



**SOCIEDADE EDUCACIONAL GARDINGO LTDA. – SOEGAR
CENTRO UNIVERSITÁRIO VÉRTICE - UNIVÉRTIX**

TRABALHOS DE CONCLUSÃO DE CURSO

ENGENHARIA MECÂNICA – 2023/02



**COORDENAÇÃO DE CURSO: PROF. ESP. MATEUS ZANIRATE DE MIRANDA
PROFESSORA RESPONSÁVEL: PROF^A. M. SC. RENATA APARECIDA FONTES**

MATIPÓ, 2023

TRABALHOS PRESENTES NESTE VOLUME

ANÁLISE DE FALHA DO MOTOR MODELO EA-888 DE PRIMEIRA GERAÇÃO:
RELATO DE CASO

ANÁLISE DE FALHAS DOS COMPONENTES DO SISTEMA DE ARREFECIMENTO
DOS MOTORES EA111

FALHAS EM UMA BOMBA DE DESLOCAMENTO POSITIVO UTILIZADA EM UMA
EMPRESA DE MINERAÇÃO DA ZONA DA MATA MINEIRA EM 2021

ANÁLISE DE FALHA DO MOTOR MODELO EA-888 DE PRIMEIRA GERAÇÃO: RELATO DE CASO

Acadêmicos: Matheus Otávio Dores Otoni e João Vitor dos Santos Gabriel Almeida.

Orientador: Michel Pedrosa Machado.

Linha de Pesquisa: Linha 2: Fabricação e Projeto Mecânico.

RESUMO

O motor de combustão interna desempenhou um papel fundamental na evolução da sociedade ao longo das décadas. O motor EA-888 representa um marco significativo em comparação com seu antecessor: o motor EA-113. Este estudo se concentra na análise do motor EA-888 e destaca sua importância nos veículos fabricados pela Volkswagen. O objetivo geral deste trabalho foi relatar um caso de correção de falhas do sistema de lubrificação de motores EA-888 de primeira geração em uma oficina da Zona da Mata Mineira. A situação específica que abordamos envolveu um veículo da marca Volkswagen, o Jetta®, no qual ocorreram sérias falhas no sistema de lubrificação, levando à perda de pressão do óleo. O processo de diagnóstico foi abrangente, empregando ferramentas de última geração, como scanner e osciloscópio, aliadas à inspeção visual minuciosa e à análise dos componentes elétricos. Após uma investigação detalhada, a causa raiz do problema foi identificada: os eixos do comando auxiliar, os quais eram os principais responsáveis pela perda de pressão do óleo, um problema crônico. A manutenção corretiva foi executada com sucesso, evidenciando a importância de uma abordagem metódica no diagnóstico de falhas automotivas. Ademais, este estudo ressalta a relevância crucial da manutenção preventiva e preditiva como medidas essenciais para evitar futuras falhas. Destaca, ainda, a importância de incorporar essas práticas em rotinas de manutenção automotiva.

PALAVRAS-CHAVES: Motor EA-888; Lubrificação; Falha, Perda de Pressão; Óleo.

INTRODUÇÃO

Os motores a combustão interna podem representar, para muitos, uma satisfação pessoal e, desde a sua descoberta, vem recebendo várias inovações feitas pelo homem (ANTONELLO, 2015). Segundo Barger, Carleton, Mckibben (1996 *apud* GONÇALVES E FLORENCIO, 2018), pode-se depreender que o campo de estudo dos motores traz grandes oportunidades e desafios, pois, a cada ano, surge uma inovação, além do fato de a sociedade ser dependente dos transportes, comércio e produção de energias.

Segundo Ferreira (2017 *apud* GHIZONI, 2021), os motores de combustão interna permitiram conciliar velocidade e qualidade na fabricação dos produtos, atendendo à demanda do período. E, como destacado pelo historiador Eric Hobsbawm (1996), "a energia motriz foi o aspecto mais tangível da gigantesca

aceleração técnica que transformou a vida do homem no ocidente na primeira metade do século XIX".

Segundo Çengel e Boles (2013), um motor a combustão interna é um tipo de motor que converte a energia química da combustão em energia mecânica. Ele funciona através da queima de um combustível dentro de um cilindro, empurrando um pistão que, por sua vez, aciona um eixo para produzir energia mecânica. Embora os motores de combustão interna operem em um ciclo mecânico, o pistão retorna à posição inicial ao final de cada revolução. Assim, o fluido de trabalho não passa por um ciclo termodinâmico completo, pois esse trabalho é um ciclo aberto descrito por Borgnakke e Sonntag (2013).

O motor de ciclo Otto é um tipo de motor de combustão interna amplamente utilizado em automóveis, sendo criado em 1876 por Nikolaus August Otto. É um motor que utiliza combustíveis como gasolina, álcool e gás natural (CONNOR, 2020). Segundo Çengel e Boles (2013), na maioria dos motores de ignição por centelha, o pistão executa quatro cursos completos (dois ciclos mecânicos) dentro do cilindro e o eixo de manivelas realiza duas revoluções para cada ciclo termodinâmico.

O motor EA-888 faz parte do grupo Volkswagen, sendo utilizado nos seguintes veículos: Jetta, Golf, Passat, Tiguan dentre outros, além de versões diferentes deste motor, tal como vendido na Europa e o vendido no Brasil. Este trabalho tem como objeto de estudo o modelo nacional (VOLKSWAGEN, 2023). Segundo Dias (2014), a Volkswagen oferece no Brasil os seus veículos equipados com o motor 2.0 da família EA888, que também oferece a tecnologia TSI. Esse motor gera 211 cv (155 kW) a 5.300 rpm e torque máximo de 28,5 kgf/m a 1.700 rpm.

O motor EA 888 é uma evolução do motor EA113. Este foi utilizado em vários modelos da Volkswagen, Golf MK4, Polo, entre outros veículos, antes de ser substituído pelo EA888 (VOLKSWAGEN, 2023). De acordo com Guerra (2017, n.p.), o motor EA113 foi "um dos melhores motores de quatro cilindros já produzidos pela Volkswagen". Seu sucessor, o EA888, construiu sobre suas forças e melhorou ainda mais em eficiência e desempenho.

O objetivo geral deste trabalho foi relatar um caso correção de falhas do sistema de lubrificação de motores EA-888 de primeira geração em uma oficina da Zona da Mata Mineira. Os objetivos específicos são: relatar falha em um sistema de

lubrificação, pelo motivo da perda de pressão de óleo e propor soluções para as falhas descritas.

Como descrito por Almeida (2014), a manutenção corretiva representa o tipo mais caro de manutenção devido ao tempo parado, ao custo indireto com possíveis acidentes e ao fato de a manutenção necessitar ser feita de imediato, sem planejamento adequado. Em vista do discutido anteriormente, as soluções propostas neste trabalho darão mais segurança para o consumidor de forma que possa prevenir as falhas, permitindo reduzir os elevados custos com manutenção corretiva e permitindo ao fabricante uma alternativa no serviço pós-venda.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Falha é definida como o término da capacidade de um item desempenhar a função requerida (ABNT NBR 5462, 1994). Segundo Mateus (2018), a ocorrência de falhas nos componentes automobilísticos tem um impacto significativo na vida das pessoas, tanto de forma direta quanto indireta. Os componentes mecânicos dos veículos — geralmente projetados para suportar condições rigorosas — são esperados para durar durante toda a vida útil do veículo.

Este trabalho se trata de um estudo de caso relacionada a uma falha sistêmica que, segundo NBR 5462 (ABNT, 1994), é identificada como sendo relacionada de forma determinística a uma causa específica. Sua eliminação só é possível por meio de modificações no projeto, processo de fabricação, procedimentos operacionais, documentação ou outros fatores relevantes.

De acordo com Megda (2018), a falha por lubrificação em máquinas é um problema comum que pode levar a danos significativos nos componentes e afetar o desempenho geral dos equipamentos. A lubrificação inadequada ou insuficiente pode resultar em fricção excessiva, desgaste prematuro, superaquecimento e, até mesmo, falha catastrófica de partes essenciais. A importância de uma lubrificação eficiente é amplamente reconhecida pela indústria e por pesquisadores. Os resultados destacaram que a falta de lubrificação adequada pode levar a um aumento significativo no desgaste, aumentando o atrito e diminuindo a eficiência do sistema.

Dessa forma, de acordo com Dias (2014), o sistema de lubrificação é composto pelos seguintes componentes óleo lubrificante, bomba, filtro de óleo, pescador de óleo, cárter e radiador de óleo.

Como descrito por Denículi (1993 *apud* CAMARGO, STRAVINSKI E BRUSNISKI, 2014), bombas são máquinas operatrizes hidráulicas que transferem energia ao fluido com a finalidade de transportá-lo de um ponto a outro. Recebem energia de uma fonte motora qualquer e cedem parte deste fluido sob forma de pressão, energia cinética, ou ambas, isto é: aumentam a pressão do líquido, sua velocidade ou ambas.

O sistema de suprimento de óleo, operando por meio de uma bomba que faz a sucção do óleo do reservatório e direciona-o para os componentes do motor através dos tubos, ajusta sua capacidade conforme a rotação do motor. Isso é crucial para atender à demanda de óleo de cada componente, independentemente das condições operacionais, desde situações normais até extremas. A monitorização constante da pressão do óleo na galeria principal é essencial para garantir a lubrificação eficiente do motor em todos os momentos (BELORINI e ROQUE, 2013) (FIGURA 1).



FIGURA 1: Bomba de óleo
Fonte: Arquivo Pessoal

Segundo Nacif e Dorigo (2018), a análise de falhas é uma das práticas que oferece melhor resultados para a organização. No caso da manutenção, a análise das falhas ocorridas — sistematizada por meio de ferramentas já consagradas — permite que a cause raiz das falhas seja detectada e ações concretas sejam estabelecidas de modo que essas falhas não voltem ocorrer.

No ponto de vista de Gregório e Silveira (2018, p.13), “manutenção é uma palavra derivada do latim, significa “manter o que se tem” e é muito antiga. Já a manutenção industrial teve origem por volta do século XVI, quando a produção artesanal começou a decair, dando espaço à produção industrial”. Segundo Slack *et al.* (2007), manutenção é um termo utilizado para definir a forma como as empresas cuidam de suas instalações físicas ao tentar evitar falhas, considerando as consequências dessas para o sistema.

Existem diversos tipos de manutenção, manutenção corretiva, preventiva, preditiva, detectiva e proativa, qualificados mediante o período e a maneira em que é realizada a intervenção em um equipamento (LABRE, 2019).

De acordo com as ideias de Fogliatto e Ribeiro (2009), a manutenção corretiva ocorre após a falha do equipamento; o objetivo é trazê-lo de volta ao estado operante no menor tempo possível.

A programação das manutenções, em intervalos fixos, é chamada Manutenção preventiva. Esta, deve ser usada somente se a sua utilização criar uma oportunidade para reduzir falhas que não podem ser detectadas antecipadamente ou se for imposta pelas exigências da produção e segurança — por exemplo, em aeronaves — (SILVA, 2020).

A manutenção preditiva é a modalidade mais cara quando se considera apenas o custo da manutenção, pois as peças e os componentes dos equipamentos são trocados ou reformados antes de atingir seu limite de vida (XENOS, 2014). Segundo Nepomuceno (1989) e Salum (2021) a manutenção preditiva consiste no conhecimento do estado da máquina por meio de medições periódicas e contínuas de um ou mais parâmetros significativos e análise dessas variáveis, permitindo intervir no momento adequado, ou seja, antes de uma eventual falha.

A manutenção proativa é planejada e programada, baseada em tempos ou condição, compreende inspeções detectivas e preditivas, com ou sem substituições de peças e insumos antes da falha (THOM, 2018). Para Gonçalves (2011), a manutenção proativa seria um avanço da manutenção preditiva e preventiva, apresentando conceitos e suas aplicações como a monitorização, o diagnóstico de falhas, a quantificação da perda de desempenho e a atuação do sistema, fornecendo informações importantes para a equipe de manutenção.

Conforme Kardec e Nacif (2009), a manutenção detectiva ocorre pela atuação efetuada em sistemas de proteção, comando e controle, buscando detectar falhas ocultas ou não perceptíveis ao pessoal de operação e manutenção. Para Milani (2020), a manutenção detectiva identifica falhas que não têm efeito imediato, são falhas ocultas. Trata-se de um tipo de falha em que ocorrem mais danos, pois, quando é percebida, já ocorreu um grande dano, isso mostra sua importância.

RELATO DE CASO

Este trabalho se trata de uma pesquisa do tipo estudo de caso. O estudo de caso se trata de uma investigação empírica que pesquisa fenômenos dentro do seu contexto real, em que o pesquisador não tem controle sobre eventos e variáveis (MARTINS, 2008).

O estudo de caso foi realizado em um veículo *Jetta*® que chegou a uma oficina da Zona da Mata Mineira com avarias. O cliente relatou que, após entrar em temperatura de trabalho, o veículo piscava a luz do *Electronic Power Control* (EPC) e acendia a luz da injeção. A luz do EPC piscava em sincronia a uma falha do motor. Toda vez que a luz piscava ocorria uma falha no funcionamento do motor e o veículo perdia força. Isso aconteceu diversas vezes até que entrava em modo de segurança e limitava a potência da turbina. O veículo foi deixado para a análise e foi utilizado um equipamento *scanner* de rastreamento.

Após o processo de rastreamento, levantou-se a hipótese de que a falha era relacionada ao sincronismo, sendo, ainda, observadas duas falhas relacionadas ao sensor de fase — localizado no comando de válvula do motor — e uma falha relacionada ao sensor de rotação. Depois do diagnóstico, verificou-se o sincronismo das fases por meio de uma segunda ferramenta denominada osciloscópio.

Ao identificar que o sincronismo do veículo estava normal, houve uma verificação do estado do veículo.

Ao entender que a falha não era no sincronismo, o automóvel voltou para oficina. A partir desse ponto, foi analisada a parte elétrica do veículo.

Dessa maneira, foram utilizados dois atuadores elétricos que são comandados via central. Nesse ponto, precisava-se ter certeza de que não existia nenhuma falha elétrica, antes de dar início à conferência da parte hidráulica. Então, foi realizada conferência de todo o sistema elétrico e não foi identificada nenhuma falha. Os sensores de fase e de rotação estavam corretos. Com isso, utilizou-se um multímetro para medir a resistência e continuidade dos fios e não foram identificados quaisquer problemas incomuns.

Após constatar a ausência de falhas elétricas, foi instalado um manômetro de pressão de óleo como terceira ferramenta, para monitorar a pressão de óleo com o carro frio até o veículo aquecer para saber se ocorreria alguma queda brusca da pressão ou que ocorresse algum outro fato que indicasse o problema apresentado pelo veículo. O manômetro evidenciou que, mesmo com o carro frio, a pressão estava trabalhando abaixo do normal, ou seja, do que é recomendado pelo

fabricante. Após o carro aquecer, a pressão caía ainda mais e, quando o veículo era acelerado, a pressão indicada não era suficiente para que o variador de fase trabalhasse de forma correta.

Dessa forma, constatou-se que o problema era interno. Possivelmente seria uma falha de pressão ou fuga de óleo.

Assim, foi solicitada ao cliente autorização para desmontar e remover o motor do carro e fazer uma análise. O cliente, então, mencionou havia feito troca da bomba de óleo recentemente. Esse fato ocasionou uma atenção especial a este componente. Nesse primeiro momento, o proprietário não autorizou remover o motor EA-888. Assim, foi retirada apenas a bomba de óleo para a conferência sendo por análise visual que não evidenciou nenhum problema (FIGURA 2).

Bomba de óleo



FIGURA 2: Bomba de óleo no motor EA-888

FONTE: Arquivo pessoal

Por não ter achado o problema na bomba, o proprietário autorizou a desmontagem e retirada do motor. O motor foi removido e as partes móveis que dependem de lubrificação e casquilhos móveis foram desmontadas. Foi detectado que este automóvel apresentava um problema crônico nos eixos do comando auxiliar, que estavam batendo e causando perda de pressão de óleo. A pressão vinda da bomba acabava sendo dissipada no comando auxiliar e não era suficiente para abastecer o restante do motor com a pressão ideal.

Sendo assim, o carro passou por uma manutenção corretiva e o problema crônico foi resolvido. Com isso o veículo já se encontra rodando pela cidade.

DISCUSSÕES

Rabelo (2020) destacou a importância de seguir uma sequência bem definida no processo de diagnóstico de falhas automotivas, enfatizando que a inspeção visual é fundamental, mesmo diante de ferramentas avançadas como *scanner* e osciloscópio. Além disso, Rabelo (2023) ressaltou a relevância da Metodologia do Diagnóstico na manutenção automotiva, orientando técnicos a identificar causas de problemas em sistemas eletroeletrônicos de veículos por meio de uma abordagem estruturada que inclui comunicação com o cliente, coleta de informações detalhadas e verificação de sintomas e códigos de falhas. Essa abordagem é essencial para um diagnóstico automotivo completo e eficiente.

O veículo não atingia a temperatura de operação. De acordo com Dias (2012 *apud* NAZARI, 2017), para o funcionamento ideal de um motor à combustão interna, ele deve estar em uma faixa de temperatura específica, que gira em torno de 70°C a 105°C, faixa essa que assegura o fio de óleo entre os componentes móveis, diminuindo o atrito entre as peças móveis e aumentando a eficiência do motor.

Com o auxílio da luz de advertência EPC, o proprietário do veículo foi prontamente alertado a levar seu automóvel para a oficina. Baseado em Feldman (2021), a abreviação EPC corresponde a Electronic Power Control (ou Controle Eletrônico de Potência). Isso indica que a unidade eletrônica responsável por gerenciar todas as operações do veículo apresenta possivelmente uma falha, como um sensor defeituoso ou um componente interno da unidade central com funcionamento inadequado. Isso implica que o proprietário do automóvel deve aproveitar o fato de o veículo ainda estar operacional e dirigir-se imediatamente a uma oficina. Recomenda-se solicitar ao mecânico que conecte o carro a um dispositivo de diagnóstico (*scanner*), permitindo, assim, a emissão de um diagnóstico preciso do problema.

O scanner automotivo foi a primeira ferramenta de diagnóstico utilizada. Segundo Costa e Silva Junior (2022), ele permite visualizar, em tempo real, valores dos sensores do veículo, como pressões, temperaturas e velocidades. Câmara e Silva (2014) afirma que o scanner permite diagnósticos de sistemas de controle através de uma tela conectada ao sistema eletrônico.

Segundo Armelin (2018), o osciloscópio é um aparelho eletrônico que permite a visualização e a análise de sinais de tensão na forma de gráfico em função do

tempo. O osciloscópio pode ser do tipo digital ou analógico. Essa foi a segunda ferramenta utilizada e já havia a hipótese de falha de sincronismo.

Conforme Abaladejo (2013), o bloco de sincronismo é responsável por receber parâmetros enviados pelo gerenciamento, armazenar esses dados em uma matriz localizada na memória de programa do microcontrolador e, através do sinal da roda dentada, sincronizar os sinais de comando de sistema de injeção e ignição do motor. Dessa maneira, segundo Capelli (2010), sua função é informar a referência de fase do primeiro cilindro para determinar o momento de injeção ou ignição (sequencial). O sinal enviado à central eletrônica é gerado por um sensor de efeito Hall montado na polia de comando da árvore de comando de válvulas no lado da admissão, a localização do sensor pode variar conforme o sistema utilizado. Após análise, constatou-se que estava dentro dos parâmetros normais.

A primeira ferramenta utilizada para verificar falhas elétricas foram dois atuadores elétricos, abrangendo o sistema elétrico até o sensor de rotação e variador de fase. Seguindo o que disse Cherato e Greff (2021), atuadores elétricos são dispositivos com funcionamento a partir de um sinal elétrico para produzir determinada tarefa. São esses componentes responsáveis pelo controle e atividades do motor através de sinais emitidos pela programação da *Engine Control Unit* (ECU).

A segunda ferramenta utilizada para verificar falhas elétricas foi o multímetro. Em conformidade com Aranega Junior (2022), um multímetro é um dispositivo empregado para a realização de testes e medições de grandezas elétricas. Sua utilidade reside na capacidade de efetuar medições de corrente, tensão e resistência elétrica, até mesmo em modelos mais básicos. As versões mais avançadas têm a capacidade adicional de medir temperatura, indutância, capacitância e frequência. A categoria dos multímetros é composta por três variantes principais: os modelos digitais, analógicos e de bancada. No relato de caso os que foram utilizados foram o digital e o analógico.

De acordo com Cherato e Greff (2021), o sensor de rotação tem como função informar ao sistema de gerenciamento a rotação do motor, assim como identificar o cilindro que deverá receber determinado comando. Existem dois tipos de sensores de rotação tipicamente utilizados capazes de informar a rotação: os sensores de relutância magnética (indutivo) e os sensores de efeito Hall. Após análise, não apresentou qualquer falha.

O variador de fase, de acordo com Carvalho (2017), regula a entrada de ar no motor ao ajustar o momento de abertura das válvulas de admissão. Isso é feito controlando a pressão de óleo nas câmaras internas do variador de fase, o que afeta a quantidade de ar e combustível na câmara de combustão. A ativação da eletroválvula e o movimento da válvula de passagem de óleo são responsáveis por esse controle. O variador de fase é crucial para a eficiência e o desempenho do motor, permitindo o uso de técnicas avançadas, como o *scavenging*, para melhorar o desempenho. Após análise, não houve falhas.

Diante disso, a hipótese seguinte era que o problema era interno. Instalou-se um manômetro para verificar a pressão de óleo do motor. De acordo com ABNT NBR 14105-1 (2013, p.2), o manômetro analógico é um instrumento utilizado para “medir e indicar pressão que utiliza um elemento elástico, o qual é sensível mecanicamente à pressão e indica esta grandeza por intermédio de um ponteiro sobre uma escala, tendo a pressão atmosférica como referência.”

Conforme Ghizoni Junior (2020) explora mais adiante que relação à pressão do fluido de trabalho em motores automotivos, é importante notar que ela pode variar significativamente, dependendo do tipo de veículo, com valores normalmente situados dentro da faixa de 4 a 12 bar, devido à diversidade de tamanhos e modelos disponíveis. Conforme o relato de caso, o veículo não conseguia alcançar a pressão de funcionamento necessária.

A falha encontrada estava no comando de válvulas, que causavam perda de pressão de óleo. De acordo com Ratamero (2019), no funcionamento do sistema de comando de válvulas, o eixo comando de válvulas gira em conjunto com o eixo virabrequim, resultando em um movimento rotativo dos came fixados a ele. Esses came, ao não girarem, provocam o deslocamento dos tuchos e das válvulas devido ao formato alongado de seus perfis. O movimento de "abre e fecha" das válvulas é coordenado de forma sincronizada com a posição angular do eixo virabrequim, graças à ação das molas que promovem o retorno das válvulas e tuchos.

Nesse sentido, segundo o que disse Ratamero (2019), é importante destacar que, em motores de quatro tempos, a frequência de rotação do eixo comando de válvulas é exatamente a metade da frequência de rotação do eixo virabrequim. Além disso, para garantir um desempenho tribológico otimizado do sistema, todo o conjunto é devidamente lubrificado com um lubrificante plenamente formulado, com

foco especial no contato entre os cames e os tuchos, a fim de minimizar atritos e desgastes, contribuindo, assim, para um funcionamento eficiente.

Dessa maneira, é possível ver que, de acordo com Wyrebski (1997 *apud* ARRUDA, 2019), a manutenção corretiva pode ser entendida como uma atividade direcionada à correção de falhas resultantes do desgaste ou deterioração de máquinas ou equipamentos. Essa abordagem envolve a realização de reparos, alinhamentos, balanceamentos, bem como a substituição de peças ou, até mesmo, do próprio equipamento afetado, como resposta às ocorrências de falhas.

De acordo com Castro *et al.* (2011), na manutenção automotiva, é importante distinguir falhas aleatórias (corretivas) de falhas previsíveis (preventivas). Falhas corretivas podem causar grandes inconvenientes, sendo essencial implementar atividades de revisão e substituição de peças de forma preventiva. Isso requer recursos materiais e humanos e deve ser considerado na gestão da manutenção, incluindo a determinação das taxas de falha e tempos de reparo para ambas as categorias

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

De acordo com Moraes (2018), em relação à manutenção do veículo, é essencial que o proprietário siga as recomendações do fabricante, que incluem a troca de óleo e filtro com base na quilometragem e na validade do óleo. Além disso, é crucial que o proprietário esteja atento a qualquer alteração perceptível no veículo que possa indicar problemas relacionados à lubrificação. Também é importante garantir que o nível de óleo esteja de acordo com as especificações fornecidas na explicação da vareta de medição.

Conforme Manutenção Preditiva (2018, *apud* Moraes 2018), diversas falhas no sistema de lubrificação incluem desgaste de peças por baixo nível de óleo, mudanças no alinhamento de pistões e cilindros, abrasivos no óleo, folga em anéis de vedação, temperaturas altas e viscosidade inadequada. Outros problemas envolvem variações na pressão do óleo devido a mistura com combustível, falha na bomba de óleo, operação em temperaturas extremas, obstrução na linha de óleo e danos nos sensores. Dificuldades na partida podem resultar de folga nos pistões,

desgaste de mancais e deterioração dos anéis e juntas do cabeçote das válvulas, afetando a inflamação do combustível.

A manutenção corretiva planejada, segundo a Mecânica Industrial (2016), envolve reparar ou substituir componentes com falhas. Para evitar falhas, é necessário realizar inspeções regulares, planejar as manutenções corretivas para evitar paradas não planejadas e reduzir o tempo de inatividade. Além disso, é crucial realizar inspeções detalhadas para identificar a causa da falha e implementar medidas preventivas no plano de manutenção.

Conforme Timotheo (2014, *apud* ALVES, 2020), para se executar a manutenção preditiva é necessário o uso de aparelhos, que são capazes de registrar fenômenos como: vibrações, pressão, temperatura, desempenho e aceleração. E, com base nos resultados dessas análises, pode-se determinar com antecedência eventuais defeitos ou falhas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante do caso apresentado, fica evidente a complexidade da manutenção de motores de combustão interna, especialmente em veículos como o Jetta equipado com o motor EA-888. A narrativa conduziu-nos por uma jornada de diagnósticos minuciosos, partindo do registro da queixa do titular até a elucidação da etiologia subjacente do fenômeno em questão. A abordagem metódica, utilizando diversas ferramentas, como scanners, osciloscópio, manômetro de pressão de óleo e inspeção visual, demonstrou a importância de um processo estruturado na resolução de falhas automotivas.

A conclusão de que o problema crônico estava relacionado aos eixos do comando auxiliar, resultando em perda de pressão de óleo, destaca a necessidade de um diagnóstico preciso para evitar a manutenção corretiva dispendiosa e minimizar o tempo de inatividade do veículo. Além disso, a solução proposta seria a manutenção preditiva em que a verificação da pressão de óleo durante as trocas de óleo foi destacada como uma medida crucial para evitar problemas futuros.

REFERÊNCIAS

ABNT- ASSOCIAÇÃO DE NORMAS TÉCNICAS , **NBR 5462** . Confiabilidade e manutenibilidade. Rio de Janeiro-RJ. 1994

ABNT- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14105-1: Medidores de pressão**. Parte 1: Medidores analógicos de pressão com sensor de elemento estático - Requisitos de fabricação, classificação, ensaios e utilização. Rio de Janeiro, 2013. 41 p

ALBALADEJO, Felipe Serafim. **Desenvolvimento de uma Unidade de Gerenciamento Eletrônico para Motores de Combustão Interna ciclo Otto**. Orientador: Professor Doutor Alexsander Tressino de Carvalho, 2013. (142 f.). Dissertação de Mestrado. Mestre em Engenharia Elétrica - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo- SP, 2013.

ALMEIDA, Paulo Samuel de. **Manutenção Mecânica Industrial - Conceitos Básicos e Tecnologia Aplicada**. São Paulo : Editora Érica, 2014.

ALVES, Rafael Ferreira. **Gestão da manutenção, elaboração de um controle de manutenção em uma frota de caminhões: empresa familiar**. Orientador: Professor Especialista Sidnei Pereira, 2020. (42 f.). Trabalho de conclusão de curso. Bacharel em engenharia mecânica - centro universitário do Sul de minas – UNIS. Varginha-MG, 2020.

ANTONELLO, Miguel Guilherme. **Proposta de metodologia para o projeto de motores de combustão interna**. Orientador: Dr. Eng. Mec. Leonardo Nabaes Romano, 2015. (179 f.). Dissertação de mestrado. Mestre em Engenharia de Produção - Universidade Federal de Santa Maria. UFMS-RS. Santa Maria, 2015.

ARANEGA JUNIOR, Gilberto. **Iniciação a Eletrônica e Eletrotécnica**. 1.ed. Porto Alegre: Simplíssimo, 2022.

ARMELIN, Eduardo Marini. **Estudo da viabilidade do ultrassom como técnica para a verificação da qualidade na manutenção automotiva**. Orientador: Professora Suely Midori Aoki, 2018.(78 f.). Trabalho de Conclusão de Curso . Tecnólogo em Eletrônica Automotiva – FATEC Santo André. São Paulo-SP, 2018.

ARRUDA, Nathan da Silva. **Implementação de um sistema da gestão de manutenção preventiva industrial**. Orientador: Prof. Dr. César Gabriel dos Santos, 2019.(46 f.). Trabalho de conclusão de curso. Engenheiro Mecânico - Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS) – Campus Cachoeira do Sul. Cachoeira do Sul, 2019.

BEROLINI, Bruno Euclésio Herreira; ROQUE, Guilherme Escorsin. **Determinação de trocador de calor para resfriar o óleo lubrificante de motor automotivo a diesel de 3 cilindros utilizando o fluido de arrefecimento**. Orientador: M.Sc. Raul Henrique Erthal, 2013.(46 f.). Trabalho de conclusão de curso . Bacharel em Engenharia Industrial Mecânica - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba-PR, 2013.

BORGNAKKE, Claus; SONNTAG, Richard E. **Fundamentos da termodinâmica**. São Paulo : Editora Blücher, 2013.

CAVALCANTI, ANDRÉ MARQUES; FERRZ, ADEMIR GOMES; SANTOS, CICERO MARIANO PIRES DOS; FERREIRA, CARLA PATRÍCIA SANTOS; SILVA, PAULA

HADASSA ULISSES SALES. Proposta de modelo de relacionamento entre os diversos atores da indústria de reparo de automóveis usando o FMEA e CIS. **Exacta – EP**, São Paulo, v. 15, n. 3, p. 501-514, 2017

CÂMARA, Júlio César Chaves; SILVA, Valéria Loureiro da. **Desenvolvimento tecnológico dos automóveis: aplicação de dispositivos eletrônicos de diagnóstico automotivo na área de educação**. in: workshop de pesquisa tecnologia e inovação - pti. desafios e oportunidades para o desenvolvimento industrial no estado da Bahia, 4., 2014, Salvador. Anais. Salvador: SENAI/CIMATEC, 2014. p. 43-52

CAMARGO, Janderson Luís; STRAVINSKI, Pedro Junior ; BRUSNISKI, Valdir. **Proposta de automação do acionamento do sistema de retirada de óleo dos motores a retrabalhar**. Orientadora: M.Sc. Rosangela Winter, 2014. (71 f.) Trabalho de Conclusão de Curso. Tecnólogo em Automação Industrial do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica - DAELT – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba-PR, 2014.

CAMPOS, Fernando Celso de; BELHOT; Renato Vairo. Gestão de Manutenção de Frotas de Veículos: Uma Revisão. **Gestão & Produção**, v. 1, n. 2, p. 171-188, ago. 1994.

CAPELLI, Alexandre. **Eletroeletrônica automotiva: Injeção eletrônica, arquitetura do motor e sistemas embarcados**. São Paulo: Érica, 2010.

CARVALHO, Matheus Guilherme França. **Análise experimental de parâmetros de combustão de um motor de injeção direta a etanol turbo-alimentado**. Orientador: Prof. Dr. José Guilherme Coelho Baêta, 2017.(150.f). Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica - Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte - MG, 2017.

CASTRO, Daniel Enrique; PINHEIRO, Marlon Antônio; JÚNIOR, Helder Alves De Almeida RODRIGUES, Jean Carlos. **Processos de otimização de redes de oficinas de manutenção veicular utilizando técnicas RAM (Reliability, Availability and Maintainability) e o Método Monte Carlo**. 2011. Disponível em : <https://plusengenharia.com.br/wp-content/uploads/2022/03/SAE-DANIEL-E-CASTRO-2011.pdf>. Acesso em: 07 out. 2023.

CHERATO, Carlos Eduardo. **Estudo para instalação de uma injeção eletrônica programável em um motor 4 cilindros**. Orientador: Dr. Diego Santos Greff, 2021.(20 f.). Trabalho de Conclusão de Curso. Bacharel em Ciência e Tecnologia - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico de Joinville. Santa Catarina- SC, 2021.

CONNOR, Nick. **O que é o Ciclo de Otto – Motor de Otto – Definição**.2020. Disponível em: <https://www.thermal-engineering.org/pt-br/o-que-e-o-ciclo-otto-otto-engine-definicao/>. Acesso em: 01 jun. 2023.

COSTA, Ronnis Tarles Dantas; SILVA JUNIOR, Dorgival Albertino da .Procedimentos para a Construção de uma Bancada de Teste Para Sensor de

Velocidade do Sistema de Freio Antitravamento. **Conjecturas**, [s. l.], v. 22, n. 15, p. 242–258, 2022.

ÇENGEL, Yunus A.; BOLES, Michael A. **Termodinâmica**. Porto Alegre : Grupo A, 2013.

DIAS, Anderson Luiz. **Sistema de lubrificação dos motores de combustão interna**. 9 jul. 2014. Disponível em: <https://carrosinfoco.com.br/2014/07/sistema-de-lubrificacao-dos-motores-de-combustao-interna/>. Acesso em: 24 jun. 2023

DIAS, Tarcísio. **Entenda a tecnologia dos motores TSI**. 2014. Disponível em: <https://mecanicaonline.com.br/2014/07/entenda-a-tecnologia-dos-motores-tsi/#:~:text=A%20Volkswagen%20j%C3%A1%20oferece%20no%20Pa%C3%ADs%20o%20CC,Jetta%20e%20no%20Fusca%2C%20al%C3%A9m%20da%20linha%20Passat%20.%20e%20fa%C3%A7a%20a%20>. Acesso em: 26 mar. 2023.

DORIGO, Luiz Carlos ; NASCIF, Júlio . **Manutenção Orientada para Resultados**. 2.ed- Rio de Janeiro-RJ. Editora Qualitymark, 2018.

FELDMAN, Boris. **Luz EPC acendeu no painel com o carro ligado: e agora?** 2021. Disponível em: <https://autopapo.uol.com.br/blog-do-boris/acendeu-luz-de-alerta-epc/>. Acesso: 08 ago. 2023.

FOGLIATTO, Flávio Sanson; Ribeiro, José Luís Duarte. **Confiabilidade e Manutenção Industrial**. Rio de Janeiro-RJ. Elsevier Editora Ltda. 2009

GHIZONI, Mariana Medeiros. **Comparação entre resultados experimentais e de simulação numérica de um motor de combustão interna**. Orientador: Prof. Dr. Juan Galvarino Cerda Balcazar, 2021. (29 f.). 2021. Trabalho de conclusão de curso. Bacharel em Engenharia Mecânica -Universidade Federal de Santa Maria. Cachoeira do Sul - RS, 2021.

GHIZONI JUNIOR, Mauricio. **Projeto conceitual de uma bancada de teste para turbinas automotivas**. Orientador: Adelar Felipe da Costa. 2020. (30 f.). Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Mecânica - Faculdade SATC . Criciúma – SC. 2020.

GONÇALVES, Luiz Fernando. **Desenvolvimento de um sistema de manutenção inteligente embarcado**. Orientador: Prof. Dr. Marcelo Soares Lubaszewski, 2011.(233 f.). Tese de doutorado. Doutor em Engenharia Elétrica - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre -RS, 2011.

GONÇALVES, Sergio Ewerton dos Santos; FLORÊNCIO, Deivyson Costa. **Fatores influentes das irreversibilidades dos motores de combustão interna**. Revista Científica Semana Acadêmica. Fortaleza, 2018, Nº. 000142, 14/11/2018. Disponível em: <https://semanaacademica.org.br/artigo/fatores-influentes-das-irreversibilidades-dos-motores-de-combustao-interna>. Acesso em: 08 jun. 2023.

GREGÓRIO, Gabriela Fonseca Parreira; SILVEIRA, Aline Morais da. **Manutenção Industrial**. [revisão técnica : Henrique Martins Rocha]. – Porto Alegre : SAGAH, 2018.

GUERRA, Pedro H. L. **Por que o motor AP aguenta “turbinagem” pesada?** 2017. Disponível em: <https://educacaoautomotiva.com/2017/08/03/motor-ap-turbinagem/> . Acesso em: 25 mar. 2023.

HOBSBAWM, Eric. **A era das revoluções: Europa, 1789-1848**. 18. ed. São Paulo: Paz e Terra, 1996.

KARDEC, Alan; NASCIF, Júlio. **Manutenção: Função estratégica**. 3.ed, Editora QUALITYMARK, Rio de Janeiro, 2009.

LABRE, Pedro Paulo Vieira Queiroz. **Análise de vibração e termografia na manutenção e confiabilidade de equipamentos em uma usina de beneficiamento de sementes**. Orientador: Prof. Dr. Wisley Falco Sales, 2019.(75 f.). Trabalho de conclusão de curso . Bacharel em Engenharia Mecânica - Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia-MG, 2019.

MARTINS, Gilberto de Andrade. **Estudo de caso: uma estratégia de pesquisa**. 2.ed. São Paulo, Atlas, 2008.

MATEUS, João Miguel Ribeiro Restolho. **Análise do modo de falha de um motor diesel 1.9 TDI**. Orientadores: Doutor Vítor Manuel Rodrigues Anes e Doutor Ivan Rodolfo Pereira Garcia de Galvão, 2018.(124 f.). Trabalho Final de Mestrado, Mestre em Engenharia Mecânica. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa. Lisboa-Portugal, 2018.

MECÂNICA INDUSTRIAL. **O que é manutenção corretiva planejada?** 2016. Disponível em: <https://www.mecanicaindustrial.com.br/o-que-e-uma-manutencao-corretiva-planejada/> . Acesso em: 24 setembro. 2023.

MEGDA, Rafael Giancesini. **INDÚSTRIA 4.0: aplicação dos conceitos para identificar falhas de lubrificação**. Orientador: Prof. Esp. Jonathan Oliveira Nery, 2018. (59 f.). Trabalho de Conclusão de Curso. Bacharel em Engenharia Mecânica - Centro Universitário do Sul de Minas. Varginha-MG, 2018.

MILANI, Vítor Blanc. **Utilização do ciclo PDCA na implementação de um sistema de gestão da manutenção em uma indústria metalomecânica da região de Londrina**. Orientador: Prof. Dr. Eduardo José Pitelli, 2020. (83 f.) . Trabalho de conclusão de curso. Bacharel em Engenharia Mecânica - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina-PR, 2020.

MORAES, Edson. **A importância do uso correto de lubrificantes automotivos: bases minerais e sintéticas**. Orientador: Professor Msc. Ranyeri do Lago Rocha, 2018. (35 f.). Trabalho de Conclusão de Curso. Bacharel em Engenharia Mecânica - Instituição Pitágoras. Poços de Caldas- MG. 2018.

NAZARI, Giorgio Artencio. **Aplicação de ligas de alumínio em motores à combustão interna**. Orientador: Professor Leandro Maia Nogueira, 2017. (41 f.). Trabalho de conclusão de curso. Bacharel em Engenharia Mecânica – Universidade de Taubaté. Departamento de Engenharia Mecânica e Elétrica. São Paulo-SP, 2017.

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

RABELO, Laerte. **Diagnóstico automotivo em seis etapas que definem o processo de identificação do defeito.** 2020. Disponível em : <https://www.oficinabrasil.com.br/noticia/consultor-ob/diagnostico-automotivo-em-seis-etapas-que-definem-o-processo-de-identificacao-do-defeito>. Acesso: 24 set. 2023.

RABELO, Laerte. **As técnicas de diagnóstico envolvem a inspeção visual e utilização de vários equipamentos.** 2023. Disponível em : <https://www.oficinabrasil.com.br/noticia/consultor-ob/as-tecnicas-de-diagnostico-envolvem-a-inspecao-visual-e-utilizacao-de-varios-equipamentos>. Acesso em: 24 set. 2023.

RATAMERO, Leandro de Amorim. **Efeitos do etanol hidratado no comportamento tribológico no sistema came-tucho em condições lubrificadas.** Orientador: Professor Dr. Roberto Martins de Souza, 2019. (162 f.). Tese de Doutorado. Doutor em ciências – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo – SP, 2019.

SALUM, Rebeca Miranda de Abreu. **Proposta de uma metodologia para construção de indicadores de produtividade para manutenção preditiva utilizando análise de vibração no contexto da indústria 4.0.** Orientador: Prof. Dr. Rui Tadashi Yoshino, 2021. (90 f.) Trabalho de conclusão de curso. Bacharel em Engenharia Mecânica - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa-PR, 2021.

SILVA, Felipe Neli da. **Estudo teórico de técnicas de implementação da gestão da manutenção industrial e seu impacto na indústria.** Orientador Miguel Angel Chíncharo Bernuy.2020.(73 f.).Trabalho de conclusão de curso. Bacharel em Engenharia Elétrica - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Cornélio Procópio-PR, 2020.

SLACK, Nigel; JONES, Alistair Brandon; JOHNSTON, Robert. **Administração da produção.** 2. ed. São Paulo: Atlas, 2007.

THOM, Frederico Carlos Maciel. **Modelo de cálculo de risco dinâmico aplicado a compressores de gás.** Orientador: Prof. Dr. Marcílio Sousa Rocha Freitas, 2018. (335 f.). Programa de Pós-Graduação do Departamento de Engenharia Civil da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto. Doutor em Ciências da Engenharia Civil - Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto-MG, 2018.

VOLKSWAGEN, Volkswagen do Brasil. **Manuais Volkswagen.**2023. Disponível em: <https://www.vw.com.br/pt/servicos-e-acessorios/manuais-e-garantia/manuais.html>. Acesso em: 17 jun. 2023.

XENOS, Hirilaus Georgius D' Philippos. **Gerenciando a manutenção produtiva.** 2. Ed. Nova Lima: Editora FALCONI, 2014.

ANÁLISE DE FALHAS DOS COMPONENTES DO SISTEMA DE ARREFECIMENTO DOS MOTORES EA111

Acadêmicos: Antônio Eduardo Cruz da Silva e Gabriel Gomes Latini.

Orientador (a): Carlos Eduardo Marques Cerqueira.

Linha de Pesquisa: Sistemas térmicos.

RESUMO

Os motores à combustão interna passaram por diversas melhorias significativas, tanto em relação tamanho e peso, quanto em relação a performance, desempenho e consumo de combustíveis. Os motores de ciclo Otto funcionam em quatro tempo (admissão compressão, explosão e exaustão) e tem um peso e consumo de combustível relativamente menor comparado aos seus antecessores. Logo esse tipo de motor se consagrou uma força motriz até os dias de hoje. Com os avanços das tecnologias nesses motores chega-se a um aumento do rendimento térmico e a temperatura de trabalho, com isso um sistema de arrefecimento é inventado como o objetivo de retirar calor do motor para que não haja superaquecimento e deterioração dos componentes do motor. Os motores EA111 do estudo em questão são do ciclo Otto, tem 104 cavalos de potência e estão presente nos modelos Gol, Voyage, Saveiro da linha Volkswagen. Considerando o grande número de falhas no sistema de arrefecimento dos motores EA 111, o trabalho vigente busca descrever as principais falhas no sistema de arrefecimento em uma oficina da zona da mata mineira. Todos os dados apresentados foram coletados de uma tabela de gerenciamento e controle da própria oficina, para a detecção de falhas foram usados equipamentos específicos como: manômetro, estetoscópio mecânico, soprador térmico, termômetro infravermelho, e escâner automotivo. De acordo com os dados analisados, o carro com mais problema foi o modelo gol e o componente com mais problema foi o cavalete d'água.

PALAVRAS-CHAVE: Motor a combustão interna, sistema de arrefecimento, motores EA111, falhas, manutenção.

INTRODUÇÃO

O motor à combustão interna é uma máquina capaz de transformar energia térmica em energia mecânica, cuja finalidade é produzir trabalho pela força de expansão resultante da queima da mistura de ar com combustível, no interior de cilindros fechados, que podem ser constituídos por um ou mais cilindros. Segundo pesquisas, o primeiro motor à combustão interna utilizava gases ao invés de gasolina e foi desenvolvido pelo engenheiro Belga Jean Joseph no ano de 1858, como uma forma de substituir os motores a vapor o motor ciclo Otto foi inventado (OLIVEIRA; ROSA, 2003).

Foi batizado por ciclo Otto por seu inventor, o engenheiro Nikolaus August Otto. Trazia consigo um motor à gasolina que funcionava em quatro tempos (admissão compressão, explosão e exaustão), e um peso relativamente menor comparado ao seu antecessor. Além do baixo peso, apresentava também um consumo menor de combustível e um ótimo aproveitamento térmico comparado ao motor a vapor (SALOMÃO *et al.*, 2018).

Com todas essas vantagens, sendo mais leve e compacto e oferecendo maior versatilidade comparado ao motor a vapor, o motor ciclo Otto logo se consagrou como uma força motriz que se estenderia em diferentes aplicações, para servir a sua força de trabalho ao homem até a atualidade. Sendo o seu princípio de funcionamento empregado em automóveis, embarcações, caminhões e ônibus, máquinas rurais, com motores a combustão interna (SALOMÃO *et al.*, 2018).

Os avanços no projeto e na manufatura dos motores à combustão interna tem aumentado gradualmente sua eficiência térmica e a temperatura de combustão nos cilindros. Tal fato exige uma maior atenção para o sistema de arrefecimento do motor (MELLO, 2008).

Nos motores EA111 — presentes em automóveis como: Gol, Voyage, Saveiro —, por se tratarem de máquinas térmicas e trabalharem em temperaturas elevadas, existe a dissipação de calor devido ao trabalho de componentes internos da câmara de combustão. Com isso necessita de um sistema de arrefecimento para que a temperatura de trabalho se mantenha em torno de 85-95°C (VARELLA, 2014).

Ao entrar em funcionamento, o motor começa a aquecer até atingir a faixa ideal de trabalho e temperatura, o que ocorre com certa rapidez. O fluido de arrefecimento circula somente dentro das galerias do motor, quando o motor alcança a faixa entre 85 e 95°C, a válvula termostática se abre e o fluido passa a circular não somente no motor, mas também no radiador. É no radiador que ocorre a troca de calor com o meio ambiente e o fluido arrefecedor tem sua temperatura reduzida, conseqüentemente, reduzindo a temperatura do motor (PORTO, 2017).

Ter conhecimento do sistema de arrefecimento é fundamental para os condutores, pois se, a cada pequeno sinal de anormalidade for identificado o problema, reduzirá o risco de acontecer algo de maiores proporções, evitando, assim, acidentes e o custo maior em manutenção corretiva. Existem alguns componentes que podem ser analisados visualmente, um caso de vazamento por

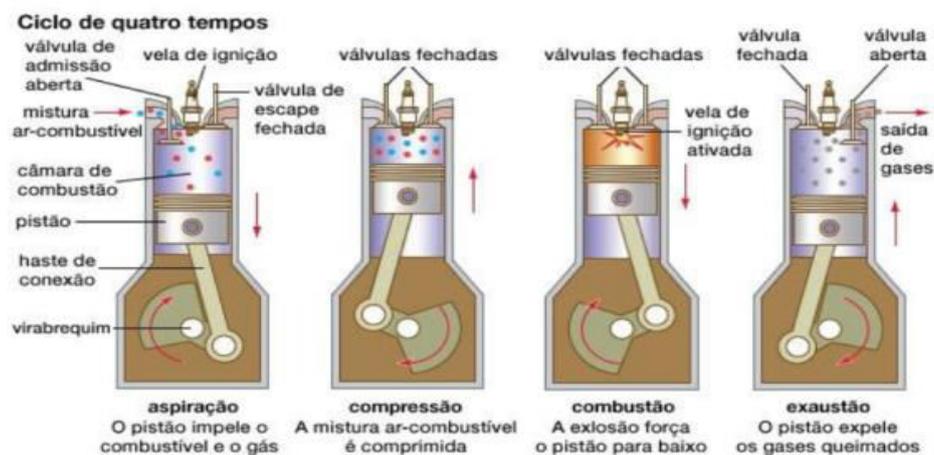
exemplo. Sendo assim, nas autoescolas, já se tem os estudos sobre o sistema de arrefecimento (TEXAGO, 2021).

A manutenção da temperatura em um ponto ideal é um dos grandes desafios para a indústria automotiva, tendo em vista várias falhas nesse sistema. Assim, este trabalho tem como objetivo descrever as principais falhas do sistema de arrefecimento dos motores EA111 em uma oficina da Zona da Mata Mineira no ano de 2023.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

MOTORES COMBUSTÃO INTERNA

O motor de combustão interna é um mecanismo que transforma energia térmica em trabalho mecânico útil. A energia térmica é obtida por meio da combustão de uma mistura de combustível (gasolina) e comburente (ar) comprimida e mantida sob pressão dentro do motor no momento de sua combustão e expansão (Padilha, R. S. (2007).



Fun
cion
ame
nto
O
s
moto
res
do
ciclo

Otto de quatro tempos apresentam o ciclo em quatro cursos, o que implica em duas voltas (720°) no virabrequim ou árvore de manivelas. (VARELLA, 2014) (FIGURA 1).

Figura 1: Descrição dos quatro tempos dos motores do ciclo Otto.

Fonte: Disponível em: <https://educacaoautomotiva.com/2017/07/06/motor-4-temposcomo-funciona/>

Primeiro curso: admissão. O pistão se desloca do PMS para o PMI. Nesse curso ocorre a admissão no cilindro da mistura ar-combustível. Durante a admissão

a válvula de admissão está aberta e a válvula de descarga está fechada (FIGURA 1).

Segundo curso: compressão. O pistão se desloca do PMI para o PMS. Nesse curso, ocorre a compressão, isto é, a redução do volume de admissão para volume da câmara de combustão. Durante a compressão, as válvulas de admissão e descarga estão fechadas.

Terceiro curso: expansão. O pistão se desloca do PMS para o PMI. Nesse curso ocorre a expansão, isto é, ocorre a combustão e a força produzida desloca o pistão realizando trabalho. Durante a expansão, as válvulas de admissão e descarga estão fechadas.

Quarto curso: descarga. O pistão se desloca do PMI para o PMS. Nesse curso, ocorre a descarga, isto é, são eliminados os resíduos da combustão.

SISTEMA DE ARREFECIMENTO

O Sistema de arrefecimento tem por objetivo impedir que os elementos mecânicos do motor atinjam uma temperatura muito elevada ao contato com os gases da combustão, ou seja, controlar a temperatura ideal dentro da faixa de operação do motor (TILLMANN, 2013)

A água mais os aditivos formam o fluido de arrefecimento que é utilizado para a condução de calor entre o motor e o ar atmosférico. O simples contato do líquido de arrefecimento com o cabeçote e os cilindros já permite que ocorra uma excelente refrigeração (TILLMANN, 2013).

Funcionamento

Seu funcionamento tem início na ignição do motor, em que o líquido de arrefecimento circula apenas por uma parte do circuito. Quando chega na temperatura ideal de trabalho, a válvula termostática se abre entre 85°C a 95°C e o fluido de arrefecimento circula por todo o sistema sob pressão. O fluido é bombeado através das camisas do motor, passando por uma mangueira até o radiador. O radiador, com o auxílio do ventilador e a corrente de ar externa, resfria o líquido de arrefecimento (MTE-THOMSON, 2014).

Componentes

O bloco do motor é o componente central do motor, pois todas as partes estão interligadas a ele, sendo constituído por cilindros fixos ou móveis, galerias de água e óleo, podendo ser fabricado de ligas de ferro fundido e alumínio (FARIA, 2022).

A bomba D'água está posicionada, na maioria dos veículos, junto ao bloco do motor, sendo acionada pela correia da árvore de manivelas. Sua função é criar pressão para impulsionar o líquido de arrefecimento para que circule por todas as galerias do motor e do radiador (MTE-THOMSON, 2014).

O radiador automotivo é um trocador de calor, cuja função é transferir calor do líquido arrefecedor do motor para o meio ambiente. Para tal, é projetado para conter uma parcela do líquido arrefecedor do sistema, oferecendo uma grande área superficial para a troca de calor e, simultaneamente, apresentando somente uma relativamente pequena área frontal, de modo a prejudicar ao mínimo possível a aerodinâmica do veículo. Normalmente, é posicionado à frente do motor, de modo a receber o fluxo de ar movimentado pelo ventilador ou ventoinha do motor (PORTO, 2017).

A válvula termostática é um dispositivo automático. Esse sistema de arrefecimento fica acoplada no cavalete d'água, tem a função de normalizar rapidamente a temperatura do motor e permitir a sua estabilização ideal durante todo o tempo de funcionamento, independentemente da carga do motor ou de fatores externos. Quando a água do arrefecimento está fria, a válvula termostática impede sua circulação pela colmeia do radiador, permitindo somente sua circulação pelo interior do bloco e cabeçote do motor (TILLMANN, 2013)

O ventilador instalado entre o motor e o radiador tem como principal objetivo forçar o maior fluxo de ar possível, proveniente do lado externo do veículo, a passar pelo radiador e auxilia na troca de calor da água que circula por ele. É acoplado ao motor, normalmente, por eixos e pode ser utilizado em conjunto com um defletor para auxiliar no escoamento do ar (OLIVEIRA, 2020)

O reservatório de expansão é um componente que tem a propriedade de liberar o ar que está presente na tubulação de arrefecimento, a fim de evitar danos à bomba. Além disso, ele ainda permite a variação de pressão dentro do sistema. O volume de ar do tanque de expansão deve ser grande o suficiente para absorver a expansão térmica do líquido de arrefecimento, durante o acúmulo rápido de pressão

e evitar a ebulição do líquido de arrefecimento quando o motor quente é desligado (BOSCH, 2005).

As mangueiras e o cavalete d'água são responsáveis pelo transporte do líquido arrefecedor no sistema, fazendo a integração entre os componentes. Por estarem em contato direto com o fluído, devem ser monitoradas quanto a ressecamentos, que posteriormente pode causar vazamentos e perda de fluído, gerando, assim, superaquecimento do sistema (FARIA, 2022).

A Figura 2 mostra os componentes do sistema de arrefecimento conforme o seu ciclo de funcionamento.

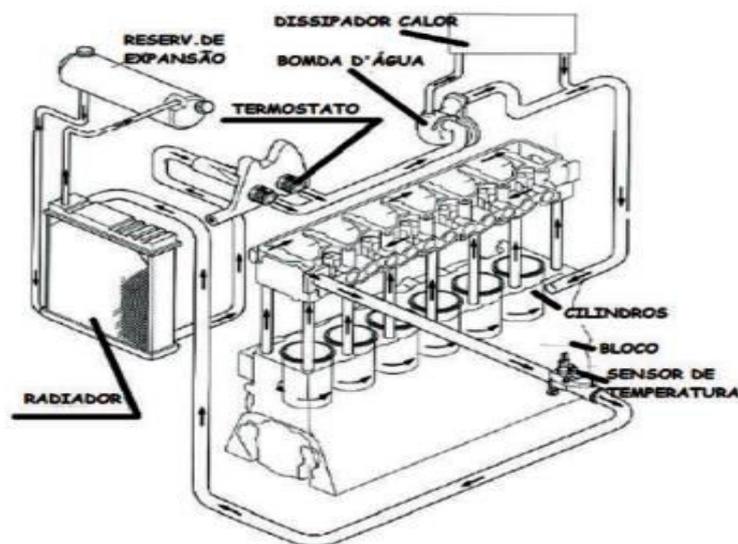


Figura 2: Imagem ilustrativa dos componentes do sistema de arrefecimento
Fonte: MWM International, 2009

MANUTENÇÃO

O significado de manutenção pode ser definido como a “combinação de todas as ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou recolocar um item em um estado no qual ele possa desempenhar uma função requerida” (ABNT, 1994, p.6).

Dentro da manutenção temos 3 tipos:

- Manutenção corretiva
- Manutenção preventiva
- Manutenção preditiva

Manutenção Corretiva

A manutenção corretiva é aquela “efetuada após a ocorrência de uma pane e destinada a recolocar um item em condições de executar uma função requerida.” (ABNT, 1994, p.7). Borges(2016); Gomes(2016) .

Manutenção preventiva

A manutenção preventiva é aquela “efetuada em intervalos predeterminados, ou de acordo com critérios prescritos, destinada a reduzir a probabilidade de falha ou a degradação do funcionamento de um item.” (ABNT, 1994, p.7). É “todo serviço de manutenção realizado em máquinas que não estejam em falha, mas que estão em condições operacionais” (VIANA, 2002, p.11). É a “atuação realizada de forma a reduzir ou evitar a falha ou queda no desempenho, obedecendo a um plano previamente elaborado, baseado em intervalos definidos de tempo” (PINTO; XAVIER, 2009, p. 42).

Manutenção preditiva

A manutenção preditiva é classificada como a técnica que permite descobrir os intervalos em que a máquina ou veículo precisam de manutenção. O objetivo deste tipo de manutenção é descobrir o exato momento em que se deve fazer a manutenção para o melhor desempenho e aumento da vida útil do equipamento (OLIVEIRA, 2020).

Falhas

A falha pode ser definida como o “término da capacidade de um item de desempenhar a sua função”. A falha de componentes automobilísticos é uma ocorrência que afeta a vida de quase todas as pessoas de uma forma direta ou indireta. Os componentes mecânicos de um veículo por norma operam em condições bastante exigentes e, na maior parte dos casos, são projetados de forma a durarem o tempo de vida útil do veículo. Muitas vezes, o fracasso de um componente essencial para o funcionamento do veículo resulta da falta de preocupação e consciência por parte do utilizador (MATEUS, 2018).

METODOLOGIA

O presente trabalho trata-se de uma pesquisa de levantamento de dados de caráter quantitativo. Essa metodologia tem como objetivo gerar informações utilizando métodos estatísticos e objetivando resultados de maneira a evitar distorções de estudo e avaliação das falhas evidenciadas por dados previamente coletados, possibilitando maior margem de segurança e entendimento das variadas naturezas das falhas do sistema (DALFOVO, LANA, SILVEIRA. 2013).

A pesquisa foi realizada em uma oficina mecânica de pequeno porte localizada na Zona da Mata Mineira, cidade que possui 3.861 habitantes segundo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (IBGE, 2021).

Os dados utilizados foram referentes às falhas do sistema de arrefecimento de motores EA111 1.0 e 1.6 litros equipados ou não de ar-condicionado para os modelos Volkswagen Gol, Voyage e Saveiro a partir do ano de 2009, tendo em vista a observação de grande recorrência de falhas deste sistema. Os dados foram coletados a partir de planilhas de controle de serviço utilizadas pela oficina no ano de 2022.

Na referida oficina, os testes de componentes do sistema de arrefecimento são compostos por: inspeção visual de vazamentos do líquido arrefecedor ao longo de todos os componentes, com o auxílio de um manômetro que controla a pressurização do sistema; detecção de ruídos advindos da bomba d'água a partir de estetoscópio mecânico; teste de abertura da válvula termostática na graduação correta, realizado no sistema ou em bancada, de acordo com a especificidade de cada caso, utilizando termômetro infravermelho e soprador térmico; acompanhamento da temperatura do líquido arrefecedor e do acionamento do eletroventilador bem como do funcionamento de relés de acionamento e resistência para velocidade 1 e 2, para veículos equipados com ar condicionado, através de um escâner automotivo Kaptor® V2s que fornece informações em tempo real.

Foram avaliados e descritos os problemas detectados nos testes dos sistemas de arrefecimento dos motores EA111 1.0 e 1.6 litros dos veículos que fazem parte do contexto deste estudo.

Os dados obtidos foram organizados utilizando o *Microsoft Office Excel* e serão apresentados por estatística descritiva.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com os dados analisados, entre os meses de janeiro e dezembro do ano de 2022, conforme a Tabela 1, houve 23 carros com problema de arrefecimento, sendo o modelo mais frequente o Gol com 73,90% dos casos.

Tabela 1: Veículos Volkswagen com motores EA111 1.0 e 1.6 litros equipados ou não de ar-condicionado que apresentaram problema no sistema de arrefecimento no ano de 2022.

Veículo	N	%
Gol	17	73,90
Saveiro	3	13,05
Voyage	3	13,05
Total	23	100

Fonte: Dados da pesquisa

Em relação às falhas, alguns carros apresentaram problemas em mais de um componente do sistema de arrefecimento, totalizando 31 componentes defeituosos (FIGURA 3).

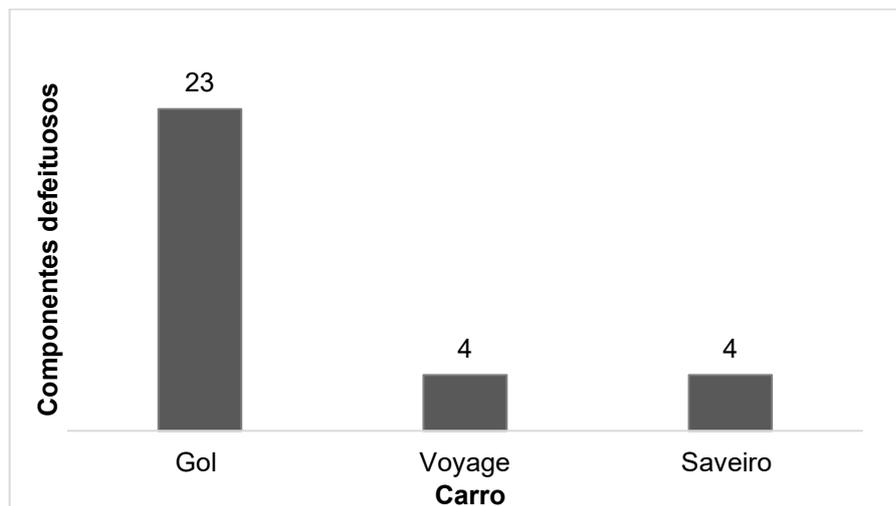


Figura 3: Número de componentes defeituosos/ número de carros com problema.

Fonte: Dados da pesquisa

Ainda em relação aos componentes que apresentaram problemas, o principal componente defeituoso foi o cavalete d'água (n=12) e o veículo Gol foi o que manifestou mais problemas relacionados a este componente (n= 8) (TABELA 2).

Tabela 2: Número de componentes defeituosos em cada carro com a porcentagem de defeitos.

	Bomba d'água		Cavalete d'água		Válvula termostática		Reservatório d'água		Radiador		Mangueira d'água	
	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
Gol	3	60	8	66,66	7	85,5	2	100	1	100	2	100
Saveiro	2	40	1	8,34	1	12,5	0	0	0	0	0	0
Voyage	0	0	3	25	1	12,5	0	0	0	0	0	0
Total	5	100	12	100	9	100	2	100	1	100	2	100

Fonte: Dados da pesquisa

A Figura 4 mostra a porcentagem de cada componente em relação ao total de falhas encontradas nos componentes defeituosos (31).

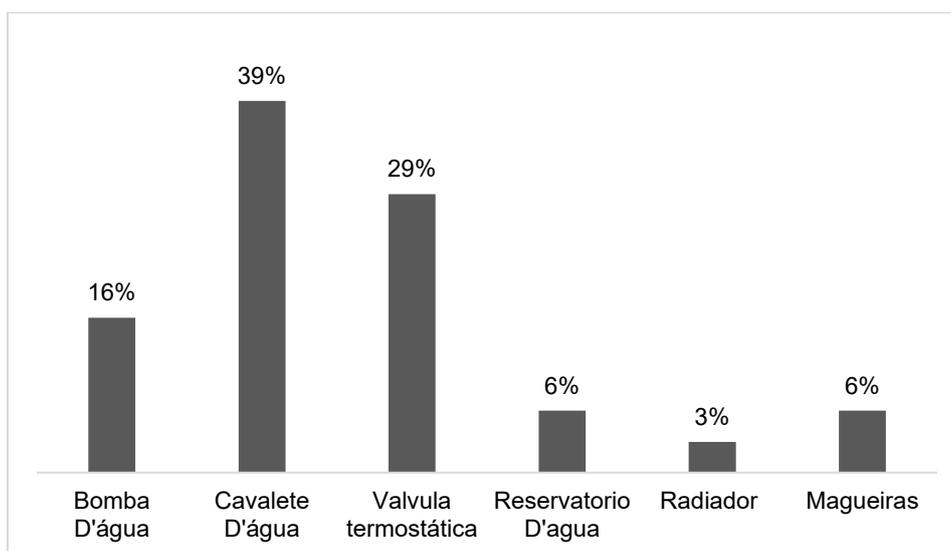


Figura 4: Porcentagem dos componentes / número de falhas

Fonte: Dados da pesquisa

Pesquisas nos ajudam a compreender por que o veículo gol segue como principal carro com falhas no sistema de arrefecimento. Por ser um veículo de entrada e com uma tradição respeitada, o número de vendas do modelo gol chegou a 293.293 unidades comercializadas em 2012 (MIOTTO,2013).

O número supera os de seus concorrentes em análise (Voyage e Saveiro) que usam a mesma plataforma, mas com carrocerias diferentes para que sejam atendidas necessidades diferentes na gama de produtos (MACHADO, 2019).

Portanto, com maior número de carros modelo gol rodando, maior será o número de falhas no modelo tendo em vista que o sistema de arrefecimento é igual para os modelos citados acima.

De a cordo com a Tabela 2, observaram-se 5 falhas na bomba d'água que se deram pelo rompimento ou perda de eficiência de vedação do selo mecânico. O mecanismo de funcionamento de um selo mecânico é uma interação complexa entre o atrito sólido e as forças hidrodinâmicas que se envolvem enquanto o selo está em funcionamento (TORRES, 2019).

Dentre as principais causas de falhas em selos mecânicos de bombas d'água em sistemas de arrefecimento, podemos destacar: contaminação do fluido de arrefecimento podendo erodir ou travar o selo; ataque químico como corrosão das partes metálicas e inchamento dos elastômeros; danos mecânicos como desgaste

das faces, rompimento de anéis *o-ring*, fraturas de faces etc. O rompimento de um selo mecânico faz com que o fluido de arrefecimento derrame sobre o rolamento da bomba fazendo com que ele perca eficiência na sua lubrificação causando a falha do componente (TORRES, 2019).

As falhas em cavaletes de distribuição de água foram as falhas com maior número de detecção, contando com 12 casos, entre empenamento ou rompimento da sua estrutura composta basicamente por plástico do tipo PUR (plástico com propriedades que em alguns aspectos podem ser associadas à borracha) que levaram à perda parcial ou total do fluido arrefecedor. A falta de fluido arrefecedor implica em grandes perdas relacionadas à vida útil do motor (SAGA, 2018).

Com a perda do fluido arrefecedor, há a possibilidade de empenamento do cabeçote do motor, podendo provocar o rompimento da junta de cabeçote e a perda de compressão pelos cilindros do motor que leva à parada do seu funcionamento. Pode-se, também, destacar a perda de eficiência do óleo lubrificante devido ao aumento da temperatura, quando o lubrificante altera sua viscosidade podendo até se degradar caso o aumento da temperatura ultrapasse os 229°C para óleo puro sem adição de aditivos. A perda de lubrificação leva o motor a fundir partes móveis devido ao atrito podendo, até mesmo, travar, causando grande prejuízo (SILVA, DANIEL, FREITAS, SOUSA, 2016).

Falhas causadas por válvula termostática estão ligadas à não abertura da válvula. Quando isso ocorre, o fluido fica impossibilitado de circular no radiador do veículo e não faz a troca de calor com o ambiente; a temperatura do fluido sobe sem controle e ocorre o aumento da pressão do sistema comprometendo demais componentes como selo mecânico da bomba d'água, mangueiras, cavalete de distribuição e, até mesmo, selos de vedação das galerias do motor (CHIPTRONIC, 2021).

No reservatório de expansão, foi possível observar apenas 2 falhas. Este tem por função armazenar o fluido de arrefecimento, controlar a expansão do fluido devido ao aumento da temperatura e controlar a pressão do sistema por meio de uma válvula de alívio presente na tampa do reservatório que na maioria dos casos atua quando o sistema atinge pressão igual ou superior a 1,4 bar. A falha mais comum tem origem no rompimento da estrutura do reservatório que implica na perda

do fluido e na ebulição do mesmo, causando o aumento da temperatura (AGUIAR, 2022).

Para radiadores, foi observada apenas 1 falha. As falhas mais comumente encontradas em radiadores são o rompimento de dutos internos provocando a perda de líquido arrefecedor e, conseqüentemente, o aumento da temperatura do sistema e o empenamento das aletas do radiador. Essas, por sua vez, são feitas de alumínio e visam a aumentar a troca de calor do radiador com o ambiente, de modo a aumentar a superfície de contato entre o radiador e o ar (AROUCHA, PEREIRA, NOGUEIRA, 2020).

Falhas em mangueiras de arrefecimento podem estar ligadas a agentes físicos que podem atritar com a mangueira até a sua ruptura e, conseqüentemente, a perda de fluido ou a agentes químicos que alteram suas propriedades e a levam ao mesmo fim. Os agentes químicos aos quais as mangueiras de arrefecimento estão mais expostas são, normalmente, a água e líquido refrigerante à base de etileno glicol, presentes no sistema de arrefecimento, e ao óleo proveniente de um possível vazamento do veículo. O etileno glicol pode aumentar a dureza e resistência da borracha das mangueiras e a água tem efeito plastificante que pode reduzir a dureza e resistência da borracha. Todavia, ambos em níveis tão baixos que podem ser desconsiderados. Já o óleo possui efeito plastificante na borracha, provavelmente pela absorção de óleo pelos compostos diminuindo, consideravelmente, a dureza e a resistência da borracha das mangueiras, comprometendo o desempenho do componente devido à pressão presente no sistema (PEREIRA, 2015).

Diante dos dados e da descrição das falhas apresentadas, fica evidente que as falhas ocorreram por falta de uma manutenção preventiva, visto que todas essas falhas poderiam ser evitadas por meio de um acompanhamento do sistema de arrefecimento. As falhas ocorridas e analisadas na oficina demonstram a complexibilidade da manutenção preventiva nesse tipo de sistema de arrefecimento, pois esse sistema é de grande importância no funcionamento do motor.

CONCLUSÃO

Em conclusão, este trabalho explorou, detalhadamente, as falhas do sistema de arrefecimento dos motores EA111 e sua importância em diversos contextos nos

automóveis. Buscou, ainda, ajudar as pessoas que estão nessa área, seja proprietário do veículo ou mecânico de manutenção de veículos, para que fiquem cientes dos principais componentes que resultam em problemas no sistema de arrefecimento, visando a uma melhor atenção nesses componentes.

Este trabalho contribuiu para a compreensão mais aprofundada do sistema de arrefecimento dos motores EA111 e ressaltou a necessidade de inovação contínua em busca de soluções mais eficientes e sustentáveis. Espera-se que as informações apresentadas aqui possam ser úteis para profissionais da área e pesquisadores interessados em aprimorar sistemas de arrefecimento no futuro.

REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5462:** Confiabilidade e manutenibilidade. Rio de Janeiro: ABNT, 1994.

AGUIAR, Nicolas Matheus de Souza. **Manutenção mecânica: por que, como e quando intervir?** 2022. 22 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Agrícola e Ambiental) – Departamento de Tecnologia Rural, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2022.

BORGES, J.R.; GOMES, M.C. **Manutenção preditiva em motores de combustão interna por análise do óleo lubrificante.** Disponível em: <http://bd.centro.iff.edu.br/xmlui/handle/123456789/1189> Acesso:15/06/2023

BOSCH, R., **Manual de Tecnologia Automotiva;** Tradução Helga Madjderey, Günter W.Prokesch, Euryale de Jesus Zerbini, Suely Pfeferman – São Paulo: Edgard Blücher, 2005.

CHIPTRONIC, **Sensor de temperatura do motor: saiba como fazer a manutenção.**2021. Disponível em : <https://chiptronic.com.br/blog/sensor-de-temperatura-do-motor-saiba-como-fazer-a-manutencao> . Acesso em : 25/10/2023.

DALFOVO, Michael Samir; LANA, Rogério Adilson; SILVEIRA, Amélia. Métodos quantitativos e qualitativos: um resgate teórico. **Revista Interdisciplinar Científica Aplicada**, Blumenau, v.2, n.4, p.01-13, 2008.

do Carmo Aroucha, André Luís, Fernando Lamim Pereira, Élcio Nogueira. "Análise teórica versus experimental de um trocador de calor compacto do tipo tubo chato aletado (radiador automotivo)." *Cadernos UniFOA* volume 15 página 44 (2020).

FARIA, Liniker Pereira de. **Sistema de Arrefecimento Motor Ciclo Otto: comparativo entre dois sistemas.** Orientador: Prof. Dr. Luiz Carlos Vieira Guedes,2022. 28 (f.). Categoria: (TCC), (Engenharia mecânica) – Centro Universitário do Sul de Minas. Varginha – MG, 2022.

Miotto Rafael, **Brasil fecha 2012 com novo recorde de vendas de veículos, diz Fenabreve**. 2013. Disponível em: <https://g1.globo.com/carros/noticia/2013/01/brasil-fecha-2012-com-novo-recorde-de-vendas-aponta-fenabreve.html#:~:text=Autom%C3%B3veis%20e%20comerciais%20leves&text=Em%202012%2C%20o%20total%20chegou,%25%20a%204%2C8%25>. Acesso em : 25/10/2023.

JOÃO, MATHEUS **Análise do modo de falha de um motor diesel 1.9 TDI**. Orientador: Doutor Vítor Manuel Rodrigues Anes Doutor Ivan Rodolfo Pereira Garcia de Galvão, 2018. Número de folhas (103.). Categoria: Tese, engenharia – Instituto superior de engenharia de Lisboa. Lisboa, 2018.

MACHADO, João Paulo. **Uma análise da estratégia competitiva do grupo Volkswagen no segmento de carros populares para o Brasil nos anos 2000**. 2019. Orientadora: Profa. Dra. Michele Polline Veríssimo, 2019. 42(f.). Categoria: (TCC), Instituto de economia e relações internacionais) - Universidade federal de Uberlândia. Uberlândia – MG, 2019.

MELO, Weber Bizarrias de. **Efeitos da pressão do sistema de arrefecimento e da concentração de etilenoglicol sobre as características de cavitação de uma bomba d'água automotiva**. 2008. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. MTE-THOMSON TEMPERATURA. **Sistema de arrefecimento**. MTE-THOMSON BRASIL; São Bernardo do Campo – SP, 2014.

OLIVEIRA, Carlos Alexandre de; ROSA, Andrea da. **Motores de combustão interna – álcool e gasolina**. Santa Maria, CEP SENAI Roberto Barbosa Ribas, 2003. 116 p. il. (Mecânica de Automóveis).

OLIVEIRA, Matheus Nepomuceno; CINTRA, Nathália Cedro; GOMES, Fábio Souza. Comparativo Automobilístico: Manutenção Preventiva e Corretiva. **Anais do Simpósio Nacional de Ciências e Engenharias (SINACEN)**, v. 5, n. 1, p. 1-10, 2020.

PADILHA, R. S. Desenvolvimento de um sistema de gerenciamento eletrônico e de um ambiente de aferição para motores mono cilíndricos de pequeno porte. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

PEREIRA, Cícera Soares. Desenvolvimento de composto de borracha EPDM utilizando cargas alternativas obtidas da regeneração de borrachas vulcanizadas para fabricação de mangueiras de arrefecimento. 2015. 71 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) - Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2015.

PINTO, Alan Kardec; XAVIER, Júlio de Aquino Nascif. **Manutenção: Função Estratégica**. 3. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2009.

PORTO, Fernando. **Sistema de arrefecimento**. 2017. Disponível em <https://fernandoportoprofessorengenheiro.files.wordpress.com/2017/03/mci-08-sistema-arrefecimento.pdf>. Acesso em: 28 mar. de 2023.

SAGA INSTITUCIONAL, **Água no radiador não deixe o motor com sede**. 2018. Disponível em : <https://www.gruposaga.com.br/blog/agua-no-radiador-nao-deixe-o-motor-com-sede.html> . Acesso em : 25/10/2023

SALOMÃO, Teluan Ribeiro *et al.* A Evolução do motor a combustão ciclo Otto. **Revista Pesquisa e Ação**,[s.l.], v. 4, n. 1, p. 106-113, 2018.

SANTOS, Danilo Conceição Dos. **GESTÃO DA MANUTENÇÃO, Aplicações na manutenção automotiva**. Orientador: Jorge Manuel Dinis, Adson De Santana Gomes Alagoinhas, 2021. Número de folhas (44f.). Categoria: Trabalho De Conclusão De Curso, Engenharia – Centro Universitário Alagoinhas. Alagoinhas, 2021.

SILVA, Maria Elisa Scarpelli Ribeiro e; DANIEL, Alessandra Chagas; FREITAS, Roberto Fernando de Souza; SOUSA, Ricardo Geraldo de; "Síntese, caracterização e estudo reológico de melhoradores do índice de viscosidade para óleos lubrificantes automotivos", p. 290-301 . In: **Anais do XXIV Simpósio Internacional de Engenharia Automotiva - SIMEA 2016 [Blucher Engineering Proceedings]**. São Paulo: Blucher, 2016. ISSN 2357-7592, DOI 10.5151/engpro-simea2016-PAP40.

TECFIL, **Sistema de arrefecimento, entenda seu funcionamento no veículo**. 2023. Disponível em: <https://www.tecfil.com.br/sistema-de-arrefecimento-entenda-seu-funcionamento-no-veiculo/> . Acesso em 28 de março de 2023.

TILLMANN, Carlos Antônio da Costa. **Motores a Combustão Interna e seus Sistemas**. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia disponível em: https://conaege.com.br/wp-content/uploads/2018/05/motores_combustao_interna_e_seus_sistemas-2013.pdf acesso em 07/06/2023

TORRES, Romulo Eloi Pereira. **Análise de quebras prematuras de selos mecânicos aplicados em bombas centrífugas em fábricas de celulose**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização Engenharia da Confiabilidade) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2019.

VARELLA, Carlos Alberto Alves. **Princípios de funcionamento dos motores de combustão interna**. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: mailto:http://www.ufrrj.br/institutos/it/deng/varella/Downloads/IT154_motores_e_tratores/apresenta/principios%20de%20funcionamento%20dos%20motores.pdf Acesso em: 29/06/2023

VIANA, Herbert Ricardo Garcia. **PCM: Programação e Controle da Manutenção**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002.

FALHAS EM UMA BOMBA DE DESLOCAMENTO POSITIVO UTILIZADA EM UMA EMPRESA DE MINERAÇÃO DA ZONA DA MATA MINEIRA EM 2021

ACADÊMICOS: Jobert Cavalcante do Carmo e Milena Biajoli Eller.

ORIENTADOR: Michel Pedrosa Machado.

LINHA DE PESQUISA: Linha de pesquisa 2: Fabricação e Projeto Mecânico.

RESUMO

As empresas de mineração desempenham um papel estratégico na economia global, sendo responsáveis pela extração, processamento e o transporte de minerais e recursos naturais da Terra. A unidade industrial estudada é uma estação de bombas de uma empresa de mineração, cuja função é receber a polpa mineral e bombeá-la novamente para que consiga vencer as montanhas existentes na região e chegue à região portuária de destino. Considerando que as bombas de deslocamento positivo de diafragma são o elemento mais importante dos equipamentos presentes na estação de bombas, o presente estudo faz o levantamento das falhas registradas pelo setor de manutenção desta empresa de mineração, localizada na Zona da Mata Mineira, registradas durante as paradas de uma bomba no ano de 2021. Foi utilizado o programa SAP para coletar dados, como o número de intervenções, tempo médio de parada, tipo de intervenção e motivo. As falhas registradas foram agrupadas, permitindo observar o número de interrupções provocadas por cada uma. Além disso, essas falhas foram descritas de maneira a se destacar, no dispositivo danificado, a falha ocorrida e as possíveis causas dessas falhas. O estudo permitiu concluir que a falha que apresentou o maior número de registros era a que ocorria no estojo, sendo responsável por mais de 50 paradas ao longo do ano de 2021.

INTRODUÇÃO

As empresas de mineração atuam em uma área de negócios que envolve a extração, processamento e transporte de minerais e recursos naturais da Terra. Esse setor desempenha um papel fundamental na economia global, fornecendo matérias-primas essenciais para uma ampla variedade de indústrias, desde a construção civil até a produção de eletrônicos e produtos de consumo (GERMANI, 2002).

Uma estação de bombeamento em uma empresa de mineração desempenha um papel crucial no transporte eficiente de minério ou polpa mineral de um local para outro, especialmente quando se lida com terrenos inclinados, longas distâncias ou diferentes níveis de elevação. A principal função de uma estação de bombas é movimentar o minério através de tubulações ou canais, superando as limitações de gravidade ou obstáculos naturais (RIJEZA, 2021).

Várias categorias de equipamentos estão envolvidas em uma estação de bombeamento de minério, tais como: bombas, válvulas, tubulações, tanque de armazenamento, sistemas de controle de automação (SILVA, 2017).

Bombas são dispositivos mecânicos utilizados para transferir líquidos, gases ou substâncias em estado de polpa, líquidos com sólidos ou em suspensão de um local para outro. Elas são projetadas para criar fluxo e pressão suficientes para mover o fluido de um ponto de entrada — conhecido como sucção — para um ponto de saída, descarga, através de tubulações ou canais. Sendo alguns tipos mais comuns as bombas centrífugas, as bombas de deslocamento positivo, as bombas a vácuo, as bombas de fluxo radial e axial e as bombas de pistão (DUPLAÇÃO, 2022). Neste trabalho, será abordado sobre bombas de deslocamento positivo.

Vários são os parâmetros de operação das bombas de deslocamento positivo que influenciam na sua vida útil, tais como temperatura, pressão, vazão e viscosidade do fluido, bem como as principais técnicas de monitoramento desses parâmetros. (KARASSIK, 2011). Assim, a manutenção de bombas de deslocamento positivo é um tema de extrema importância para a indústria, uma vez que estas bombas são amplamente utilizadas em diversos processos industriais, inclusive no transporte de minério ou polpa mineral (SANTOS, 2007).

Trabalhos como este permitem conhecer as falhas mais recorrentes e, assim, elaborar propostas de manutenções preventivas visando a reduzir o número de ocorrências de falhas e, assim, aumentar a disponibilidade e confiabilidade do sistema (UFMG, 2018).

O objetivo deste trabalho é estudar o histórico de falhas das bombas de deslocamento positivo de diafragma existentes na estação de bombeamento de uma empresa de mineração localizada na Zona da Mata Mineira. As falhas registradas, no ano de 2021, foram agrupadas de forma a destacar aquelas com maior ocorrência e descrevê-las individualmente, destacando quais são as causas e os efeitos delas na unidade em questão.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Uma bomba de deslocamento positivo de diafragma — ou somente bomba de diafragma — tem como princípio de funcionamento mover uma quantidade fixa de fluido a cada ciclo de operação. Esses equipamentos utilizam diafragmas flexíveis

para comprimir e expandir o fluido, permitindo o movimento do líquido de um lado para o outro (INSTRUVAL,2023).

As bombas de diafragma têm diversas aplicações, desde a transferência de líquidos viscosos até o bombeamento de produtos químicos corrosivos, devido à sua capacidade de manter o líquido isolado do ambiente, reduzindo o risco de vazamentos ou contaminações. Eles são frequentemente usados em indústrias, como a indústria química, a de petróleo e gás, a de alimentos e bebidas, entre outras (LIMA,2003).

O princípio de funcionamento dessas bombas envolve uma série de ciclos nos quais o diafragma é alternadamente comprimido e liberado, criando uma pressão negativa (Sucção) e positiva (Descarga) que move o fluido através da bomba. Essas bombas são conhecidas pela sua capacidade de bombeamento de líquidos viscosos e com partículas em suspensão, bem como a possibilidade de se trabalhar com uma ampla gama de produtos químicos e materiais (VERDER LIQUIDS, 2023).

É importante notar que as bombas de diafragma podem variar em tamanho e complexidade, dependendo das necessidades da aplicação específica, podendo ser encontrados em tamanhos menores para aplicações domésticas ou em tamanhos maiores para aplicações industriais mais exigentes (GRACO, 2023).

A operação de bombas de deslocamento positivo é essencial em diversas aplicações industriais e comerciais. No entanto, a presença de defeitos nessas máquinas pode acarretar uma série de problemas significativos. É crucial compreender as consequências desses defeitos e a importância da manutenção preventiva para mitigar esses riscos (DICIONARIO DE PETROLEO, 2021).

O conhecimento profundo sobre as falhas recorrentes nas bombas de diafragma permite a realização de diagnósticos precisos. Dessa maneira, consegue-se identificar adequadamente o defeito existente e a execução de ações corretivas e preventivas mais assertivas, visando a garantir a confiabilidade, eficiência e durabilidade desses equipamentos (SOARES, 2021).

Uma bomba de deslocamento positivo pode apresentar vários tipos de defeitos. Dentre os mais comuns estão os vazamentos, desgaste do rotor ou pistão, obstrução por partículas sólidas ou detritos, quebra de válvulas e problemas com os selos. Contudo, cada modelo de bomba pode apresentar características específicas e desafios adicionais (TRACTIAN, 2022).

Com o tempo, os componentes internos da bomba, como o rotor ou pistão, podem sofrer desgaste devido ao atrito e ao movimento constante. Isso pode levar a uma diminuição do desempenho da bomba e, eventualmente, à falha (SILVA, 2019).

Partículas sólidas ou detritos presentes no fluido bombeado podem causar obstruções nas válvulas, no rotor ou em outras partes. Isso pode resultar em bloqueios no fluxo de fluido e diminuição da capacidade de bombeamento (CUNHA, 2013).

As válvulas podem falhar devido a danos ou desgaste excessivo. Isso pode resultar em problemas de fluxo, perda de pressão e redução da eficiência da bomba (IFSUL, 2011).

Uma das principais consequências é a redução do desempenho. Tais falhas podem resultar em uma diminuição na capacidade de bombeamento, levando a uma vazão ou pressão reduzida do fluido transportado. Isso não apenas compromete o funcionamento adequado de sistemas ou processos dependentes do fornecimento adequado de fluidos, como também pode impactar a eficiência operacional como um todo (DUPLAÇÃO,2023).

Outro desafio está associado à ineficiência energética. Para compensar as perdas ou obstruções no sistema, o equipamento precisa trabalhar no máximo de sua capacidade, aumentando a quantidade de energia consumida e podendo resultar em falhas relacionadas ao motor da bomba. Isso, por sua vez, traduz-se em custos operacionais mais elevados, o que pode afetar significativamente a rentabilidade das operações (HELIBOMBAS,2021).

Segundo Viana (2002), os vazamentos são uma terceira consequência problemática. Defeitos, como juntas, vedantes, conexões, no próprio corpo da bomba ou falhas estruturais podem causar vazamentos de fluido. Além de desperdiçar o fluido bombeado, os vazamentos representam ameaças ambientais, riscos de segurança, perda de pressão e redução da eficiência na operação do sistema (VALLAIR, 2021).

Os componentes das bombas também estão sujeitos a danos. Defeitos podem resultar em desgaste prematuro ou danos em peças críticas, como rotores, pistões, válvulas ou selos. Isso pode exigir substituições mais frequentes e aumentar os custos de manutenção ao longo do tempo (FILHO,2015).

Os selos utilizados podem desgastar, ressecar ou danificar-se ao longo do tempo. Isso pode levar a vazamentos, perda de pressão e diminuição do desempenho da bomba (VALLAIR, 2021).

Por fim, defeitos em bombas de deslocamento positivo podem causar paradas não programadas na operação. Essas interrupções podem levar a perdas como interrupções na produção, perda de produtividade, atrasos em processos subsequentes e custos adicionais para a correção dos problemas (BOZOLLO, 2020)

Para mitigar esses riscos, é de extrema importância realizar uma manutenção preventiva adequada. Isso envolve a implementação de inspeções regulares, troca de peças desgastadas, lubrificação adequada e ajustes de operação conforme necessário. Essa abordagem proativa não apenas ajuda a evitar defeitos, mas também assegura um desempenho confiável e eficiente das bombas ao longo de sua vida útil, contribuindo para a eficácia geral das operações (POSSO, 2007).

A manutenção, de uma forma geral, tem como objetivo garantir a confiabilidade e prolongar a vida útil dos equipamentos. Existem quatro principais abordagens para a manutenção de bombas, cada uma com suas próprias estratégias e objetivos específicos (BRANCO, 2008).

A primeira delas é a manutenção corretiva, que entra em ação após a ocorrência de uma falha ou problema na bomba. Nesse caso, o foco está em identificar a causa raiz da falha, realizar reparos ou substituir os componentes danificados e, assim, restaurar a bomba ao seu estado de funcionamento adequado (FLEMING, 1997).

A manutenção preventiva, por outro lado, é uma abordagem programada que busca evitar falhas imprevistas. Isso é alcançado por meio de inspeções regulares da bomba, substituição de componentes desgastados, ajustes e limpeza. O objetivo é minimizar a probabilidade de paradas não planejadas e manter os equipamentos em condições ideais de operação (ALMEIDA, 2019).

A manutenção preditiva é uma técnica mais avançada que se baseia em monitoramento e análise de parâmetros para identificar sinais precoces de falha ou degradação. Isso pode incluir análise de vibração, termografia, análise de óleo e outros métodos. Com base nas informações coletadas, a manutenção é realizada apenas quando necessário, maximizando a disponibilidade da bomba e evitando intervenções desnecessárias (ABRAMAN, 2003).

Por fim, a manutenção proativa representa a abordagem mais abrangente, indo além da manutenção preditiva. Ela busca identificar e corrigir as causas raiz dos problemas antes que ocorram falhas. Isso envolve análises de confiabilidade, revisão de projetos, procedimentos de operação e manutenção, além de garantir o treinamento adequado dos operadores. A manutenção proativa visa a garantir não apenas a operação confiável da bomba, mas também a sua otimização em termos de eficiência e durabilidade (POLEFLEX, 2020)

Sendo assim, a escolha da estratégia de manutenção adequada para bombas depende das necessidades específicas de sua aplicação, com opções que vão desde a resposta a falhas até a busca proativa pela excelência operacional. Cada abordagem desempenha um papel importante na manutenção de equipamentos críticos como as bombas (ABRAMAN, 2013).

Registros de falhas e manutenção desempenham um papel crucial na gestão eficiente de equipamentos, máquinas e sistemas em várias indústrias e setores. Eles ajudam a monitorar o desempenho, identificar problemas, planejar a manutenção preventiva e corretiva, garantir a segurança e a confiabilidade operacional e otimizar os custos (LIMA, 2017).

METODOLOGIA

O presente trabalho trata-se de uma pesquisa documental retrospectiva, para a qual foram coletados dados previamente registrados por uma empresa. Uma pesquisa documental é um método de investigação cujo objetivo principal é analisar e interpretar documentos e materiais existentes, como livros, artigos científicos, relatórios, leis, regulamentos, entre outros, elegendo-os como fontes de informações relevantes para responder a uma pergunta de pesquisa específica. Essa abordagem permite ao pesquisador explorar e coletar dados a partir de registros históricos, documentos oficiais, publicações científicas e qualquer outra forma de material escrito que seja relevante para o tema de estudo (LIMA; OLIVEIRA, 2021).

Esta pesquisa foi realizada a partir de dados obtidos em uma empresa de mineração, localizada na Zona da Mata Mineira. Foram utilizados como fonte de informação os dados do programa universal SAP, que contém as informações referentes às ordens de serviço da empresa.

Na empresa onde o estudo de caso foi realizado, a bomba de deslocamento positivo de diafragma é do tipo GEHO TZPM 2000, fabricada pela empresa Weir,

com capacidade de bombeamento de polpa mineral que varia de 33.75 a 337.5 m³ por hora, requerendo uma potência de acionamento que varia de 150 a 1500 kW.

O fluido transportado é denominado “Lodo”, uma mistura de água e minério de ferro, sendo este com diâmetro máximo de 6 mm. O peso específico do lodo é de 2273 kg/m³ e a concentração nominal de sólido na água é de 66%, podendo atingir um máximo de 70%.

Os dados coletados foram organizados em planilhas do *Microsoft Office Excel*. Nessa análise, as falhas registradas durante o ano de 2021 foram agrupadas e o número de ocorrências foi levantado, permitindo observar as falhas mais recorrentes. Posteriormente, essas falhas foram descritas, apresentando os possíveis causas e consequências.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

As principais anomalias registradas na bomba deste estudo estão explicitadas Figura1.

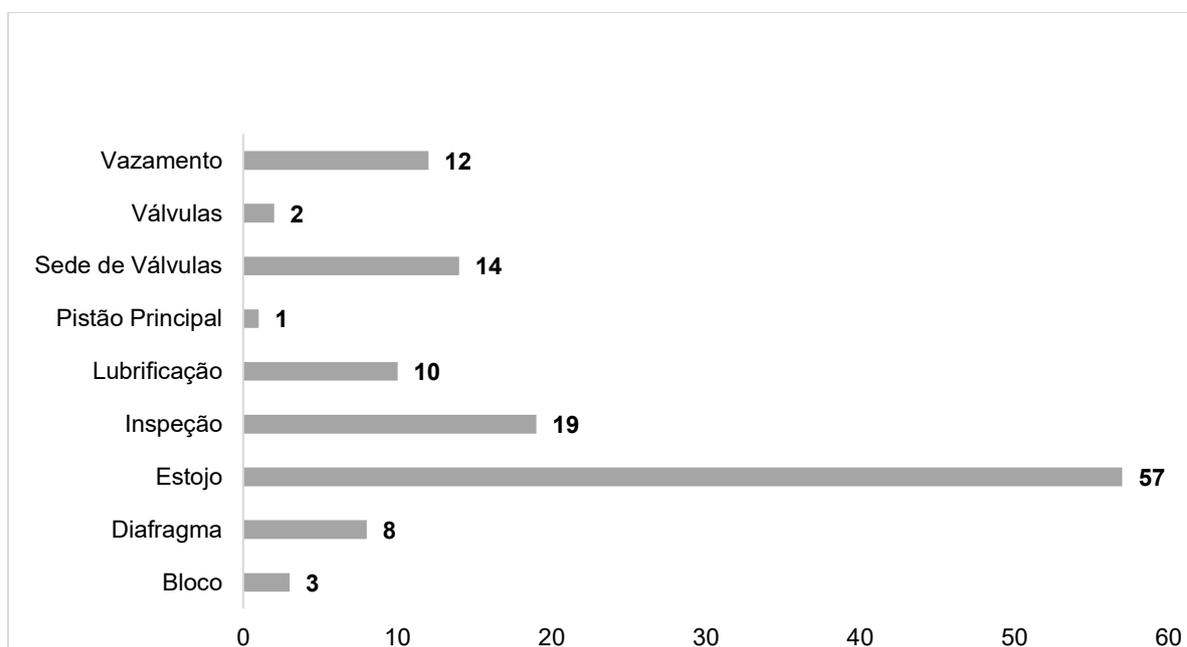


Figura 1: Número de ocorrência de cada falha no ano de 2021.

Fonte: Dados da pesquisa

A primeira falha a ser abordada é a que apresentou maior ocorrência. Como apresentado na imagem anterior, a falha no estojo foi responsável por 57 paradas ao longo de 2021, o que corresponde a 45,24% das interrupções.

Uma falha em um estojo de bomba de deslocamento positivo pode ser um problema sério, pois compromete a eficiência e o funcionamento da bomba. O estojo — também conhecido como carcaça — é a parte externa da bomba que contém os componentes internos, como rotores, diafragmas, pistões ou engrenagens, dependendo do tipo de bomba de deslocamento positivo. Algumas falhas comuns que podem ocorrer no estojo de uma bomba: vazamentos, ruptura do estojo, desgaste do estojo e corrosão (IFSUL, 2011).

As paradas para realização de inspeção são a segunda maior causa de parada do sistema, sendo responsável por 15,08% delas. As inspeções são realizadas visando a identificar a presença de vazamentos significativos ao redor da carcaça da bomba. Durante a inspeção visual e a execução de testes operacionais, foi observado se há formação de manchas de óleo ao redor das juntas da carcaça da bomba e nas proximidades das áreas de vedação (TECHPLUS, 2023).

A terceira maior causa de paradas, aproximadamente 11,11%, são as falhas nas sedes de válvulas, indicada na figura 2. Sendo esta, a superfície na qual o obturador, elemento que promove a obstrução da passagem de fluido, assenta para realizar o fechamento. As principais falhas associadas à sede da válvula incluem:

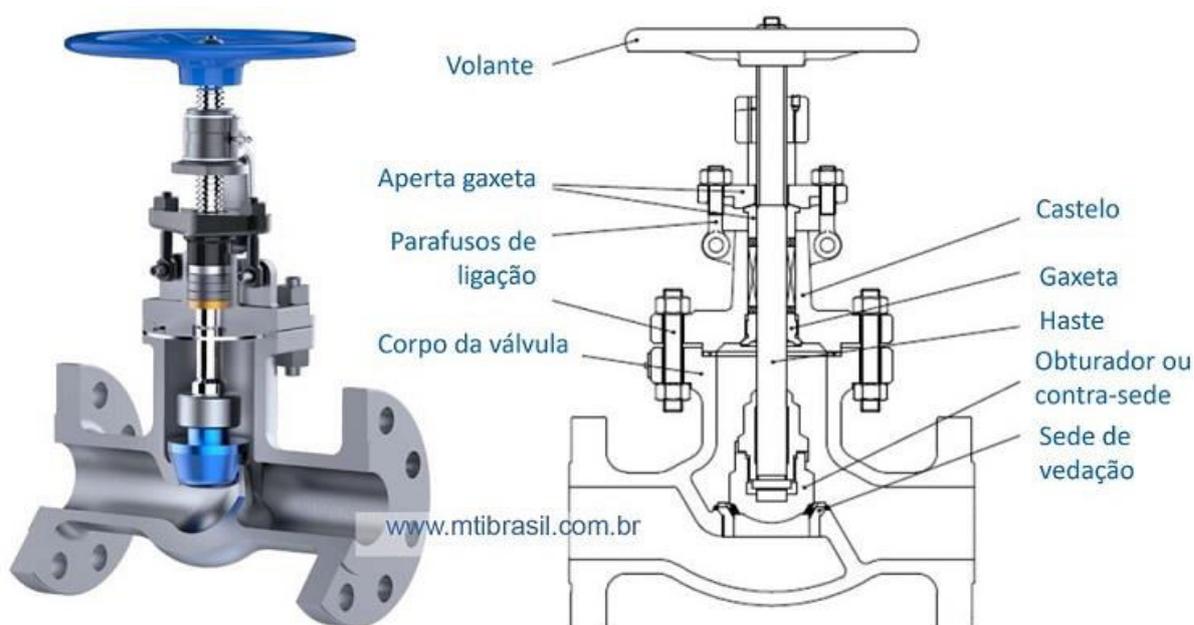


Figura 2: Partes de uma válvula.

Fonte: <https://www.mtibrasil.com.br/artigos/diferenca-valvula-globo-vs-valvula-gaveta.php>

1. Desgaste: Ao longo do tempo, o contato repetido da válvula com a sede pode levar ao desgaste, resultando em folgas que permitem vazamentos indesejados.
2. Danos mecânicos: Impactos, partículas estranhas no fluido ou condições operacionais adversas podem causar danos à sede da válvula, comprometendo sua eficácia.
3. Corrosão: Acúmulo de depósitos ou corrosão pode interferir no selamento adequado, causando vazamentos ou impedindo o fechamento total da válvula.

As paradas por vazamento correspondem a 9,52% das interrupções. Os vazamentos podem ocorrer devido a desgaste, danos ou mau funcionamento de componentes críticos. As causas comuns incluem selos defeituosos, juntas danificadas, desgaste e folgas excessivas nos componentes internos. Além disso, a corrosão ou erosão em partes da bomba podem levar a vazamentos. Falhas nas conexões de tubulação e problemas no sistema de vedação também podem contribuir para vazamentos. A identificação precoce dessas falhas é essencial para evitar perdas de fluido, prevenir danos adicionais à bomba e manter a confiabilidade do sistema. Inspeções regulares, manutenção preventiva e a substituição oportuna de peças desgastadas são práticas recomendadas para evitar falhas de vazamento em bombas de deslocamento positivo. (TECHPLUS,2023).

As pausas para lubrificação correspondem a 7,94% das paradas. Em sistemas mecânicos que requerem lubrificação, a falta ou contaminação do lubrificante pode resultar em desgaste prematuro, atrito excessivo e, eventualmente, falhas nos componentes. A ausência de lubrificação adequada também pode causar superaquecimento e aumento do desgaste, afetando negativamente o desempenho do sistema. A manutenção regular, a escolha adequada do lubrificante e o monitoramento contínuo são cruciais para prevenir e corrigir falhas relacionadas à lubrificação (ABECOM,2021).

O diafragma, mostrado na figura 3, é o elemento responsável por promover o bombeamento do fluido. Esse dispositivo é aplicado quando se deseja evitar o contato do fluido transportado com os componentes internos, nesse caso, devido às partículas em suspensão. Algumas das falhas que podem ocorrer neste componente são a ruptura, desgaste, furos ou perfurações e perda de elasticidade. Essas falhas

podem ocorrer devido a desgaste, envelhecimento do material, exposição a produtos químicos incompatíveis ou instalação inadequada (ABECOM,2021).

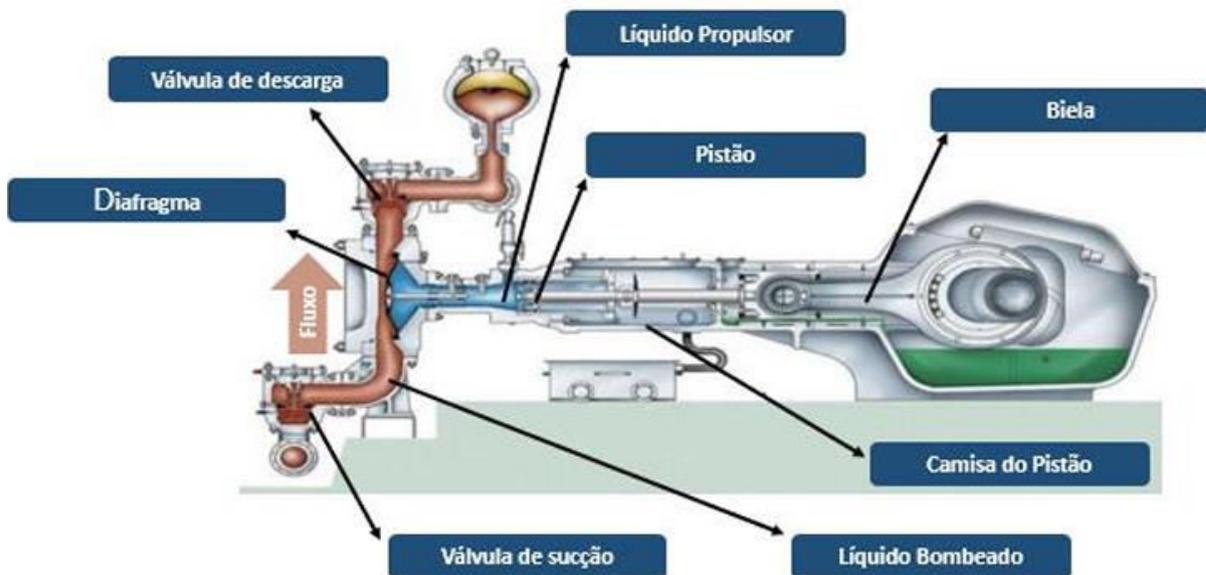


Figura 3 - Desenho de um conjunto de uma bomba GEHO TZPM

Fonte: Adaptado de Weir (2006).

Neste estudo, 6,35% das paradas são relacionadas à falha deste componente. Algumas das possíveis consequências de falhas no diafragma em uma linha de transporte de minérios, segundo Oliveira (2010) são:

1. vazamentos de líquido ou minério: resultando em perdas de material, aumento dos custos operacionais e possíveis impactos ambientais negativos, dependendo do tipo de material transportado;
2. perda de eficiência: a bomba não consegue transferir a quantidade necessária de energia, levando a uma diminuição da eficiência da operação de transporte;
3. paralisação do sistema: o que pode resultar em interrupções na produção e perdas significativas de receita.
4. maior manutenção: resulta em custos adicionais de manutenção e tempo de inatividade não planejado.
5. riscos de segurança: vazamentos de minério podem criar áreas escorregadias, representando riscos de segurança para os trabalhadores na área de transporte.

Por fim, as três últimas falhas representam, juntas, 4,76% das paradas, indicando falhas no bloco, nas válvulas e nos pistões da bomba. O bloco em uma bomba refere-se às seções da bomba que contêm os mecanismos de bombeamento, como engrenagens, pistões ou lóbulos. As principais falhas nesses blocos podem incluir(INDUSTRIAL,2023).

1. Desgaste das peças: as peças móveis, como engrenagens ou pistões, podem sofrer desgaste ao longo do tempo devido ao contato constante, resultando em perda de eficiência e desempenho.
2. Vazamentos: desgaste nos selos ou falhas nas juntas podem levar a vazamentos, comprometendo a capacidade da bomba de manter a pressão adequada.
3. Mau funcionamento das válvulas internas: se as válvulas dentro dos blocos não estiverem funcionando corretamente, pode ocorrer refluxo indesejado, diminuindo a eficiência da bomba.

As válvulas são dispositivos mecânicos usados para controlar o fluxo de fluidos, como líquidos e gases, sendo, nesse caso, parte integrante da bomba, como mostrado na figura 3. As principais falhas incluem vazamentos, geralmente devido a vedante desgastados, desgaste na sede da válvula, que pode resultar em mau fechamento, travamento devido a impurezas no fluido e danos mecânicos causados por operação inadequada ou condições extremas (INDUSTRIAL,2023).

Os pistões, mostrados na figura 3, são componentes que se movem para frente e para trás dentro de cilindros para variar a pressão e movimentar o diafragma, sendo este o responsável por bombear o fluido. Suas principais falhas podem incluir(UNIP,2020).

1. Desgaste: o movimento repetitivo dos pistões pode causar desgaste ao longo do tempo, resultando em folgas indesejadas, perda de eficiência e vazamentos.
2. Vazamentos de vedação: as vedações ao redor dos pistões podem se desgastar ou danificar, levando a vazamentos de fluido e comprometendo a capacidade da bomba de manter a pressão adequada.
3. Quebra ou trincas: sob condições extremas, os pistões podem quebrar devido a tensões excessivas, impactos ou fadiga, o que resulta em falha operacional.
4. Problemas de lubrificação: a falta de lubrificação adequada dos pistões pode causar atrito excessivo e desgaste prematuro.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho teve como objetivo fazer um levantamento das falhas que ocorreram em uma bomba de diafragma modelo GEHO TZPM 2000 durante o ano de 2021. Este equipamento estava localizado em uma estação de bombas de uma empresa de mineração, localizada na zona da mata mineira.

Os dados apresentados permitiram concluir que a falha que foi responsável por quase metade das paradas ocorria no estojo da bomba. Além disso, mais de 15% das paradas foram dedicadas à inspeção, destacando sua importância para uma manutenção adequada e aumento da confiabilidade do sistema.

Por fim, pode-se destacar a importância de conhecer as possíveis causas da falha de um componente. Isso permite que possam ser feitas inspeções para avaliar as condições de funcionamento do equipamento e utilizar a manutenção proativa para evitar paradas inesperadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABECOM. **Lubrificação Industrial Mecânica**. Disponível em: <<https://www.abecom.com.br/lubrificacao-industrial-mecanica/>>. Acesso em: 09 de NOV 2023.

ABRAMAN - Documento Nacional – A situação da Manutenção no Brasil. Brasil: Porto Alegre, 2003.

ABRAMAN - Documento Nacional – **A situação da Manutenção no Brasil**. Brasil: Rio de Janeiro, 2013.

ALMEIDA, M. T. **Manutenção Preditiva: Confiabilidade e Qualidade**. Disponível em: < <http://www.mtaev.com.br/download/mnt1.pdf> > Acesso em 25 maio. 2023.

ANAIS, UNESPAR. **APLICAÇÃO DAS FERRAMENTAS DE QUALIDADE COMO SUPORTE PARA MELHORIA DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DA PRANCHA Y**. Disponível em: http://anais.unespar.edu.br/xi_eepa/data/uploads/artigos/4/4-11.pdf . Acesso em 18 agosto 2023.

BOZOLLA, A. R. **Bombeamento de Polpa de Minério de Ferro via Mineroduto**. Artigo técnico RB estúdio 016. Disponível em: <<https://pt.scribd.com/doc/290137679/Bombeamentode-Polpa-de-Min>>. Acesso em: 23 de agosto. 2020.

BRANCO, F. G. **A organização, o planejamento e o controle da manutenção**. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2008.

CUNHA, João Paulo, **Lubrificação de compressores que aspiram fluido frigorígeno a temperaturas inferiores a -30°C**. 2013. 145p (Engenharia

Mecânica) - INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA, Lisboa,2013.
[https://repositorio.ipl.pt/bitstream/10400.21/3197/1/Disserta%
c3%a7%c3%a3o.pdf](https://repositorio.ipl.pt/bitstream/10400.21/3197/1/Disserta%c3%a7%c3%a3o.pdf)

Dicionário do Petróleo. Bomba Centrífuga: Entenda seu Funcionamento e Aplicações. Atualizado em 21 de março de 2023. Disponível em: <https://dicionariodopetroleo.com.br/bomba-centrifugadora/>. Acesso em: 15 de abril de 2023.

DUPLAÇÃO. **Bombas de deslocamento positivo**. 2023. Disponível em: <https://duplacao.com.br/bombas-de-deslocamento-positivo/>. Acesso em: 15 nov. 2023.

FILHO, J. T. **Bombas**: Classificação e Descrição. Lorena: Escola de Engenharia de Lorena da Universidade de São Paulo, 2015. Disponível em: https://sistemas.eel.usp.br/docentes/arquivos/5817712/LOQ4015/capitulo3_bombasclassificacaoedescricao.pdf . Acesso em: 12 Nov.2023.

FLEMING, P. V. & FRANÇA, S. R. R. **Considerações Sobre a Implementação Conjunta de TPM e MCC na Indústria de Processos**. TT044, In: Anais CDRom do XII Congresso Brasileiro de Manutenção. São Paulo – SP, 1997.

GIL, Antônio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GLOBAL HP. **Principais problemas das bombas hidráulicas e como resolver**. Global HP, 2019. Disponível em: <https://www.globalhp.com.br/principais-problemas-das-bombas-hidraulicas-e-como-resolver/>. Acesso em: 15, abr. 2023.

GRACO. **Bombas de diafragma operadas a ar da série ARO Pro**. c2021. Disponível em: <https://www.graco.com.br/pt/in-plant-manufacturing/products/general-fluid-transfer/double-diaphragm-pumps.html>. Acesso em: 15 nov. 2023.

HELIBOMBAS. **4 maiores motivos para defeitos em uma bomba**: Disponível em: <https://helibombas.com.br/4-maiores-motivos-para-defeitos-em-uma-bomba/>. Acesso em: 15 nov. 2023.

IFSUL. **Bombas de Deslocamento Positivo ou Bombas Volumétricas**. Disponível em: <http://www2.pelotas.ifsul.edu.br/~andrea/lib/exe/fetch.php?media=bombasdeslocamentopositivo>. Acesso em: 15 nov. 2023.

INSTRUVAL. **Bomba pneumática de diafragma**: funcionamento simples e eficiente. Disponível em: [Bomba pneumática de diafragma: funcionamento simples e eficiente - Instruval](#) Acesso em: 15 de nov. de 2023.

KARASSIK, I. J., MESSINA, J. P., COOPER, P., & HEALD, C. C. (2011). PUMP HANDBOOK (4TH ED.). MCGRAW-HILL EDUCATION.).

LIMA, Epaminondas P. C., Mecânica das Bombas. Rio de Janeiro, 2ª Ed., Editora Interciência, PETROBRAS, 2003. 610 p.

LIMA, M.V. **Análise De Ordens De Serviço Em Manutenção De Um Edifício Residencial Multifamiliar**. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/177255/TCC%20-%20Marcos%20Lima%20FINAL%20%283%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y> . Acesso em 19 de set. 2023.

LIMA, EDUARDO., OLIVEIRA, GUILHERME. (2021). **Análise Documental Como Percurso Metodológico Na Pesquisa Qualitativa**. (2021). Cadernos da Fucamp, v.20, n.44, p.36-51/2021. https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/9858/9858_4.PDF

MACHADO, T. R. **Avaliação de um programa de manutenção para bombas de deslocamento positivo em uma indústria de alimentos**. 2016. 77 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

OTANI, Mario; MACHADO, Waltair Vieira. **A proposta de desenvolvimento de gestão da manutenção industrial na busca da excelência ou classe mundial**. Revista Gestão Industrial, v. 4, n. 02, p. 01-16, 2008.

PASSAMAI, B. D; CASTILHO, G. B. **Nova metodologia de análise de falha em empresa de refrigerante – proposta e estudo de caso**. Espírito Santo, UFES, 2007.

POLEFLEX. **Manutenção proativa: o que é e como aplicar na sua empresa**. 2021. Disponível em: <https://poleflex.com.br/manutencao-proativa/>. Acesso em: 20 abr. 2023.

POSSO, R. K. **Análise dos Fatores de Influência na Aplicação do “FMEA de Processo” em Produtos Estampados e sugestão de melhoria**. Curitiba: UTFPR, 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais), Campus de Curitiba, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2007.

PREINADO, J.; GRAEML, A. R. **Administração da Produção (Operações Industriais e de Serviços)**. Curitiba: UnicenP, 2007.

R. Keith Mobley, "Uma introdução à manutenção preditiva", Elsevier, 2001

SANTOS, S. L. **Bombas e Instalações Hidráulicas**. São Paulo: LCTE, 2007.

SAP Brasil. (2021, setembro). **Sistema de controle de dados para cálculo de emissões em plataforma SAP ajuda Suzano a monitorar indicadores de sustentabilidade**. SAP News Brasil. <https://news.sap.com/brazil/2021/09/sistema-de-controle-de-dados-para-calculo-de-emissoes-em-plataforma-sap-ajuda-suzano-a-monitorar-indicadores-de-sustentabilidade/>

SILVA, C.C. **Métodos De Inspeção De Tubulações De Transporte De Minério: O Caso Da Integridade De Dutos**. Disponível em: https://monografias.ufop.br/bitstream/35400000/474/1/MONOGRAFIA_M%c3%a9todosInspe%c3%a7%c3%a3oTubula%c3%a7%c3%b5es.pdf Acesso em 13 de set.2023.

SILVA, D. (2019). **CAVITAÇÃO EM BOMBAS DE DESLOCAMENTO POSITIVO**. <https://pt.linkedin.com/pulse/cavita%C3%A7%C3%A3o-em-bombas-de-deslocamento-positivo-danilo-silva>. Acesso em 08 junho 2023.

SILVA, Ildeu Moreira da. **A física e a formação de professores**. Revista Brasileira de Ensino de Física, São Paulo, v. 23, n. 4, p. 379-386, 2001. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/14685/1/ildeu.pdf> . Acesso em: 15 nov. 2023

SILVA, J. A.; SANTOS, M. P.; OLIVEIRA, R. C. **Análise de viabilidade econômica da implantação de uma planta de GNL baseada em análise de risco de desabastecimento de gás natural para termoeletrica.** Revista Brasileira de Engenharia e Sustentabilidade, Rio de Janeiro, v. 10, n. 2, p. 45-60, 2010.

SOARES, Frederico Rocha. **Sistema de tratamento de falhas para bombas de deslocamento positivo:** O caso de uma empresa do setor de mineração, 2021. Disponível em: https://monografias.ufop.br/bitstream/35400000/2978/1/MONOGRAFIA_SistemaTratamentoFalhas.pdf. Acesso em 02 de mar. 2023.

Sommerville, I. (2013). **Engenharia de Software.** <https://www.facom.ufu.br/~william/ Disciplinas%202018-2/BSI-GSI030-EngenhariaSoftware/Livro/engenhariaSoftwareSommerville.pdf>

TECHPLUS. **As 5 principais falhas em bombas e como detectá-las.** Disponível em: <https://www.techplus.com.br/as-5-principais-falhas-em-bombas-e-como-detecta-las/>. Acesso em: 15 nov. 2023.

Teles, Jhonata. (2018, 30 de julho). **Engenharia de manutenção e confiabilidade na gestão de manutenção.** <https://engeteles.com.br/o-que-e-manutencao-preventiva/> . Acesso em 18 de mar. 2023.

TRACTIAN. **Pontos De Análise De Vibrações:** Bomba Centrífuga. Disponível em: <https://tractian.com/blog/bomba-centrifuga> Acesso em 18 de set. 2023.

UFMG.CONSULTORIA JUNIOR (2018). **5W1H: aprenda a elaborar um Plano de Ação.** Disponível em: <https://ucj.com.br/blog/5w1h-plano-de-acao/> .Acesso em 29 agosto 2023.

VALLAIR. A. (2021). **Conheça os principais problemas em sistemas de bombeamento e saiba como resolvê-los.** <https://www.vallair.com.br/pt/blog/artigos-tecnicos/conheca-os-principais-problemas-em-sistemas-de-bombeamento-e-saiba-como-resolve-los/>. Acesso em 25 maio 2023.

VALLAIR. **Conheça os principais problemas em sistemas de bombeamento e saiba como resolvê-los.** Vallair, 2021. Disponível em: <https://www.vallair.com.br/pt/blog/artigos-tecnicos/conheca-os-principais-problemas-em-sistemas-de-bombeamento-e-saiba-como-resolve-los/>. Acesso em: 15 nov. 2023.

VERDER LIQUIDS. **Como funcionam as Bombas de Diafragma?** Disponível em: <https://www.verderliquids.com/int/pt/tecnologias/como-funcionam-as-bombas-de-diafragma>. Acesso em: 15 nov. 2023.

VIANA, H. R. G. **PCM- Planejamento e Controle de Manutenção.** Qualitymark Ed, Rio de Janeiro. 2002. Disponível em: <https://revistas.utfpr.edu.br/revistagi/article/viewFile/3923/5499>. Acesso em 07 de mar. 2023.

VIANA, H. R. G. **PCM- Planejamento e Controle de Manutenção.** Qualitymark Ed, Rio de Janeiro. 2002.

WEIR, M. N. **Manual de Instalação, Manutenção e Operação da bomba GEHO TZPM 2000**. Holanda: Netherlands, (2006).

INDUSTRIAL 4.0. **Principais problemas na bomba hidráulica e como evitá-los**. Industrial 4.0, 2023. Disponível em: <https://industrial4-0.com.br/problemas-na-bomba-hidraulica/>. Acesso em 19 de Nov.2023.

INDUSTRIAL 4.0. **Manutenção de válvulas hidráulicas**.2023.Disponível em: <https://industrial4-0.com.br/manutencao-de-valvulas-hidraulicas/>. Acesso em 19 de nov. 2023.

UNIP.BR. **Aula 14 Bombas de Pistão**, 2020.Disponível em: https://adm.online.unip.br/img_ead_dp/30038.PDF. Acesso em 19 de nov. 2023.

