



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO RIO GRANDE
DO NORTE
CURSO TÉCNICO EM MECÂNICA

TIAGO NICOLAU DA SILVA

**ESTRATÉGIAS DE MANUTENÇÃO APLICADAS A SISTEMAS DE FREIO E
SUSPENSÃO EM VEÍCULOS AUTOMOTIVOS**

CANGUARETAMA / RN

2024

TIAGO NICOLAU DA SILVA

**ESTRATÉGIAS DE MANUTENÇÃO APLICADAS A SISTEMAS DE FREIO E
SUSPENSÃO EM VEÍCULOS AUTOMOTIVOS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso Técnico em
Mecânica do Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia do
Rio Grande do Norte, em
cumprimento às exigências legais
como requisito parcial à obtenção
do título de Técnico em Mecânica

Orientador: Gennisson Batista
Carneiro

CANGUARETAMA / RN

2024

ESTRATÉGIAS DE MANUTENÇÃO APLICADAS A SISTEMAS DE FREIO E SUSPENSÃO EM VEÍCULOS AUTOMOTIVOS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso Técnico em Mecânica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, em cumprimento às exigências legais como requisito parcial à obtenção do título de Técnico em Mecânica.

Orientador: Gennisson Batista Carneiro

Aprovado em: 21/01/2025

Assinatura do Orientador

Gennisson Batista Carneiro

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte

RESUMO

A gestão adequada dos sistemas automotivos, particularmente em componentes essenciais como freios e suspensão, é crucial para assegurar tanto a segurança quanto a longevidade dos veículos. Independentemente de ser preventiva, corretiva ou preditiva, a manutenção tem como objetivo garantir o desempenho eficiente desses sistemas, reduzindo riscos e custos operacionais durante toda a vida útil do veículo. Assim o objetivo deste estudo é discutir as estratégias de manutenção aplicadas aos sistemas de freio e suspensão, destacando as vantagens e desvantagens de cada uma. A metodologia adotada é a pesquisa bibliográfica. A escolha da estratégia de manutenção ideal depende de diversos fatores, como o tipo de veículo, a frequência de uso e os recursos disponíveis. Em um contexto onde a segurança e a eficiência são prioritárias, a combinação de manutenção preventiva e preditiva pode oferecer a melhor abordagem para a gestão dos sistemas de freio e suspensão.

Palavras-chaves: Manutenção. Sistemas de freio. Suspensão. Automóvel.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	6
2. REFERENCIAL TEÓRICO	7
2.1 SISTEMA DE FREIO	7
2.2 SISTEMA DE SUSPENSÃO	8
3. DESENVOLVIMENTO	10
3.1 LOCAL DE ESTÁGIO	10
3.2 MANUTENÇÃO PREVENTIVA NOS SISTEMAS DE FREIO E SUSPENSÃO	10
3.3 MANUTENÇÃO CORRETIVA NOS SISTEMAS DE FREIO E SUSPENSÃO	12
3.4 MANUTENÇÃO PREDITIVA NOS SISTEMAS DE FREIO E SUSPENSÃO	13
4. CONCLUSÃO	15
REFERÊNCIAS	17

1. INTRODUÇÃO

A manutenção de sistemas automotivos, especialmente em componentes críticos como os freios e a suspensão, é fundamental para garantir a segurança e a durabilidade dos veículos. A manutenção, seja ela preventiva, corretiva ou preditiva, visa assegurar o bom funcionamento e a eficiência desses sistemas, minimizando riscos e custos operacionais ao longo do ciclo de vida do veículo. A correta manutenção dos sistemas de freio e suspensão não só prolonga a vida útil dos componentes, como também evita acidentes e falhas graves que podem comprometer a segurança dos ocupantes. Diante disso, torna-se relevante investigar como cada estratégia de manutenção contribui para a confiabilidade e a segurança automotiva.

A questão norteadora deste trabalho é: De que maneira as estratégias de manutenção preventiva, corretiva e preditiva podem ser aplicadas de forma eficiente nos sistemas de freio e suspensão em veículos automotivos? A partir desta pergunta, busca-se explorar as principais técnicas de manutenção disponíveis e suas aplicações práticas em diferentes tipos de veículos, desde automóveis de passeio até veículos de grande porte, como caminhões e ônibus.

O objetivo deste estudo é discutir as estratégias de manutenção aplicadas aos sistemas de freio e suspensão, destacando as vantagens e desvantagens de cada uma. A manutenção preventiva tem como foco a substituição regular de componentes antes que ocorra a falha, enquanto a corretiva visa reparar os danos após a falha já ter ocorrido. Por outro lado, a manutenção preditiva utiliza tecnologias avançadas para monitorar em tempo real o estado dos componentes, prevenindo possíveis problemas com base em dados precisos e preditivos. Segundo Oliveira e Cintra (2020), a manutenção preditiva vem ganhando destaque pela sua capacidade de evitar paradas inesperadas e acidentes, especialmente em sistemas complexos como freios e suspensões, que estão diretamente ligados à segurança do veículo.

A justificativa para este trabalho se baseia na crescente importância da segurança veicular, especialmente em um cenário onde a tecnologia aplicada à manutenção tem evoluído rapidamente. As falhas em sistemas de freio e suspensão podem causar acidentes graves, o que torna essencial a aplicação eficaz de estratégias de manutenção. A manutenção preventiva e preditiva em sistemas críticos, como freios, tem se mostrado a mais eficaz para reduzir acidentes em rodovias, pois antecipam falhas antes que estas ocorram.

A metodologia deste estudo será baseada em uma pesquisa bibliográfica, a partir da revisão de literatura sobre os tipos de manutenção e suas aplicações nos sistemas automotivos. Serão analisadas obras de autores renomados na área de manutenção e tecnologia automotiva, além de normas e manuais técnicos que tratam das boas práticas em manutenção veicular. A pesquisa teórica permitirá uma visão aprofundada das estratégias mais adequadas para cada situação.

No desenvolvimento, será apresentada uma revisão detalhada sobre cada tipo de manutenção, com ênfase nos sistemas de freio e suspensão. O trabalho discutirá as práticas mais utilizadas no setor automotivo, considerando fatores como custos, eficiência e impacto na segurança dos veículos. A seção abordará ainda as inovações tecnológicas, como o uso de sensores e softwares de monitoramento em sistemas de manutenção preditiva, tendo em vista que a evolução tecnológica permite o monitoramento contínuo do desgaste de componentes, oferecendo maior controle e previsibilidade sobre a necessidade de manutenções.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 SISTEMA DE FREIO

O sistema de freio de um veículo automotivo desempenha um papel vital na segurança e no desempenho do automóvel, sendo responsável por garantir a desaceleração e a parada segura do veículo. Esse sistema é composto por diversos componentes que trabalham de forma integrada para transformar a energia cinética do veículo em calor, dissipando-a e reduzindo a velocidade do automóvel.

Um dos componentes principais do sistema de freio é o pedal de freio, que serve como ponto de comando inicial. Quando o motorista aciona o pedal, a força aplicada é transmitida ao cilindro mestre, um dispositivo que converte a pressão mecânica em pressão hidráulica. Segundo Limpert (2011), o cilindro mestre é o responsável por distribuir o fluido de freio para todo o sistema de forma equilibrada, assegurando que a força de frenagem seja uniformemente aplicada.

O fluido de freio é um elemento crucial nesse processo, pois é o meio de transmissão da pressão hidráulica. Ele precisa ter propriedades específicas de resistência a altas temperaturas e baixa compressibilidade. Estudos mostram que a manutenção adequada do fluido é fundamental para evitar a formação de bolhas de ar que podem comprometer a eficácia da frenagem (Santos, 2014).

Outro componente essencial é o disco de freio (ou tambor, dependendo do tipo de sistema). Em sistemas de freio a disco, que são os mais comuns em veículos modernos, os discos são presos ao eixo das rodas. Quando o pedal é acionado, as pastilhas de freio pressionam os discos, criando atrito que desacelera o veículo. Esse atrito gera uma quantidade significativa de calor que é dissipada através das aletas dos discos, um fator que contribui para evitar o superaquecimento (Orthwein, 2004).

As pinças de freio são responsáveis por aplicar a pressão nas pastilhas, comprimindo-as contra os discos. Elas podem ser de pistão único ou múltiplo, dependendo da aplicação e da necessidade de maior força de frenagem. As pinças de freio são projetadas para oferecer uma distribuição uniforme de pressão, garantindo que a frenagem seja eficiente e controlada (Santos, 2014).

Em sistemas de tambor, utilizados principalmente em veículos mais antigos ou em rodas traseiras de modelos econômicos, o funcionamento envolve sapatas de freio que são pressionadas contra a superfície interna de um tambor. O princípio de atuação é similar, porém o sistema de tambor tende a ter uma menor capacidade de dissipação de calor em comparação aos freios a disco (Santos, 2014).

Outro componente fundamental é o servofreio ou hidrovácuo, que auxilia na amplificação da força exercida pelo motorista no pedal, utilizando o vácuo do motor para potencializar a pressão aplicada ao cilindro mestre. O conjunto de freios ainda pode incluir sistemas de controle adicionais, como o ABS (Anti-lock Braking System). Esse sistema evita o travamento das rodas durante uma frenagem brusca, permitindo que o motorista mantenha o controle direcional do veículo. O ABS monitora a velocidade das rodas e, se detectar um travamento iminente, modula a pressão do fluido de freio de forma automática para manter a aderência (Gardinalli, 2005).

Portanto, o sistema de freio automotivo é composto por uma série de elementos que, em conjunto, garantem a segurança e a eficiência na frenagem do veículo. A correta manutenção desses componentes, como a verificação periódica do fluido de freio, a substituição das pastilhas desgastadas e a inspeção dos discos, é essencial para assegurar um desempenho confiável e seguro.

2.2 SISTEMA DE SUSPENSÃO

O sistema de suspensão de um veículo é projetado para proporcionar conforto, estabilidade e segurança durante a condução. Ele tem a função de absorver as

irregularidades do terreno e manter o contato consistente dos pneus com a superfície da estrada, o que contribui para uma condução mais controlada e segura.

Entre os componentes principais do sistema de suspensão, destacam-se as molas, que suportam o peso do veículo e absorvem choques ao trafegar por superfícies irregulares. De acordo com Lima (2020), “as molas podem ser de diversos tipos, como helicoidais, feixes de molas ou barras de torção, cada uma adequada para diferentes tipos de veículos e condições de uso”. As molas helicoidais, por exemplo, são amplamente utilizadas em carros de passeio por sua capacidade de oferecer uma condução confortável, enquanto os feixes de molas são comuns em veículos de carga devido à sua robustez e durabilidade. As barras de torção são mais encontradas em veículos leves e esportivos, proporcionando um bom equilíbrio entre conforto e performance.

Outro elemento essencial é o amortecedor, que controla os movimentos das molas, evitando oscilações excessivas. Sem os amortecedores, o veículo continuaria a balançar após passar por um obstáculo, comprometendo a estabilidade. Segundo Silva (2021), “estes dispositivos convertem a energia cinética em calor, dissipando-a e mantendo a estabilidade do automóvel”. Os amortecedores podem ser hidráulicos, a gás ou uma combinação de ambos, e cada tipo possui características específicas que afetam a resposta da suspensão e o conforto do motorista.

A barra estabilizadora também é um componente fundamental, pois tem a função de reduzir a inclinação do veículo em curvas, aumentando a aderência dos pneus e a segurança durante manobras bruscas. De acordo com Andrade (2019), “a barra estabilizadora atua conectando os dois lados da suspensão, de forma a distribuir forças de modo equilibrado”. Esse componente é especialmente importante em veículos de passeio e utilitários esportivos, ajudando a manter a estabilidade em altas velocidades e durante curvas fechadas.

Outros elementos que integram o sistema de suspensão incluem as buchas, que minimizam o atrito entre as partes metálicas e absorvem vibrações, prolongando a vida útil dos componentes e melhorando o conforto ao dirigir. As buchas são geralmente feitas de materiais flexíveis, como borracha ou poliuretano, e ajudam a reduzir ruídos e impactos.

Os braços de suspensão, por sua vez, conectam o chassi às rodas, permitindo o movimento controlado e a flexibilidade necessária para que a suspensão funcione de forma eficaz. Esses braços podem ter diferentes formatos, como os braços duplos

em A, que oferecem maior estabilidade em curvas e são comuns em veículos de alta performance. Portanto, o funcionamento do sistema de suspensão é baseado na interação de todos esses componentes, que juntos garantem uma condução suave, segura e eficaz, mantendo o contato das rodas com o solo e a estabilidade do veículo em diferentes situações de condução.

3. DESENVOLVIMENTO

3.1 LOCAL DE ESTÁGIO

O estágio foi realizado na empresa Vale Verde Empr Agr Ltda, CNPJ: 02.414.858/0003-90, sua sede está localizada na Rodovia Rn 62, Km 09, Baia Formosa - RN, no cargo de Mecânico de Manutenção Automotiva III, onde foram desempenhadas diversas atividades relacionadas à manutenção e reparo de sistemas de freios em veículos automotivos.

Entre os serviços realizados, destaca-se a troca de lonas de freios, garantindo a substituição correta para manter a segurança e eficiência do sistema de frenagem; a substituição de sapatas de freios, assegurando o perfeito funcionamento e resposta precisa; a troca de tambores de freios, com a verificação de desgastes para manter a integridade estrutural do sistema; a substituição de cúicas de freios para manter a pressão de frenagem adequada; a manutenção e troca de catracas de freios, assegurando a correta regulagem automática ou manual para um desempenho eficiente; reparos em cilindros de freios com sistemas hidráulicos, incluindo a substituição de componentes como o cilindro mestre, garantindo a distribuição adequada do fluido e a manutenção da pressão; e trabalhos em sistemas pneumáticos, como a troca de mangueiras que conduzem o ar comprimido e a substituição de válvulas, assegurando o funcionamento seguro e eficiente do sistema.

Essa experiência foi essencial para o meu desenvolvimento profissional, proporcionando conhecimentos práticos em manutenção automotiva e permitindo a aplicação de técnicas para assegurar a funcionalidade e a segurança dos sistemas de freios veiculares.

3.2 MANUTENÇÃO PREVENTIVA NOS SISTEMAS DE FREIO E SUSPENSÃO

A manutenção preventiva, definida como um conjunto de intervenções regulares e programadas para evitar falhas nos sistemas antes que elas ocorram, é amplamente utilizada em diversas indústrias, especialmente na automotiva. Segundo Onohara (2019), essa abordagem busca garantir a confiabilidade e eficiência dos equipamentos ao longo do tempo, reduzindo custos com reparos emergenciais e garantindo a segurança. Nos sistemas de freio e suspensão, a manutenção preventiva é ainda mais crítica, pois está diretamente relacionada à segurança dos veículos e de seus ocupantes.

No caso dos freios, a manutenção preventiva envolve inspeções periódicas de pastilhas, discos e do fluido de freio. As pastilhas de freio, por exemplo, devem ser verificadas regularmente, pois o desgaste excessivo pode comprometer a eficiência do sistema. Segundo Nakajima (1988), em seu estudo sobre manutenção produtiva total, práticas preventivas são fundamentais para evitar acidentes causados por falhas de componentes críticos, como o sistema de freios. Discos de freio desgastados, por sua vez, afetam a capacidade de frenagem e aumentam o risco de acidentes, especialmente em situações de emergência. O fluido de freio, que é higroscópico, absorve umidade ao longo do tempo, o que pode reduzir sua eficácia. Portanto, trocas regulares são essenciais para manter a eficiência do sistema e garantir a segurança dos usuários.

Nos sistemas de suspensão, componentes como amortecedores, molas e braços de controle são monitorados e substituídos de forma preventiva. Amortecedores desgastados, por exemplo, afetam a estabilidade do veículo, especialmente em estradas irregulares, comprometendo a dirigibilidade e aumentando o desgaste de outros componentes, como pneus e sistemas de direção. De acordo com Chiavenato (2005), a manutenção preventiva tem como objetivo principal a prevenção de falhas e o prolongamento da vida útil dos componentes, o que é essencial em veículos que operam em condições severas. Componentes da suspensão que estão sujeitos a grandes esforços mecânicos, como as molas e os braços de controle, devem ser inspecionados regularmente para evitar desgaste excessivo, que pode resultar em falhas catastróficas.

As vantagens da manutenção preventiva nos sistemas de freio e suspensão são amplas. Ela permite aumentar a durabilidade dos componentes, reduz a ocorrência de falhas inesperadas e, mais importante, melhora a segurança do veículo. Segundo Slack et al. (2009), a manutenção preventiva é a melhor estratégia para

reduzir paradas não programadas e evitar custos elevados com reparos corretivos. No entanto, uma das desvantagens é o custo inicial associado às inspeções e trocas programadas de componentes que, em alguns casos, ainda poderiam ter uma vida útil prolongada se não houvesse intervenções prematuras. Apesar disso, os benefícios a longo prazo, como a maior confiabilidade e a redução de riscos, superam essas desvantagens.

A manutenção preventiva em sistemas de freio e suspensão é uma prática essencial para garantir a segurança e a eficiência dos veículos. A aplicação dessa estratégia permite que componentes críticos sejam monitorados e substituídos antes de apresentarem falhas, reduzindo os custos com reparos emergenciais e aumentando a durabilidade dos sistemas. Conforme apontado por Nakajima (1988) e outros autores, a prática de manutenções programadas se traduz em um aumento significativo na segurança e na confiabilidade dos veículos, tornando-se uma medida indispensável no setor automotivo.

3.3 MANUTENÇÃO CORRETIVA NOS SISTEMAS DE FREIO E SUSPENSÃO

A manutenção corretiva pode ser definida como a ação de reparação ou substituição de componentes após a ocorrência de uma falha, sendo uma abordagem tradicional em diversos setores, incluindo o automotivo. Essa estratégia se caracteriza pela intervenção apenas quando o equipamento já apresentou um problema, o que muitas vezes implica em custos elevados e compromete o desempenho e a segurança do sistema. Embora a manutenção corretiva seja necessária em determinadas situações, ela tende a ser menos eficiente em termos de prevenção de falhas, especialmente em sistemas críticos como freios e suspensão.

Nos sistemas de freio, a falha pode ter impactos graves, como a perda de eficiência de frenagem, aumento do tempo de parada e, conseqüentemente, maior risco de acidentes. Falhas nos freios são uma das principais causas de acidentes em veículos, tornando a manutenção corretiva uma alternativa arriscada, visto que a falha pode ocorrer de maneira abrupta e sem aviso prévio. Quando uma manutenção corretiva é acionada, o reparo costuma ser mais caro e o tempo de inatividade do veículo pode ser prolongado, uma vez que a substituição de componentes críticos como pastilhas e discos de freio ou a reposição de fluido é essencial para restabelecer a funcionalidade do sistema. Além disso, a ocorrência de falhas severas nos freios

pode exigir a substituição de todo o conjunto, aumentando ainda mais os custos.

Já nos sistemas de suspensão, as falhas também representam riscos consideráveis à segurança e ao desempenho do veículo. Componentes como amortecedores, molas e braços de controle, quando avariados, comprometem a estabilidade do veículo, resultando em desgaste prematuro dos pneus e redução da aderência nas curvas e durante frenagens. De acordo com Campbell (2012), falhas na suspensão podem causar vibrações excessivas e perda de controle do veículo em condições adversas, o que é particularmente perigoso em rodovias ou em manobras de alta velocidade. A manutenção corretiva nesses casos envolve a substituição de peças desgastadas ou danificadas, que, dependendo do nível de desgaste, podem ter um custo elevado e impactar significativamente o tempo de reparo.

Em termos de custo e eficácia, a manutenção corretiva costuma ser menos vantajosa quando comparada a estratégias preventivas e preditivas. Como menciona Slack et al. (2009), apesar de ser uma solução imediata, a corretiva gera inatividade prolongada do veículo e custos substancialmente mais altos devido à urgência e à complexidade dos reparos. Em veículos mais antigos, no entanto, ela pode ser inevitável, já que componentes já desgastados podem ter uma taxa de falha mais elevada, e a manutenção preventiva pode não ser suficiente para prolongar a vida útil de certas partes. No entanto, essa abordagem apresenta desvantagens claras em termos de eficiência e segurança, especialmente em veículos que dependem da integridade de seus sistemas de freio e suspensão para garantir o funcionamento seguro e adequado.

A manutenção corretiva, apesar de necessária em muitos casos, acarreta maiores custos e riscos associados à falha dos componentes, o que a torna menos eficiente que outros tipos de manutenção. Em sistemas críticos como freios e suspensão, onde a segurança do veículo está diretamente envolvida, a manutenção corretiva deve ser considerada como última opção, sendo mais viável em veículos antigos ou quando a falha já ocorreu. Entretanto, a antecipação das falhas por meio de manutenções preventivas e preditivas deve ser priorizada para evitar o comprometimento da segurança e reduzir os custos associados à inatividade prolongada e à substituição de componentes danificados.

3.4 MANUTENÇÃO PREDITIVA NOS SISTEMAS DE FREIO E SUSPENSÃO

A manutenção preditiva é uma abordagem avançada que visa prever falhas antes que ocorram, utilizando tecnologias modernas como sensores e softwares de monitoramento. De acordo com Mobley (2002), a manutenção preditiva se baseia em técnicas de análise de condição, como monitoramento contínuo, para prever e evitar falhas em equipamentos antes que eles apresentem problemas graves. Este tipo de manutenção é especialmente eficaz em sistemas automotivos, como freios e suspensão, onde a segurança e a eficiência são cruciais.

Uma das inovações tecnológicas mais significativas na manutenção preditiva é a instalação de sensores em sistemas de freio. Esses sensores monitoram constantemente o desgaste das pastilhas, a temperatura dos discos e a pressão do sistema hidráulico. Jardine, Lin, e Banjevic (2006) destacam que sensores de desgaste podem fornecer dados em tempo real, permitindo a programação de manutenções antes que o sistema apresente falhas. Esse monitoramento ajuda a evitar problemas imprevistos e mantém o sistema de freios operando com eficiência máxima.

O monitoramento em tempo real também é aplicável aos sistemas de suspensão, onde a utilização de tecnologias preditivas é igualmente valiosa. Moubrey (2001) explica que os sensores instalados em amortecedores e molas detectam sinais de fadiga ou danos estruturais com antecedência. Sistemas de suspensão ativos ou ajustáveis, equipados com sensores, são capazes de adaptar a resposta da suspensão às condições da estrada, melhorando o desempenho do veículo e a segurança dos ocupantes.

Apesar de a manutenção preditiva exigir um investimento inicial maior em tecnologias, como sensores e softwares, ela oferece benefícios significativos a longo prazo. Gulati e Smith (2009) afirmam que, embora o custo inicial seja elevado, a manutenção preditiva pode resultar em economias substanciais devido à redução de manutenções corretivas inesperadas e ao aumento do tempo operacional dos veículos. A relação custo-benefício é, portanto, positiva, com o monitoramento contínuo contribuindo para a durabilidade e eficiência dos sistemas automotivos.

O impacto na segurança é um dos maiores benefícios da manutenção preditiva. Smith e Hawkins (2004) ressaltam que o monitoramento contínuo dos componentes críticos de freio e suspensão pode reduzir significativamente as chances de falhas graves, que podem levar a acidentes. Por exemplo, a capacidade de prever falhas em sistemas de freio pode evitar acidentes em rodovias e ambientes urbanos,

proporcionando um ambiente de condução mais seguro.

A manutenção preditiva representa uma evolução significativa em relação às abordagens tradicionais de manutenção. Com o uso de tecnologias avançadas para monitoramento e análise, é possível prever e evitar falhas antes que elas comprometam a segurança e a eficiência dos sistemas de freio e suspensão, trazendo benefícios a longo prazo em termos de custo e segurança.

4. CONCLUSÃO

A conclusão deste trabalho sobre estratégias de manutenção aplicadas a sistemas de freio e suspensão em veículos automotivos revela a importância crítica de adotar abordagens adequadas para garantir a segurança, eficiência e longevidade dos componentes. A discussão das três principais estratégias de manutenção — preventiva, corretiva e preditiva — demonstra que cada uma possui suas próprias vantagens e desvantagens, sendo essencial compreender como elas impactam o desempenho e a segurança dos veículos.

A manutenção preventiva, por sua abordagem sistemática e programada, é fundamental para minimizar falhas antes que ocorram. Ela assegura a inspeção regular e a substituição de componentes críticos, como pastilhas de freio e amortecedores, o que contribui para a segurança do veículo e a redução de custos a longo prazo. No entanto, sua eficácia depende da rigidez dos cronogramas de manutenção e da qualidade das práticas adotadas.

Por outro lado, a manutenção corretiva, apesar de ser uma abordagem tradicional e reativa, muitas vezes resulta em custos elevados e tempo de inatividade significativo quando ocorrem falhas inesperadas. Falhas nos sistemas de freio e suspensão, que podem comprometer a estabilidade e a segurança do veículo, demonstram a necessidade de uma gestão eficiente para evitar problemas graves.

A manutenção preditiva, com suas inovações tecnológicas, se destaca ao permitir o monitoramento contínuo e em tempo real dos sistemas automotivos. Utilizando sensores e softwares avançados, é possível prever falhas antes que elas ocorram, melhorando significativamente a segurança e a eficiência dos sistemas de freio e suspensão. Embora envolva um investimento inicial mais alto, os benefícios a longo prazo incluem a redução de manutenções corretivas e uma operação mais confiável dos veículos.

Respondendo à questão norteadora deste trabalho, a escolha da estratégia de manutenção ideal depende de diversos fatores, como o tipo de veículo, a frequência de uso e os recursos disponíveis. Em um contexto onde a segurança e a eficiência são prioritárias, a combinação de manutenção preventiva e preditiva pode oferecer a melhor abordagem para a gestão dos sistemas de freio e suspensão.

Para estudos futuros, é sugerido explorar mais a fundo as aplicações de tecnologias emergentes, como inteligência artificial e aprendizado de máquina, na manutenção preditiva. Essas tecnologias têm o potencial de transformar ainda mais a forma como monitoramos e gerenciamos a condição dos sistemas automotivos, oferecendo novos insights sobre o desempenho e a durabilidade dos componentes. Além disso, a avaliação econômica detalhada da manutenção preditiva em comparação com as estratégias tradicionais pode fornecer uma base mais sólida para decisões de investimento e gestão de manutenção em diferentes contextos automotivos.

REFERÊNCIAS

- CAMPBELL, Colin. **Automobile suspensions**. Springer Science & Business Media, 2012.
- CHIAVENATO, Idalberto. **Administração de materiais: uma abordagem introdutória**. Elsevier, 2005.
- GARDINALLI, Geraldo José. Comparação do desempenho de frenagem simulada x experimental de um veículo de passeio com freios hidráulicos e ABS. **Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Engenharia Automotiva**, 2005.
- GULATI, Ramesh; SMITH, Ricky. **Maintenance and reliability best practices**. Industrial Press Inc., 2009.
- JARDINE, Andrew KS; LIN, Daming; BANJEVIC, Dragan. A review on machinery diagnostics and prognostics implementing condition-based maintenance. **Mechanical systems and signal processing**, v. 20, n. 7, p. 1483-1510, 2006.
- LIMA, Breno Mateus. Modelagem e simulação computacional de ¼ de uma suspensão automotiva por meio do software SCILAB. 2023. 72 f. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2023.
- LIMPERT, Rudolf. **Brake design and safety**. SAE international, 2011.
- MOBLEY, R. K. An Introduction to Predictive Maintenance. **Elsevier Science google schola**, v. 2, p. 485-520, 2002.
- MOUBRAY, John. **Reliability-centered maintenance**. Industrial Press Inc., 2001.
- NAKAJIMA, Seiichi. Introduction to TPM: total productive maintenance.(Translation). **Productivity Press, Inc., 1988**,, p. 129, 1988.
- OLIVEIRA, Matheus Nepomuceno; CINTRA, Nathália Cedro; GOMES, Fábio Souza. Comparativo automobilístico: manuten o preventiva e corretiva. **Anais do SIMPÓSIO NACIONAL DE CIÊNCIAS E ENGENHARIAS (SINACEN)**, v. 5, n. 1, p. 1-10, 2020.
- OLIVEIRA, Felipe César Groetaers. Uso de suspensão pneumática para veículos comerciais. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnólogo em Mecânica Automobilística) - Faculdade de Tecnologia de Santo André, Santo André, 2022. 35f. il.
- ONOHARA, Edson Yassuo. **Manutenção automotiva preventiva: na ótica do proprietário da oficina**. 2019. 29 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Contábeis) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019.

ORTHWEIN, William C. **Clutches and brakes: design and selection**. CRC Press, 2004.

QUEIROZ, Luiz Fernando Barbosa. Modelagem e controle PID de sistema automotivo de suspensão ativa. 2023. 65 f. Monografia (Graduação em Engenharia de Controle e Automação) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2023.

SANTOS, Gustavo Carvalho Martins dos. Projeto e dimensionamento de um sistema de freios aplicado a um veículo fórmula SAE. **Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica)-Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro**, 2014.

SLACK, Nigel et al. **Administração da produção**. São Paulo: Atlas, 2009.

SMITH, Ricky; HAWKINS, Bruce. **Lean maintenance: reduce costs, improve quality, and increase market share**. Elsevier, 2004.