

**FACULDADE PRESIDENTE ANTÔNIO CARLOS  
DE CONSELHEIRO LAFAIETE  
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**ANÁLISE DE FALHA**

**TRAVAMENTO DO REDUTOR DA BOMBA D'ÁGUA DO CAMINHÃO PIPA**

**FAILURE ANALYSIS**

**LOCKING OF THE PIPA TRUCK WATER PUMP REDUCER**

Emerson Júnior Pimenta Nazaré

José Sebastião Dos Reis Silva

Rodovia MG 482 - Gigante, Conselheiro Lafaiete - MG, 36400-000– Brasil  
[emersonj307@gmail.com](mailto:emersonj307@gmail.com)

**Resumo:**

O processo de umectação de vias através da utilização de caminhões pipa como todo e qualquer serviço demanda uma boa confiabilidade do equipamento responsável, exigindo que o mesmo esteja fisicamente disponível a maior parte de seu período de trabalho, uma ocorrência de manutenção corretiva que possa acarretar em uma redução drástica dos valores destes indicadores, deve ser melhor avaliada e estudada. Através de uma falha ocorrida na caixa de redutores de engrenagens da bomba d'água de um caminhão pipa, sendo essa um desprendimento de um rolo proveniente de um rolamento cônico que se faz de mancal para o eixo de entrada do grupo, o mesmo ao entrar em contato com os redutores causou um travamento do conjunto e inutilização dos componentes internos da caixa de engrenagens gerando um alto custo de manutenção para a empresa e reduzindo a disponibilidade física do equipamento devido ao tempo em que o mesmo permaneceu em manutenção e ao valor das peças danificadas. Tendo em vista estes aspectos, foi realizado um estudo de caso através de uma análise de falha e identificado um defeito no sistema de lubrificação e vedação deste através do aspecto do lubrificante que se encontrava com a presença de água em sua composição e ao retentor de óleo que já se encontrava danificado e desgastado, permitindo definir a principal causa do ocorrido, facilitando assim a tomada de medidas preventivas no intuito de se evitar que novas ocorrências venham a acontecer.

**Palavras-chave:** Confiabilidade. Bomba D'água. Lubrificação. Vedação. Análise de Falha.

## **LISTA DE SIGLAS**

NR	Norma regulamentadora
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
FUPAC	Faculdade Presidente Antônio Carlos
TTCC	Trabalho de Conclusão de Curso
TPM	Manutenção produtiva total
PCM	Planejamento e Controle de Manutenção
MASP	Metodologia para análise e solução de problemas
PDCA	Plan, Do, Check , Action

## 1 INTRODUÇÃO

A manutenção é o conjunto de cuidados técnicos a fim de garantir o bom funcionamento das máquinas, otimizando o processo e tornando viável a sua duração. Dentre os tipos de manutenção, encontra-se a corretiva, preventiva e a preditiva. Essas geridas pelos seguintes indicadores: Disponibilidade física, tempo médio entre falhas e tempo médio de reparo, dos quais promovem a medição da qualidade e da eficiência.

Sabe-se também, que a ampla discussão envolvendo planejamento e controle de manutenção (PCM) é de extrema importância para garantir a sua eficácia, promovendo o aumento da disponibilidade, confiabilidade e qualidade dos serviços envolvidos, prevenindo defeitos e consequentemente reduzindo o máximo de falhas, e, no caso de defeitos e/ou falhas, que estes possam ser reparados no menor tempo possível com custos dentro das metas estabelecidas.

A análise de falha se torna de extrema de importância no ramo da manutenção, visto que, essa promove uma determinação e avaliação das principais causas, possibilitando a tomada de ações que inibem essas ocorrências. A falha no sistema de bomba do caminhão pipa promove um aumento do custo de manutenção, eleva as horas para reparo e prolonga a indisponibilidade do equipamento, gerando uma redução na produtividade do equipamento.

Através do movimento de rotação, o contato das engrenagens e a disposição dos rolamentos atuando como mancais, entende-se que esses dependem de uma eficiente lubrificação, vedação e manutenção preventiva do sistema.

Na Falha em questão, houve um travamento do redutor da bomba d'água do caminhão pipa, sendo este ocasionado por um rolo proveniente de um rolamento cônico que ao se desprender de sua carcaça, entrou em contato com as engrenagens redutoras, se fez então necessário uma intervenção através de uma análise de falha para que seja identificado a real causa do ocorrido afim de facilitar a elaboração e determinação de medidas no intuito de reduzir ocorrências semelhantes, custos de manutenção, tempo de indisponibilidade e consequentemente a improdutividade do equipamento.

Para a realização dessa análise e posterior plano de ação sendo esses os principais objetivos do estudo, é necessário que se detalhe o funcionamento do sistema de bombas, redutores de engrenagens e seus componentes internos em conjunto. É necessário que se exponha os conceitos relacionados a possíveis falhas envolvidas nesse sistema e encontre os motivos e causas raiz que vieram promover o travamento do redutor, para logo em seguida definir padrões de montagens, inspeções e instruções a respeito do componente estudado, a fim de se desenvolver parâmetros preventivos para a redução de ocorrências semelhantes com outros equipamentos da frota.

## **1.1 Justificativa**

Entende-se que para que um sistema de produção tenha uma performance considerável e confiável, é necessário que os equipamentos envolvidos neste estejam em perfeitas condições e com o seu melhor funcionamento possível, no sistema de umectação de vias através de caminhões pipa também são encontradas estas exigências quanto á disponibilidade física e o bom funcionamento do sistema de bomba de água. Tendo em vista estes fatores, é importante que se estude as possíveis falhas sejam elas críticas ou brandas. No caso do travamento da bomba, se faz de extrema importância seu estudo para que seja encontrada as possíveis causas e seja tomada as devidas medidas, visto que, este tipo de manutenção envolve a desmontagem do conjunto, solicitação de peças de elevado custo e um maior tempo para a chegada das mesmas o que aumenta os valores de gastos em manutenção e reduz consideravelmente a disponibilidade física do equipamento impactando diretamente nas atividades dependentes da umectação.

## **2 REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 Caminhão Pipa**

São equipamentos que possuem a capacidade de carregamento e armazenamento de água ou outro tipo de líquido por grandes distâncias em seu tanque podendo ser utilizado para o controle de emissão de poeira, lavagem de ruas e praças, abastecimento de água potável, construção civil, serviços de terraplanagem, entre outros (GUNSON et al., 2011).

Através de uma bomba centrífuga de acordo com Loxam (2019) que com o apoio de seu impulsor interno aliado a um movimento de rotação permite que o fluido no interior do reservatório seja expulso pelo seu sistema de aspersão que pode ser dianteiro, trazeiro e lateral, ou faça este movimento em sentido contrário realizando a sucção, este sistema de aspersão e o movimento do rotor só é possível devido á um acoplamento entre a transmissão do caminhão e o eixo que transmite a rotação para o sistema através de engrenagens que se alojam na caixa de redução.

### **2.2 Moto bomba centrífuga radial**

Seu princípio de funcionamento se dá inicialmente por um motor acoplado ao seu eixo, que por sua vez, é conectada a um rotor localizado no interior da carcaça, produzindo o movimento de rotação que é transferido ao fluido admitido pela sua parte central e enviado até as suas extremidades através de galerias internas, fornecendo assim, energia cinética ao líquido sob a forma de pressão no bocal de saída da carcaça (SABINO, 2016).

Segundo Junuir et al. (2019), os componentes básicos de uma bomba centrífuga não variam de acordo com os tipos, podendo variar somente no formato e dimensões, estes são: Rotor, eixo e carcaça.

## **2.3 Redutores de engrenagem**

Sabe-se que em alguns sistemas mecânicos onde há transmissão de movimento rotativo, o acoplamento entre o componente motor e o movido é dado diretamente pelo eixo, porém em algumas ocasiões, é necessário que se tenha alteração de algumas características do conjunto, como rotação, velocidade e torque, essas modificações, são possíveis através da instalação de redutores (Andrade, 2015).

Estes equipamentos podem variar em sua construção, dependendo da potência do motor, rotações e relações de transmissão, sendo esta última disposta por eixos perpendiculares, concêntricos ou paralelos tanto na vertical quanto na horizontal. Os componentes dos redutores consistem em: Engrenagem, eixo, óleo lubrificante, rolamento e retentor (Andrade, 2015).

### **2.3.1 Engrenagem**

As engrenagens promovem o aumento ou a redução da velocidade do conjunto devido à relação de tamanhos entre elas, este se traduz pelo diâmetro delas. Telecurso (2000) determina para conjunto de redutores dois tipos de engrenagens sendo um pinhão com menor diâmetro externo e outra como coroa sendo essa de maior diâmetro externo.

### **2.3.2 Eixos**

Se apresentando normalmente em formato cilíndrico, perfis lisos em grandes variedades de tamanhos, os eixos são utilizados para suportar os elementos rotativos acoplados a ele, este permite também a transmissão de potência ou movimento rotativo ou axial, trabalhando em condições extremamente variáveis (ANDRADE, 2015).

### **2.3.3 Rolamento**

Os Rolamentos são os elementos girantes da máquina, atuam como suporte para o eixo com as engrenagens suportando esforços simples ou combinados, fazendo com que o atrito seja reduzido, facilitando o movimento de giro, geralmente são utilizados os rolamentos radiais, axiais e cônicos (ANDRADE, 2015).

Os diferentes tipos de falhas em rolamentos são relacionados à lubrificação, estes ao serem expostos à uma lubrificação falha, seja ela por viscosidade do óleo, particulados sólidos misturados ao lubrificante, ou aditivos agressivos, estas podem vir a danificar os mesmos (ANDRADE, 2015).

#### **2.3.4 Retentor**

Segundo Andrade (2015), os retentores são vedadores de borracha ou materiais semelhantes com molas com a finalidade de reter o óleo no interior da carcaça e evitar que agentes externos venham a contaminar o mesmo.

#### **2.3.5 Óleo lubrificante**

A lubrificação pode ser realizada de diversas formas, dependendo do formato, geometria, aspereza, textura, carga, pressão, temperatura, velocidade de rotação, escorregamento, condições ambientais, propriedade físicas e químicas do lubrificante, composição do material e da camada superficial das peças, podendo estes serem eficazes no auxílio à vedação (LAGO, 2007).

Profíto (2010) afirma que quando duas superfícies em contato ao sofrerem um carregamento para a que se produza o movimento através destas, as mesmas sofrem ações de elevados níveis de forças tangenciais, essas quando são aplicadas às superfícies em contato geram entre elas um elevado grau de atrito, que pode vir a danificar estes componentes devido ao desgaste prematuro gerado, sendo assim necessário a aplicação de um lubrificante afim de se criar um afastamento entre as superfícies através de uma fina película de óleo.

### **2.4 Principais falhas em moto-redutores**

De acordo com Telecurso (2000) as principais falhas em moto-redutores são devido aos principais componentes que são danificados, sendo eles rolamentos, retentores e dentes de engrenagens, esses em condições normais sofrem danos por desgaste devido ao atrito que pode ser amenizado ao se utilizar o óleo lubrificante correto.

As engrenagens podem sofrer danos também devido à falha de lubrificação e manutenção preventiva, essa também pode ser danificada devido à corpos estranhos ao entrarem em contato com sua superfície (TELECURSO, 2000).

Dentre os principais eventos que provocam vazamentos de óleo lubrificante nos redutores de engrenagens se destacam: Carcaça trincada, falha no respiro de óleo, tampa com junta danificada ou parafusos desapertados, folgas nos eixos de entrada ou saída (TELECURSO, 2000).

## **2.5 Períodos de Inspeções e Troca de óleo do redutor**

De acordo com SEW (2014), o período de realização das inspeções é predefinido de acordo com o manual do fabricante, podendo esse variar de acordo com o tipo de serviço e ambiente onde o conjunto está inserido, sendo que em condições de trabalho agressivas deve-se substituir o óleo com maior frequência afim de se manter com as características normais.

## **2.6 Mecanismos para tratamento de falha**

De acordo com Afonso (2002), uma análise de falha é realizada objetivando a redução e de novas ocorrências, o estudo deve apresentar as causas raiz, o que possibilita a introdução de ações com o intuito de impedir a repetição do problema.

### **2.6.1 Metodologia MASP**

Conhecida como uma metodologia de análise é composta por oito sub - etapas, sendo elas, a identificação do problema, onde se identifica somente o ocorrido, geralmente por análise visual ou um brainstorming, a observação do problema, através de coleta de dados a respeito de possíveis causas, a análise é uma forma mais apurada de avaliar os ocorridos, nessa etapa é realizado a filtragem dos dados e selecionados somente os pontos que interessam e que contribuíram para a falha, após ser formulados, é realizado a etapa de plano de ação, onde são realizadas as medidas para redução ou inibição da falha tratada, geralmente utilizado o 5W2H, que de acordo com Polacinski (2012) essa consiste em um plano de ação para atividades já estabelecidas afim de funcionar com um mapeamento do plano de ação e organiza – las por, quem, quando, o que, onde, quanto, porque, como, logo após é realizada a etapa de verificação geralmente é feito o acompanhamento da evolução com o plano de ação, logo em seguida caso for efetivo é realizado a padronização e a conclusão.

### **2.6.2 Método de Ishikawa**

O Método de Ishikawa ou Diagrama de Causa e Efeito tem como intuito relacionar os problemas ou resultados indesejados de um cenário em que se aplica a fim de se identificar a causa fundamental desse problema e posteriormente agir de forma a corrigir estes. É subdividido em métodos, máquinas, mão de obra, materiais, medidas e meio ambiente (Batista et al. Apud Vieira, 2014).

### **2.6.3 5W2H**

De modo prático, de acordo com Bragança e Costa (2015), o 5W2H é utilizado quando se busca o desenvolvimento de ações e tarefas a serem seguidas, sendo elas com o embasamento de: o que? onde? porque? quando? quem? como?

quanto? sendo esses os itens a serem respondidos para cada tarefa predefinida.

Ainda de acordo com Bragança e Costa (2015) o método 5W2H pode ser utilizado em diversos setores, atuando como um facilitador para a promoção de mudanças em um setor, para planejamento de ações, para organização da parte de um projeto que detêm as tarefas a serem realizadas, e também para a implementação de ações corretivas e preventivas eficazes

## **3 MÉTODOS**

Neste capítulo, encontra-se os métodos e caminhos utilizados para desenvolvimento deste estudo, bem como a forma que foram coletados os dados e ferramentas utilizadas para a realização do estudo de caso para desenvolvimento da análise de falha, e também do plano de manutenção criado como proposta de intervenção.

### **3.1 Delineamento da Pesquisa**

Este estudo apresenta-se sobre um estudo de caso sendo ele pesquisa de campo de caráter bibliográfico, exploratória, explicativa e intervencionista a respeito do conjunto bomba D`água e caixa de redutores do caminhão pipa Mercedes Benz Axor 3131.

Essa pesquisa se caracteriza bibliográfica devido aos conhecimentos teóricos a respeito de caminhões pipas, umectação, moto bomba centrífuga radial, redutores de engrenagens e seus componentes internos, lubrificação e falhas atreladas ao mesmo e também conceitos a respeito de manutenção para a criação da proposta de intervenção e definição das causas e possíveis motivos da falha.

Se caracteriza exploratória devido à abordagem a fundo a respeito da falha juntamente dos fundamentos que estão atrelados à essa, para isso se faz necessário a familiarização com o funcionamento deste equipamento e também dos seus componentes internos, bem como os possíveis pontos que interferem na vida útil e no seu bom desempenho.

Essa se confere em uma pesquisa de campo devido à busca dos dados necessários para a construção da análise de falha e do diagrama de Ishikawa com o levantamento das causas e efeitos

se fez necessário que o pessoal envolvido diretamente na manutenção desse equipamento exponha suas ideias a respeito da falha e dos fatores que a causaram, bem como a coleta das peças danificadas.

Pode-se dizer que essa é de caráter explicativa devido à busca pelos fatores que levaram ao travamento do conjunto de redutores da bomba D`água do caminhão pipa, aprofundando ao máximo a respeito dos conceitos que sustentam as causas reais dessa.

Essa também se caracteriza intervencionista pois após o conhecimento dos eventos causadores da falha, é realizado o desenvolvimento de um plano de manutenção preventiva afim de evitar que novas ocorrências se repitam.

### **3.2 Coleta e Análise dos Dados**

Os dados envolvidos nessa pesquisa e nesse estudo possuem caráter qualitativo e quantitativo, visto que há a contabilização de horas trabalhadas, e vida útil de componentes para desenvolvimento do plano de manutenção preventiva e também da qualidade da manutenção que era aplicada no período da ocorrência da falha.

Para a realização da coleta dos dados se deu através da observação e diálogo, através de uma entrevista com a equipe de mecânicos envolvida diretamente na manutenção do equipamento e também utilizado os registros de intervalos de intervenções de substituição dos componentes internos da caixa de redutores do conjunto da bomba d`água do caminhão pipa para o cálculo da média de horas trabalhadas possibilitando assim o cálculo da vida útil média dos mesmos permitindo assim a criação do PMP.

Com a coleta de dados, foi realizado a organização das ideias separando-as em método, material, meio ambiente, máquina, mão de obra e logo após realizado um diagrama de causa e efeito conhecido também por Diagrama de Ishikawa.

Todos os estudos, dados, peças e informações necessárias para o desenvolvimento deste estudo foram coletados através do setor de produção e manutenção de uma empresa que atua no ramo de locação de equipamentos de mineração, o objeto de estudo se refere à um componente implementado à um caminhão pipa desta mesma locadora que atua na umectação das vias na localização da Mina de Córrego do Feijão em Brumadinho Minas Gerais.

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

O estudo apresentado foi elaborado em uma empresa de locação de equipamentos na região de Minas Gerais essa possui o objeto de estudo, sendo esse o caminhão pipa, onde nele é acoplado o sistema para bombeamento de água.

O equipamento estudado é uma caixa de redutores na qual promove um aumento da rotação da bomba d'água de um caminhão pipa, esse atua em serviço de umectação na área de operação de caminhões fora de estrada em uma mineradora localizada no Córrego do Feijão em Brumadinho MG, junto a esse, mais 5 equipamentos realizam o mesmo tipo de serviço.

Após o ocorrido, com o equipamento já na oficina, primeiramente realizou-se a desmontagem da caixa de redutores e verificado a situação dos componentes internos, condição do lubrificante, situação das peças envolvidas diretamente na falha, condição das vedações e presença de folgas nos componentes.

Após o estudo em campo, através dos dados coletados foi realizado um diagrama de Ishikawa afim de apontar as principais causas raízes da falha.

Foi verificado a existência de um plano de manutenção destinado aos redutores das bombas, a presença de um manual de instruções, e se havia algum padrão para montagem e inspeção. Foram coletados os dados de paradas e gerado um histórico de manutenções corretivas, levantando a periodicidade de falhas e a periodicidade de intervenções para posteriormente a criação de um plano de manutenção preventiva, procedimento de inspeções, e controle de horas trabalhadas dos componentes sendo esses, parte do plano de ação.

### **4.1 Identificação do problema**

A caixa de redutores da bomba d'água centrífuga acoplada ao caminhão pipa que de acordo com Andrade (2015) atua através do contato de engrenagens sendo uma coroa e um pinhão com o intuito do aumento da velocidade, esses em movimento de rotação constante, e de acordo com o atrito gerado dependem de um excelente sistema para lubrificação, caso esse não atenda às especificações necessárias está sujeito a falhas inesperadas.

A falha em questão corresponde à um travamento desse conjunto do redutor, esse se destaca por ser uma falha catastrófica devido a mesma ter ocorrido repentinamente, fazendo essa com que o equipamento viesse a travar sendo necessário um apoio mecânico para a sua retirada do local.

#### **4.1.1 Coleta de Dados**

Inicialmente antes de se iniciar a desmontagem do redutor, foi identificado um vazamento na carcaça do componente ao entorno do eixo de entrada de código 2300510 no alojamento do seu retentor de código 0500066.

Após a desmontagem do redutor, foi identificado o motivo do vazamento, sendo esse causado pelo retentor de óleo de código 0500066 que havia sido danificado.

Logo em seguida da desmontagem do retentor, foi também identificado que o eixo de entrada do conjunto da caixa de redutores também havia se desgastado em todo o perímetro de contato com a vedação.

Foi também realizado a drenagem do óleo lubrificante durante o processo de desmontagem, e identificado visualmente que ele se encontrava em más condições devido à sua coloração, textura e viscosidade.

Ainda analisando o óleo lubrificante da caixa de redutores, notou-se que o óleo utilizado apresentava viscosidade e especificações distintas do predefinido pelo fabricante, esse possuía aditivo EP o que ataca o material nitrílico da vedação.

Foi também realizado a desmontagem e desacoplamento dos rolamentos cônicos do eixo de saída, e logo foi constatado que um deles havia sido totalmente danificado vindo a até mesmo ter seus rolos desprendidos de seu suporte.

Ao ser desmontados e retirados da carcaça do redutor, os eixos ainda acoplados às engrenagens, foi notado que o rolo proveniente do rolamento cônico que havia se desprendido estava alojado em um dos dentes das engrenagens coroa e pinhão do sistema.

#### **4.1.2 Análise de dados e causas prováveis**

O estudo realizado com a equipe de mantenedores se caracteriza através de uma reunião interrogativa, onde foi exposto o ocorrido e realizado o levantamento das possíveis causas da falha em questão de acordo com a tabela 1 a seguir através de hipóteses.

Nota-se através deste a ampliação das causas nas quais são questionados os porquês de cada item até que se chegue em uma causa raiz na qual seria impossível ou redundante o questionamento através de mais porquês, sendo assim, conclui-se que as causas raízes são as seguintes.

Tabela 1: Principais hipóteses de causas raízes da falha

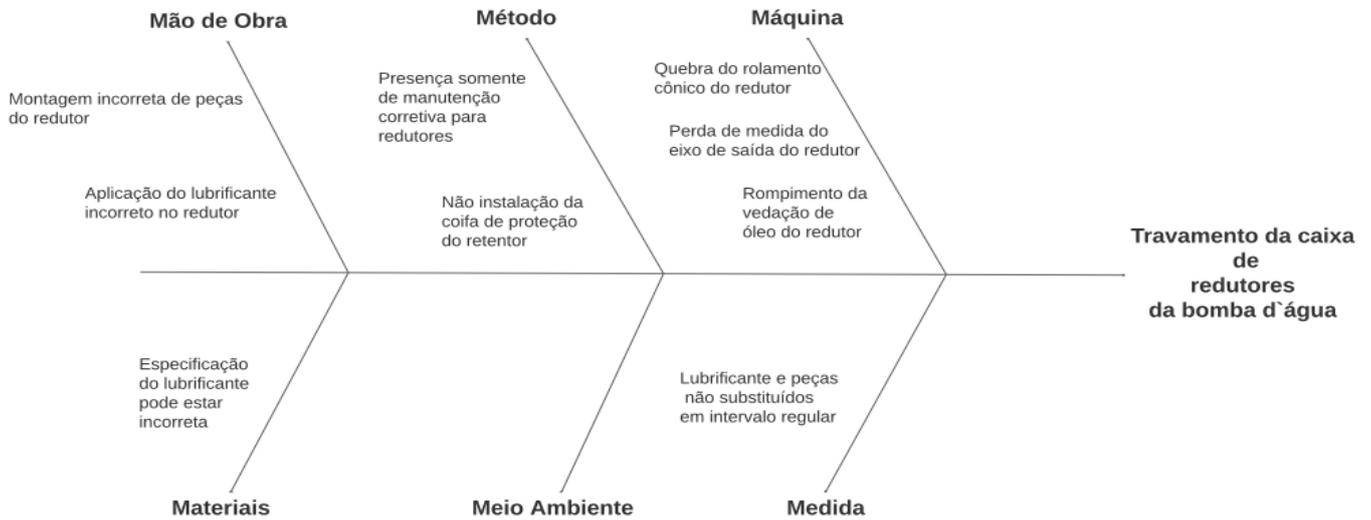
Montagem incorreta de peças	Falta de padrão de montagem de peças do redutor
-----------------------------	---

Aplicação incorreta do lubrificante	Não conhecimento do óleo correto para aplicação	Falta de padrão para aplicação do óleo lubrificante correto	
Rompimento da vedação	Óleo utilizado possui aditivo EP (Extrema pressão) o que danifica os retentores	Falta de conhecimento técnico a respeito do óleo utilizado	Falta de padrão para aplicação do lubrificante correto
Rompimento da vedação	Acúmulo de material sólido na superfície do retentor	Falta de um dispositivo de proteção devido a uma não instalação da coifa	Falta de padrão de montagem de peças do redutor
Rompimento da vedação	Tempo de vida útil da vedação excedido	Não existia manutenção preventiva da caixa de redutores	Falta de padrão para manutenção preventiva do redutor
Quebra do rolamento cônico	Falha na lubrificação do rolamento	Redutor trabalhou sem óleo lubrificante devido a um vazamento não identificado a tempo	Falta de padrão para inspeções periódicas no redutor
Quebra do rolamento cônico	Tempo de vida útil do rolamento excedido	Não existia manutenção preventiva da caixa de redutores	
Perda de medida perimetral do eixo de entrada do redutor	Eixo em atrito excessivo com a mola de vedação retentor	Folga no eixo proveniente dos rolamentos cônicos acoplados ao mesmo	Falha na Lubrificação do mesmo vindo a danifica-lo
Presença somente de manutenções corretivas	Não Existia preventiva da caixa de redutores		
Lubrificante e peças não substituídos em intervalo regular	Falta de controle de horas trabalhadas	Não Existia preventiva da caixa de redutores	
Especificação do Lubrificante utilizado pode estar incorreta	Devido ao não conhecimento a respeito do óleo utilizado	Falta de padrão para aplicação do lubrificante correto	
Especificação do Lubrificante utilizado pode estar incorreta	Utilização de Lubrificante que pode possuir aditivo EP sem conhecimento, o que danifica a borracha nitrílica da vedação	Falta de padrão para aplicação do lubrificante correto	

Fonte: Dados da pesquisa 2022

Esses dados foram organizados e transmitidos para um diagrama de Ishikawa conforme Figura 1.

Figura 1: Diagrama de Ishikawa



Fonte: Dados da pesquisa 2022.

De posse das informações a respeito das causas raiz, como complemento da feitura do diagrama, é necessário que se apresente medidas e métodos que tem como responsabilidade a intervenção afim de evitar que novas ocorrências semelhantes venham a acontecer.

Foi elaborado uma tabela em cima das causas raiz apontadas nas quais, cada uma possui uma ação a ser feita, afim de inibir tal situação.

#### 4.4.1 Padronização de montagem do redutor

De acordo com Moro e Auras (2007 p.15), a padronização das atividades contribui para uma boa gestão da manutenção e garante assertividade na execução dos serviços, portanto foi necessário apresentar o catálogo do fabricante de acordo com o plano de ação previsto na tabela 4, contendo nesse um sequenciamento para montagem das peças do redutor através da figura 30, e também a promoção de um treinamento para a equipe de mantenedores a respeito do processo e cuidados a serem tomados no momento da manutenção dos redutores, o intuito é manter uma equipe com conhecimento teórico e prático a respeito dos redutores de bomba d'água centrífuga dos caminhões pipas e reduzir possíveis erros na montagem.

Tabela 4: Plano de ação para montagem do redutor

What (Oque)	Why (Porque Fazer)	Where (Onde Fazer)	When (Quando Fazer)	Who (Quem Fará)	How (Como Fazer)
Contactar o fornecedor da bomba para aquisição do manual e catálogo	Garantir uma criação de um padrão confiável	PCM	01/06/2022 – REALIZADO	Emerson	Entrando em contato com os responsáveis e solicitando catálogos e manuais

Incluir no padrão montagem do redutor para aplicação do óleo correto	Para garantir que o lubrificante esteja de acordo com as especificações do fabricante	PCM	14/06/2022 – REALIZADO	Emerson	Tendo acesso e consultando o manual do fabricante
Contactar o fornecedor da vedação para coleta do manual e catálogo	Garantir uma criação de um padrão confiável	PCM	15/07/2022 – REALIZADO	Emerson	Entrando em contato com os responsáveis e solicitando catálogos e manuais
Contactar o fornecedor do rolamento para coleta do manual e catálogo	Garantir uma criação de um padrão confiável	PCM	15/07/2022 – REALIZADO	Emerson	Entrando em contato com os responsáveis e solicitando catálogos e manuais
Incluir no padrão montagem do redutor a especificação correta da vedação e rolamentos	Para garantir que a vedação esteja de acordo com as especificações do fabricante da vedação e do rolamento	PCM	22/07/2022 – REALIZADO	Emerson	Tendo acesso e consultando o manual do fabricante

Fonte: Dados da pesquisa 2022

Quadro 1: Lista de peças e indicações

Item	Qt	Un	Código	Descrição	Item	Qt.	Un	Código	Descrição
1	01	CJ	2301438	Carcaça Caixa-Bomba	25	02	PC	0360020	Niple Duplo Ferro 3/8"
2	01	PC	2300510	Eixo de Entrada	26	01	PC	2400304	Acoplamento Caixa-Bomba
3	01	PC	0440300	Engrenagem de Entrada	27	01	PC	0480267	Porca Sextavada Castelo
4	01	PC	0440301	Engrenagem de Saída	28	01	PC	0560040	Cupilha 3/16" x 1.1/2"
5	01	PC	2300293	Eixo de Saída	29	02	PC	0840946	Bujão Magnético M16
6	01	PC	2300049	Tampa Inferior Cega	30	01	PC	0500017	Retentor SABO 01895
7	01	PC	2300213	Tampa Inferior Vazada	31	01	PC	2300694	Guia da Tampa Luneta
8	01	PC	2300043	Tampa Superior	32	01	PC	0440188	Selo Mecânico
9	01	PC	2300058	Anel Espaçador nº1	33	01	PC	2300690	Luva p/ Selo Mecân.
10	01	PC	2300059	Anel Espaçador nº2	34	01	UN	2301148	Porca Cega do Eixo
11	01	PC	2300060	Anel Espaçador nº 3	35	01	PC	2300737	Rotor
12	01	PC	2300061	Anel Espaçador nº4	36	01	PC	2300689	Tampa Luneta CBV-IA 40/50
13	02	PC	0440624	Chaveta Engren. de Saída	37	01	PC	2300687	Corpo Espiral
14	02	PC	0440621	Chaveta Engren. de Entrada	38	01	PC	0440622	Chaveta do Rotor
15	02	PC	0440623	Chaveta do Acoplamento	39	01	UN	2300559	Anel de Borracha Protetor
16	03	PC	0520006	Rolamento Esfera 6207	40	01	PC	0500243	Anel O'ring de Ved. (2270)
17	02	PC	0520005	Rolamento Cônico 32206	41	02	PC	0480832	Arruela Cobre/Amianto
18	01	PC	0500066	Retentor SABO 01905 BR	42	01	UN	2301296	Respiro Fêmea Ø3/8"
19	08	PC	0480164	Parafuso Sextavado M12 X 35	43	01	UN	2301297	Respiro Macho Ø3/8"
20	08	PC	0480059	Parafuso Sextavado M10 X 25	44	1,2	L	0900098	Óleo ATF Tipo A
21	12	PC	0480061	Parafuso Sextavado M10 X 35	45	04	PC	0480057	Parafuso Sextavado M8 X 20
22	18	PC	0480104	Porca Sextavada M10	46	02	PC	0360008	Cotovelo Ferro 3/8"
23	04	PC	0360058	Bujão Cab Quad Ferro 1/4"	47	02	PC	0360107	Bujão Cab Sext Aço 3/8"
24	10	PC	0360059	Bujão Cab Quad Ferro 3/8"	48	01	CJ	-----	Conjunto Serpentina

Fonte: Adaptado de catálogo TBA (2008)

#### 4.4.2 Plano de manutenção preventiva

De acordo com Lima (2003), manutenções preventivas devem ser executadas tanto por tempo quanto por condições dos equipamentos, esse resalta o seu intuito é prevenir que falhas inesperadas ocorram em determinado equipamento, Moro e Auras (2007 p.15), ressaltam que essa manutenção deve ser programada e seguida de um plano em que nesse consta as atividades a serem realizadas, portanto se faz mais que necessário a implementação de um plano de manutenções preventivas para a caixa de redutores da bomba d'água do caminhão pipa de acordo com a tabela 5.

Para o desenvolvimento, foi gerado um histórico de falhas, e também levantamento dos componentes internos com maior envolvimento nessas previsto na tabela 6 parte do plano de ação.

Tabela 5: Plano de ação para criação do histórico de corretivas

What (Oque)	Why (Porque Fazer)	Where (Onde Fazer)	When (Quando Fazer)	Who (Quem Fará)	How (Como Fazer)
Levantar histórico de ocorrências corretivas no sistema de bomba de água dos caminhões pipas da frota	Para montar o histórico de falhas	PCM	20/06/2022 – REALIZADO	Guilherme	Analisando histórico de compra de peças do redutor e verificando em registro de ordem de serviço

Fonte: Dados da pesquisa 2022

Tabela 6: Histórico de corretivas

<b>HISTÓRICO DE CORRETIVAS</b>					
<b>CPL0242</b>	<b>CPL0243</b>	<b>CPL0253</b>	<b>CPL0254</b>	<b>CPL0372</b>	<b>CPL0261</b>
<b>10/08/2021</b>	<b>25/04/2021</b>	<b>24/06/2021</b>	<b>11/06/2021</b>	<b>22/07/2021</b>	<b>25/02/2021</b>
<b>29/12/2021</b>	<b>25/01/2022</b>	<b>08/08/2021</b>	<b>29/12/2021</b>	<b>14/08/2021</b>	<b>28/05/2021</b>
<b>11/05/2022</b>	<b>20/03/2022</b>	<b>24/04/2022</b>	<b>06/01/2022</b>	<b>02/09/2021</b>	<b>29/07/2021</b>
		<b>04/06/2022</b>	<b>22/04/2022</b>	<b>19/03/2022</b>	<b>18/03/2022</b>
				<b>02/05/2022</b>	<b>05/05/2022</b>

Fonte: Dados da pesquisa 2022

Através da tabela 6 acima, percebe-se a constância de manutenções corretivas durante o período apontado, nessas foram realizadas diferentes intervenções de custos distintos, esses podem ser percebidos no plano de ação da tabela 7 e 8 a seguir, onde cada equipamento especificado por seu prefixo possui a média de horas trabalhadas de cada peça do redutor, logo em seguida foi elaborado uma média geral e definido a periodicidade de falhas de cada uma de acordo com as horas programadas mensais, além do custo envolvido por componente e o custo geral, essa última tabela possibilita que seja feita uma análise de quais matérias necessitam ser substituídos em preventiva e em quais intervalos de tempo médio.

Tabela 7: Plano de ação para a criação do controle de horas trabalhadas

What (Oque)	Why (Porque Fazer)	Where (Onde Fazer)	When (Quando Fazer)	Who (Quem Fará)	How (Como Fazer)
Coletar dados de falhas para controle de horas trabalhadas	Para montar o controle de horas trabalhadas	PCM	20/06/2022 – REALIZADO	Guilherme	Analisando histórico de compra de peças do redutor
Elaborar controle de horas trabalhadas	Para analisar a vida útil efetiva de cada componente do redutor	PCM	22/06/2022 – REALIZADO	Guilherme	Registrando as peças substituídas das manutenções anteriores, bem como suas horas trabalhadas

Fonte: Dados da pesquisa 2022

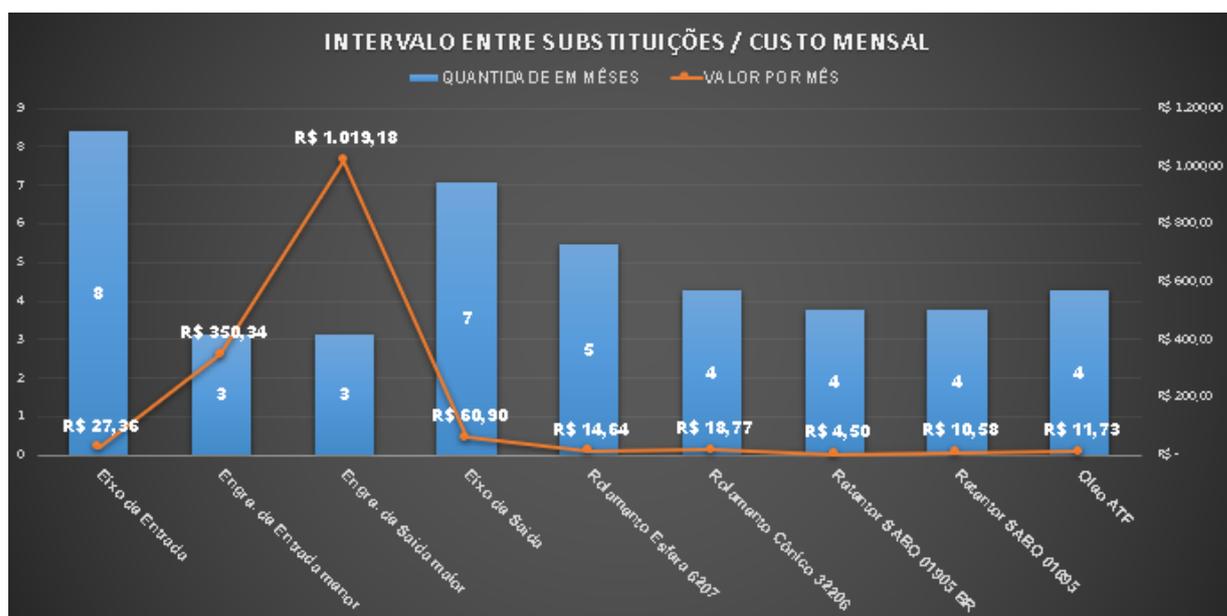
Tabela 8: Controle de horas trabalhadas e custo de peças

PEÇA	CUSTO	CPL0242	CPL0253	CPL0254	CPL0372	CPL0243	CPL0261	MÉDIA GERAL	H PROG	MÊS ENTRE SUBST	CUSTO / MÊS
Carcaça Caixa-Bomba	R\$ 6.000,00								372		
Eixo de Entrada	R\$ 230,00	1168			5087			3128	372	8,4	R\$ 27,36
Engre. de Entrada menor	R\$ 1.100,00	1168						1168	372	3,1	R\$ 350,34
Engre. de Saída maior	R\$ 3.200,00	1168						1168	372	3,1	R\$ 1.019,18
Eixo de Saída	R\$ 430,00	1168	2898				3814	2627	372	7,1	R\$ 60,90
Chaveta Engrenagem de Saída	R\$ 6,00	1168	966				3814	1983	372	5,3	R\$ 1,13
Chaveta Engren. de Entrada	R\$ 6,00	1168	1449				1907	1508	372	4,1	R\$ 1,48
Chaveta do Acoplamento	R\$ 6,00	1168	2898					2033	372	5,5	R\$ 1,10
Rolamento Esfera 6207	R\$ 80,00	1168	2898					2033	372	5,5	R\$ 14,64
Rolamento Cônico 32206	R\$ 80,00	1168	966	1425	2543,5	2456	953,5	1585,33333	372	4,3	R\$ 18,77
Retentor SABO 01905 BR	R\$ 17,00	1168	1449	712,5	1695,67	2456	953,5	1406	372	3,8	R\$ 4,50
Retentor SABO 01895	R\$ 40,00	1168	1449	712,5	1695,67	2456	953,5	1406	372	3,8	R\$ 10,58
Oleo ATF	R\$ 50,00	1168	966	1425	2543,5	2456	953,5	1585,33333	372	4,3	R\$ 11,73
											R\$ 1.906,10

Fonte: Dados da pesquisa 2022

Através da análise do gráfico 3 a seguir, as peças que mais se envolvem nas corretivas, são as de menores preços, sendo elas, retentores de óleo, rolamentos cônicos e de esferas e óleo lubrificante, esses de acordo com Telecurso (2000) possuem grande influência em falhas dos redutores.

Gráfico 3: Intervalo entre substituições e custo



Fonte: Dados da Pesquisa 2022

Foi elaborado um plano de manutenção preventiva de acordo com o plano de ação das tabelas 9 e 10, afim de promover a substituição das peças citadas antes da falha de acordo com o histórico de falhas.

Tabela 9: Plano de ação para criação do plano de manutenção preventiva

What (Oque)	Why (Porque Fazer)	Where (Onde Fazer)	When (Quando Fazer)	Who (Quem Fará)	How (Como Fazer)
Elaborar um plano de manutenção preventiva para a caixa de redutores	Para evitar falhas de manutenção não programada dos redutores	PCM	24/06/2022 – REALIZADO	Guilherme	Consultar o manual do fabricante e, incluir no padrão e no plano de manutenção Preventiva de troca de óleo e filtro do equipamento
Incluir manutenção preventiva dos redutores no plano de manutenção do equipamento	Afim de complementar o plano de manutenção preventiva do equipamento	PCM	28/06/2022 – REALIZADO	Emerson	Incluindo na planilha de Manutenção preventiva do equipamento, a preventiva do redutor
Treinar equipe de mantenedores e controladores de manutenção no plano de manutenção preventiva implementado	Afim de se expor os itens presentes no plano de manutenção preventiva do equipamento e como se proceder ao executa-lo	SALA DE REUNIÕES	07/07/2022 – REALIZADO	Emerson	Apresentando a implementação ao plano de manutenções preventivas bem como, a maneira de se executá-lo

Fonte: Dados da pesquisa 2022

Tabela 10: Plano de manutenção preventiva

<b>PLANO DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA - REDUTOR DA BOMBA D'ÁGUA DO CAMINHÃO PIPA</b>				
<b>SUBSTITUIR</b>	<b>QTD</b>	<b>CÓD</b>	<b>PERIODICIDADE</b>	
Coletar óleo lubrificante do redutor para análise	1 Pç	1z-0123	250h	
Substituir óleo Lubrificante ATF tipo A	1,0L	900098	500h / 3 meses	
Substituir Retentor de óleo do redutor	1 Pç	2301296	1000h	
Substituir Retentor de óleo do redutor	1 Pç	500017	1000h	
Substituir Rolamentos Cônicos do redutor	2 Pç	520005	1500h	
Substituir Chavetas da engrenagem de entrada	2 Pç	440621	1500h	
Substituir Chavetas da engrenagem de Saída	2 Pç	440624	1500h	
Substituir Rolamentos de esfera do redutor	3 Pç	520006	2000h	

Fonte: Dados da pesquisa 2022

Arato Jr. (2004) aponta manutenção preditiva como uma forma de se expor as reais condições de um equipamento e de seu funcionamento, podendo essa ser realizada com auxílio de equipamentos e padrões a serem seguidos através de inspeções periódicas nos ativos, com o intuito de garantir que possíveis defeitos ainda em condições iniciais sejam detectados e planejada seu reparo ainda prematuro, foi criado um plano de inspeção de acordo com a tabela 12, seguindo o plano de ação da tabela 11.

Tabela 11: Plano de ação para a criação do procedimento de inspeções

What (Oque)	Why (Porque Fazer)	Where (Onde Fazer)	When (Quando Fazer)	Who (Quem Fará)	How (Como Fazer)
Avaliar e definir os componentes do redutor que mais se envolvem em falhas, e os que estão diretamente ligados a essa	Afim de elaborar um padrão de inspeção da caixa de redutores	PCM	13/07/2022 – REALIZADO	Emerson	Listar possíveis presenças de vazamentos, folgas, acúmulo de material no retentor, e ruídos anormais
Elaborar um padrão para inspeção da caixa de redutores	Para promover a identificação prematura de defeitos que possam evoluir a uma falha	PCM	16/07/2022 – REALIZADO	Emerson	Avaliando presença de folgas, vazamentos, acúmulo de material no retentor, e ruídos anormais
Treinar toda a equipe de mantenedores no padrão de inspeção implementado	Para conhecimento de todos a respeito dos itens a serem avaliados e como proceder diante o mesmo	SALA DE REUNIÕES	20/07/2022 – REALIZADO	Emerson	Promover palestra expositiva do novo modelo implementado

Fonte: Dados da pesquisa 2022

Tabela 12 – Checklist de inspeção

CHECK LIST INSPEÇÃO - REDUTOR DA BOMBA D'ÁGUA DO CAMINHÃO PIPA					
PREFIXO:	RESPONSÁVEL:	DATA:	HORÍMETRO:		
INSPECIONAR A CADA 250 HORAS DE TRABALHO		OK	ACEITÁVEL	CRÍTICO	OBSERVAÇÕES
Nível de óleo do redutor					
Vazamentos externos aparentes nos bujões, flanges e juntas					
Condição visual do óleo lubrificante ( presença de limalhas ferrosas, água ou materiais contaminantes)					
Presença de ruídos de alta intensidade					
Presença de folga nos eixos e acoplamentos					

Fonte: Dados da pesquisa 2022

#### 4.5 Verificação, padronização e conclusão

Através das ações implementadas, espera-se que falhas semelhantes sejam inibidas, porém para que se certifique de que foram eficazes devem ser também criados métodos para a verificação e posterior conclusão em caso de resultado positivo afim de concluir o PDCA, em caso de resultado negativo será necessário a retomada ao início do plano de ação, os métodos de verificação e conclusão se encontram na tabela 13 abaixo.

Tabela 13: Plano de ação para verificação e conclusão do PDCA

What (Oque)	Why (Porque Fazer)	Where (Onde Fazer)	When (Quando Fazer)	Who (Quem Fará)	How (Como Fazer)
Montar um redutor piloto com as especificações corretas	Afim de disponibilizar um redutor para testes	OFICINA	05/08/2022 – REALIZADO	Alexandre, Leandro	Aplicando as peças do redutor de acordo com manual e utilizando lubrificante correto

Executar manutenção preventiva no redutor piloto de acordo com o plano de manutenções preventivas implementado	Afim de testar eficiência do plano de manutenções preventivas criado para os redutores.	OFICINA	-	Alexandre, Leandro	Realizando a substituição das peças do redutor previstas no plano de manutenções preventivas em intervalo regular
Realizar testes de desempenho	Para verificar a confiabilidade e durabilidade do redutor de teste	EM CAMPO	-	Alexandre	Realizando inspeções programadas periodicamente
Acompanhar funcionamento e desempenho do redutor de teste	Afim de verificar o rendimento do mesmo ao longo de sua vida útil	EM CAMPO	-	Alexandre	Comparando as inspeções realizadas no mesmo e buscando evoluções de possíveis defeitos
Concluir o plano em caso de resultado positivo do redutor de teste, padronizando para os demais equipamentos	Afim de promover a instalação de redutores no padrão do que foi testado nos demais equipamentos, garantindo uma boa disponibilidade e confiabilidade desse	OFICINA	-	Alexandre	Definindo que a partir do dia programado, todos os redutores de bombas d'água de caminhões pipas serão montados, inspecionados e mantidos no padrão
Cadastro da vedação no sistema de compras da empresa	Permitir que seja comprada a vedação correta	PCM	-	Emerson	Tendo acesso e consultando o manual do fabricante
Cadastro do óleo no sistema de compras da empresa	Permitir que seja comprada o óleo correto	PCM	-	Guilherme	Tendo acesso e consultando o manual do fabricante
Cadastro do rolamento no sistema de compras da empresa	Permitir que seja comprada o óleo correto	PCM	-	Guilherme	Tendo acesso e consultando o manual do fabricante
Aquisição de um lote de vedação	Permitir que seja comprada o óleo correto	PCM	-	Janaina	Tendo acesso e consultando o manual do fabricante
Aquisição de um lote de lubrificante	Permitir que haja estoque de óleo para manutenções preventivas de toda a frota	COMPRAS	-	Janaina	Comprando o óleo cadastrado em maior quantidade
Aquisição de um lote de rolamento	Permitir que haja estoque de óleo para manutenções preventivas de toda a frota	COMPRAS	-	Janaina	Comprando o rolamento cadastrado em maior quantidade

Fonte: Dados da pesquisa 2022

## **5 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Devido o projeto ainda se encontrar em andamento através das atividades planejadas com conclusões futuras, não sendo possível até o presente momento as etapas de verificação e conclusão do PDCA com a certificação de êxito nas atividades programadas, atualmente, através dos estudos, conhecimentos adquiridos ao longo do desenvolvimento desse estudo e também sobre a avaliação dos dados disponíveis, já se pode concluir, que a falha em questão foi causada devido às condições em que o retentor de óleo do redutor foi submetido, visto que o lubrificante possuía em sua composição o aditivo EP (extrema pressão), composto esse que danifica e resseca a borracha nitrílica da vedação causando em sua superfície uma série de lacunas que permitem a passagem do óleo e entrada de contaminantes sólidos que em contato com os componentes rotativos internos promove a sua degradação prematura. Em conjunto, outros fatores secundários que também contribuem para o aparecimento de novas falhas semelhantes, se destacam, a não presença de uma manutenção preventiva o que provoca a queda da qualidade do óleo lubrificante, rolamentos e a própria vedação, devido ao tempo de vida útil excedido, e também de falhas relacionadas a montagem visto que não era aplicado a coifa de proteção e a utilização do lubrificante incorreto, portanto, a não existência de manutenção preditiva o que possibilita a evolução de defeitos que poderiam ser evitados a posteriores falhas.

## REFERÊNCIAS

AFONSO, L.O.A. **Análise de falhas de máquinas rotativas – Alguns pontos importantes**. Petróleo Brasileiro SA -. IEV, 2002.

ANDRADE, A. S. **Elementos orgânicos de máquinas II AT-102**, 2015.

ARATO JR. **A Manutenção preditiva usando análise de vibrações**. Barueri: Manole, p. 190, 2004.

BATISTA, P. L. **Análise de impactos da implantação da manutenção preditiva em setor de fabricação de borracha: estudo de caso em indústria do ramo automobilístico**, 2020.

BRAGANÇA, S.; COSTA, E. M. **An application of the lean production tool standard work**. *JurnalTeknologi*, v. 76, n. 1, 2015.

GUNSON, A. J. et al. **Reducing mine water requirements**. *Journal of Cleaner Production*. Vancouver, Canadá, p. 71-82, 2011.

JUNUIR, P.A.E.; MORAIS, G.T.; DIAS, F.J. **Manutenção de bombas centrífugas na área de mineração**. Anais do 1º Simpósio de TCC, das faculdades FINOM e Tecsoma. 2019.

LAGO, F.D. **Manutenção de redutores de velocidade pela integração das técnicas preditivas de análise de vibrações e análise de óleo lubrificante**. UNESP, 2007.

LIMA, Carlos Roberto Camello; MARCORIN, Wilson Roberto. **Análise dos Custos de Manutenção e de Não-manutenção de Equipamentos Produtivos**. *Revista de ciência & tecnologia*, v. 11, n. 22, p. 35-42, 2003.

LOXAM. **Entenda o funcionamento de uma bomba centrífuga**, São Paulo, 2019. Disponível em: <https://degraus.com.br/entenda-o-funcionamento-de-uma-bomba-centrifuga/>

MORO, N.; AURAS, A.P. **Processos de Fabricação. Fundição**. Centro Federal de Educação Tecnológica de Santa Catarina, 2007.

PROFITO, J. F. **Modelagem Unidimensional do Regime Misto de Lubrificação Aplicada a Superfícies Texturizadas**. Dissertação (Mestre em Engenharia). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2010.

POLACINSKI et al. **Implantação dos 5Ss e proposição de um SGQ para uma indústria de erva -mate**. In: Congresso Internacional de Administração (ADM), 2017, Ponta Grossa, PR, Anais... Ponta Grossa, PR, 2017.

SABINO, G.H.R. **Análise da dinâmica de uma bolha de gás em uma bomba centrífuga**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica e de Materiais) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

SEW EURODRIVE . **Manual de montagem e manual de operação de redutores industriais, Germany, 2014**. Disponível em: <https://download.sew-eurodrive.com/download/pdf/20284586.pdf>

**ANEXOS**

Figura 1: Vazamento de óleo lubrificante



Fonte: Dados da pesquisa 2022

Figura 2: Retentor de óleo danificado



Fonte: Dados da pesquisa 2022

Figura 3: Eixo de entrada do redutor danificado



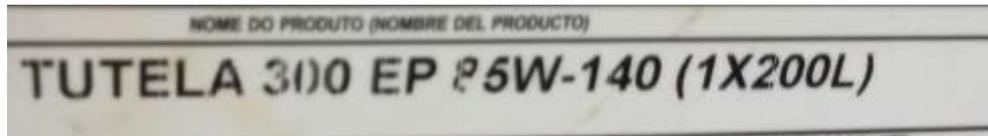
Fonte: Dados da pesquisa 2022

Figura 4: Aspecto do Lubrificante



Fonte: Dados da pesquisa 2022

Figura 5: Lubrificante utilizado composto por aditivo EP



Fonte: Dados da pesquisa 2022

Figura 6: Lubrificante recomendado pelo fabricante

44	1,2	L	0900098	Óleo ATF Tipo A
----	-----	---	---------	-----------------

Fonte: Catálogo técnico TBA 2008

Figura 7: Desgaste excessivo dos rolos do rolamento cônico



Fonte: Dados da pesquisa 2022

Figura 8: Rolo do rolamento cônico fundido na engrenagem coroa



Fonte: Dados da pesquisa 2022