funcionalidades do EspeleoRobô, com a finalidade de elaborar seu plano de manutenção;
- Utilizar a base teórica para auxiliar na elaboração do plano de manutenção.

## **1.4 Estrutura do Trabalho**

O trabalho está dividido em cinco capítulos organizados conforme descrito a seguir.

No primeiro capítulo é apresentado a formulação do problema, a justificativa para a realização do trabalho e seus objetivos geral e específicos.

O segundo capítulo trata da fundamentação teórica dos conceitos e teorias à respeito da manutenção, como os tipos de manutenção, a forma como e quando cada uma deve ser realizada e o planejamento e controle da manutenção. Ainda é apontado nele temáticas importantes para o desenvolvimento do trabalho como o conceito de robótica e a apresentação do EspeleoRobô.

Já no terceiro capítulo são demonstradas as metodologias de pesquisa que foram utilizadas para a elaboração do trabalho. Nele são retratados os diferentes tipos de pesquisa existentes na literatura, os materiais e métodos utilizados para a resolução da problemática, as variáveis e indicadores existentes no trabalho, os instrumentos utilizados para a coleta de dados e por fim os instrumentos utilizados para tabular os resultados obtidos.

No quarto capítulo é apresentado todos componentes mecânicos do EspeleoRobô e o plano de manutenção desenvolvido através da base teórica apresentada.

Por último, o quinto capítulo apresenta todas as conclusões obtidas com a monografia, assim como recomendações para trabalhos futuro.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O presente capítulo aborda o embasamento bibliográfico necessário para a sustentação teórica em relação à temática abordada no trabalho.

### 2.1 Manutenção

A manutenção pode ser definida, de acordo com Xenos (1998), como o conjunto de atividades que visam evitar a degradação dos equipamentos causada pelo desgaste gerado principalmente pelo uso. De acordo com o dicionário Aurélio, ela é entendida como o conjunto de medidas necessárias para a conservação ou a permanência de alguma coisa, explica ainda, que são os cuidados técnicos indispensáveis ao funcionamento regular e permanente de motores e máquinas.

Segundo Kardec e Nascif (2010, p.23), a missão da manutenção é “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”. Com isso, a missão não é preservar diretamente o equipamento, mas sim, a função do sistema como um todo.

Conforme Xenos (1998), o conserto de equipamentos que apresentaram falhas não pode ser entendido como manutenção, pelo menos até que medidas concretas sejam tomadas para evitar a reincidência desta problemática. Com isso, a manutenção está diretamente ligada com outras atividades, como a detecção, o reparo, a investigação das causas fundamentais e o estabelecimento de contramedidas para evitar os defeitos nos equipamentos e máquinas.

Seguindo a metodologia adotada por Xenos (1998), as atividades de manutenção podem ser divididas em dois tipos conforme mostrado na Tabela 1.

Tabela 1 – Atividades da manutenção.

<b>Tipos</b>	<b>Finalidade</b>
Atividades de Manutenção	Manter as condições originais de operação.
Atividades de Melhoria	Melhorar as condições de operação dos equipamentos, de confiabilidade e de desempenho.

Fonte: Adaptado de Xenos (2022).

Como mencionado, as atividades de manutenção abrangem muito mais do que somente o restabelecimento das funções das máquinas, com isso, o próximo tópico descreve os principais métodos utilizados para a realização de manutenções.

## **2.2 Métodos de manutenção**

Muitos autores classificam de formas diferentes os métodos de manutenção, sendo estes relacionados à maneira como são encaminhadas as intervenções nos equipamentos. Nesta monografia são consideradas as classificações feitas por Xenos (1998), Viana (2002), e Kardec e Nascif (2010).

### **2.2.1 Manutenção corretiva**

A manutenção corretiva pode ser entendida, conforme Viana (2002, p.10), como “a intervenção necessária imediatamente para evitar graves consequências aos instrumentos de produção, à segurança do trabalhador ou ao meio ambiente”. É uma intervenção aleatória e não planejada que é conhecida nas fábricas como “apagar incêndio”.

Como este tipo de manutenção sempre é realizada após a ocorrência de alguma falha, é importante, segundo Xenos (1998), levar em consideração alguns fatores para optar pela manutenção corretiva. A Tabela 2 apresenta esses fatores.

Tabela 2 – Fatores para a escolha da manutenção corretiva.

<b>Fatores</b>	<b>Consequências</b>
Fatores econômicos	Embora a manutenção corretiva seja mais barata que a manutenção preventiva, acarreta na parada inesperada da produção, o que pode gerar grandes perdas econômicas para a indústria.
Viabilidade de ações preventivas	Se as ações preventivas não forem viáveis, a manutenção corretiva pode ser um método adequado.
Tempo para a realização da manutenção corretiva	Como em muitos casos a falha ocorre de forma inesperada, pode ocasionar interrupções excessivamente longas, o que acarretará em grandes prejuízos para a empresa
Recursos	A falta de peças de reposição, mão de obra e ferramental pode gerar impactos na linha de produção, pois gera um aumento do tempo na realização da manutenção.

Fonte: Adaptado de Xenos (2022).

De acordo com Xenos (1998, p.23) é importante destacar que, “mesmo que a manutenção corretiva tenha sido escolhida por ser mais vantajosa, não podemos simplesmente nos conformar com a ocorrência de falhas como um evento já esperado, e portanto, natural”. É fundamental que estudos sejam realizados para encontrar a causa fundamental da falha para evitar a sua reincidência.

Segundo Kardec e Nascif (2010), a manutenção corretiva pode ser dividida em dois tipos, sendo eles apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Tipos de manutenção corretiva.

<b>Tipos</b>	<b>Características</b>
Manutenção corretiva não planejada	Faz referência a correção de falhas de forma aleatória, sendo chamada também de manutenção corretiva emergencial
Manutenção corretiva planejada	Está ligada a correção do desempenho de uma máquina. Este tipo de manutenção é sempre mais barato, rápido e seguro se comparado com uma medida aleatória não planejada

Fonte: Adaptado de Kardec e Nascif (2022).

### 2.2.2 Manutenção preventiva

A manutenção preventiva é definida, segundo Kardec e Nascif (2010, p.42), como “a atuação realizada de forma a reduzir ou evitar a falha ou queda de desempenho, obedecendo a um plano previamente elaborado, baseado em intervalos definidos de tempo”. Ao contrário da política da manutenção corretiva, ela procura evitar a ocorrência de eventos inesperados do equipamento, prevenindo assim paradas da produção..

Para Xenos (1998), a manutenção preventiva deve ser realizada de forma periódica, e é necessário que seja considerada como a principal atividade da equipe de manutenção dentro de uma empresa. Embora seja mais custosa do ponto de vista único da manutenção quando comparada com a manutenção corretiva, evita paradas não planejadas no setor de produção, que muitas das vezes geram prejuízos financeiros muito maiores que o custo do reparo.

De acordo com Viana (2002), todo serviço de reparo ou ajuste realizado em máquinas que não estejam em falha é considerado manutenção preventiva. São serviços realizados em intervalos preestabelecidos, com o objetivo de reduzir a probabilidade da ocorrência de falhas, proporcionando assim, uma maior tranquilidade operacional, que por sua vez melhora o andamento das atividades produtivas.

Kardec e Nascif (2010) definem alguns fatores que devem ser considerados para a adoção da manutenção preventiva. São eles:

- A inviabilidade da manutenção preditiva;

- Aspectos relacionados com a segurança da instalação ou dos operários na substituição de componentes;
- Equipamentos críticos para o processo produtivo;
- Riscos ambientais;
- Sistemas complexos e/ou de operação contínua.

### **2.2.3 Manutenção preditiva**

Conforme Viana (2002, p. 11), a manutenção preditiva é o conjunto de “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”. Esse tipo de manutenção tem por objetivo utilizar o máximo possível dos componentes antes da ocorrência de defeitos, evitando a desmontagem de equipamentos para a inspeção, pois calcula através de técnicas preditivas o tempo exato para a realização de manutenções preventivas.

Na Tabela 4 estão presentes quatro técnicas para a aplicação da manutenção preditiva definidas por Viana (2002).

Tabela 4 – 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 (2022).

Segundo Xenos (2002) é necessário compreender que a manutenção preditiva é um dos elementos da manutenção preventiva, pois é mais uma maneira de inspecionar equipamentos. Com isso, quando colocada em prática, deve fazer parte do planejamento da manutenção preventiva.

Para Kardec e Nascif (2010) as condições básicas para a adoção da manutenção preditiva são:

- O monitoramento ou a medição de algum parâmetro do equipamento, da peça e/ou do sistema deve ser possível;

- A análise do componente deve ser viável, ou seja, o preço da análise não pode ser extremamente maior do que da peça;
- As falhas devem possuir causas que possam ser monitoradas;
- Deve ser estabelecido um programa de acompanhamento, análise e diagnóstico, sistematizado.

#### 2.2.4 Outros tipos de manutenção

Além dos métodos citados nos tópicos anteriores, ainda é possível encontrar outras metodologias de manutenção que são aplicadas nos reparos realizados em equipamentos. São elas:

- Manutenção autônoma;
- Manutenção detectiva;
- Engenharia de manutenção;
- Melhorias de equipamentos;
- Prevenção da manutenção;
- Manutenção produtiva.

A manutenção autônoma é definida por Viana (2002) como todas atividades realizadas pelos operadores dos equipamentos, com a finalidade da preservação das funcionalidades e integridade das máquinas. Essas atividades são compostas por serviços de limpeza, lubrificação e tarefas elementares da manutenção, podendo chegar a serviços mais complexos de análise e melhoria dos instrumentos de produção.

Kardec e Nascif (2010, p.47) caracterizam a manutenção detectiva como “a atuação efetuada em sistemas de proteção, comando e controle, buscando detectar falhas ocultas ou não perceptíveis ao pessoal de operação e manutenção”. A identificação destes tipos de falhas é de suma importância para garantir a confiabilidade dos equipamentos.

A engenharia de manutenção, segundo Kardec e Nascif (2010, p.50) significa “perseguir *benchmarks*, aplicar técnicas modernas, estar nivelado com a manutenção de Primeiro Mundo”. As principais atribuições da engenharia de manutenção seguindo a metodologia de Kardec e Nascif (2010) são:

- Aumentar a confiabilidade;

- Aumentar a disponibilidade;
- Melhorar a manutenibilidade;
- Aumentar a segurança;
- Eliminar problemas crônicos;
- Solucionar problemas tecnológicos;
- Melhorar a capacitação do pessoal;
- Gerir materiais e sobressalentes;
- Participar de novos projetos;
- Dar suporte a execução;
- Fazer análise de falhas e estudos;
- Elaborar planos de manutenção;
- Acompanhar os indicadores;
- Zelar pela documentação técnica.

Segundo Xenos (1998), a melhoria de equipamentos está atrelada ao aperfeiçoamento gradativo e contínuo dos equipamentos aumentando as suas funcionalidades e capacidades de produção. Esta metodologia também é conhecida como *Kaizen*, que é uma palavra de origem japonesa que significa fazer melhorias.

A prevenção de manutenção consiste, conforme Xenos (1998, p.26), em “atividades que são conduzidas juntamente com o fabricante, desde a fase de projeto do equipamento, visando a reduzir o volume de serviços de manutenção exigido durante sua operação”. Um aspecto fundamental neste método de manutenção é a retroalimentação de informações para o fabricante do equipamento, visando a prevenção de falhas e a manutenibilidade dos novos maquinários que serão produzidos.

A manutenção produtiva não é definida diretamente como um método de manutenção. Ela representa a melhor forma de aplicação dos métodos já mencionados, sendo definida como uma forma de análise para a determinação do melhor ou dos melhores métodos a serem aplicados em alguma situação. Xenos (1998, p.29) define que o objetivo fundamental da manutenção produtiva não é apenas “evitar falhas nos equipamentos, mas aplicar a melhor

combinação dos métodos de manutenção para que a produção não fique prejudicada, obtendo como retorno um elevado resultado econômico para toda a empresa”.

### 2.2.5 Definição do método de manutenção

De acordo com Viana (2002, p.17), “a determinação de que estratégia, ou estratégias de manutenção, a serem aplicadas no processo produtivo, e seus subprocessos, é a base da política de manutenção”. Com isso, Viana (2002) considera alguns fatores para a determinação da estratégia de manutenção. A Tabela 5 apresenta tais fatores.

Tabela 5 – Fatores para a determinação da estratégia de manutenção.

<b>Fatores</b>	<b>Importância</b>
Recomendações do fabricante	Necessidade de respeitar as recomendações feitas pelo projetista do equipamento em relação a periodicidade das manutenções, os ajustes e calibrações necessárias e os procedimentos de correção de falhas.
Segurança do trabalho e meio ambiente	Respeito das exigências legais em relação ao manuseio dos equipamentos, bem como sua interação com o meio ambiente, com o intuito de garantir a perfeita interação entre o homem, a máquina e o meio ambiente.
Características do equipamento	Observar as características da falha, o tempo médio entre elas, vida mínima e a modalidade da mesma, assim como as características do reparo.
Fator econômico	Necessidade de levar em consideração todos os custos relacionados com a manutenção, sendo eles, o custo de recursos humanos, de material, de interferência na produção, e de perdas no processo.

Fonte: Adaptado de Viana (2022).

Com isso, segundo Xenos (1998) não existe um método melhor que deve ser sempre adotado em todos os casos, cada problemática deve ser estudada levando em consideração esses quatro fatores de forma isolada, e a partir da análise o melhor método de manutenção deve ser escolhido para solucionar essa determinada situação.

A Figura 1 apresenta um fluxograma que serve para auxiliar na determinação do método de manutenção mais adequado para cada situação.

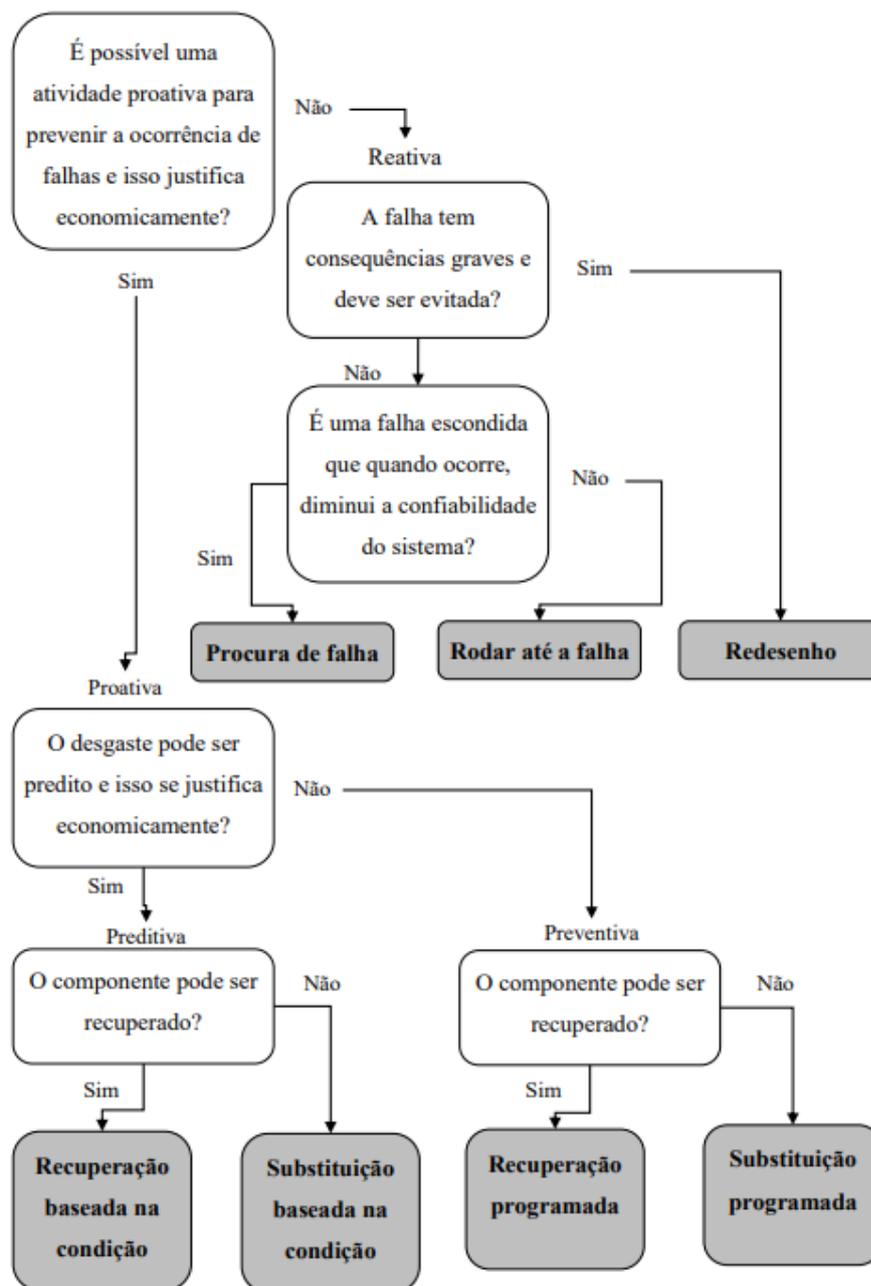


Figura 1 - Fluxograma da escolha do método de manutenção.  
Fonte: Serra (2018).

## **2.3 Planejamento e controle da manutenção – PCM**

O planejamento e o controle da manutenção (PCM) é o conjunto de tarefas primordiais para garantir a melhor intervenção possível em um equipamento que apresentou alguma falha, ou um equipamento que possivelmente irá apresentar caso nenhuma medida preventiva aconteça. Para o entendimento do PCM, são abordadas no trabalho algumas temáticas fundamentais para o seu bom funcionamento.

### **2.3.1 Os planos de manutenção**

Os planos de manutenção, conforme Viana (2002, p. 87), são “o conjunto de informações necessárias, para a orientação perfeita da atividade de manutenção preventiva. Os mesmos apresentam, na prática, o detalhamento da estratégia de manutenção assumida por uma empresa”.

A Tabela 6 mostra as 5 categorias dos planos de manutenção segundo a metodologia de Viana (2002).

Tabela 6 – Categorias dos planos de manutenção.

<b>Categoria</b>	<b>Características</b>
Plano de inspeções visuais	Inspeções visuais rotineiras nos equipamentos que visam a detecção de falhas de fácil resolução, ou características como, ruídos, temperatura excessivas, condições de conservação e vibrações anormais.
Roteiros de lubrificação	O objetivo da lubrificação é reduzir o atrito entre superfícies ajustadas, evitando desgastes prematuros e temperaturas indesejáveis de trabalho.
Manutenção de troca de itens de desgaste	Ocorre principalmente em componentes de sacrifício, que possuem a função de se desgastarem em prol do bom funcionamento do conjunto.
Plano preventivo	Conjunto de tarefas, executadas com regularidade, que possuem o objetivo de manter o equipamento em seu melhor estado operacional.
Plano preditivo	Possui a proposta de monitorar os equipamentos visando acompanhar suas características de funcionamento para definir quando o mesmo apresentar alguma anormalidade.

Fonte: Adaptado de Viana (2022).

As inspeções visuais possuem o objetivo de acompanhar com uma periodicidade padronizada, aspetos do funcionamento dos equipamentos visando encontrar alguma anomalia. Segundo Viana (2002), para uma melhor eficiência desse acompanhamento é necessária a utilização de uma ferramenta chamada rota de inspeção. Essa ferramenta consiste no

mapeamento dos equipamentos de um setor, dividindo-os segundo as suas naturezas e conferindo aspectos relevantes do maquinário. Na Figura 2 é apresentado um documento de rota de inspeção.

**INSPEÇÃO DE ROTA MECÂNICA**  
PCM

CERVEJARIA X  
PLANEJAMENTO E CONTROLE DA MANUTENÇÃO

ÁREA: ENVASAMENTO  
SISTEMA: ENCHEDORA  
DATA: / /

ROTA:  
FREQ.: SEMANAL PÁGINA 1/1

ITENS DE VERIFICAÇÃO MECÂNICA											
EQUIPAMENTO	TAG	FIXAÇÃO	TEMPERATURA	RUIDO	VIBRAÇÃO	LIMPEZA	VEDAÇÃO	CONDIÇÕES GERAIS DE INTEGRIDADE	CONDUTORES ELÉTRICOS	ILUMINAÇÃO	LUBRIFICAÇÃO
ESTRUTURA DA ENCHEDORA	ECH-009-001-001										
MOTOR PRINCIPAL	ECH-009-001-002										
REDUTOR PRINCIPAL	ECH-009-001-003										
BOMBA DE VÁCUO	ECH-009-001-004										
VÁLVULAS DE ENCHIMENTO (PARTE EXTERNA)	ECH-009-001-005										
MACACOS DE ELEVAÇÃO (PARTE EXTERNA)	ECH-009-001-006										
HDE	ECH-009-001-007										
PAINEL DE CONTROLE	ECH-009-001-008										
INSTRUMENTAÇÃO	ECH-009-001-009										
LEGENDA: P - Equipamento Parado N - Situação Não Conforme (Problemática)		OK - Situação Conforme (Sem Problemas)									

EXECUTANTE: \_\_\_\_\_ VISTO/MATRÍCULA \_\_\_\_\_

GT. ÁREA: \_\_\_\_\_ VISTO/MATRÍCULA \_\_\_\_\_

Obs.: Utilizar o verso da planilha para observações e detalhamento.

Figura 2 - Exemplo de Rota de Inspeção.  
Fonte: Viana (2002).

Na Figura 2 é possível observar a quantidade de aspectos que são relevantes para o conjunto de equipamentos listados nessa rota de inspeção.

Os principais elementos mecânicos passíveis de lubrificação são mancais, engrenagens superfícies planas deslizantes e cilindros. Porém, na maioria dos casos esses elementos não apresentam características comuns, sendo essas discordâncias um dos pontos levados em consideração na elaboração do roteiro de manutenção.

No roteiro de lubrificação, conforme descreve Viana (2002), é preciso a priori levar em consideração que tipo de lubrificante será utilizado em cada equipamento, podendo ser algum tipo de graxa ou óleo. Em seguida, deve ser definida a periodicidade da realização das lubrificações em cada máquina. E por fim, o método utilizado para a lubrificação, podendo ser por exemplo por camada limítrofe ou lubrificação fluida. Além disso, é importante levar em consideração aspectos físicos do chão de fábrica para a listagem dos equipamentos visando uma melhor eficiência do processo. Na Figura 3 está contido um exemplo de roteiro de lubrificação.

DATA DA MANUTENÇÃO: PÁGINA 1			
TIPO DE MANUTENÇÃO:			
CENTRO DE CUSTO:			
EQUIPE RESPONSÁVEL:			
ROTEIRO DE LUBRIFICAÇÃO:			
TAG: EQUIPAMENTO			
ORDEM MANUTENÇÃO	TAREFA	DESCRIÇÃO	DATA MANUTENÇÃO
PTOS			
670.003	10	LUBRIFICAR EQUIPAMENTO	27/07/2001
4			
ITEM	DESCRIÇÃO	QUANTIDADE	UNIDADE
334556	GRAXA TX-200	1,0	KG
TAG: EQUIPAMENTO			
ORDEM MANUTENÇÃO	TAREFA	DESCRIÇÃO	DATA MANUTENÇÃO
PTOS			
670.053	10	LUBRIFICAR EQUIPAMENTO	27/07/2001
5			
ITEM	DESCRIÇÃO	QUANTIDADE	UNIDADE
334556	GRAXA TX-200	1,0	KG
TAG: EQUIPAMENTO			
ORDEM MANUTENÇÃO	TAREFA	DESCRIÇÃO	DATA MANUTENÇÃO
PTOS			
670.453	10	LUBRIFICAR EQUIPAMENTO	27/07/2001
5			
ITEM	DESCRIÇÃO	QUANTIDADE	UNIDADE
334556	GRAXA TX-200	1,0	KG
TAG: EQUIPAMENTO			
ORDEM MANUTENÇÃO	TAREFA	DESCRIÇÃO	DATA MANUTENÇÃO
PTOS			
670.345	10	LUBRIFICAR EQUIPAMENTO	27/07/2001
5			
ITEM	DESCRIÇÃO	QUANTIDADE	UNIDADE
334556	GRAXA TX-200	1,0	KG
OBSERVAÇÕES:			

Figura 3 - Roteiro de Lubrificação.  
Fonte: Viana (2002).

Correias de transmissão, lonas de embreagem, gaxetas, e escovas de um motor são exemplos de componentes que funcionam como itens de sacrifício, não compensando a sua recuperação, e após cumprirem seus objetivos são descartados e substituídos por novos componentes. A identificação dos itens que devem ser substituídos e a periodicidade que as intervenções ocorrem deve ser o primeiro passo para o planejamento da manutenção de troca de itens.

Segundo Viana (2002), é importante definir uma série de balizadores para a elaboração de um plano preventivo de manutenção. Tais balizadores são representados na Tabela 7.

Tabela 7 – Balizadores do plano preventivo.

<b>Balizadores</b>	<b>Característica</b>
Título do plano de manutenção	Controle das ações.
Grupo de máquina	Informa o grupo de máquinas que o plano se aplica.
Periodicidade	O intervalo de tempo que separa as intervenções.
Tipo de dia	Informará se a contagem leva em conta dias úteis ou corridos.
Data da ativação	Consiste no marco inicial do plano.
Equipe de manutenção	Responsável pela execução dos serviços.
Planejador	Responsável pela elaboração do plano.
Material de consumo	Itens necessários para a realização da manutenção.
Especialidades	Informar os mantenedores que irão realizar as tarefas.
EPI's	Equipamentos de proteção individual que deverão ser utilizados pelos mantenedores durante a realização das tarefas.
Ferramentas	Instrumentos necessários para a realização da manutenção.
Equipamentos de apoio	Máquinas que auxiliam na tarefa da manutenção.

Fonte: Adaptado de Viana (2022).

Conforme descrito por Viana (2002, p. 99), os planos preditivos “não devem diferir quanto à forma, dos planos preventivos, pois os mesmos requisitos estabelecidos nestes serão

levados a cabo naqueles”. Enquanto um estabelece ações de intervenção nos equipamentos, o outro busca o monitoramento dos maquinários.

### **2.3.2 Planejando e programando a manutenção**

Neste tópico estão contidas temáticas importantes para o planejamento e a programação da manutenção dentro das empresas.

- **A carteira de serviços**

A carteira de serviços é onde estão contidas todas as ordens de manutenção que existem dentro da empresa. Segundo Viana (2002), elas são divididas em quatro fontes de ordens de manutenção, sendo:

- Preventivas: geradas dos planos de manutenção ligadas aos equipamentos;
- Geradas a partir das solicitações de serviço da operação;
- Manuais: abertas para atender medidas corretivas;
- Provenientes de inspeções de campo ou ações preditivas.

Conforme descrito por Viana (2002), a carteira de serviços é fundamental para o PCM, pois representa todo o trabalho que deve ser realizado pela a manutenção. Com isso, toda pendência de manutenção em uma máquina deve possuir uma ordem de manutenção, pois, caso isso não ocorra, aquela intervenção necessária nunca irá acontecer pois não existirá no mundo do planejamento.

- **A demanda de especialidades**

Em cada ordem de manutenção deve estar presente uma previsão de quais as especialidades deverão estar contidas naquela intervenção, assim como o tempo que cada uma terá que dedicar para solucionar a problemática.

- **Materiais necessários**

Para cada ordem de manutenção gerada, deve estar contida uma lista de materiais necessários para a realização da manutenção, pois caso não exista estoque para este insumo, é necessário que seja feita a compra do item, gerando a necessidade de interação entre a equipe do PCM e a área de compras para definir as datas de realização das manutenções.

- **Priorização das ordens de serviço**

Segundo Viana (2002), para a priorização das ordens de serviço é necessária a criação de critérios, sendo eles:

- Todas as ordens de manutenção receberão um critério de prioridade;
- Critérios de prioridade:
  - Prioridade 0: serviços que visam solucionar pendências de segurança, meio ambiente, qualidade e produção, como tempo necessário para a solução de até 14 dias;
  - Prioridade 1: serviços que visam solucionar pendências de segurança, meio ambiente, qualidade e produção, como tempo necessário para a solução entre 14 dias e 30 dias;
  - Prioridade 2: serviços que visam solucionar pendências diferentes das de segurança, meio ambiente, qualidade e produção, como tempo necessário para a solução de até 30 dias, ou qualquer pendência que possa ser eliminada que possa ser eliminada com tempo maior que 30 dias.
- A permanência de uma ordem de manutenção por mais de 30 dias fará com que a mesma salte para uma prioridade maior;
- Ordens de manutenção com a mesma prioridade serão priorizadas em relação a antiguidade.

### 2.3.3 Índices da manutenção

Conforme Viana (2002), os índices de manutenção devem estar alinhados com os principais aspectos do processo de uma planta. Isso se deve ao fato de os indicadores não serem capazes de serem aplicados a todos os casos de maneira igual. Cada problemática deve ser analisada de maneira isolada e partir dessa análise escolher o melhor indicador aplicável para o problema.

A seguir estão listados os principais índices utilizados na manutenção, seu significado, suas características e suas fórmulas conforme Viana (2002).

- **MTBF – Tempo médio entre falhas:**

Este índice tem a função de demonstrar o comportamento da máquina em reação as medidas mantenedoras. O aumento do valor do MTBF, significa que o número de intervenções

corretivas no equipamento vem diminuindo, com isso, o número de horas que a máquina está disponível para exercer a sua função é maior. A equação do MTBF é definida por:

$$MTBF = \frac{HD}{NC} \quad (1)$$

HD – Horas disponíveis do equipamento para operação;

NC – Número de intervenções corretivas no período.

- **MTTR – Tempo médio de reparo**

O tempo médio de reparo mostra o tempo necessário para ser realizado uma manutenção. Quanto menor for esse indicador, mais rápido está sendo a manutenção corretiva e menores são os impactos gerados para a produção. A equação para o MTTR é definida por:

$$MTTR = \frac{HIM}{NC} \quad (2)$$

HIM – Horas de indisponibilidade para operação devido a manutenção;

NC – Número de intervenções corretivas no período.

- **TMPF – Tempo médio para falha:**

Alguns componentes não conseguem sofrer reparos, ou seja, quando apresentam falhas eles são descartados, conseqüentemente o MTTR desses serviços seria igual a zero. Com isso, o tempo médio para falha tem o enfoque de englobar esse tipo de componente, levando em consideração a vida útil do componente. A equação para o TMPF é definida por:

$$TMPF = \frac{HD}{N^{\circ} \text{ de Falhas}} \quad (3)$$

HD – Horas disponíveis do equipamento para operação.

- **Disponibilidade Física (DF):**

A disponibilidade física representa o percentual de dedicação para a operação de um equipamento em relação às horas totais do período. De acordo com a NBR 5462 (1994, p. 2), a disponibilidade é a “capacidade de um item de estar em condições de executar uma certa função em um dado instante ou durante um intervalo de tempo determinado”. As equações para definir a disponibilidade física são:

$$DF = \frac{HT}{HG} * 100\% \quad (4)$$

$$DF = \frac{HO}{HO + HM} * 100\% \quad (5)$$

HT – Horas trabalhadas;

HG – Horas totais no período;

HO – Tempo total de operação;

HM – Tempo de paralizações, preventivas e corretivas.

- **Custo de manutenção por faturamento:**

O custo de manutenção por faturamento é a soma de outros 5 custos ocasionados pela realização desta tarefa conforme Viana (2002). Tais custos podem ser observados na Tabela 8.

Tabela 8 - Custos da manutenção.

<b>Custo</b>	<b>Característica</b>
Pessoal	Despesas com salários e prêmios, encargos sociais e benefícios concedidos pela empresa, e gastos com aperfeiçoamento do efetivo.
Materiais	Custo de reposição dos itens danificados, energia elétrica, custos ligados à administração do almoxarifado e setor de compras.
Contratação de serviços externos	Contratos com empresas externas para serviços permanentes ou circunstanciais.
Depreciação	Custos diretos de reposição ou investimentos de equipamentos e ferramentas e custos administrativos com o setor contábil da empresa.
Perda de faturamento	São os custos da perda de produção, e custos com desperdícios de matéria-prima.

Fonte: Adaptado de Viana (2022).

- **Custo de manutenção por valor de reposição:**

Este índice consiste na relação entre o custo total para realização de uma manutenção em um equipamento e o valor de compra de um novo. A equação para do CPMV é definida por:

$$CPMV = \frac{\text{Custo total da manutenção}}{\text{Valor de compra do equipamento}} * 100\% \quad (6)$$

Um valor aceitável para o CPMV é menor que 6% no período de um ano, podendo variar dependendo da importância que o equipamento tem para a produção e o retorno financeiro que ele gera para a empresa.

- **Backlog:**

Segundo Viana (2002) o *backlog* é o tempo que a equipe de manutenção deve trabalhar para concluir todos os serviços que estão pendentes, levando em consideração que toda a força de trabalho desta área estará envolvida com essa função, e que não serão adicionadas novas pendências durante o período de realização destas tarefas.

A equação para o *backlog* é definida por:

$$Backlog = \frac{\sum HH \text{ em carteira}}{\sum HH \text{ em instalado}} \quad (7)$$

HH – Homens horas.

Como o profissional não trabalha todo o seu tempo diretamente com a manutenção, tendo uma pequena parcela do seu tempo dedicado a outras tarefas, como, reuniões e treinamentos, é necessário considerar uma perda de 20% na constante HH instalado.

- **Índice de retrabalho:**

Este índice representa o percentual de horas trabalhadas em ordens de manutenção que já foram encerradas e por algum motivo foram reabertas, em relação ao total geral trabalhado no período. A equação para o índice de retrabalho é definida por:

$$\text{Índice de retrabalho} = \frac{\sum HH \text{ em OM reabertas}}{\sum HH \text{ total no período}} * 100\% \quad (8)$$

HH – Homens horas;

OM – Ordens de manutenção.

- **Índice de corretiva (IC):**

Segundo Viana (2002, p. 153) o índice de corretiva tem o objetivo de “nos fornecer a real situação, da ação, planejamento e programação, indicando o percentual das horas de manutenção que foram dedicadas em corretiva”. A equação para o índice de corretiva é definida por:

$$\text{Índice de corretiva} = \frac{\sum HMC}{\sum HMC + \sum HMP} * 100 \quad (9)$$

HMC – Horas de manutenção corretiva;

HMP – Horas de manutenção preventiva.

Um valor aceitável para o índice de corretiva deve ser abaixo de 25%. Um valor próximo de zero é improvável, visto que muitas peças não aceitam uma manutenção preventiva, só são trocadas quando apresentam falhas. Porém um valor acima de 50% é um péssimo sinal na manutenção, pois esse alto valor resulta em alto *backlog*, um custo de manutenção maior, e uma disponibilidade pequena, ou seja, tudo irá mal nos principais produtos da manutenção.

- **Índice de preventiva (IP):**

O índice de preventiva é o oposto do índice de corretiva, ele representa a porcentagem de tempo total gasta em medidas preventivas. Quanto maior este índice melhor para a manutenção. A equação para o índice de preventiva é definida por:

$$\text{Índice de preventiva} = \frac{\sum HMP}{\sum HMC + \sum HMP} * 100\% \quad (10)$$

HMC – Horas de manutenção corretiva;

HMP – Horas de manutenção preventiva.

- **Alocação de HH (Homem Hora) em OM (Ordem de Manutenção):**

Este indicador fornece a porcentagem de horas da manutenção oficializada na burocracia do PCM, e sua necessidade reside, segundo Viana (2002), na verificação do nível de utilização do sistema de manutenção adotado pela empresa e na indicação da porcentagem de dedicação a serviços indiretos da manutenção, como também no nível de ociosidade ou sobre carregamento das equipes. A equação para o índice de alocação HH em OM é definida por:

$$\%HH \text{ alocado em OM} = \frac{\sum HH \text{ indicado em OM}}{\sum HH \text{ instalado em um mês}} * 100\% \quad (11)$$

HH – Homens horas;

OM – Ordens de manutenção.

- **Treinamento na manutenção:**

O índice de treinamento na manutenção corresponde a porcentagem da relação do tempo dedicado ao aperfeiçoamento e ao HH instalado em um determinado período. A equação para este índice é definida por:

$$\text{Treinamento da manutenção} = \frac{\sum \text{HH dedicado a treinamentos}}{\sum \text{HH instalado no período}} * 100\% \quad (12)$$

HH – Homens horas.

- **Taxa de frequência de acidentes:**

A taxa de frequência de acidentes é o indicador capaz de mensurar a eficiência das ações em busca de um ambiente seguro para o trabalho. Ela sozinha não possibilita traçar um plano de segurança eficiente, mas funciona como um limite, um sinal de alerta para a empresa. Tal indicador pode ser calculado através da equação:

$$\text{Taxa de Frequência} = \frac{\text{Número de acidentes}}{\text{Homens Hora trabalhado}} * 100^6 \quad (13)$$

- **Taxa de gravidade de acidentes:**

Este indicador faz referência ao total de HH perdido em decorrência de acidentes de trabalho. A equação para este índice é definida por:

$$\text{Taxa de Gravidade} = \frac{\text{Total de HH perdido}}{\text{Homens Hora trabalhado}} * 10^6 \quad (14)$$

HH – Homens horas.

### 2.3.4 Elaboração dos planos de manutenção preventiva

Conforme Xenos (1998) a elaboração dos planos de manutenção é considerada uma atividade simples se as datas para execução e a metodologia que deve ser adotada das ações preventivas de inspeção, reforma e troca já forem conhecidas. O autor acrescenta que no caso de equipamentos onde essas informações são desconhecidas o ponto de partida para a execução desta tarefa é a utilização das informações fornecidas pelos fabricantes através das especificações técnicas e de manuais dos equipamentos.

As informações que devem estar contidas nos planos de manutenção segundo Viana (2002) são:

- Título do plano;
- Grupo de máquina;



## 2.4 Robótica

As últimas décadas, conforme afirma Romero *et al.* (2017), testemunharam um grande avanço na área da robótica, ocasionado principalmente pelo desenvolvimento de novos *hardwares* e *softwares* cada vez melhores e eficientes. Em relação aos *hardwares*, é possível destacar a redução do tamanho dos computadores e dos dispositivos embarcados, dos custos e principalmente o aumento da capacidade de processamento. Com esses aprimoramentos, é possível obter um número de informações maior e mais preciso, o que conseqüentemente melhora os *softwares* dos robôs.

Segundo Romero *et al.* (2017, p. 2), atualmente a robótica tem a finalidade de “desenvolver máquinas capazes de interagir com os humanos e o ambiente de forma autônoma, sem supervisão externa”. Robôs com essas características são capazes de realizar tarefas tanto em ambientes domésticos como a aspiração do pó do chão, como em ambientes inóspitos, onde a operação direta do ser humano é difícil ou perigosa como a inspeção de cavernas e tubulações de rejeito.

De acordo com Romero *apud* Dicionário Webster (2017, p. 5) o robô “é uma máquina que se parece com um ser humano e executa várias ações complexas (caminhar, falar) de seres humanos ou um meio (ou máquina) que automaticamente executa tarefas complicadas e repetitivas ou ainda um mecanismo guiado por controle automático”. A Tabela 9 apresenta as principais aplicações de robôs na atualidade.

Tabela 9 – Aplicações dos robôs.

<b>Principais aplicações dos robôs</b>
Tarefas que colocam em risco a vida dos seres humanos
Tarefas repetitivas e tediosas
Uso humanitário (busca e resgate, remoção de minas terrestres)
Tarefas domésticas
Cirurgias minimamente invasivas

Fonte: Adaptado de Romero (2022).

O estudo da robótica, principalmente para robôs móveis, é uma tarefa multidisciplinar que envolve o conhecimento de algumas áreas como as Engenharias Mecânica, Elétrica, de Controle e Automação e da Neurociência e a Biologia. Isso se deve ao fato de os robôs móveis serem compostos por diversos componentes, sendo os principais deles apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 – Principais componentes robóticos e suas funções.

<b>Componente</b>	<b>Função</b>
Sensores	Extrair alguma informação do robô ou sobre o ambiente a sua volta.
Atuadores	Produzir movimento.
Sistema de controle	Responsável pela integração e operação dos demais componentes.

Fonte: Adaptado de Romero (2022).

O estudo de cada um desses componentes é uma tarefa muito importante para determinar as capacidades e funcionalidades que um robô irá possuir, pois cada mecanismo robótico é caracterizado pelos componentes que nele são embarcados.

## 2.5 EspeleoRobô

O EspeleoRobô é um dispositivo robótico operado remotamente, com câmeras frontais e traseiras e sistema de iluminação conforme observado na Figura 6, capaz de se locomover em terrenos acidentados e realizar a inspeção de cavernas naturais e outros ambientes confinados. Segundo Azpúrua (2021) o robô conta ainda com um sistema intercambiável de locomoção mostrado na Figura 5, além de uma torre capaz de realizar o mapeamento 2D e 3D dos ambientes observada na Figura 6.

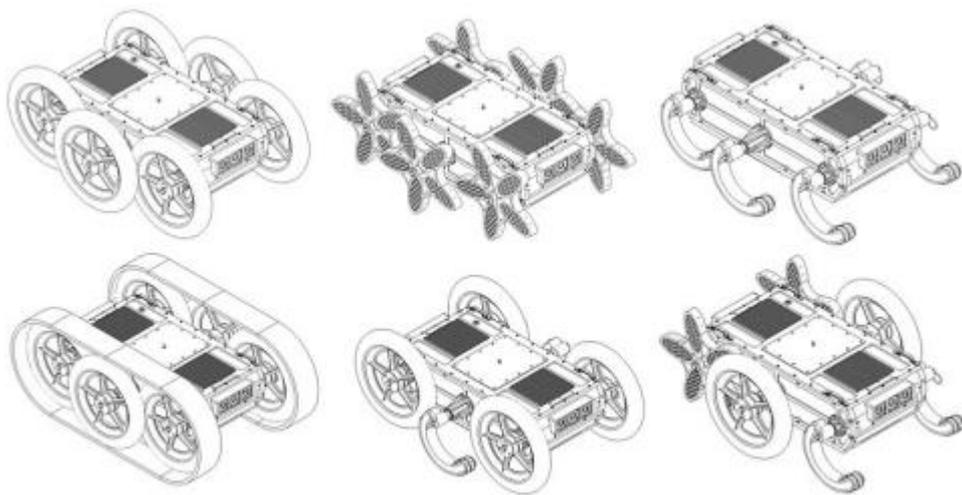


Figura 5 - Sistema intercambiável de locomoção do EspeleoRobô.  
Fonte: Barros (2021).

Conforme observado na Figura 5 a plataforma móvel do EspeleoRobô é capaz de se locomover utilizando pernas, rodas, rodas do tipo estrela e esteiras dependendo das condições do terreno. Configurações híbridas também podem ser utilizados para aproveitar as características mais fortes de cada método de locomoção.

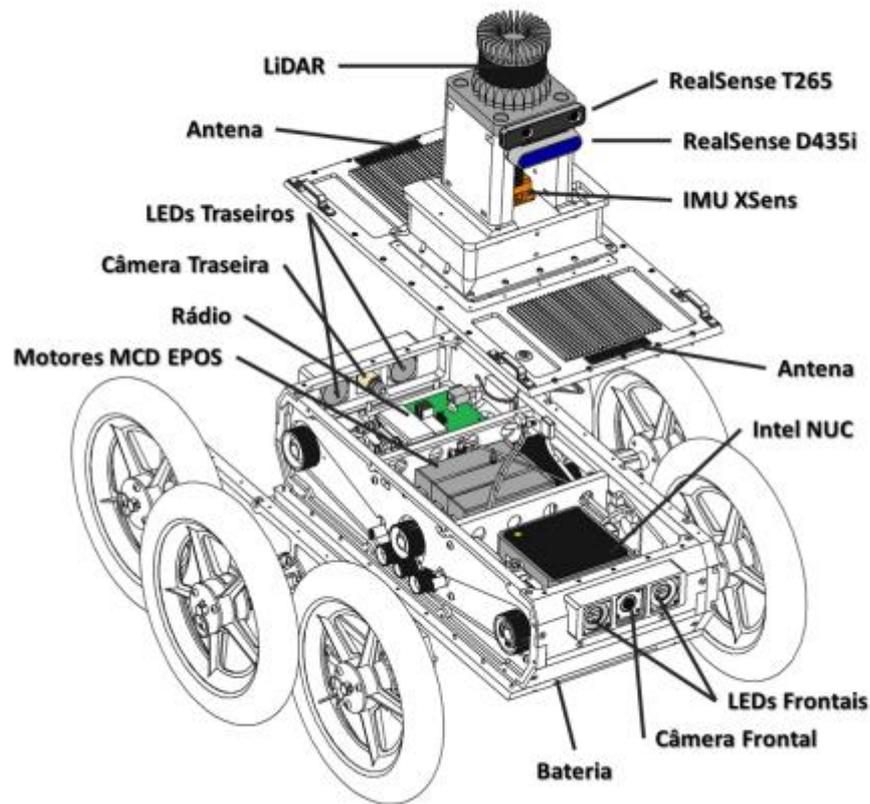


Figura 6 - Componentes eletrônicos do EspeleoRobô.  
 Fonte: Barros (2021).

É observado na Figura 6 os principais componentes embarcados, bem como uma torre de instrumentação que pode ser adicionada para ampliar as capacidades de sensoriamento do EspeleoRobô. Além disso, é possível perceber através da imagem que o sistema de locomoção do robô utiliza correias e polias sincronizadoras para a transmissão do movimento do motor para as rodas.

O capítulo 2 apresentou uma revisão bibliográfica de todas as temáticas tratadas nesta monografia, tendo um enfoque maior nos planos de manutenção. A seguir, o capítulo 3 esclarece os procedimentos metodológicos aplicados na elaboração do estudo.

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 Tipo de pesquisa

Conforme Gil (2019, p. 56) é possível classificar as “pesquisas, considerando, principalmente, a natureza dos dados, o que leva a três grupamentos: pesquisas quantitativas, pesquisas qualitativas e pesquisas de métodos mistos”, sendo a última uma união das duas primeiras.

Segundo Marconi *et al.* (2021, p. 300), para definir uma pesquisa qualitativa é necessário estabelecer um ou mais objetivos, selecionar informações e realizar pesquisas de campo, e então, se necessário, construir hipóteses para explicar os problemas identificados e definir o domínio e tudo o que for preciso para a coleta de dados. Uma vez que os dados são coletados, a fase de análise começa. No entanto, ao contrário da pesquisa quantitativa, o processo da pesquisa qualitativa não é contínuo. O pesquisador passa para a próxima etapa, mas continua voltando à etapa anterior, reformulando sempre que necessário em busca de um significado mais profundo.

No geral, a abordagem qualitativa envolve a pesquisa ou a coleta de dados e a análise e a interpretação desses dados. Conforme Bogdan *apud* Marconi *et al.* (2021) a pesquisa qualitativa possui algumas características que são apresentadas na Tabela 11.

Tabela 11 – Características da abordagem qualitativa.

<b>Características</b>
Tem o ambiente natural como fonte direta dos dados.
É descritiva.
Analisa intuitivamente os dados.
Preocupa-se com o processo e não só com os resultados e o produto.
Enfatiza o significado.

Fonte: Adaptado Bogdan (2022).

Berelson *apud* Marconi *et al.* (2021, p. 324) define a metodologia quantitativa como “descrição objetiva, sistemática e quantitativa do conteúdo manifesto da comunicação”. Para Sabino *apud* Marconi *et al.* (2021, p. 324), a análise quantitativa se efetua “com toda informação

numérica resultante da investigação, que se apresentará como um conjunto de quadros, tabelas e medidas”. Essa metodologia está diretamente ligada aos números coletados e aos modelos estatísticos utilizados para a explicação dos dados.

Conforme Marconi *et al.* (2021, p. 324) a abordagem quantitativa pode ser dividida em etapas: A primeira está relacionada com a descrição detalhada do que constitui o projeto de pesquisa, estabelecimento de um ou mais objetivos, seleção de informações (levantamento de informações bibliográficas), formulação de hipóteses, métodos e técnicas de pesquisa a serem utilizados, orçamento e cronograma. Já a segunda etapa envolve a pesquisa propriamente dita, onde é necessário identificar uma ou mais questões que devem ser abordadas (o objeto de pesquisa), ler e documentar as informações teóricas reunidas sobre o tema da pesquisa, realizar pesquisa de campo e analisar as informações. Em seguida, estabelecer as premissas necessárias para explicar o problema identificado, definir o domínio e tudo o que for necessário para a coleta de dados (observações, entrevistas, questionários, testes, histórias de vida, etc.). Uma vez coletados os dados, é iniciada a análise e discussão das questões envolvidas. Finalmente, é possível obter o resultado da escrita.

Conforme Marconi *et al.* (2021, p. 324) a abordagem quantitativa pode ser dividida em

A maior diferença entre esses dois tipos de abordagem, segundo Gil (2019), é que na quantitativa os resultados são expressos por números e na qualitativa esses resultados são apresentados mediante a descrições verbais.

Quanto a abordagem do presente trabalho é importante frisar que é uma pesquisa qualitativa. Onde através da coleta de dados é realizada uma análise para a interpretação dos mesmos. E quando necessário, novas hipóteses são levantadas para novamente serem analisadas e gerarem um resultado mais assertivo acerca da problemática.

A Tabela 12 apresenta a classificação das pesquisas segundo os seus objetivos mais gerais conforme aborda Gil (2019).

Tabela 12 – Classificação das pesquisas segundo seus objetivos.

<b>Classificação</b>	<b>Objetivo</b>
Pesquisas exploratórias	Proporcionar maior familiaridade com o problema, com vistas a torná-lo mais explícito ou a construir hipóteses
Pesquisas descritivas	Descrever as características de determinada população ou fenômeno
Pesquisas explicativas	Identificar fatores que determinam ou contribuem para a ocorrência de fenômenos

Fonte: Adaptado de Gil (2022).

Em relação ao objetivo da pesquisa, é possível identificá-la como exploratória, pois conforme a Tabela 12, tem como finalidade explicitar e proporcionar maior familiaridade com o problema. Além disso, segundo Gil (2019) as pesquisas exploratórias são compostas por pesquisa bibliográfica, estudos de caso e levantamento de campo, o que reafirma a classificação adotada.

No que diz respeito aos procedimentos técnicos, esta pesquisa pode ser classificada em bibliográfica e estudo de caso. Bibliográfica por ser desenvolvida com base em material já elaborado, constituídos de livros e documentos de manutenção conforme pode ser verificado no presente trabalho. E estudo de caso pois, conforme Marconi *et al.* (2021, p. 306) “refere-se ao levantamento com mais profundidade de determinado caso ou grupo humano sob todos os seus aspectos”

### **3.2 Materiais e métodos**

Para o presente trabalho foi utilizada a metodologia abordada na Figura 7. Onde inicialmente foi realizada uma revisão bibliográfica acerca de todas as temáticas fundamentais para a elaboração de um plano de manutenção. Tendo feito isso, foi iniciada a coleta de informações a respeito dos mecanismos presentes no EspeleoRobô e em seguida foram realizadas análises individuais em cada componente que vai embarcado robô a fim de entender o funcionamento de cada um. Todas as possíveis falhas que poderão ocorrer foram analisadas, dando sequência a identificação dos componentes mais críticos para a manutenção. Por fim, foi

possível propor um plano de manutenção para o equipamento, com a finalidade de aumentar a confiabilidade do mesmo.



Figura 7 - Etapas da metodologia proposta.  
Fonte: O autor (2022).

### 3.3 Variáveis e indicadores

Segundo Marconi *et al.* (2021, p. 189), uma variável pode ser pensada como uma classificação ou medida; uma quantidade variável; um conceito ou operação que contém ou apresenta valor; um aspecto, atributo ou fator que é discernível e facilmente mensurável no objeto de estudo. Finalmente, o valor agregado a um conceito, constrói ou manipula um conceito para convertê-lo em uma variável, que pode ser quantidade, qualidade, características, tamanho, características, etc., que variam em cada caso específico e são totalmente abrangentes e mutuamente exclusivas. Por sua vez, os conceitos operacionais podem ser objetos, processos, agentes, fenômenos, problemas, etc.

Conforme 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”.

As variáveis apresentam quatro partes distintas de acordo com Marconi *et al.* (2021), sendo elas um nome, algum tipo de definição verbal, um sistema classificatório ou um conjunto de categorias e um processo que permita a sua ordenação.

Santos (2004) assegura que a despeito de existirem diversas definições do conceito de indicadores, desde as mais simples até as mais sofisticadas, o relevante é que ele seja um instrumento que permita a percepção de dado fenômeno ou de uma condição de modo simplificado, compreensível e comparável.

Tabela 13 – Variáveis e indicadores.

<b>Variáveis</b>	<b>Indicadores</b>
Plano de manutenção	Métodos de manutenção
	Indicadores de manutenção
	PCM
	Equipamentos
	Mão de obra
	Ordem de serviço

Fonte: O autor (2022).

### **3.4 Instrumento de coleta de dados**

Os dados necessários para a elaboração deste estudo serão obtidos através de pesquisas bibliográficas acerca do assunto, através da utilização de planilhas, documentos e roteiros. Além de se caracterizar por uma observação participante não sistemática, onde ocorrerá o acompanhamento diário.

### **3.5 Tabulação dos dados**

Os dados serão tabelados nos softwares Microsoft Excel, onde será utilizado a construção de gráficos e tabelas, e no Microsoft Word, onde será possível processar e relatar os dados através de textos.

### **3.6 Considerações finais do capítulo**

Neste capítulo foram apresentadas as ferramentas utilizadas para a concretização desta pesquisa, cujos instrumentos escolhidos, estão de acordo com o objeto proposto na mesma.

No capítulo seguinte são apresentadas as análises dos resultados relativos à primeira parte do questionário que diz respeito às características gerais da empresa e sua atuação no mercado de uma forma geral.

## **4 RESULTADOS**

Como definido na sessão 1.3.1, a monografia tem o objetivo de propor um plano de manutenção preventiva para o EspeleoRobô. A seguir, será apresentado as características mecânicas do robô e as etapas para a elaboração do plano.

### **4.1 Descrição do equipamento**

Neste tópico estão contidas todas as partes mecânicas passíveis de manutenção, do EspeleoRobô. Vale ressaltar que as principais falhas que podem vir a surgir no robô são no sistema de movimentação do mesmo, ou nos rolamentos ou na correia, no sistema de vedação ou nas chapas de alumínio que dão estrutura ao robô.

O chassi do robô, como observado na Figura 8, pode ser dividido em 6 partes para o melhor entendimento das funções de cada parte da estrutura. São essas partes:

- Conjunto interno;
- Lateral direita;
- Lateral esquerda;
- Frente;
- Traseira;
- Tampa superior;
- Tampa inferior.

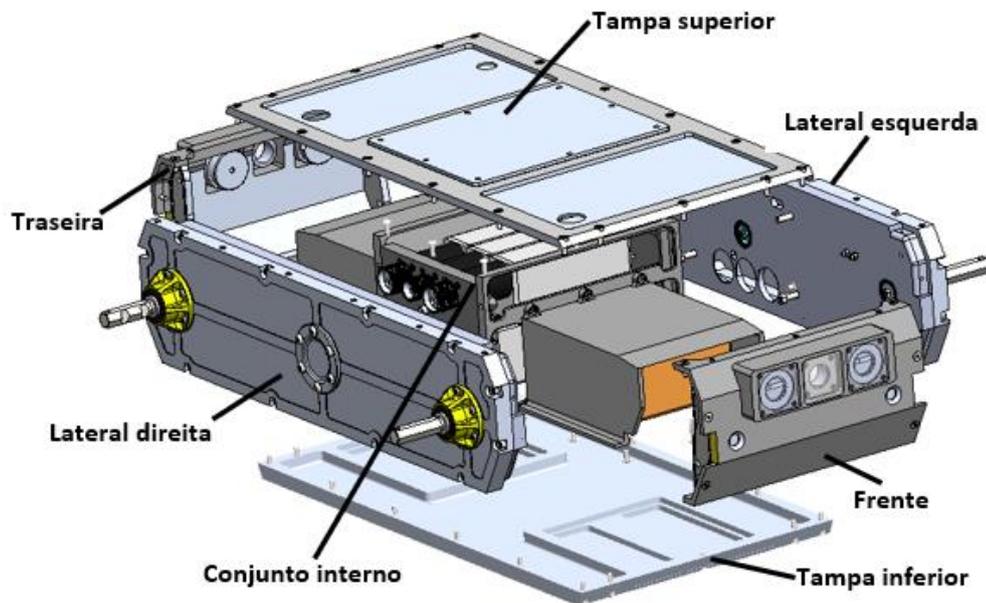


Figura 8 – Vista explodida do EspeleoRobô.  
Fonte: O autor (2022).

Na Figura 8 é possível identificar todas as partes em que o robô é dividido através do auxílio de uma vista explodida.

#### 4.1.1 Conjunto interno

O conjunto central da plataforma é responsável principalmente pela função estrutural, além de ser utilizado para separar e fixar os componentes eletrônicos (motores, baterias, rádios, sensores, câmeras e cabos) que vão embarcados na parte interna. Tal estrutura pode ser observada na Figura 9.

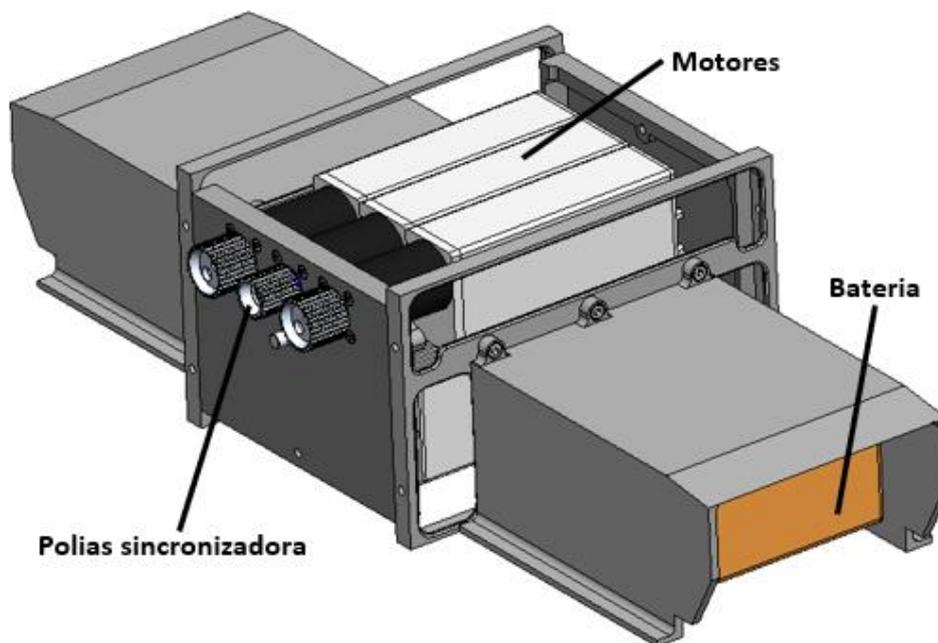


Figura 9 - Conjunto interno EspeleoRobô.  
Fonte: O autor (2022).

Na Figura 9 é observada tanto a função de fixação e separação dos componentes internos como os motores e as baterias.

#### 4.1.2 Laterais direita e esquerda

As laterais são unidas no conjunto interno através de parafusos, como pode ser visualizado na Figura 10, não havendo nenhum método de vedação pois os contatos entre esses dois conjuntos se dão somente na parte interna do robô.

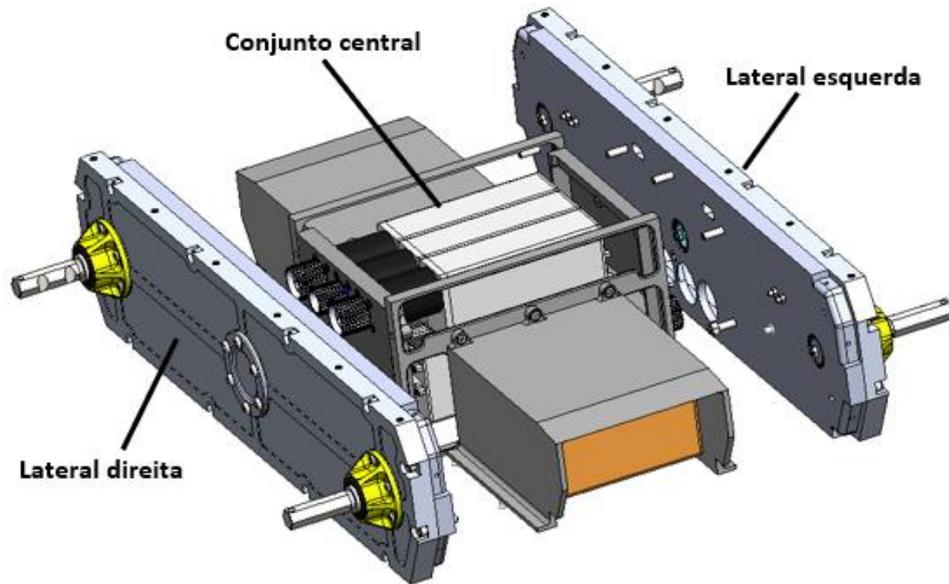


Figura 10 - Montagem conjunto interno e laterais.  
Fonte: O autor (2022).

É possível observar na Figura 10 que as laterais possuem mancais e eixos, sendo esses conjuntos responsáveis tanto pela parte estrutural da plataforma como neles estão contidos todos os mecanismos responsáveis pela movimentação do robô. Tais mecanismos podem ser notados na Figura 11.

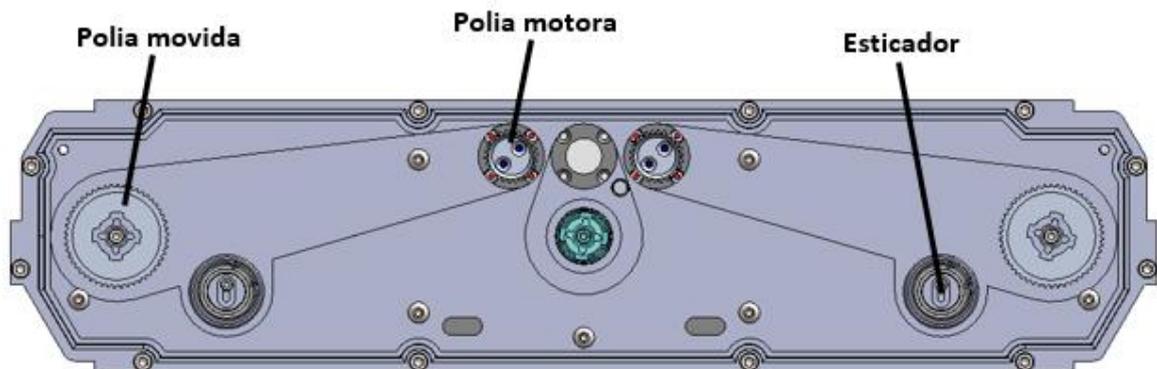


Figura 11 - Sistema de movimentação do robô.  
Fonte: O autor (2022).

A Figura 11 apresenta todos os componentes utilizados na movimentação do robô com exceção da correia. É possível observar as polias sincronizadoras que vão acopladas no motor e as que se acoplam nos eixos das rodas e os esticadores utilizados para tensionar a correia.

As laterais são compostas por duas chapas de alumínio, uma interna e outra externa, como ilustrado na Figura 12.

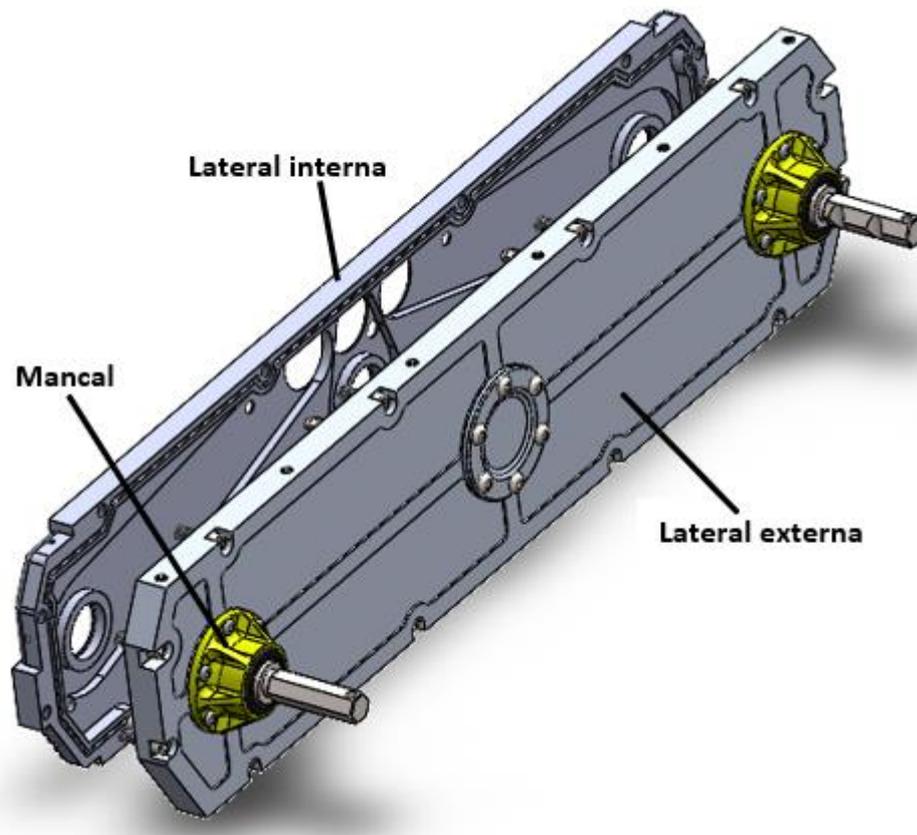


Figura 12 - Lateral EspeleRobô.  
Fonte: O autor (2022).

A Figura 12 mostra que a união dessas chapas é feita através de parafusos, e entre elas é utilizado um o-ring de borracha para garantir a vedação do robô. Esse mesmo método de vedação é utilizado entre os mancais, observado na Figura 13, e a lateral externa.

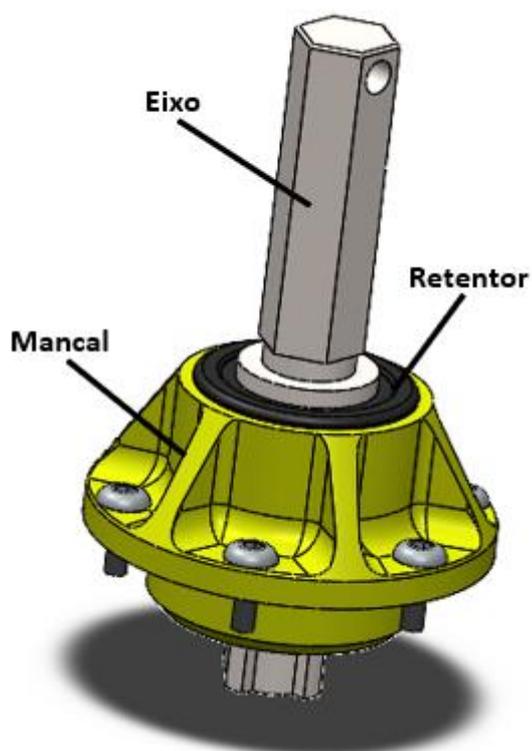


Figura 13 - Mancal EspeleoRobô.  
Fonte: O autor (2022).

No mancal, além do o-ring que faz a vedação entre a base e a placa lateral, é utilizado um retentor de borracha para garantir a vedação do eixo, como pode ser observado na Figura 13.

#### 4.1.3 Frente e traseira

Tanto a frente quanto a traseira da plataforma robótica são exatamente iguais e possuem tanto a função de auxiliar na estrutura do robô, como em fixar leds para a iluminação e câmeras. Essas partes são unidas às laterais através de parafusos, como demonstra a Figura 14, e o método utilizado nessas uniões para garantir a vedação do robô é o de junta líquida.

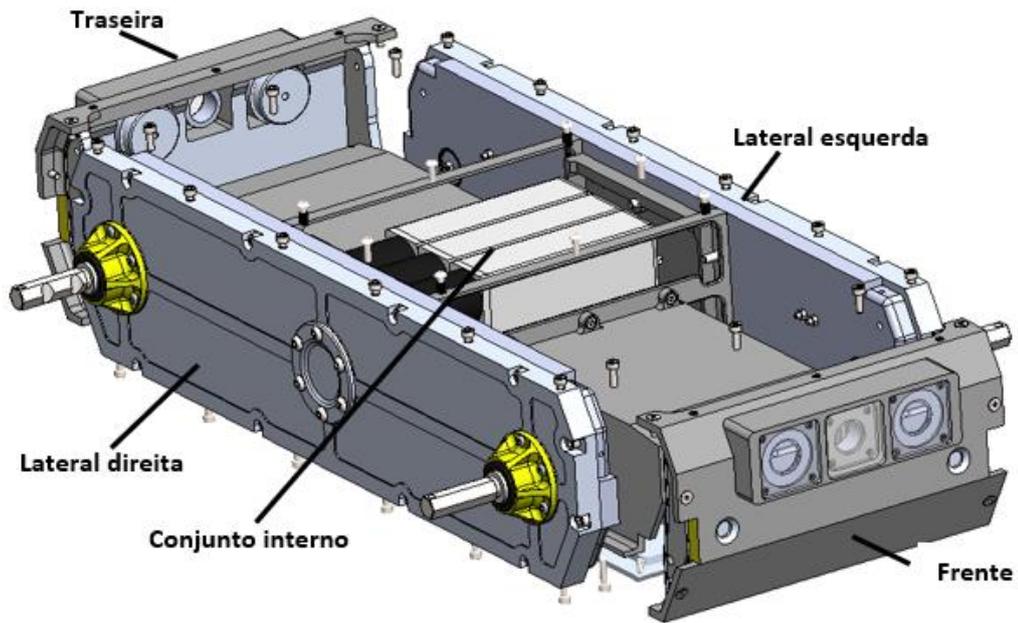


Figura 14 - Frente e traseira Espeleorobô.  
Fonte: O autor (2022).

#### 4.1.4 Tampas superior e inferior

As tampas superior e inferior além de possuírem função estrutural, são responsáveis por lacrar o robô, conferindo ao mesmo um grau de proteção IP-67. As tampas são fixadas nas laterais, na frente e na traseira através de parafusos, conforme observado na Figura 15, e o método de vedação utilizado nessas áreas de contato é a utilização de juntas de papel guarnital.

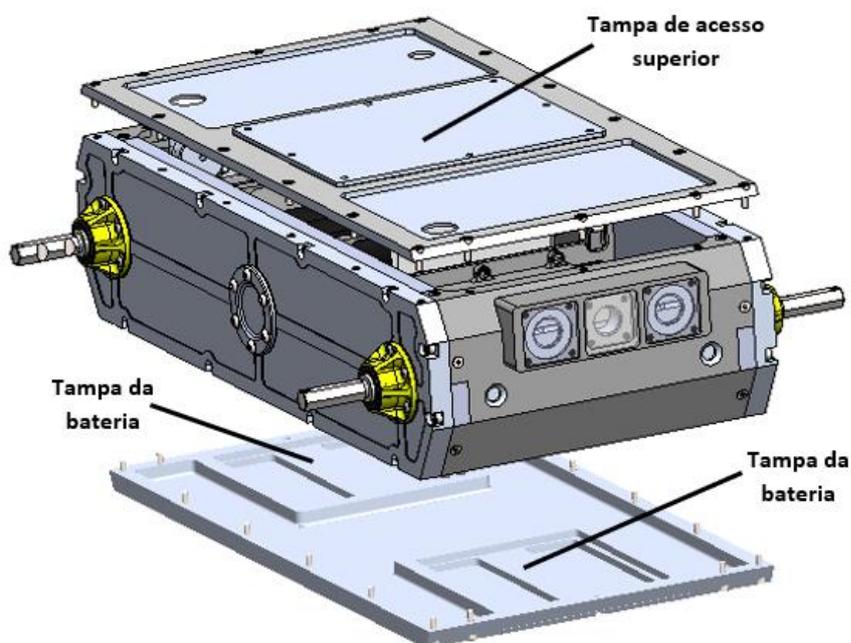


Figura 15 - Tampas superior e inferior EspeleRobô.  
Fonte: O autor (2022).

É possível perceber na Figura 15 que no centro da tampa superior existe uma tampa central para acesso ao robô, que tem a função de facilitar a troca de componentes eletrônicos embarcados e permitir o posicionamento de uma de instrumentação quando necessário para operação. Na tampa inferior existem duas tampas nas extremidades para permitir a troca de bateria do robô sem a necessidade de desmontar outras partes. Nas três aberturas citadas é utilizado o método de vedação com o-rings e a fixação é feita através de parafusos.

A Figura 16 apresenta uma imagem real do EspeloRobô, sendo utilizado em uma operação.



Figura 16 – EspeleoRobô.  
Fonte: ITV (2022).

#### **4.2 Elaboração do plano de manutenção.**

Com a finalidade de melhorar e padronizar as atividades de manutenção do EspeleoRobô, foi elaborado um plano de manutenção preventiva levando em consideração seus principais componentes mecânicos, recomendações de fabricantes e manuais. O plano desenvolvido pode ser observado na Figura 17 e na Figura 18, o mesmo foi dividido em duas figuras para facilitar o seu entendimento.

É importante frisar que o plano ainda não foi implementado na empresa, não possuindo assim dados reais de tarefas realizadas e planejadas.

1 Plano de Manutenção Preventiva		3 Mês:			
Equipamento: EspeleoRobô 2		5	6	7	8
4 Tarefas	5	6	7	8	
Inspeção visual	Frequência	Material de consumo	Equipamentos de apoio	EPI's Necessários	
Verificar aperto dos parafusos obs: Não devem haver parafusos faltantes e os mesmos não devem estar frouxos	1 dia antes da operação e 1 dia depois da operação		Chaves allen 2 mm, 2,5 mm, 3 mm e 4 mm	Análise com a equipe de segurança do trabalho	
Verificar a vedação das tampas obs: os componentes de vedação devem estar limpos e íntegros	1 dia antes da operação e 1 dia depois da operação		Chaves allen 2 mm, 2,5 mm, 3 mm e 4 mm	Análise com a equipe de segurança do trabalho	
Verificar folga nos eixos dos mancais obs: Os mancais devem estar girando sem barulhos excessivos e sem a presença de folgas	1 dia antes da operação e 1 dia depois da operação		Chaves allen 2 mm, 2,5 mm, 3 mm e 4 mm	Análise com a equipe de segurança do trabalho	
Verificar danos na carcaça obs: Não deve conter na carcaça furos, rachaduras e amassados	1 dia antes da operação e 1 dia depois da operação		Chaves allen 2 mm, 2,5 mm, 3 mm e 4 mm.	Análise com a equipe de segurança do trabalho	
Verificar integridade do sistema de movimentação obs: Não devem haver folgas na correia (ou seja a mesma deve estar tensionada), e sem barulhos excessivos	1 dia antes da operação e 1 dia depois da operação		Chaves allen 2 mm, 2,5 mm, 3 mm e 4 mm	Análise com a equipe de segurança do trabalho	
<b>Intervenção e manutenção</b>					
Troca da correia obs: a correia deve ser instalada com tensão de esticamento correta para evitar o cisalhamento dos dentes	6000 horas de trabalho ou apresentar desgaste excessivo	Correia: 480-3M, 160 dentes, 20 mm de largura	Chaves allen 2,5 mm, 3 mm e 4 mm	Análise com a equipe de segurança do trabalho	
Troca dos guarnitais obs: deve ser aplicada graxa no guarnital, tendo o cuidado de não acrescentar impurezas na junta	Até apresentar partículas ou ressecamento	Guarnital sob medida e graxa	Chaves allen 2 mm, 2,5 mm e 3 mm	Análise com a equipe de segurança do trabalho	
Troca dos o-rings obs: todos os canais dos o-rings devem estar limpos	15 anos ou até sofrer ressecamento ou algum dano	O-rings sob medida	Chaves allen 2 mm, 2,5 mm e 3 mm	Análise com a equipe de segurança do trabalho	
Substituição da junta líquida obs: as áreas onde a mesma será aplicada devem estar completamente limpas e livres de impurezas	A cada 100 horas de operação	Junta líquida: LOCTITE 518	Chaves allen 2 mm, 2,5 mm, 3 mm e 4 mm	Análise com a equipe de segurança do trabalho	
Troca dos rolamentos esticador obs: os rolamentos devem ser sacados com o auxílio de um extrator de rolamentos e colocados com a assistênica de uma prensa hidráulica	100000 horas de trabalho ou apresentar ruído	Rolamentos: NSK 6903 DDU	Chaves allen 2,5 mm, 3 mm e 4 mm, extrator de rolamentos e prensa	Análise com a equipe de segurança do trabalho	
Troca dos rolamentos mancais obs: os rolamentos devem ser sacados com o auxílio de um extrator de rolamentos e colocados com a assistênica de uma prensa hidráulica	100000 horas de trabalho ou apresentar ruído	Rolamentos: NSK 6903 DDU	Chaves allen 2,5 mm, 3 mm e 4 mm, extrator de rolamentos e prensa	Análise com a equipe de segurança do trabalho	
Troca dos rolamentos polia movida obs: os rolamentos devem ser sacados com o auxílio de um extrator de rolamentos e colocados com a assistênica de uma prensa hidráulica	10900h de trabalho ou apresentar ruído	Rolamentos: NSK 6803 ZZ	Chaves allen 2,5 mm, 3 mm e 4 mm, extrator de rolamentos e prensa	Análise com a equipe de segurança do trabalho	

Figura 17 - Parte 1 do plano de manutenção elaborado.  
Fonte: O autor (2022).



<b>4 Tarefas</b>	<b>Frequência</b>
<b>Inspeção visual</b>	<b>5</b>
Verificar aperto dos parafusos obs: Não devem haver parafusos faltantes e os mesmos não devem estar frouxos	1 dia antes da operação e 1 dia depois da operação
Verificar a vedação das tampas obs: os componentes de vedação devem estar limpos e íntegros	1 dia antes da operação e 1 dia depois da operação
Verificar folga nos eixos dos mancais obs: Os mancais devem estar girando sem barulhos excessivos e sem a presença de folgas	1 dia antes da operação e 1 dia depois da operação
Verificar danos na carcaça obs: Não deve conter na carcaça furos, rachaduras e amassados	1 dia antes da operação e 1 dia depois da operação
Verificar integridade do sistema de movimentação obs: Não devem haver folgas na correia (ou seja a mesma deve estar tensionada), e sem barulhoes excessivos	1 dia antes da operação e 1 dia depois da operação
<b>Intervenção e manutenção</b>	
Troca da correia obs: a correia deve ser instalada com tensão de esticamento correta para evitar o cisalhamento dos dentes	6000 horas de trabalho ou apresentar desgaste excessivo
Troca dos guarnitais obs: deve ser aplicada graxa no guarnital, tendo o cuidado de não acrescentar impurezas na junta	Até apresentar partículas ou ressecamento
Troca dos o-rings obs: todos os canais dos o-rings devem estar limpos	15 anos ou até sofrer ressecamento ou algum dano
Substituição da junta líquida obs: as áreas onde a mesma será aplicada devem estar completamente limpas e livres de impurezas	A cada 100 horas de operação
Troca dos rolamentos esticador obs: os rolamentos devem ser sacados com o auxílio de um extrator de rolamentos e colocados com a assistênica de uma prensa hidráulica	100000 horas de trabalho ou apresentar ruído
Troca dos rolamentos mancais obs: os rolamentos devem ser sacados com o auxílio de um extrator de rolamentos e colocados com a assistênica de uma prensa hidráulica	100000 horas de trabalho ou apresentar ruído
Troca dos rolamentos polia movida obs: os rolamentos devem ser sacados com o auxílio de um extrator de rolamentos e colocados com a assistênica de uma prensa hidráulica	10900h de trabalho ou apresentar ruído

Figura 20 - Detalhes 4 e 5 da Figura 17.  
Fonte: O autor (2022).

No presente plano de manutenção, as tarefas de manutenção foram divididas em dois grupos principais, o primeiro sendo atividades de inspeção, consideradas mais simples, e o segundo com as medidas de intervenção, sendo estas as tarefas mais complexas. Vale ressaltar que para cada tarefa existe um detalhamento claro e objetivo do que deve ser realizado.

A frequência, também conhecida como periodicidade, foi obtida através de catálogos dos fabricantes das peças e informações de operação e de projeto do EspeleoRobô. É importante destacar que foi considerado um fator de segurança para essas vidas úteis com a intenção de minimizar, ou acabar com falhas durante as inspeções ocasionadas pela vida útil dos equipamentos.

Na Figura 21 são observados os indicadores 6, 7 e 8 e eles fazem referência a todos os materiais, ferramentas e equipamentos de proteção individual, respectivamente, que serão necessários para a realização de cada uma das tarefas.

<b>Material de consumo</b> <b>6</b>	<b>Equipamentos de apoio</b> <b>7</b>	<b>EPI's Necessários</b> <b>8</b>
	Chaves allen 2 mm, 2,5 mm, 3 mm e 4 mm	Análise com a equipe de segurança do trabalho
	Chaves allen 2 mm, 2,5 mm, 3 mm e 4 mm	Análise com a equipe de segurança do trabalho
	Chaves allen 2 mm, 2,5 mm, 3 mm e 4 mm	Análise com a equipe de segurança do trabalho
	Chaves allen 2 mm, 2,5 mm, 3 mm e 4 mm.	Análise com a equipe de segurança do trabalho
	Chaves allen 2 mm, 2,5 mm, 3 mm e 4 mm	Análise com a equipe de segurança do trabalho
Correia: 480-3M, 160 dentes, 20 mm de largura	Chaves allen 2,5 mm, 3 mm e 4 mm	Análise com a equipe de segurança do trabalho
Guarnital sob medida e graxa	Chaves allen 2 mm, 2,5 mm e 3 mm	Análise com a equipe de segurança do trabalho
O-rings sob medida	Chaves allen 2 mm, 2,5 mm e 3 mm	Análise com a equipe de segurança do trabalho
Junta líquida: LOCTITE 518	Chaves allen 2 mm, 2,5 mm, 3 mm e 4 mm	Análise com a equipe de segurança do trabalho
Rolamentos: NSK 6903 DDU	Chaves allen 2,5 mm, 3 mm e 4 mm, extrator de rolamentos e prensa	Análise com a equipe de segurança do trabalho
Rolamentos: NSK 6903 DDU	Chaves allen 2,5 mm, 3 mm e 4 mm, extrator de rolamentos e prensa	Análise com a equipe de segurança do trabalho
Rolamentos: NSK 6803 ZZ	Chaves allen 2,5 mm, 3 mm e 4 mm, extrator de rolamentos e prensa	Análise com a equipe de segurança do trabalho

Figura 21- Detalhes 6, 7 e 8 da Figura 17.  
Fonte: O autor (2022).

É possível observar na Figura 21 que as atividades de inspeção dispensam a utilização de materiais de consumo, diferente das medidas de intervenção, onde os materiais de consumo são indispensáveis para a realização da tarefa.

Os equipamentos de proteção individual devem ser utilizados seguindo as recomendações e orientações da equipe de segurança do trabalho conforme observado na Figura 21.

A Figura 22 apresenta os indicadores 9 e 10. O primeiro mostra o local onde o operador ou operadores responsáveis pela execução da tarefa assinam, mostrando que naquele dia ele foi o responsável pela realização da manutenção preventiva, enquanto o indicador 10 apresenta a legenda do plano de manutenção com todos os indicadores que devem ser utilizados nos dias das atividades. Os marcadores são divididos em tarefas planejadas e executadas, e também são divididos pelo tipo de tarefa que será realizado.



O indicador 12 indica quais integrantes estão presentes na equipe de manutenção e quem é o responsável pela equipe, e qual equipe participará das tarefas em determinado mês. Ainda é observada uma área para assinatura do responsável com a finalidade de garantir a originalidade do documento.

<p><b>Data de início do plano:</b>   /   / <b>Data de término do plano:</b>   /   / <b>Data de revisão plano:</b>   /   /</p> <p style="text-align: center;"><b>11</b></p>
<p><b>Dados da equipe de manutenção:</b> <b>Nome do responsável:</b> <b>Assinatura:</b> <b>Equipe de manutenção:</b> <b>Nomes dos integrantes da equipe:</b></p> <p style="text-align: center;"><b>12</b></p>

Figura 23 – Detalhes 11 e12 da Figura 18.  
Fonte: O autor (2022).

## **5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES**

### **5.1 Conclusões**

O trabalho proposto teve como objetivo a elaboração de um plano de manutenção preventivo para a plataforma robótica EspeleoRobô através de um embasamento teórico e do entendimento das especificidades dos mecanismos do robô.

Como não existem registros de falhas do robô, não é possível realizar uma comparação da melhoria ocasionada pelo plano, porém é possível afirmar que com sua implementação as atividades de manutenção ocorrerão de forma correta e no tempo exato que devem ser executadas. Além disso, o plano elaborado irá facilitar as atividades de intervenção para novos integrantes da equipe de manutenção que nunca tiveram contato com o robô.

É importante destacar que para a correta aplicação do plano elaborado, é necessária a realização de treinamentos para a capacitação de cada membro da equipe de manutenção responsável pelo robô.

Através da análise e interpretação dos dados que forem obtidos, com o auxílio dos indicadores de manutenção, é possível propor melhorias tanto no plano como na estrutura do robô, visando a melhoria contínua de ambos.

O resultado obtido foi a elaboração de um plano de manutenção preventivo detalhado e com informações claras e objetivas com a finalidade de guiar as atividades de manutenção. É esperado que o mesmo seja capaz de diminuir as atividades de manutenção corretivas, que não são planejadas, de melhorar e padronizar o processo de manutenção e de principalmente aumentar a disponibilidade física, o tempo entre falhas e a confiabilidade do EspeleoRobô.

### **5.2 Recomendações para trabalhos futuros**

Com a elaboração do plano de manutenção preventiva para EspeleoRobô, surgem algumas propostas para a continuidade do trabalho, sendo elas:

- A criação de um banco de dados para armazenar todos os planos de manutenção utilizados;
- Analisar a eficiência das medidas contidas no plano de manutenção preventiva através dos indicadores de manutenção, com a finalidade de manter, acrescentar medidas ou alterar o que nele foi proposto;

- Realizar estudos para a elaboração de um plano de manutenção preditivo, com a finalidade de melhorar as atividades de manutenção do robô.
- Construir um procedimento operacional padrão (POP) detalhando como realizar cada atividade proposta no plano de manutenção preventiva.

## 6 BIBLIOGRAFIA

KARDEC, A., NASCIF, J. **Manutenção: Função Estratégica**. 2009.

VIANA, H.R.G. **PCM- Planejamento e Controle da manutenção**. Editora: Qualitymark. 2006.

VIANA, H.R.G. **Manual de Gestão da Manutenção**. Editora: ENGETELES. 2020

XENOS, Harilaus G. **Gerenciando a Manutenção Produtiva**. EGD Editora 1998.

AZPÚRUA, H. **Towards semi-autonomous robotic inspection and mapping in confined spaces with the Espeleorobô**. Journal of inteligente & Robotic System. 202.

BARROS, L. G. **Desenvolvimento e aplicações de dispositivos robóticos em ambientes de mineração: proposta de sistema de vedação para o Espeleorobô e ferramenta de remoção de cobertura de borracha para emenda de correias**. Ouro Preto. 2021.

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

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS. , Eva Maria. **Metodologia Científica**. Rio de Janeiro: [s. n.], 2021.

ROMERO, Roseli Aparecida F; PRESTES, Edson; OSÓRIO, Fernando; WOLF, Denis. **Robótica Móvel**. Rio de Janeiro: Grupo Editorial Nacional, 2017.

MINAYO, M. C. S. **Pesquisa social: teoria, método e criatividade**. 22 ed. Rio de Janeiro: Vozes, 2003.

TAVARES, L. A. **A Evolução da Manutenção**. Revista Nova Manutenção y Qualidade N°54. 2005.

NBR 5462 **Confiabilidade e manutenibilidade**. Rio de Janeiro: ABNT –Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1994. 37p.

ALMEIDA, M.T. **Manutenção Preditiva: Confiabilidade e Qualidade**. 2000.

VALE In: **Vale utiliza robôs para retirar empregados de situação de risco e aumentar a segurança de suas operações**. [S. l.], 10 ago. 2021. Disponível em: <http://www.vale.com/brasil/PT/aboutvale/news/Paginas/vale-utiliza-robos-para-retirar-empregados-de-situacao-de-risco-e-aumentar-a-seguranca-de-suas-operacoes.aspx>. Acesso em: 30 set. 2022.

GLOBALORING. In: **Prazo de validade do O-Ring**: Recomendação de vida útil do anel O de acordo com AS5316. [S. l.], 2022. Disponível em: <https://www.globaloring.com/pt/o-ring-shelf-life/>. Acesso em: 30 set. 2022.

SERRA, LUIZ FERNANDO NASCIMENTO. **PROPOSTA DE UM PLANO DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA PARA BOMBAS DE POLPA DE REJEITOS DE MINÉRIO**. 2018. Monografia (Engenharia Mecânica) - Estudante, [S. l.], 2018. Disponível em: <https://www.monografias.ufop.br/>. Acesso em: 30 set. 2022.

TORRES, Mário César Delunardo. **Desenvolvimento e implementação da eletrônica embarcada em um dispositivo robótico móvel para inspeção: espeleorobô**. 2022. 68 f. Monografia (Graduação em Engenharia de Controle e Automação) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2022.

THIAGO FILHO, Alexandre Magno de S. **Implementação da plataforma tecnológica embarcada em um dispositivo robótico móvel para inspeção de ambientes confinados: Espeleorobô**. 2019. 67 f. Monografia (Graduação em Engenharia de Controle e Automação) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2019.