

CENTRO PAULA SOUZA

FATEC SANTO ANDRÉ

Tecnologia em Mecânica Automobilística

GABRIEL BORDIM ANTUNES

IRINALDO HELENO SILVA

MARCUS VINICIUS DA SILVA

**MANUTENÇÃO PREDITIVA: uma alternativa para reduzir
os custos de manutenção**

Santo André - SP

2025

**GABRIEL BORDIM ANTUNES
IRINALDO HELENO SILVA
MARCUS VINICIUS DA SILVA**

**MANUTENÇÃO PREDITIVA: uma alternativa para reduzir os
custos de manutenção**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Fatec Santo André, orientado pelo Prof.º Marco Aurelio Froes, como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo em Mecânica Automobilística.

**Santo André - SP
2025**

A636m

Antunes, Gabriel Bordim

Manutenção preventiva: uma alternativa para reduzir os custos de manutenção / Gabriel Bordim Antunes, Irinaldo Heleno Silva, Marcus Vinícius da Silva. - Santo André, 2025. – 73f: il.

Trabalho de Conclusão de Curso – FATEC Santo André.
Curso de Tecnologia em Mecânica Automotiva, 2025.

Orientador: Prof. Marco Aurélio Fróes

1. Mecânica. 2. Veículos. 3. Manutenção automotiva. 4. Frota. 5. Tecnologia. 6. Segurança veicular. 7. Manutenção preventiva. 9. Gestão. I. Silva, Irinaldo Heleno. II. Silva, Marcus Vinícius da. III. Manutenção preventiva: uma alternativa para reduzir os custos de manutenção.

FOLHA DE APROVAÇÃO



Faculdade de Tecnologia de Santo André

CENTRO PAULA SOUZA

GOVERNO DO ESTADO
DE SÃO PAULO

LISTA DE PRESENÇA

Santo André, 06 de dezembro de 2025.

LISTA DE PRESENÇA REFERENTE À APRESENTAÇÃO DO
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO COM O TEMA:
“MANUTENÇÃO PREDITIVA: UMA ALTERNATIVA PARA REDUZIR OS
CUSTOS DE MANUTENÇÃO” DOS ALUNOS DO 6º SEMESTRE DESTA
U.E.

BANCA

PRESIDENTE:

PROF. MARCO AURÉLIO FRÓES _____

MEMBROS:

PROF. ORLANDO DE SALVO JUNIOR _____

PROF. NICOLONO FOSCHINI NETO _____

ALUNOS:

GABRIEL BORDIM ANTUNES _____

IRINALDO HELENO SILVA _____

MARCUS VINÍCIUS DA SILVA _____

A todos que buscam conhecimento e sabedoria, dedico este trabalho como um exemplo de perseverança e dedicação.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos aos familiares e amigos por todo apoio e compreensão necessários nessa jornada acadêmica, a instituição FATEC Santo André pela oportunidade de aprendizado e toda infraestrutura disponibilizada. Um agradecimento especial aos professores Marco Aurélio Froes e Fernando Garup Dalbo pelas orientações e conselhos, sem os quais, não seria possível concluir este trabalho.

“O único lugar onde o sucesso vem antes do trabalho é no dicionário.”

Albert Einstein

RESUMO

A gestão eficiente da manutenção de veículos de frota é indispensável para o funcionamento adequado de empresas como as locadoras. O objetivo deste trabalho é de analisar e discutir as práticas de manutenção automotiva, visando identificar estratégias eficazes que promovam a eficiência operacional sem comprometer a segurança veicular. O trabalho também apresenta a evolução das práticas da manutenção automotiva, adicionando o tempo ao controle de manutenções periódicas anteriormente controladas apenas pela quilometragem, também a mudança de modelos reativos para manutenções mais inteligentes como a manutenção preventiva e preditiva. A manutenção preditiva se destaca já que utiliza de análise para antecipar problemas com base em dados reais do equipamento. Conclui-se que numa gestão eficiente são adotados diversos métodos para gerir a manutenção da frota, garantindo o funcionamento e confiabilidade de seus veículos.

Palavras-chave: Manutenção automotiva. Gestão de frota. Manutenção Preditiva.

ABSTRACT

Efficient fleet vehicle maintenance management is essential for the proper functioning of companies such as rental agencies. The objective of this work is to analyze and discuss automotive maintenance practices, aiming to identify effective strategies that promote operational efficiency without compromising vehicle safety. The study also discusses the evolution of automotive maintenance practices, emphasizing the addition of time-based intervals to the traditionally mileage-based maintenance schedules. Furthermore, it analyzes the shift from reactive models to smarter approaches, such as preventive and especially predictive maintenance. Predictive maintenance stands out for using real equipment data analysis to anticipate failures, allowing interventions before serious issues occur. It is concluded that, in efficient fleet management, various integrated maintenance strategies are adopted to ensure the proper functioning and reliability of the vehicles.

Keywords: Automotive maintenance. Fleet management. Predictive maintenance.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1:	Histórico da Manutenção Automotivo.....	20
Figura 2:	Manutenção Corretiva.....	21
Figura 3:	Manutenção Preventiva.....	22
Figura 4:	Manutenção Preditiva.....	23
Figura 5:	Tampa do reservatório do fluido de freio com indicação DOT 4...	29
Figura 6:	Aplicação da caneta de teste de fluido de freio.....	32
Figura 7:	Sistema de arrefecimento.....	34
Figura 8:	Densímetro.....	39
Figura 9:	Densímetro de Vidro na Determinação da Densidade.....	40
Figura 10:	Densímetro flutuando livremente em proveta graduada.....	42
Figura 11:	Estabilização do densímetro durante o ensaio de densidade.....	43
Figura 12:	Leitura da escala do densímetro para líquidos transparentes.....	44
Figura 13:	Leitura da escala do densímetro para líquidos opacos.....	45
Figura 14:	Princípio de funcionamento da bateria.....	46
Figura 15:	Funcionamento da bateria.....	49
Figura 16:	Scanner de Pneus.....	54
Figura 17:	Filtro com acúmulo de sujeira.....	59
Figura 18:	Filtro de pólen com sujeira e poeira.....	60
Figura 19:	Banner.....	64

LISTA DE QUADROS

Quadro 1:	Ponto de ebulição seco e úmido.....	27
Quadro 2:	Diagnóstico Automotivo na Manutenção Preditiva.....	62

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

FMV	<i>Federal Motor Vehicle</i>
SS 116	<i>Safety Standard Number 116</i>
ERBP	<i>Equilibrium Reflux Boiling Point</i>
Wet ERBP	<i>Wet Equilibrium Reflux Boiling Point</i>
SAE J1703	<i>Society of Automotive Engineers J1703 (Brake fluid specification)</i>
CCR	Companhia de Concessões Rodoviárias
MEG	Monoetilenoglicol
NBR-7148	Norma Brasileira ABNT NBR-7148
INPM	Instituto Nacional de Pesos e Medidas
ASTM	Sociedade Americana de Testes e Materiais
CNP	Conselho Nacional do Petróleo
VRLA	<i>Valve-Regulated Lead Acid</i>
UPS	<i>Uninterruptible Power Supply.</i>
IQA	Instituto da Qualidade Automotiva
DOT	<i>Department of Transportation</i>
AGM	<i>Absorbent Glass Mat</i>
EFB	<i>Enhanced Flooded Battery</i>
ROI	Retorno Sobre o Investimento

LISTA DE SÍMBOLOS

°C	Graus Celsius
mm	Milímetros
%	Porcentagem
km	Quilômetro
Ni-Cd	Níquel-Cádmio
Ni-Fe	Níquel-Ferro

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	17
1.1	Motivação.....	18
1.2	Objetivo.....	18
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICO.....	19
2.1	Histórico da Manutenção Automobilística.....	19
2.2	Principais Manutenções.....	21
3	METODOLOGIA.....	25
3.1.	Tecnologias de Diagnóstico na Manutenção Preditiva Automotiva.....	25
4	TECNOLOGIAS DE DIAGNÓSTICO AUTOMOTIVO.....	26
4.1	Fluido de Freio: Importância e Parâmetros Normativos.....	26
4.1.1	Segurança operacional.....	28
4.1.2	Especificação do Fabricante e Diretrizes de Manutenção.....	29
4.1.3	Higroscopicidade e Prazo de Troca (Consenso Técnico).....	30
4.1.4	Manutenção Preditiva aplicada ao Fluido de Freio.....	31
4.2	Sistema de Arrefecimento.....	33
4.2.1	Funções e a sua Importância.....	35
4.2.2	Quantidade de Líquido de Arrefecimento e Tipos de Aditivo.....	36
4.2.3	Cuidados com o Sistema de Arrefecimento.....	36
4.2.4	Manutenção Preditiva no Sistema de Arrefecimento.....	37
4.2.5	Densímetro.....	38

4.2.6	Definições e Procedimentos do Método com Densímetro.....	40
4.3	Baterias.....	46
4.3.1	Características importantes da Bateria.....	48
4.3.2	Bateria Automotiva: Validade e Desempenho do Veículo.....	50
4.3.3	A Importância da Manutenção Preditiva na Baterias Automotivas.....	51
4.4	Scanner de Pneus.....	53
4.4.1	Validade dos Pneus.....	54
4.4.2	Importância da Manutenção Preditiva Utilizando Scanner nos Pneus..	56
4.5	Filtro de Combustível.....	57
4.5.1	Importância da Manutenção Preditiva para o Filtro de Combustível.....	58
4.6	Filtro de Polén.....	59
5	DIAGNÓSTICO AUTOMOTIVO PREDITIVO.....	61
6	BANNER: MANUTENÇÃO PREDITIVA.....	63
7	CONCLUSÃO.....	65
8	PROPOSTAS FUTURAS.....	67
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	69

1. INTRODUÇÃO

A gestão de manutenção automotiva se transforma em um novo desafio no contexto social e econômico, em que a circulação e a mobilidade são imprescindíveis para o desenvolvimento (GONÇALVES, 2020). Na verdade, a contemporaneidade dos veículos automotores, assim como a tecnologia, relega a manutenção a algo mais complexo do que simples reparos. Exige, na verdade, uma recuperação do automóvel que envolve um extenso conjunto de suas atividades, técnicas e métodos projetados para a preservação da segurança, confiabilidade e durabilidade dos veículos (TEKFIL, 2022).

Manutenção automotiva pode ser dividida em três categorias mais comuns: manutenção preventiva, manutenção corretiva e manutenção preditiva (CRIATIVAS, 2018). Primeiramente, considerações preventivas são operações programadas que buscam evitar falhas e aumentar a vida útil dos componentes do automóvel. A manutenção corretiva é uma operação dada a partir de falhas ou problemas que ocorrem no funcionamento do veículo. E, por outro lado, a manutenção preditiva é uma estratégia que antecipa e previne falhas em equipamentos; ela se baseia na análise de dados e no monitoramento constante de máquinas e sistemas (REDE FROTA, 2025).

Além disso, a gestão de manutenção automotiva encara diversos desafios, como a ausência de mão de obra qualificada, a necessidade de inovar constantemente em relação às novas tecnologias e a pressão por redução de custos (SOFIT4, 2025). Por meio de pesquisas e análises de casos práticos, este trabalho busca contribuir para o entendimento das melhores práticas em gestão de manutenção automotiva, onde a relevância deste tema se destaca em um cenário onde a eficiência e a sustentabilidade são cada vez mais exigidas, tornando a gestão de manutenção automotiva um campo de estudo essencial para o futuro do setor.

1.1 Motivação

A escolha desse assunto partiu da urgência de compreender de que maneira uma administração eficaz da manutenção pode impactar de maneira benéfica a durabilidade dos veículos, diminuir os gastos operacionais e reduzir os efeitos nocivos ao meio ambiente. Em um contexto em que as organizações estão continuamente buscando aprimorar seus processos e se adaptar às demandas de um mercado competitivo, a implementação de estratégias de manutenção preventiva e preditiva se revela como uma vantagem estratégica. Ademais, a crescente preocupação com a segurança viária e a necessidade de cumprir as legislações pertinentes tornam a gestão da manutenção automotiva um tema crucial para pesquisa.

1.2 Objetivo

Este trabalho tem o objetivo de analisar e discutir as práticas de manutenção automotiva, visando identificar estratégias eficazes que promovam a eficiência operacional, sem comprometer a segurança veicular.

Através de pesquisas, busca-se contribuir com o conhecimento e ao mesmo tempo, trazer a importância da gestão automotiva nas empresas.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Seguindo com a proposta de analisar e discutir as práticas de gestão de manutenção automotiva, visando identificar estratégias eficazes, neste capítulo será apresentado uma breve concepção do Histórico da Manutenção Automobilística, personalização (tempo e quilometragem), trocas ou manutenções por km ou vida útil, trocas em função de análise técnica, Manutenção preditiva e trocas de veículos considerando o projeto de lei, onde podem agregar para o desenvolvimento do trabalho.

2.1 Histórico da Manutenção Automobilística

A trajetória da manutenção automotiva tem sido moldada por transformações significativas, refletindo tanto o avanço tecnológico quanto as mudanças nas demandas do mercado e nas práticas industriais. Leopoldino (2017) apresenta uma análise pormenorizada sobre o impacto do contexto histórico, especialmente os períodos de guerra, na evolução das técnicas de manutenção. Durante esses momentos críticos, o aumento na demanda por bens de consumo foi acompanhado por uma redução da disponibilidade de mão de obra industrial, o que impulsionou a mecanização da indústria. Esse processo, que ganhou força na década de 1950, resultou em maior complexidade das máquinas e equipamentos, incluindo os veículos automotores.

Segundo Leopoldino (2017), nos anos 1960, as revisões periódicas se tornaram práticas recorrentes à medida que as organizações passaram a compreender a relação direta entre falhas mecânicas e o desgaste dos componentes ao longo do tempo. Com base nesse entendimento, foram implementados programas de manutenção preventiva, que se revelaram essenciais para controlar os custos operacionais, especialmente frente ao aumento dos gastos com manutenção. O autor também aponta que, entre o final da década de 1970 e o início da de 1980, a crescente complexidade dos equipamentos e a alteração no perfil das falhas exigiram uma

revisão estratégica, remetendo à eficiência da manutenção preventiva e ao desenvolvimento da manutenção preditiva.

Nos anos 1990, houve uma mudança de paradigma com a introdução da engenharia de ciclo de vida, o que redefiniu a função da manutenção. Dessa forma, a manutenção passou a desempenhar um papel proativo, integrando-se às etapas iniciais do desenvolvimento de produtos. As organizações começaram a entender que o enfoque não deveria ser apenas reativo às falhas, mas que a manutenção deveria estar inserida no design e na escolha dos equipamentos, antecipando problemas potenciais. Essa evolução continua a desafiar os profissionais do setor, que precisam identificar e adotar as técnicas mais adequadas para cada contexto operacional. Como ilustra a Figura 1, a história da manutenção automotiva evidencia um processo constante de adaptação e inovação. Mais do que responder a falhas, as práticas modernas de manutenção se concentram na prevenção e antecipação de problemas futuros, reafirmando seu papel estratégico em um segmento em constante transformação (Leopoldino, 2017).

Figura 1 - Histórico da Manutenção Automotivo



Fonte: (O mecânico, 2015).

2.2 Principais Manutenções

Existem três tipos principais de manutenção: corretiva, preventiva e preditiva. A manutenção corretiva consiste em uma ação técnica executada para recuperar o funcionamento de um equipamento ou sistema que apresentou falhas, quebras ou problemas, conforme a demonstração da Figura 2. Esse tipo de manutenção é fundamental em qualquer contexto industrial ou operacional, pois tem como meta restaurar rapidamente os recursos que não estão funcionando corretamente, retomando assim o andamento normal das operações (SILVA, 2021).

Figura 2 – Manutenção Corretiva



Fonte: (Sem parar empresas, 2022).

Pode-se dividir a manutenção em duas categorias principais: a planejada e a não planejada. A manutenção corretiva planejada acontece quando uma falha for detectada antecipadamente através de inspeções regulares, avaliações de desempenho ou monitoramento das condições. Dessa maneira, a intervenção é agendada com antecedência, com os recursos, as peças e a mão de obra destinados previamente, o que proporciona um controle mais eficiente sobre os custos e os prazos de conserto (SILVA, 2021).

Em contraste, a manutenção corretiva não programada ocorre de forma emergencial, frequentemente devido a uma falha repentina e inesperada. Esse tipo de

situação requer uma resposta rápida por parte da equipe de manutenção para prevenir danos maiores ao equipamento e perdas na operação. Por ser imprevisível, é comum que esse tipo de manutenção cause interrupções prolongadas, dificuldades na aquisição de peças de reposição e um aumento considerável nas despesas operacionais (SILVA, 2021).

Embora seja uma prática comum em diversos setores, a manutenção corretiva é considerada a alternativa mais cara e menos eficiente para assegurar a confiabilidade dos equipamentos. Isso ocorre porque falhas inesperadas podem provocar paralisações na produção, comprometer os prazos de entrega, impactar indicadores de desempenho e até colocar a segurança dos trabalhadores em risco. Além disso, o tempo de inatividade causado por essas interrupções não planejadas tende a ser mais longo, gerando prejuízos financeiros relevantes para a empresa (SILVA, 2021).

Por outro lado, a manutenção preventiva é uma estratégia de gestão de ativos que adota uma postura proativa, visando garantir o funcionamento adequado e prolongar a vida útil dos equipamentos, como ilustrado na Figura 3. Essa modalidade envolve a realização de intervenções planejadas e sistemáticas, baseadas em cronogramas definidos previamente ou em intervalos regulares. Seu principal objetivo é evitar falhas operacionais, reduzir os riscos de paradas inesperadas e assegurar a continuidade dos processos produtivos (ABREU, 2023).

Figura 3 – Manutenção Preventiva



Fonte : (Concrelongo, 2025).

As atividades que compõem a manutenção preventiva abrangem procedimentos como a lubrificação de componentes móveis, a limpeza de peças e sistemas, a realização de ajustes mecânicos ou eletrônicos, além da troca periódica de peças sujeitas ao desgaste. Essas ações são realizadas independentemente de o equipamento apresentar sinais visíveis de falha, justamente para antecipar eventuais problemas antes que eles comprometam a operação (MARIANO, 2020).

Dentre os principais benefícios da manutenção preventiva, ressaltam-se a redução considerável da incidência de falhas imprevistas, a diminuição dos custos relacionados as paradas emergenciais e a maior confiabilidade e disponibilidade dos ativos. Ademais, essa abordagem contribui para a extensão da vida útil dos equipamentos, promovendo uma operação mais eficiente, segura e econômica no longo prazo (COSTA FILHO et al., 2020).

A manutenção preditiva é uma estratégia sofisticada de gestão da manutenção que se fundamenta no monitoramento constante ou periódico das condições operacionais dos equipamentos, como mostra a Figura 4. Ao contrário da manutenção preventiva, que segue um cronograma fixo de intervenções, a manutenção preditiva se baseia na análise de dados reais e contemporâneos do desempenho dos ativos para identificar sinais iniciais de deterioração ou potenciais falhas (FORMIGONI et al., 2021).

Figura 4 – Manutenção Preditiva



Fonte : (Sabó, 2021).

Esse método utiliza diversas técnicas e ferramentas especializadas de diagnóstico, como a análise de vibração (para detectar desalinhamentos, folgas ou desequilíbrios), termografia infravermelha (para identificar superaquecimentos em componentes elétricos ou mecânicos), análise de óleo lubrificante (que permite verificar contaminações, desgastes internos e propriedades do fluido), ultrassom industrial, entre outras tecnologias. Essas avaliações são cruciais para prever o comportamento dos equipamentos e determinar o momento apropriado para realizar uma intervenção (LAMBERT-TORRES, 2020, p.1172-1179; ZARO; WEBBER, 2022, p.450-465).

A principal vantagem da manutenção preditiva é sua capacidade de permitir uma atuação focada e precisa, diminuindo intervenções desnecessárias e otimizando o uso de recursos humanos e materiais. Ao identificar falhas em estágio inicial, ela contribui para a redução das paradas não programadas, o aumento da disponibilidade operacional e a diminuição significativa dos custos com manutenção corretiva de emergência (FORMIGONI et al. v. 3, n. 6; LAMBERT-TORRES, 2020, p.1172-1179).

Ademais, essa abordagem favorece diretamente a extensão da vida útil dos ativos, melhora a confiabilidade dos sistemas e proporciona maior segurança nas operações. Embora envolva um investimento inicial mais elevado em equipamentos de monitoramento e capacitação técnica, seus benefícios a médio e longo prazo justificam amplamente sua aplicação, especialmente em ambientes que exigem alta performance e confiabilidade contínua (ZARO; WEBBER, 2022, p.450-465).

Assim, apesar de a manutenção corretiva ser essencial em alguns casos, é fortemente aconselhável implementar estratégias preventivas e preditivas para diminuir os custos e aumentar o tempo de mobilidade do automóvel.

3. METODOLOGIA

Para o alcance dos objetivos propostos, foi realizado uma pesquisa prática, com intuito de demonstrar as tecnologias de diagnóstico automotivo aplicadas à manutenção preditiva.

3.1. Tecnologias de Diagnóstico Automotivo na Manutenção Preditiva Automotiva

A manutenção preditiva é uma das abordagens mais modernas da engenharia automotiva, baseada na monitorização contínua das condições dos componentes e na análise de dados para prever falhas antes que ocorram. Diferente da manutenção corretiva, que atua após a pane, e da preventiva, que se baseia em intervalos fixos de tempo, a manutenção preditiva utiliza tecnologia, sensores e inteligência de dados para determinar o momento exato da intervenção, garantindo eficiência, segurança e redução de custos (MOURA, 2024).

Na prática, a aplicação das tecnologias de diagnóstico automotivo tem sido essencial para o avanço dessa metodologia. Cada ferramenta atua de forma integrada, permitindo que o técnico acompanhe em tempo real o desempenho dos principais sistemas do veículo e identifique tendências de desgaste com base em informações precisas.

4. TECNOLOGIAS DE DIAGNÓSTICO AUTOMOTIVO

A seguir, serão apresentadas as tecnologias de diagnóstico automotivo aplicadas a diferentes sistemas e componentes veiculares, incluindo o fluido de freio, o sistema de arrefecimento, as baterias, o scanner de pneus, o filtro de combustível e o filtro de pólen. Para cada um desses elementos, serão abordados o conceito, os procedimentos práticos de diagnóstico e a relevância da manutenção preditiva, destacando sua contribuição para a segurança, a confiabilidade e a eficiência operacional dos veículos.

4.1 Fluido de Freio e Parâmetros Normativos

O fluido de freio é um componente essencial do sistema de frenagem hidráulica, responsável por transmitir a força aplicada no pedal até os pistões das rodas, que acionam pastilhas e lonas, permitindo a redução da velocidade do veículo, conforme descrito pelos requisitos técnicos da norma FMVSS 116 – *Federal Motor Vehicle Safety Standard No. 116 (NHTSA, 2022)*.

Com o passar do tempo, esse fluido absorve umidade do ambiente devido ao seu caráter higroscópico, fenômeno decorrente da permeabilidade natural dos materiais do sistema, como mangueiras, conexões e vedações, comportamento amplamente reconhecido pela literatura técnica e incorporado nos critérios de ensaio definidos pela FMVSS 116 (NHTSA, 2022). Essa absorção é crítica porque a presença de água reduz significativamente o ponto de ebulição do fluido, comprometendo sua eficiência e a segurança do sistema de frenagem, conforme demonstrado pelos limites mínimos estabelecidos pela norma.

Padrões de Desempenho segundo a Norma FMVSS 116 os requisitos mínimos de desempenho dos fluidos de freio são estabelecidos pela norma norte-americana FMVSS 116, que faz parte do Código Federal de Regulamentos dos Estados Unidos (49 CFR§571.116), a qual define limites de ponto de ebulição, viscosidade, corrosão, resistência química e estabilidade do fluido (NHTSA, 2022).

Um dos critérios mais relevantes para segurança é o ponto de ebulição, avaliado em duas condições: Ponto de Ebulição Seco e Ponto de Ebulição Úmido, visto no Quadro 1.

Quadro 1 - Ponto de ebulição seco e úmido

Fluido de freio	Ponto de ebulição a seco	Ponto de ebulição úmido
DOT 3	205 °C (401 °F)	140 °C (284 °F)
DOT 4	230 °C (446 °F)	155 °C (311 °F)
DOT 5	260 °C (500 °F)	180 °C (356 °F)
DOT 5,1	270 °C (518 °F)	190 °C (374 °F)

Fonte: (Adaptado de NHTSA, 2022).

- Ponto de Ebulição Seco (ERBP – *Equilibrium Reflux Boiling Point*)

Este valor corresponde ao ponto de ebulição do fluido de freio novo, sem nenhuma contaminação por água, conforme os parâmetros mínimos definidos pela FMVSS 116 (NHTSA, 2022).

- Ponto de Ebulição Úmido (Wet ERBP- *Wet Equilibrium Reflux Boiling Point*)

Refere-se à temperatura de ebulição após o fluido ser condicionado com 3,7% de água em massa. Esse percentual é definido pela norma para simular o envelhecimento e a contaminação natural durante o uso, de acordo com os procedimentos padronizados da FMVSS 116 (NHTSA, 2022).

O teste de Ponto de Ebulição Úmido é fundamental porque representa a condição real de operação e a função do fluido ao longo do tempo, sendo utilizado universalmente como indicador de deterioração do fluido segundo a própria norma (NHTSA, 2022).

4.1.1 Segurança Operacional

O ponto de ebulição úmido é o parâmetro mais crítico na prevenção do fenômeno conhecido como vapor lock, em que o fluido entra em ebulição, forma bolhas de vapor e se torna compressível, podendo levar à perda total da capacidade de frenagem, conforme descrito nos critérios de segurança estabelecidos pela FMVSS 116 (NHTSA, 2022).

Manter o fluido dentro dos limites estabelecidos pela FMVSS 116 é essencial para evitar falhas em frenagens intensas, descidas prolongadas e altas temperaturas, uma vez que esses limites representam o desempenho mínimo considerado seguro para sistemas hidráulicos de freio (NHTSA, 2022).

A redução progressiva do ponto de ebulição úmido indica o grau de contaminação por água e determina o momento ideal para substituição. A diferença entre o ponto seco e úmido é uma medida direta da deterioração do fluido e está diretamente ligada à sua capacidade de atender aos requisitos mínimos da FMVSS 116, que utiliza tais parâmetros como referência para avaliação de envelhecimento e segurança do fluido de freio (NHTSA, 2022).

4.1.2 Especificação do Fabricante e Diretrizes de Manutenção

De acordo com o Manual do Proprietário do Volkswagen Gol 2014, é obrigatório utilizar fluido de freio DOT 4 visto na Figura 5, conforme especificação estabelecida pela própria montadora, para garantir a segurança e o desempenho adequado do sistema de frenagem. O uso de qualquer outro tipo de fluido pode causar falhas e comprometer a eficiência do sistema (VOLKSWAGEN, 2014, p. 194).

Figura 5 - Tampa do reservatório do fluido de freio com indicação DOT 4



Fonte: (VOLKSWAGEN, 2014).

Além disso, o manual destaca três aspectos essenciais de manutenção: O nível do fluido deve ser verificado regularmente, devendo permanecer entre as marcas MIN e MAX do reservatório (VOLKSWAGEN, 2014, p. 194).

O fluido deve estar livre de impurezas, e o reabastecimento deve ser feito somente com produto adequado, novo e de embalagens fechadas. O manual reforça que a entrada de impurezas pode causar falhas no sistema e deve ser evitada rigorosamente (VOLKSWAGEN, 2014, p. 194).

O manual orienta que a substituição seja realizada por uma Concessionária Volkswagen, devido à importância e sensibilidade do componente (VOLKSWAGEN,2014, p.194).

Observação: o manual não define quilometragem ou prazo fixo para a troca.

4.1.3 Higroscopicidade e Prazo de Troca (Consenso Técnico)

A necessidade de troca regular do fluido DOT 4 se baseia em sua característica higroscópica, ou seja, sua capacidade de absorver água ao longo do tempo por permeabilidade de mangueiras, vedações e contato com a atmosfera (NHTSA, 2022). A absorção de água reduz o ponto de ebulição úmido (Wet ERBP), tornando o sistema mais vulnerável à falha por vapor lock durante frenagens intensas, conforme destacado em estudos técnicos sobre comportamento térmico de fluidos de freio (SAE International, 2018).

Quando o fluido contém umidade excessiva, as altas temperaturas geradas na frenagem podem formar bolhas de vapor, tornando o fluido compressível e causando perda parcial ou total da capacidade de frenagem, fenômeno amplamente descrito em literatura especializada de engenharia automotiva (Hillier & Coombes, 2012).

Por esse motivo, o consenso técnico — incluindo fabricantes de fluido, oficinas especializadas e literatura de manutenção automotiva — estabelece o seguinte intervalo de substituição (BOSCH, 2020; TRW Automotive, 2019); conforme a seguir:

- Frequência recomendada:

A cada 2 anos (24 meses) ou 20.000 km, o que ocorrer primeiro.

- Uso severo:

Em locais com alta umidade relativa, grande tráfego urbano, condução em serra ou uso frequente do freio, recomenda-se reduzir o intervalo para 12 meses ou até 6 meses, conforme orientações de fabricantes e guias de manutenção preventiva (BOSCH, 2020; CETESB, 2021).

4.1.4 Fluido de Freio: Importância e Parâmetros Normativos

A manutenção preditiva assume papel central nos sistemas automotivos de segurança, especialmente no que se refere ao fluido de freio. Embora o Manual do Proprietário do Volkswagen Gol 2014 estabeleça a obrigatoriedade do uso do fluido DOT 4 e oriente a verificação periódica de seu nível, o documento não define intervalos específicos de substituição (VOLKSWAGEN, 2014). Essa ausência é recorrente entre fabricantes, em razão da ampla variabilidade das condições de operação dos veículos (SOUZA; FERREIRA, 2020). As recomendações amplamente difundidas no setor, como substituição a cada 24 meses, são derivadas de consensos técnicos e de normas de desempenho — como a FMVSS 116, que define critérios mínimos de ponto de ebulição para fluidos DOT 3, DOT 4 e DOT 5.1 (NHTSA, 2020). No entanto, tais parâmetros são genéricos e não consideram fatores ambientais e operacionais específicos.

A degradação e a contaminação do fluido de freio são influenciadas por múltiplos fatores ambientais e operacionais. Um dos mais críticos é a umidade relativa do ar, que determina a taxa de absorção de água pelo fluido devido à sua natureza higroscópica, fenômeno previsto em normas como a SAE J1703 – *Society of Automotive Engineers* (SAE INTERNATIONAL, 2019). Além disso, a longevidade do fluido é afetada pelas características dos materiais de mangueiras, reservatórios e vedações, que podem apresentar permeabilidade distinta e diferentes níveis de compatibilidade química. Em termos operacionais, o estresse térmico imposto ao fluido também exerce papel determinante: tráfego urbano intenso, com frenagens frequentes, e condução em regiões montanhosas, com longos períodos de acionamento do freio, elevam significativamente a temperatura do sistema, acelerando a degradação química do fluido e comprometendo sua estabilidade (MARTINS; LOPES, 2019).

Essas variáveis tornam o processo de deterioração do fluido altamente não uniforme, fazendo com que intervalos padronizados não representem de forma adequada as condições reais de cada veículo. A adoção exclusiva de prazos genéricos pode resultar tanto em trocas prematuras quanto na manutenção de um fluido já deteriorado em circulação, comprometendo a segurança. Diante dessa

limitação, a utilização de instrumentos de verificação direta, como a caneta de teste de fluido de freio, constitui uma estratégia eficaz de manutenção preditiva.

O procedimento de análise com a caneta de teste inicia-se com a preparação do veículo, que deve estar estacionado em superfície plana, com o motor desligado e completamente frio, garantindo condições seguras de acesso ao reservatório. Em seguida, o técnico deve preparar o instrumento, retirando a tampa protetora e acionando seu sistema de verificação para confirmar o funcionamento dos LEDs indicadores. Após essa conferência inicial, os eletrodos metálicos da caneta são inseridos diretamente no fluido do reservatório, evitando o contato com suas paredes para assegurar maior precisão da leitura. A caneta realiza a avaliação com base na condutividade elétrica do fluido, fornecendo a interpretação por meio de indicações luminosas: LED verde representa fluido em condições adequadas; a combinação de verde e amarelo sinaliza início de absorção de umidade, ainda dentro do limite aceitável, visto na Figura 6; LED amarelo isolado indica início de degradação; LED vermelho implica presença de água acima do nível seguro e necessidade imediata de substituição; e, em alguns modelos, dois LEDs vermelhos sinalizam condição crítica, com risco elevado ao sistema.

Figura 6 - Aplicação da caneta de teste de fluido de freio



Fonte: (Autor, 2025).

Após a medição, os eletrodos devem ser higienizados com pano limpo e seco, evitando oxidação e leituras imprecisas futuras, enquanto o reservatório deve ser devidamente fechado. Recomenda-se registrar o resultado da medição para fins de acompanhamento histórico, permitindo avaliar a tendência de degradação do fluido ao longo do tempo. Dessa forma, a avaliação com a caneta de teste contribui significativamente para uma manutenção preditiva mais precisa e alinhada às condições reais de operação do veículo.

4.2 Sistema de Arrefecimento

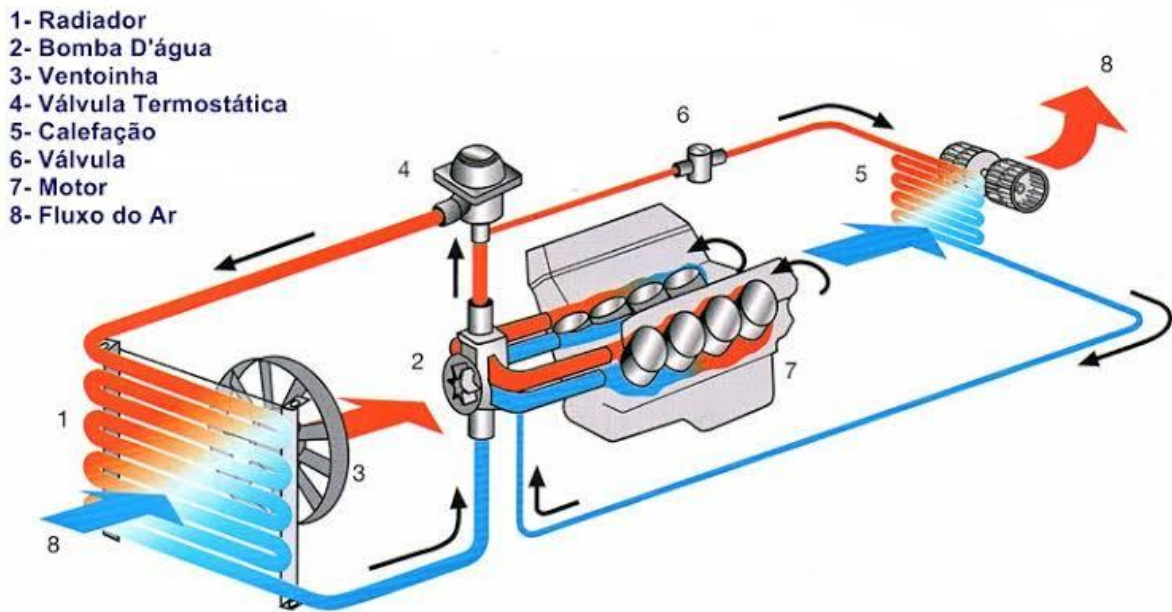
O sistema de arrefecimento é fundamental para o funcionamento adequado dos motores de combustão interna, especialmente os motores ciclo Otto, que operam como máquinas térmicas e, portanto, atingem elevadas temperaturas durante o processo de combustão. A dissipação de calor gerada na câmara de combustão e pelo atrito entre componentes internos exige um controle térmico eficiente, sendo essa exatamente a função do sistema de arrefecimento, que mantém o motor dentro de sua faixa ideal de temperatura para assegurar o desempenho e preservar as propriedades dos materiais envolvidos (ABCR, 2021).

Esse controle térmico é essencial, pois o superaquecimento pode resultar em danos graves às partes internas do motor, comprometer a lubrificação e, conseqüentemente, afetar seu funcionamento. A relevância desse sistema é evidenciada por dados da Associação Brasileira de Concessionárias de Rodovias, que registrou 3.199 atendimentos relacionados a superaquecimento em veículos no período entre janeiro e outubro de 2021 nas rodovias administradas pela CCR (Companhia de Concessões Rodoviárias) NovaDutra, reforçando a necessidade de conscientização e manutenção preditivas (ABCR, 2021).

A estrutura do sistema de arrefecimento é composta por diversos componentes que trabalham em conjunto: reservatório de expansão, válvula termostática, bomba d'água, mangueiras, radiador, eletro ventilador, sensores de temperatura e o próprio fluido de arrefecimento, conforme a Figura 7. Este fluido desempenha papel central ao ser responsável pela troca de calor do motor com o meio ambiente, regulando sua

temperatura de trabalho. O calor é transmitido ao fluido de arrefecimento que circula no bloco e cabeçote do motor e, posteriormente, dissipado para o ambiente ao passar pelo radiador (TILLMANN, 2013).

Figura 7 - Sistema de arrefecimento



Fonte: (Carro e Técnica, 2017).

O modo de atuação do sistema varia conforme o tipo de arrefecimento empregado. Em motores resfriados por fluido, o sistema entra em operação quando a temperatura excede a faixa ideal, permitindo que o fluido retire o calor do cilindro por contato direto ou indireto. Já nos motores arrefecidos por ar, o resfriamento ocorre de maneira contínua, uma vez que o ventilador acoplado ao eixo acompanha a rotação do motor, direcionando ar sobre os cilindros por meio de aletas que aumentam a área de troca térmica, conforme explicado por Brunetti (2018).

4.2.1 Funções e a sua Importância

O sistema de arrefecimento tem um papel essencial no bom funcionamento do motor, garantindo que ele trabalhe sempre na temperatura correta e evitando danos que podem comprometer seu desempenho e sua vida útil. Segundo Valeo (2025), esse sistema exerce três funções principais, que se complementam para manter o veículo seguro e eficiente.

A primeira função é manter a temperatura do motor dentro do intervalo ideal, que normalmente varia entre 85 °C e 100 °C. Para que isso aconteça, é fundamental utilizar um aditivo de qualidade no radiador e na proporção indicada. Esse aditivo ajuda o sistema a controlar o calor gerado pela combustão e pelo atrito das peças internas, evitando variações bruscas de temperatura (Valeo, 2025).

A segunda função é impedir que o motor superaqueça a ponto de “fundir”. Muitas pessoas ainda utilizam apenas água no sistema de arrefecimento, mas isso é um equívoco, pois a água sozinha começa a ferver por volta dos 100 °C. O que realmente permite que o sistema suporte temperaturas mais altas é o monoetilenoglicol (MEG), presente nos aditivos de radiador. Esse componente é indispensável para aumentar o ponto de ebulição da mistura e proteger o motor contra danos graves (Valeo, 2025).

A terceira função está relacionada ao consumo de combustível e à emissão de poluentes. Apenas uma parte do combustível que abastecemos — de 3 a 4 litros a cada 10 — é realmente usada para mover o carro. O restante se perde principalmente na forma de calor liberado pelo sistema de arrefecimento e pelos gases de escape. Além disso, equipamentos como o ar-condicionado também consomem energia do motor. Quando a temperatura de trabalho está bem controlada, o motor realiza uma combustão mais eficiente, o que melhora o aproveitamento do combustível e reduz o impacto ambiental (Valeo, 2025).

4.2.2 Quantidade de Líquido de Arrefecimento e Tipos de Aditivo

A quantidade correta de líquido de arrefecimento no sistema é uma dúvida frequente entre motoristas e até mesmo entre profissionais da área. Isso ocorre porque cada veículo possui uma capacidade específica e, além disso, o preenchimento pode ser realizado por locais diferentes. Em alguns modelos, o fluido é adicionado pelo reservatório de expansão; em outros, pelo próprio radiador, conforme explica Valeo (2025).

No momento de escolher o aditivo, é importante entender a diferença entre os tipos disponíveis. O aditivo já diluído vem pronto para uso, não sendo necessária qualquer mistura com água. Basta acrescentá-lo ao sistema na quantidade indicada pelo fabricante do veículo (Valeo, 2025).

Por outro lado, o aditivo concentrado precisa obrigatoriamente ser diluído antes da utilização. A proporção mais comum é de 50% de água desmineralizada e 50% de aditivo concentrado, podendo chegar a 60% de água e 40% de aditivo. Ainda assim, a proporção ideal deve sempre seguir o rótulo do produto, pois cada fabricante determina a concentração adequada para garantir a proteção térmica e anticorrosiva do sistema (Valeo, 2025).

A capacidade total de fluido no sistema varia de acordo com o modelo do veículo. A maneira correta de saber quantos litros o radiador ou o reservatório comporta é consultar o manual do fabricante. Para ilustrar, modelos bastante populares no Brasil, como o Volkswagen Gol e o Fiat Palio, possuem capacidade aproximada de 6 litros no sistema de arrefecimento (Valeo, 2025).

4.2.3 Cuidados com o Sistema de Arrefecimento

A manutenção correta do sistema de arrefecimento é fundamental para garantir o bom funcionamento do motor e evitar problemas futuros. Um dos cuidados mais importantes é a verificação frequente do nível de líquido no reservatório. Manter esse nível dentro do limite indicado pelo fabricante é essencial para que o sistema consiga

controlar a temperatura do motor de maneira eficiente (Valeo, 2025).

O preenchimento do reservatório deve ser feito com a mistura adequada de água e aditivo, sempre respeitando o marcador de nível máximo. Essa prática contribui para a proteção das peças internas contra corrosão, cavitação e temperaturas extremas, prolongando a vida útil do sistema (Valeo, 2025).

A orientação recomendada é que o nível seja verificado, pelo menos, a cada quinze dias, garantindo que não haja perda de fluido ou qualquer anomalia visível. Além disso, o intervalo de troca depende do tipo de tecnologia presente no aditivo utilizado. Para aditivos de tecnologia inorgânica, a troca deve ser realizada a cada 2 anos ou 60 mil quilômetros. Já os aditivos de tecnologia orgânica apresentam durabilidade maior, podendo chegar a 5 anos ou 240 mil quilômetros, conforme destaca Valeo (2025).

Manter esses cuidados de forma regular contribui diretamente para o desempenho do motor e reduz significativamente o risco de superaquecimento, garantindo maior segurança e confiabilidade ao veículo.

4.2.4 Manutenção Preditiva no Sistema de Arrefecimento

A manutenção preditiva desempenha um papel fundamental na preservação do sistema de arrefecimento e, conseqüentemente, na durabilidade do motor. Ela consiste em acompanhar de forma contínua o estado dos componentes, identificando desgastes, vazamentos ou alterações de desempenho antes que se transformem em falhas graves. Esse tipo de abordagem evita intervenções emergenciais e reduz significativamente o risco de superaquecimento, que é um dos problemas mais comuns relacionados ao arrefecimento.

No caso do sistema de arrefecimento, a manutenção preditiva inclui a verificação periódica do nível do líquido no reservatório, a análise da qualidade do fluido. Deve ser observado possíveis vazamentos em mangueiras e conexões, além da checagem do funcionamento da válvula termostática, do radiador e da bomba d'água. Acompanhando esses elementos de forma preventiva, é possível identificar

anomalias ainda em estágio inicial, evitando que o motor opere fora da temperatura ideal e garantindo a eficiência da troca térmica.

Outro ponto importante é o monitoramento da concentração do aditivo no sistema. Com o tempo, o fluido perde suas propriedades anticorrosivas e térmicas, tornando-se incapaz de proteger adequadamente o motor. Quando essa condição é percebida antecipadamente, a simples substituição do fluido evita danos a componentes internos e previne o acúmulo de resíduos no radiador, que pode comprometer a circulação e a dissipação do calor.

A adoção da manutenção preditiva também contribui para reduzir custos a longo prazo. Componentes como radiador, bomba d'água e válvula termostática são relativamente acessíveis quando substituídos no momento correto. Porém, quando falham inesperadamente, podem gerar danos secundários muito mais complexos e caros, como empeno do cabeçote, falha na junta ou até mesmo a fundição do motor. Dessa forma, ao identificar sinais de desgaste antecipadamente, o proprietário evita reparos extensos e mantém o veículo por mais tempo em condições ideais de uso.

Além disso, um sistema de arrefecimento bem cuidado melhora o desempenho do motor e reduz o consumo de combustível. Quando a temperatura permanece dentro da faixa adequada, a combustão ocorre de maneira mais eficiente, diminuindo também a emissão de poluentes. Assim, a manutenção preditiva não beneficia apenas o veículo, mas contribui para um uso mais responsável e sustentável.

4.2.5 O Densímetro

O densímetro é um instrumento amplamente utilizado para determinar a densidade de líquidos de maneira simples, prática e sem a necessidade de equipamentos complexos. Sua popularidade decorre da eficiência do método de leitura direta, que permite ao operador obter resultados confiáveis apenas observando o comportamento do aparelho quando imerso no líquido analisado (ABNT, 1992).

Entre suas principais características, destaca-se o fato de ser construído, na maioria das vezes, em vidro transparente, contendo em seu interior uma escala graduada conforme a Figura 8. Essa escala é responsável por indicar o valor da

densidade conforme o nível em que o densímetro se estabiliza. Além disso, a presença de uma pequena massa calibrada na parte inferior do instrumento garante o equilíbrio adequado durante a medição, permitindo que o densímetro flutue de maneira vertical e precisa (ABNT, 1992).

Figura 8 - Densímetro



Fonte: (Autor, 2025).

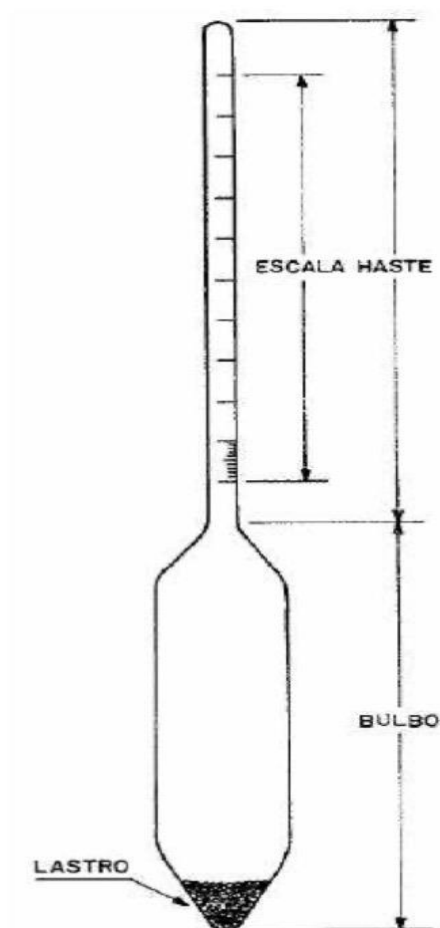
O método de utilização do densímetro está baseado no princípio de Arquimedes, segundo o qual um corpo imerso em um fluido sofre um empuxo proporcional ao volume de líquido deslocado. Assim, quando o densímetro é colocado no líquido, ele afunda até o ponto exato em que sua massa se equilibra com o empuxo exercido pelo fluido. A leitura da densidade é então realizada diretamente na escala graduada, exatamente na altura em que a superfície do líquido encontra o instrumento (ABNT, 1992).

Esse processo permite medições rápidas e de fácil interpretação, tornando o densímetro um recurso indispensável em laboratórios, indústrias e até mesmo em aplicações domésticas, como análise da água ou verificação de soluções específicas. Sua simplicidade operacional e confiabilidade colocam o densímetro como um dos métodos mais tradicionais e eficientes para a avaliação da densidade de líquidos (ABNT, 1992).

4.2.6 Definições e Procedimentos do Método com Densímetro

O procedimento para determinação da densidade de líquidos por meio do densímetro exige rigor técnico tanto na preparação do instrumento quanto na condução do ensaio. A Portaria do INPM – Instituto Nacional de Pesos e Medidas nº 34/62 estabelece que a obtenção da densidade ocorre pela maior ou menor imersão do densímetro no interior da massa líquida, sendo imprescindível que o instrumento flutue livremente, com o eixo sempre na posição vertical, garantindo assim a confiabilidade da leitura (INPM,1962), conforme ilustrado na Figura 9.

Figura 9 - Densímetro de Vidro na Determinação da Densidade



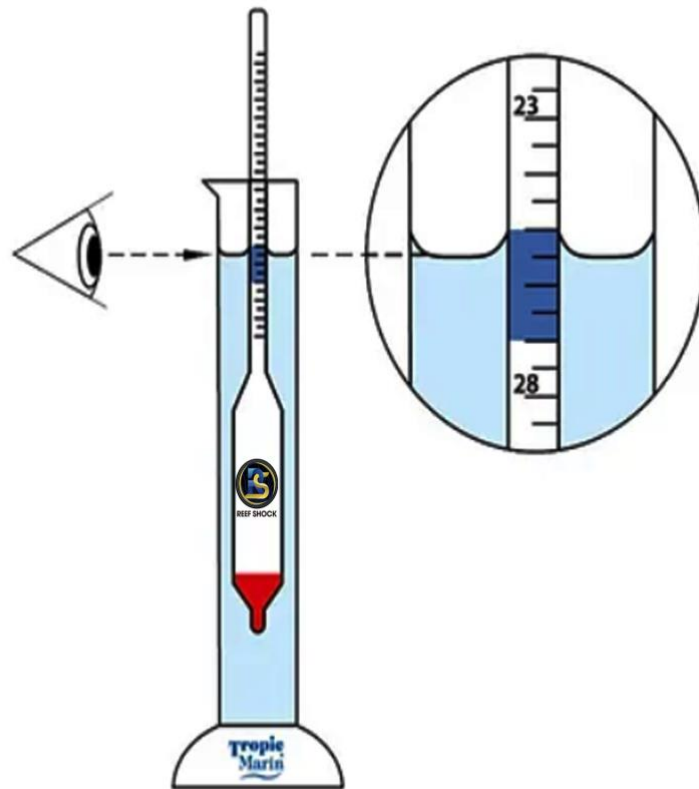
Fonte: (A Portaria INPM nº 34/62, 1962).

Em concordância com essa diretriz normativa, Dner (1994) ressalta que a correta determinação da densidade depende de conceitos bem definidos e de um método executado com cuidado em todas as etapas, desde a preparação da amostra até a leitura final da escala, evitando interferências que possam comprometer o resultado.

Inicialmente, a amostra deve ser conduzida à temperatura prescrita para o ensaio, preferencialmente próxima de 20 °C, que é a temperatura de referência adotada tanto pela normalização nacional quanto pelos procedimentos metrológicos usuais. Embora o ensaio possa ser realizado em uma faixa mais ampla de temperatura, compreendida entre -18 °C e +90 °C, a escolha da condição térmica deve considerar a natureza do líquido e as condições operacionais do ensaio (DNER, 1994). A Portaria INPM nº 34/62 complementa essa orientação ao estabelecer que os densímetros devem ser calibrados para indicar a densidade a 20 °C, referida à água a 4 °C, conforme a notação D20°C/4°C (INPM, 1962).

Após o ajuste térmico, a amostra deve ser transferida cuidadosamente para a proveta, que deve possuir dimensões adequadas para permitir que o densímetro flutue sem tocar o fundo ou as paredes do recipiente. Esse cuidado dialoga diretamente com a exigência do INPM (1962) de que a superfície externa do densímetro seja simétrica e isenta de irregularidades que favoreçam a aderência de bolhas de ar, as quais poderiam alterar o empuxo e comprometer a leitura, como pode ser observado na Figura 10. Dner (1994) reforça que a transferência da amostra deve minimizar a formação de bolhas e a evaporação, sobretudo no caso de líquidos voláteis, recomendando procedimentos como sifonação ou deslocamento de água quando necessário.

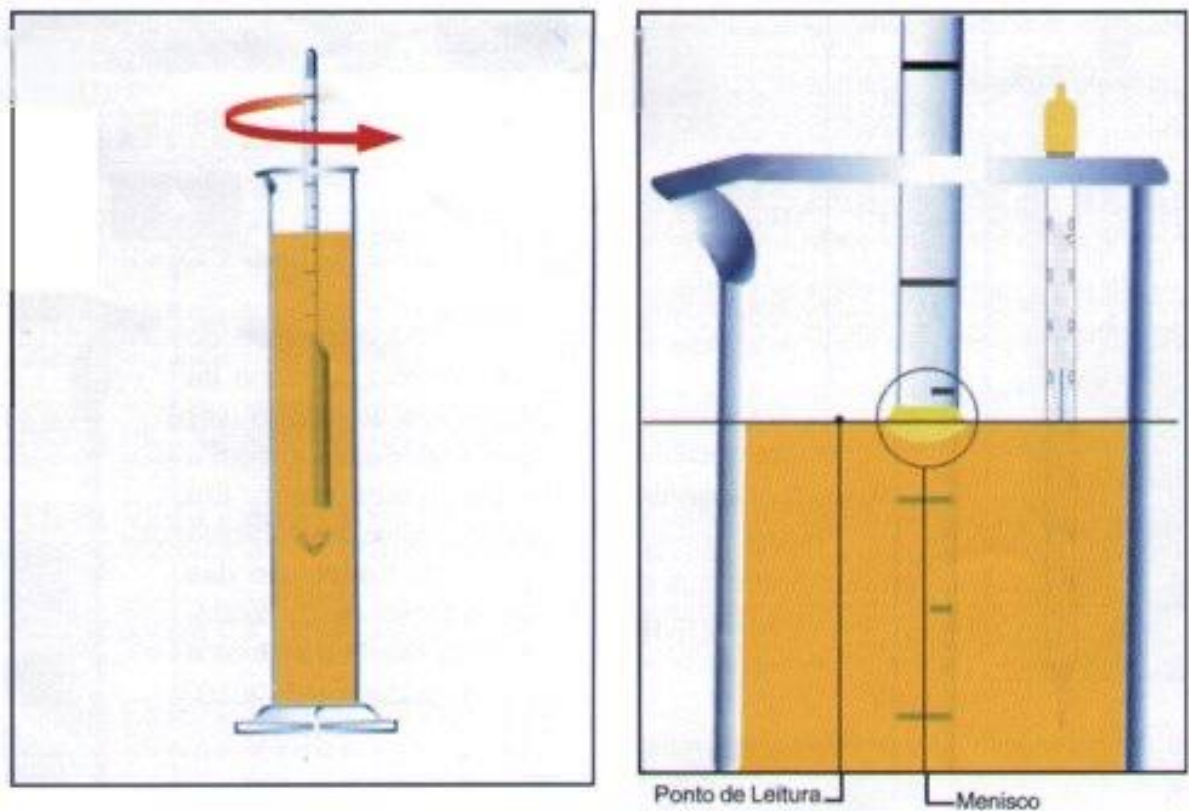
Figura 10 - Densímetro flutuando livremente em proveta graduada



Fonte: (Reef Shock, 2025)

Com a amostra devidamente posicionada, o densímetro deve ser introduzido lentamente no líquido, evitando molhar a haste acima do nível de flutuação. Em seguida, o instrumento deve ser deslocado suavemente para baixo e liberado, permitindo que alcance o equilíbrio de forma natural. Conforme a Portaria INPM nº 34/62, o densímetro deve flutuar livremente, mantendo o eixo vertical, condição essencial para a correta leitura da escala. Dner (1994) acrescenta que, em líquidos de baixa viscosidade, um leve movimento giratório pode auxiliar na estabilização, enquanto em líquidos mais viscosos é necessário aguardar tempo suficiente para que o equilíbrio seja atingido e eventuais bolhas ascendam à superfície, conforme exemplificado na Figura 11.

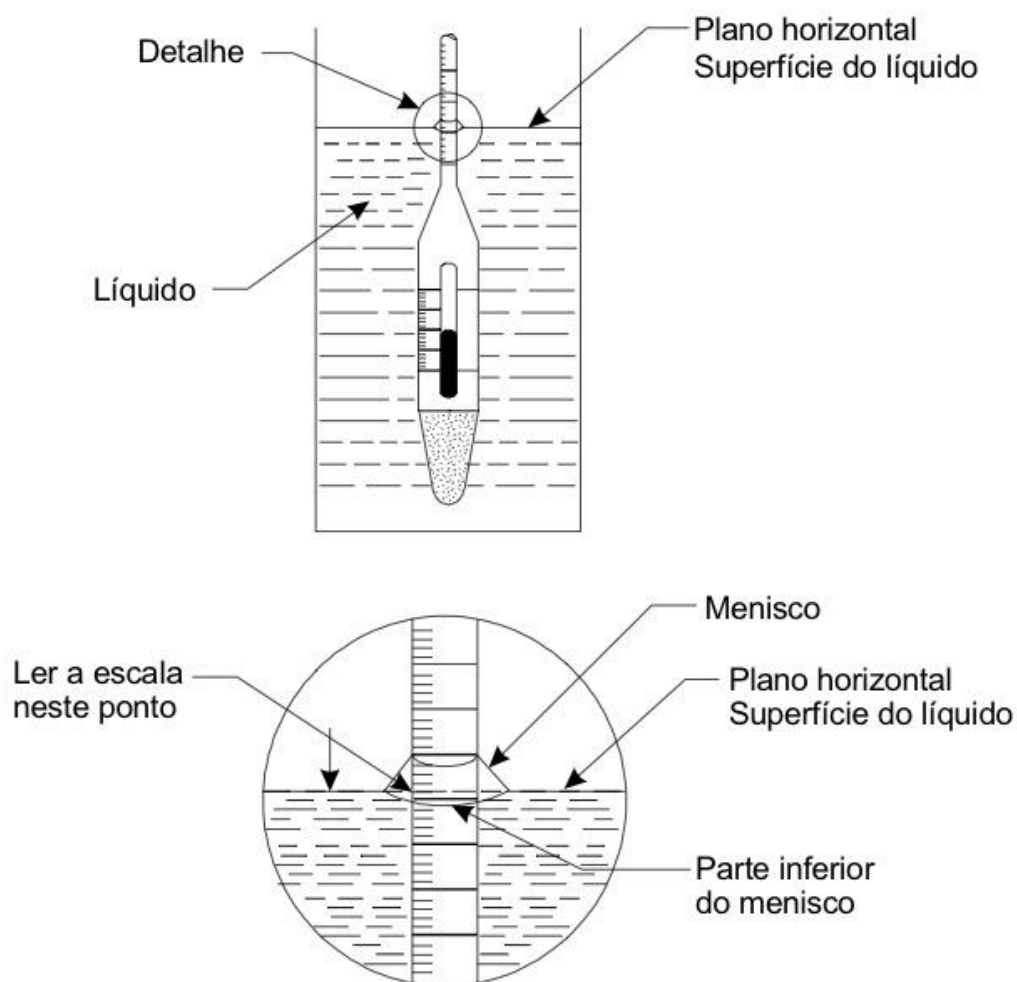
Figura 11- Estabilização do densímetro durante o ensaio de densidade



Fonte: (Brasil Postos, 2015).

A leitura da densidade deve ser realizada no ponto de interseção entre a haste graduada e o plano da superfície do líquido, exatamente como determinado pela calibração do instrumento (INPM, 1962). Para líquidos transparentes, Dener (1994) descreve que a observação deve ser feita inicialmente abaixo da superfície, elevando lentamente o olhar até que a elipse formada pela superfície se transforme em uma linha reta, identificando com precisão o ponto correto de leitura, como demonstrado na Figura 12:

Figura 12 – Leitura da escala do densímetro para líquidos transparentes



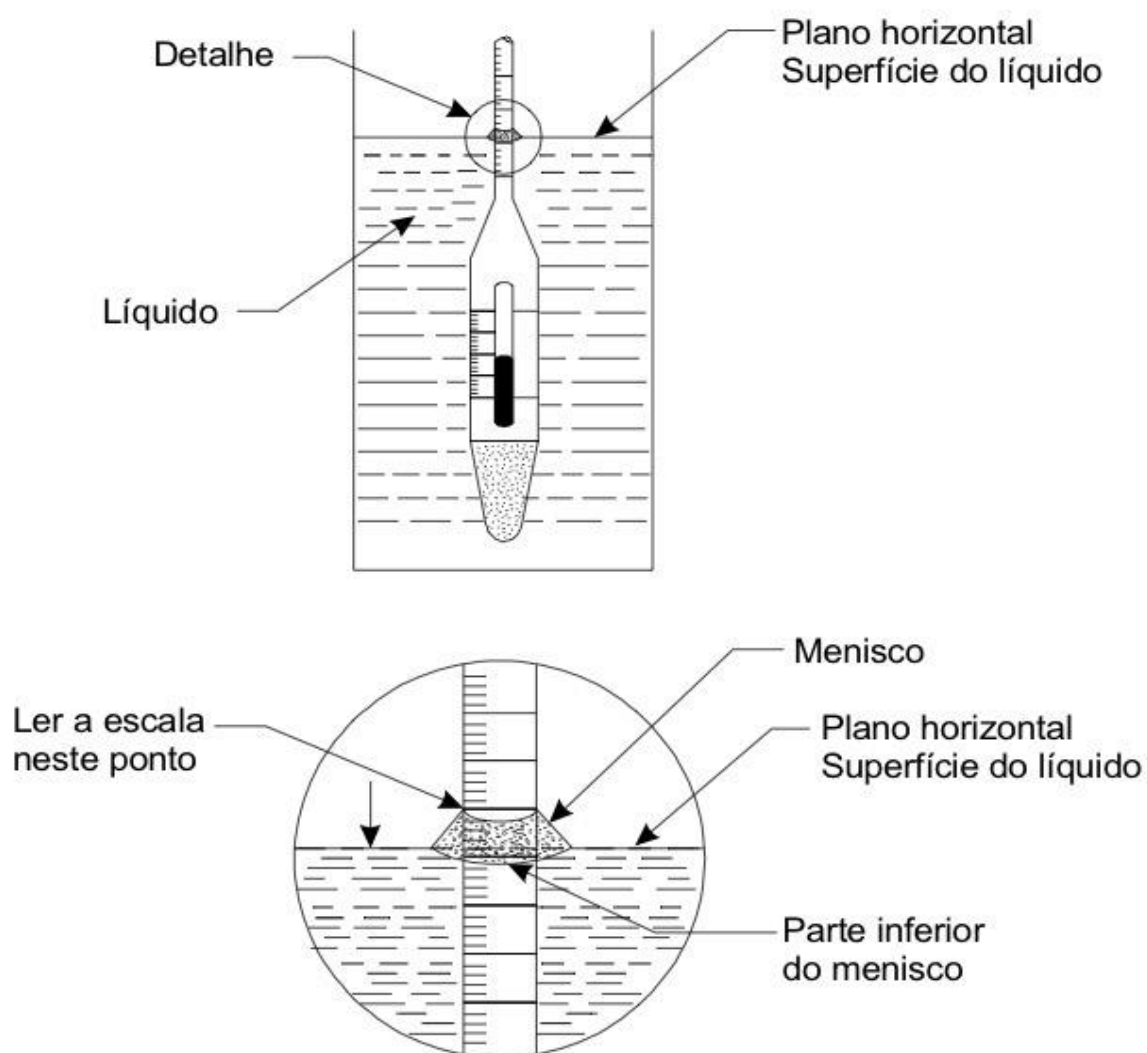
Fonte: (DNER, 1994).

Já em líquidos opacos, a leitura ocorre a partir do contorno do menisco formado ao redor da haste, exigindo posteriormente a aplicação de correção específica, uma vez que o densímetro é calibrado para leitura ao nível da superfície principal do líquido (DNER, 1994). Conforme a Figura 13.

Durante todo o ensaio, a temperatura da amostra deve ser monitorada com precisão aproximada de $0,25\text{ }^{\circ}\text{C}$. Caso a diferença entre leituras sucessivas ultrapasse $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, o procedimento deve ser repetido até que a estabilidade térmica seja alcançada, assegurando maior fidelidade ao resultado (DNER,1994).Essa preocupação com a temperatura está relacionada à influência direta das variações

térmicas sobre a densidade do líquido, bem como aos limites construtivos e de calibração do densímetro, que deve manter estabilidade dimensional, do lastro e da escala até 80 °C, conforme estabelecido pela Portaria INPM nº 34/62.

Figura 13 – Leitura da escala do densímetro para líquidos opacos



Fonte: (DNER, 1994).

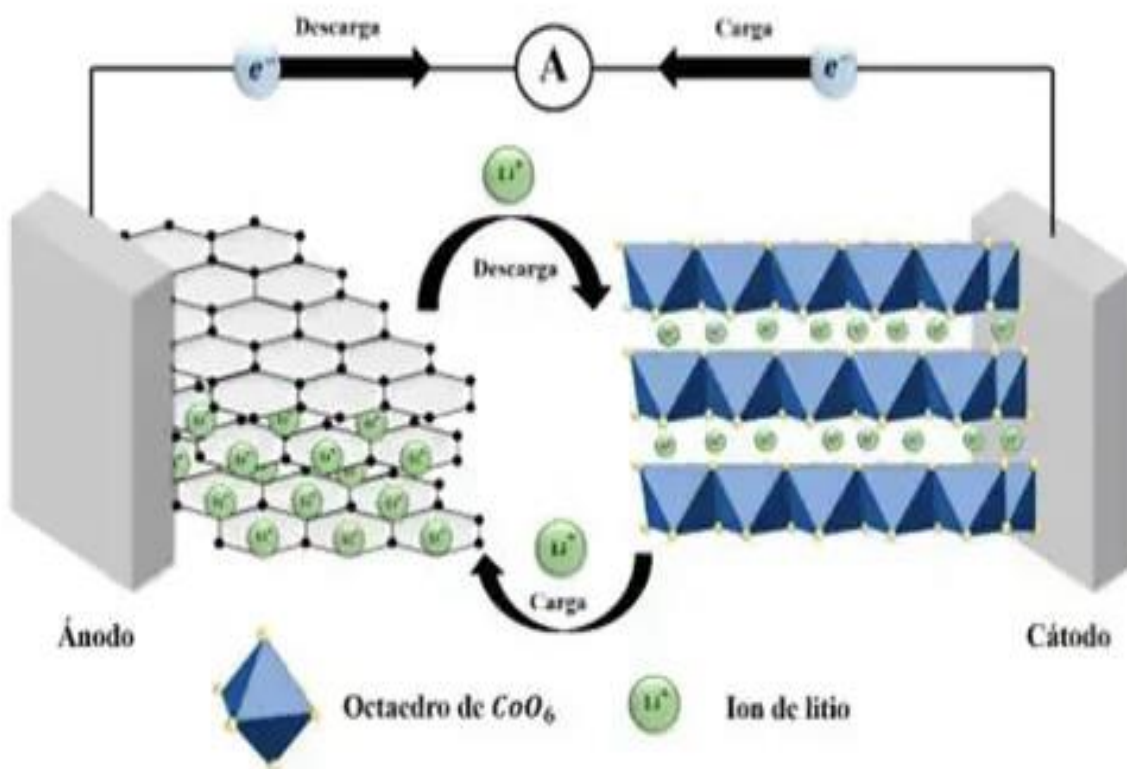
Desta forma, devem ser aplicadas todas as correções necessárias, incluindo ajustes de menisco, correções de temperatura e eventuais fatores de conversão para obtenção da densidade referida a 20 °C/4 °C, conforme estabelecido pelas normas vigentes. A densidade final deve ser registrada com precisão inferior a 0,0005 g/cm³, respeitando a subdivisão da escala definida pela Portaria INPM nº 34/62, enquanto a

temperatura final deve corresponder à média das últimas leituras realizadas durante o ensaio (DNER, 1994).

4.3 Baterias

As baterias são dispositivos fundamentais para o armazenamento e o fornecimento de energia elétrica em diversos equipamentos e veículos. Seu princípio de funcionamento baseia-se na conversão de energia química em energia elétrica por meio de reações eletroquímicas que envolvem transferência de elétrons entre materiais distintos, permitindo assim o fornecimento de corrente para diferentes aplicações Planté em 1859 (NEWMAX, 2019), visto na Figura 14.

Figura 14 - Princípio de funcionamento da bateria



Fonte: (Quartux, 2024).

O desenvolvimento das baterias modernas começou em meados do século XIX, quando Gaston Planté criou a primeira bateria de chumbo-ácido recarregável, utilizando placas de chumbo e eletrodos capazes de receber cargas sucessivas. Esse avanço impulsionou a busca por sistemas que pudessem armazenar energia de maneira eficiente, especialmente após a invenção do dínamo e da lâmpada, que aumentaram a demanda por fontes de energia elétrica confiáveis. Anos mais tarde, Emile Alphonse Faure aprimorou esse conceito ao revestir placas de chumbo com uma pasta de pó de chumbo e ácido sulfúrico, processo que aumentou significativamente a condutividade, durabilidade e capacidade de produção das baterias. A partir desse aprimoramento, a bateria automotiva passou a ser formada por seis células produzindo 2 volts cada, totalizando os conhecidos 12 volts utilizados nos veículos atuais Faure em 1881 (NEWMAX, 2019).

Com o passar dos anos, as tecnologias de baterias evoluíram e deram origem a novos modelos, mais seguros, eficientes e adaptados a diferentes necessidades. Segundo STA (2020), a bateria de chumbo-ácido tradicional deu lugar às versões seladas, conhecidas como VRLA - *Valve-Regulated Lead Acid*. Por serem seladas e não liberarem gases tóxicos, essas baterias podem ser utilizadas em ambientes fechados, sendo amplamente aplicadas em nobreaks, alarmes, iluminação de emergência, telecomunicações e energia eólica.

Outras tecnologias também foram desenvolvidas ao longo da história. Em 1899, Waldmar Jungner criou a bateria de níquel-cádmio (NiCd), que utilizava níquel no eletrodo positivo e cádmio no negativo. Embora eficiente, seu alto custo e os impactos ambientais associados ao cádmio limitaram seu uso. Dois anos depois, Thomas Edison substituiu o cádmio por ferro, desenvolvendo a bateria de níquel-ferro (NiFe), mas problemas de baixa energia, auto-descarga e desempenho instável restringiram sua popularidade. Ainda assim, a bateria NiCd evoluiu ao longo dos anos, alcançando maior longevidade e correntes mais elevadas, sendo por muito tempo a principal bateria recarregável para dispositivos portáteis. Entretanto, por causar danos ambientais quando descartada de maneira inadequada, seu uso passou a ser restrito em diversos países (STA, 2020).

Diante das limitações ambientais, surgiu a bateria de níquel-hidreto metálico (NiMH), considerada mais ecológica e com desempenho superior em energia específica quando comparada às baterias de níquel-cádmio. Essa tecnologia representou uma evolução natural, preservando características positivas das baterias anteriores e reduzindo significativamente os impactos ao meio ambiente (STA, 2020).

Atualmente, a maior parte das pesquisas e aplicações está concentrada nas baterias de íons de lítio. Introduzidas comercialmente pela Sony em 1991, elas revolucionaram o mercado por sua alta densidade de energia, recarga simplificada, baixa manutenção e menor impacto ambiental. Hoje, são amplamente utilizadas em celulares, notebooks, dispositivos médicos, ferramentas elétricas, carros elétricos e até satélites, tornando-se essenciais para a mobilidade moderna e tecnologias avançadas (STA, 2020).

Apesar da variedade de tecnologias disponíveis, todas as baterias compartilham um ponto comum: durante seu funcionamento, parte da energia química não é aproveitada integralmente, sendo perdida na forma de calor, o que limita a eficiência total do processo energético (STA, 2020).

4.3.1 Características Importantes da Bateria

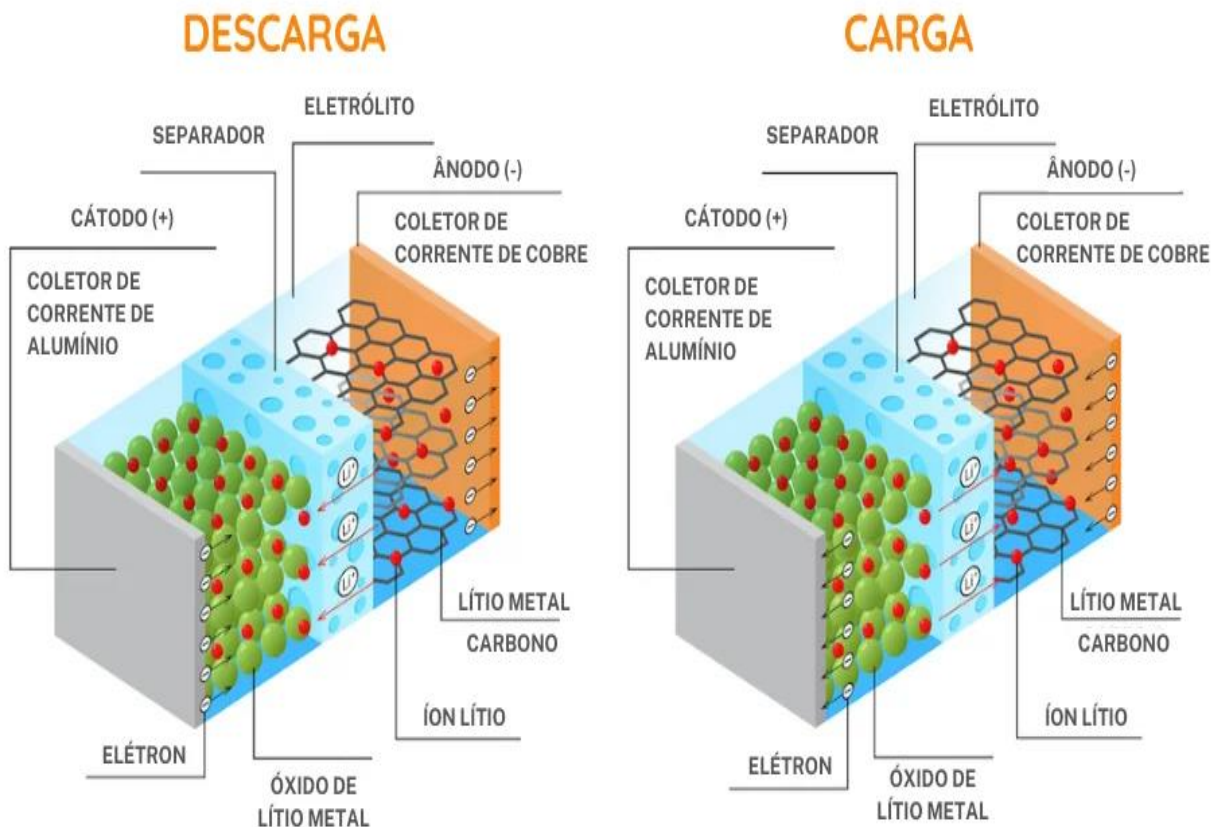
A análise das características de uma bateria é fundamental para compreender seu desempenho e sua adequação a diferentes aplicações. Entre os parâmetros mais relevantes está a auto-descarga, que corresponde à perda natural de carga mesmo quando a bateria não está em uso. Esse fenômeno ocorre devido aos processos químicos internos e varia conforme a tecnologia empregada.

Outro aspecto essencial é o ciclo de bateria, definido como o número de sequências completas de carga e descarga que o componente suporta antes de apresentar redução significativa de capacidade. Esse indicador está diretamente ligado à profundidade de descarga permitida e à vida útil do equipamento. Já a densidade de energia se refere à quantidade de energia que a bateria consegue armazenar em relação ao seu volume ou massa, influenciando diretamente o

tamanho, o peso e a autonomia do sistema no qual será aplicada (PLETT, 2015, p. 4-8).

Os eletrodos também têm papel fundamental no funcionamento da bateria. Durante a descarga, o ânodo atua como polo negativo e passa pelo processo de oxidação, enquanto o cátodo, como polo positivo, sofre redução. No processo de recarga, essa polaridade é invertida. Entre os dois eletrodos encontra-se o eletrólito, meio responsável por permitir o deslocamento de íons, condição indispensável para que as reações eletroquímicas ocorram adequadamente (PLETT, 2015, p. 4-8), conforme a Figura 15.

Figura 15 – Funcionamento da bateria



Fonte: (Tupimob, 2024).

Na escolha do tipo de bateria a ser utilizada, alguns critérios práticos devem ser considerados, como baixo custo, alta eficiência energética, baixa taxa de descarga, longa vida útil, pouca necessidade de manutenção e facilidade de operação. Esses requisitos são determinantes para definir a tecnologia mais apropriada para cada finalidade.

Atualmente, as baterias de chumbo-ácido permanecem amplamente utilizadas, especialmente em sistemas que exigem suprimento confiável de energia, como nobreaks e UPS – *Uninterruptible Power Supply*. Apesar de existirem tecnologias mais modernas, como níquel-cádmio, níquel-hidreto metálico e íon-lítio — que oferecem vantagens como maior eficiência, maior profundidade de descarga e vida útil prolongada — o custo dessas alternativas ainda limita sua aplicação em muitos cenários. O chumbo-ácido destaca-se, portanto, pela acessibilidade, fácil manutenção e alta reciclabilidade, justificando sua ampla adoção em diversas aplicações (PLETT, 2015, p. 4-8).

4.3.2 Bateria Automotiva: Validade e Desempenho do Veículo

A bateria automotiva possui uma vida útil limitada, e compreender sua validade é fundamental para evitar falhas inesperadas e garantir o bom funcionamento do veículo. Embora muitos motoristas só percebam a importância desse componente quando o carro não dá partida, a deterioração da bateria é um processo gradual e previsível. De acordo com Bosch (2020), a maioria das baterias apresenta vida útil média entre 2 e 4 anos, variando conforme o clima, o uso do veículo, a qualidade da carga elétrica e os hábitos de manutenção.

A validade da bateria está diretamente relacionada ao desgaste natural das placas internas e ao processo de sulfatação, que se intensifica quando o veículo permanece longos períodos parado ou quando o sistema elétrico trabalha constantemente no limite. Esse fenômeno é ressaltado pela Moura (2024), que destaca que condições como trajetos curtos, excesso de acessórios elétricos e alternador desregulado aceleram a perda de capacidade da bateria.

Com o tempo, a bateria passa a apresentar sinais de redução de desempenho, como partidas mais lentas, oscilação no painel e dificuldade em manter a carga. O Heliar (2021) destaca que a validade pode ser encurtada significativamente quando a bateria opera fora da temperatura ideal, já que o calor excessivo e o frio intenso alteram a velocidade das reações químicas internas, influenciando diretamente sua durabilidade.

A manutenção preditiva também auxilia na avaliação da validade da bateria. Ao monitorar parâmetros como tensão, resistência interna e capacidade de carga, é possível identificar quando o componente está próximo do fim de sua vida útil. CTEK (2021) afirma que avaliações periódicas antecipam falhas e permitem a substituição da bateria de forma planejada, evitando imprevistos no dia a dia do motorista.

Outro aspecto importante é que cada fabricante define um período de garantia e validade estimada conforme o tipo de bateria. Modelos mais modernos, como as baterias AGM – *Absorbent Glass Mat* (Manta de Vidro Absorvente) e EFB – *Enhanced Flooded Battery* (Bateria Inundada Aprimorada) usadas em veículos com sistema *start-stop*, possuem maior durabilidade e resistência a ciclos de carga, mas ainda assim sofrem desgaste natural. Conforme destaca Valeo (2025), respeitar a validade indicada pelo fabricante evita riscos ao sistema elétrico e garante maior eficiência energética ao veículo.

4.3.3 A Importância da Manutenção Preditiva nas Baterias Automotivas

A bateria é um dos componentes mais essenciais do sistema elétrico automotivo, responsável por garantir a partida do motor e alimentar diversos equipamentos eletrônicos do veículo. Por isso, a manutenção preditiva torna-se fundamental para preservar seu desempenho e evitar falhas inesperadas. Segundo Bosch (2020), a maior parte das panes elétricas automobilísticas está diretamente relacionada ao desgaste natural da bateria e à falta de acompanhamento adequado do seu estado de saúde.

A manutenção preditiva tem como objetivo identificar sinais de deterioração antes que eles se tornem falhas completas, permitindo intervenções no momento ideal. De acordo com CTEK (2021), fatores como sulfatação, baixa tensão, variações de carga, temperatura elevada e aumento da resistência interna podem ser detectados antecipadamente por meio de medições periódicas, evitando a perda repentina da capacidade de partida.

Outro ponto importante é que a bateria sofre desgaste mesmo quando o veículo não está em uso, devido ao fenômeno chamado autodescarga. Estudos da Moura (2024) mostram que longos períodos de inatividade aceleram esse processo, levando à perda de capacidade e à necessidade de substituição precoce. A manutenção preditiva monitora essas variações e permite corrigir situações críticas, como baixa voltagem, antes que comprometam o sistema elétrico.

Além disso, falhas na bateria podem gerar danos secundários a outros componentes do veículo. O Heliar (2021) afirma que baterias funcionando fora dos parâmetros ideais podem sobrecarregar o alternador, reduzindo sua vida útil e prejudicando todo o circuito de alimentação. Assim, antecipar problemas por meio de análises periódicas evita prejuízos maiores.

A manutenção preditiva também contribui para a segurança do motorista. Situações como pane total, dificuldade de partida ou falha em sistemas eletrônicos críticos podem ser evitadas simplesmente acompanhando indicadores de desempenho da bateria, algo reforçado pelo Instituto da Qualidade Automotiva – IQA (2020). Esse acompanhamento constante aumenta a confiabilidade do veículo e reduz a probabilidade de transtornos durante o uso diário.

Por fim, adotar a manutenção preditiva promove economia. A troca da bateria no momento adequado, antes que ocorram falhas graves, reduz custos com guincho, revisões emergenciais e danos colaterais. Como ressalta Valeo (2025), identificar irregularidades antecipadamente prolonga a vida útil dos componentes elétricos, além de melhorar a eficiência energética do sistema.

4.4 Scanner de Pneus

Os scanners de pneus têm se tornado uma das principais ferramentas tecnológicas aplicadas ao diagnóstico automotivo moderno. Esses equipamentos realizam a avaliação automática das condições dos pneus por meio de sensores ópticos e câmeras de alta resolução, permitindo uma leitura precisa da profundidade da banda de rodagem, desgaste irregular, pressão e possíveis danos estruturais, sem a necessidade de desmontar o conjunto. Essa evolução tecnológica tem contribuído para diagnósticos mais seguros e rápidos, reduzindo a dependência exclusiva da inspeção visual tradicional (HUNTER ENGINEERING, 2024).

No funcionamento prático, o veículo passa sobre o equipamento, que registra toda a superfície do pneu. Em poucos segundos, o sistema gera relatórios digitais capazes de identificar padrões de desgaste relacionados à calibragem incorreta, desalinhamento ou falhas nos componentes de suspensão. De acordo com a Hunter Engineering (2024), alguns modelos alcançam precisão de até $\pm 0,2$ mm, garantindo alto nível de confiabilidade nas medições e fortalecendo a aplicação da manutenção preditiva nas oficinas.

Conforme a Figura 16, essa tecnologia está alinhada às transformações propostas pela Indústria 4.0, que integra dispositivos físicos, sistemas digitais e análise de dados para otimizar processos de manutenção e aumentar a eficiência operacional (SCHWAB, 2016). Os scanners de pneus seguem essa perspectiva ao aprimorar o monitoramento das condições dos veículos, reduzindo a margem de erro humano e proporcionando diagnósticos mais consistentes.

Além dos benefícios operacionais, o uso desse tipo de equipamento também contribui para a segurança no trânsito. A Continental (2023) destaca que pneus em más condições representam um dos principais fatores de risco para perda de aderência, aumento da distância de frenagem e ocorrência de aquaplanagem. A detecção antecipada dessas irregularidades permite que o motorista tome decisões preventivas, reduzindo a probabilidade de acidentes.

Figura 16 – Scanner de Pneus



Fonte: (GynProg Loja, 2025)

Outro ponto relevante é a sustentabilidade. A análise precisa do desgaste evita substituições prematuras e reduz a geração de resíduos, prolongando a vida útil dos pneus e favorecendo práticas ambientais mais responsáveis. Essa abordagem vai ao encontro das recomendações internacionais de manutenção inteligente e sustentável no setor automotivo (MARTINS; SOUZA, 2021).

4.4.1 Validade dos Pneus

A validade dos pneus é um fator essencial para garantir a segurança veicular e a eficiência do desempenho em diferentes condições de rodagem. Embora muitos

condutores considerem apenas a profundidade da banda de rodagem, o tempo de fabricação também exerce forte influência nas características estruturais do pneu. Com o passar dos anos, o composto de borracha perde elasticidade e resistência, mesmo quando o pneu não está em uso, processo conhecido como envelhecimento químico (CONTINENTAL, 2023).

Segundo recomendações internacionais da Michelin (2022), o prazo médio de validade dos pneus varia entre 5 e 10 anos a partir da data de fabricação, dependendo das condições de armazenamento, temperatura ambiente e forma de utilização. Fabricantes como Bridgestone reforçam que pneus com mais de 5 anos devem passar por inspeções anuais com profissionais qualificados, mesmo que ainda apresentem profundidade adequada dos sulcos (BRIDGESTONE, 2023).

A data de fabricação é indicada pelo código DOT (*Department of Transportation*), gravado na lateral do pneu. Os quatro dígitos finais representam a semana e o ano de produção; por exemplo, o código “DOT 2219” indica que o pneu foi fabricado na 22ª semana do ano de 2019 (MICHELIN, 2022). A leitura correta desse código é fundamental para avaliar se o componente ainda se encontra dentro de um período seguro de uso.

O envelhecimento excessivo do material pode resultar em microfissuras, endurecimento da borracha e perda de aderência, aumentando o risco de falhas e acidentes, principalmente em situações de frenagem brusca ou pistas molhadas. De acordo com a Continental (2023), pneus vencidos têm maior probabilidade de sofrer delaminação ou estouro, especialmente em veículos que trafegam carregados ou em altas velocidades.

Além disso, a validade está diretamente relacionada às práticas de manutenção preditiva. O monitoramento contínuo da integridade dos pneus — por meio de scanners, inspeções técnicas e análise do código DOT — auxilia na identificação antecipada de riscos e evita a utilização de pneus comprometidos, contribuindo para a segurança do usuário e a redução de custos com substituições emergenciais (MARTINS; SOUZA, 2021).

4.4.2 Importância da Manutenção Preditiva Utilizando Scanners nos Pneus Automotivos

A manutenção preditiva aplicada aos pneus automotivos tem ganhado destaque devido à necessidade crescente de diagnósticos mais precisos, rápidos e confiáveis. Entre as tecnologias utilizadas nesse processo, os scanners de pneus se tornaram ferramentas fundamentais, pois permitem identificar alterações e desgastes que dificilmente seriam percebidos em inspeções convencionais. Essa abordagem está totalmente alinhada ao conceito de manutenção baseada em condição, que utiliza dados reais do componente para prever falhas futuras e direcionar intervenções de forma estratégica (MARTINS; SOUZA, 2021).

Com o apoio de sensores ópticos e câmeras de alta resolução, os scanners são capazes de medir a profundidade dos sulcos, detectar desgaste irregular, identificar deformações e monitorar a geometria do conjunto de rodas com precisão milimétrica. Segundo a Hunter Engineering (2024), equipamentos modernos podem analisar instantaneamente todos os pneus do veículo, gerando relatórios detalhados que facilitam a tomada de decisão e permitem agir antes que ocorra qualquer falha crítica.

A aplicação da manutenção preditiva por meio desses scanners traz diversos benefícios diretos. Um deles é o aumento da segurança, já que pneus com desgaste avançado ou irregular estão entre os principais fatores associados à perda de estabilidade, maior distância de frenagem e risco de aquaplanagem. A Continental (2023) ressalta que a detecção precoce dessas condições reduz significativamente a probabilidade de acidentes, especialmente em estradas molhadas ou em veículos que circulem em alta velocidade.

Outro aspecto relevante é o ganho econômico. Ao prever problemas antes que eles se agravem, o motorista ou gestor de frota pode planejar substituições no momento adequado, evitando gastos desnecessários e prolongando a vida útil dos componentes. Essa eficiência operacional faz parte dos pilares da Indústria 4.0, que busca integrar tecnologia, análise de dados e conectividade para melhorar processos e reduzir custos (SCHWAB, 2016).

Além disso, o uso de scanners contribui para práticas sustentáveis. O diagnóstico preciso evita trocas antecipadas e minimiza o descarte inadequado de pneus, reduzindo impactos ambientais e fortalecendo políticas de responsabilidade socioambiental no setor automotivo (MICHELIN, 2022). Com isso, a manutenção preditiva deixa de ser apenas uma estratégia de conservação do veículo e passa a integrar um conjunto de práticas que beneficiam também o meio ambiente.

4.5 Filtro de Combustível

O filtro de combustível é um dos componentes essenciais para o bom funcionamento do motor, pois tem a função de reter as impurezas que vêm do tanque antes que elas cheguem ao sistema de injeção. Essas partículas podem incluir sujeira, ferrugem e resíduos provenientes da própria qualidade do combustível, que muitas vezes é duvidosa. Ao impedir que esses contaminantes circulem, o filtro garante que o motor seja alimentado apenas com combustível limpo, evitando falhas, perda de potência e desgaste prematuro dos componentes internos (filtros Brasil, 2025).

O seu funcionamento é relativamente simples, mas extremamente eficiente. O combustível deixa o tanque e entra no filtro, onde passa por camadas de material poroso, normalmente composto por papel especial ou fibras sintéticas. Esse elemento filtrante retém as partículas sólidas e, em alguns casos, até separa pequenas quantidades de água misturadas ao combustível. Após esse processo, o combustível sai limpo e segue para o sistema de injeção, onde será atomizado e conduzido à câmara de combustão (TotalEnergies, 2025).

Manter o filtro limpo é fundamental para que a mistura ar-combustível seja formada de maneira correta. Quando o filtro está saturado, o fluxo do combustível é reduzido e isso interfere diretamente no desempenho do motor, gerando dificuldade na aceleração, marcha lenta irregular e até aumento nos consumos e emissões. Em situações mais extremas, o entupimento pode levar à queima da bomba de combustível ou causar problemas no sistema de injeção eletrônica, prejudicando o desempenho do veículo desde a partida até a aceleração (filtros Brasil, 2025).

A recomendação mais comum das montadoras é realizar a troca do filtro a cada 10 mil quilômetros rodados, mas esse número pode variar de acordo com o manual do fabricante e com as condições de uso. Quem dirige frequentemente por estradas de terra ou abastece em locais onde o combustível pode não ter boa procedência precisa redobrar a atenção, pois o filtro pode saturar mais rápido. Além disso, sinais como dificuldade na partida, perda de potência, engasgos, consumo elevado ou luz de advertência no painel podem indicar que o filtro está no momento de ser substituído (TotalEnergies, 2025).

Mais do que um simples elemento de retenção, o filtro de combustível é um componente indispensável para preservar o motor e garantir seu funcionamento regular e eficiente. Cuidar dele é cuidar de todo o sistema de combustão, assegurando melhor desempenho, menor desgaste e maior durabilidade do veículo.

4.5.1 Importância da Manutenção Preditiva para o Filtro de Combustível

A manutenção preditiva do filtro de combustível é essencial para garantir que o motor receba um combustível limpo e em quantidade adequada. Esse tipo de manutenção permite identificar o momento em que o filtro começa a perder eficiência, evitando que ele fique completamente saturado e cause falhas no funcionamento do veículo.

Quando o filtro acumula sujeira como pode ser observado na Figura 17, o fluxo de combustível diminui e o motor começa a apresentar sinais como perda de potência, engasgos, consumo elevado ou dificuldade na partida. Detectar esses sintomas antecipadamente evita danos maiores, como problemas na bomba de combustível e no sistema de injeção (J. Alves, 2023)

O acompanhamento preventivo também considera as condições reais de uso do veículo. Em locais com combustível de baixa qualidade ou estradas mais sujas, o filtro costuma saturar mais rápido, exigindo trocas antecipadas. Por isso, observar o comportamento do carro e fazer revisões periódicas é fundamental para manter o desempenho ideal.

Em resumo, a manutenção preditiva do filtro de combustível garante maior proteção ao motor, evita gastos desnecessários com reparos e assegura uma condução mais segura e eficiente no dia a dia.

Figura 17 - Filtro com acúmulo de sujeira



Fonte: (Tecfil, 2025).

4.6 Filtro de Polén

O filtro de pólen, também chamado de filtro do ar interno, é uma peça indispensável para o conforto e a saúde dentro do veículo. Localizado no sistema de ventilação e ar-condicionado, ele tem a função de reter partículas de pólen, poeira, fuligem, sujeira e diversos alérgenos presentes no ar que entra na cabine visto na Figura 18, ajudando especialmente quem convive com rinite, sinusite e outras alergias respiratórias (Auto Mecânica e Elétrica Pabocar, 2020).

A estrutura do filtro é composta por camadas de material filtrante, geralmente de papel ou tecido sintético, projetadas para permitir a passagem do ar enquanto capturam partículas maiores. Em alguns modelos, existe ainda uma camada de carvão ativado, responsável por absorver odores e certos gases que podem causar incômodo ao motorista e aos passageiros. Há diferentes tipos no mercado, indo desde os modelos convencionais até versões de maior eficiência, como os filtros HEPA, que retêm partículas ainda menores e oferecem uma filtragem mais eficaz (Auto Mecânica e Elétrica Pabocar, 2020).

Figura 18 - Filtro de pólen com sujeira e poeira



Fonte: (Repsol, 2024).

Por ser o responsável direto pela qualidade do ar que circula dentro do veículo, o filtro de pólen exige cuidados periódicos. Com o uso contínuo, o material filtrante acumula sujeira e perde sua capacidade de retenção, o que prejudica o fluxo de ar e sobrecarrega o sistema de ventilação. Por isso, a troca deve ser realizada conforme as recomendações do fabricante, normalmente a cada 6 meses ou cerca de 10.000 km, podendo ser antecipada caso o filtro apresente sujeira excessiva ou sinais de desgaste (Auto Mecânica e Elétrica Pabocar, 2020).

Além da substituição regular, entra em cena a manutenção preditiva, que tem se mostrado cada vez mais importante quando se fala em filtro de pólen. Esse tipo de manutenção antecipa problemas antes que eles ocorram, observando sintomas como

redução do fluxo de ar, odores incomuns e ruídos no sistema de ventilação. Quando aplicada ao filtro de pólen, a manutenção preditiva evita que o componente opere saturado, garante ar mais puro dentro da cabine, preserva o desempenho do ar-condicionado e contribui até mesmo para o menor consumo de combustível, já que o sistema não trabalha forçado devido à obstrução do filtro (Auto Mecânica e Elétrica Pabocar, 2020).

5. DIAGNÓSTICO AUTOMOTIVO PREDITIVO

A aplicação da manutenção preditiva na área automotiva exige o uso de ferramentas e métodos de diagnóstico capazes de avaliar, de forma objetiva, o estado real dos componentes veiculares. Diferentemente das manutenções baseadas exclusivamente em tempo ou quilometragem, essa abordagem fundamenta-se na análise das condições operacionais dos sistemas, permitindo a identificação antecipada de desgastes, degradações e falhas potenciais. Para que essa estratégia seja eficaz, torna-se indispensável a utilização de equipamentos de medição e inspeção adequados, aliados a procedimentos técnicos bem definidos.

O Quadro 2 apresenta uma síntese dos principais componentes automotivos analisados neste estudo, relacionando os equipamentos utilizados para diagnóstico, o tempo médio necessário para a realização da análise e os autores de referência que fundamentam tecnicamente cada procedimento. A definição do tempo médio considera o conjunto de etapas envolvidas no processo de análise, incluindo preparação, medição, interpretação dos resultados e registro das informações, em conformidade com os princípios da manutenção preditiva.

Dessa forma, o quadro tem como objetivo facilitar a compreensão comparativa entre os diferentes métodos de diagnóstico aplicados, evidenciando a eficiência operacional de cada tecnologia e sua contribuição para a confiabilidade, segurança e otimização dos custos de manutenção veicular.

Quadro 2 – Diagnóstico Automotivo na Manutenção Preditiva

Componentes	Equipamentos utilizados para análise	Tempo médio de análise	Autores
Fluido de freio	Caneta eletrônica para teste de fluido DOT 3/DOT 4	2 a 5 minutos	NHTSA (2022); Bosch (2020); SAE International (2019)
Sistema de arrefecimento	Densímetro automotivo, termômetro e inspeção visual	5 a 10 minutos	Valeo (2025); Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (1992)
Bateria automotiva	Multímetro digital e analisador eletrônico de bateria	5 a 8 minutos	Bosch (2020); CTEK (2021); Heliar (2021); Moura (2024)
Scanner de pneus	Scanner óptico com sensores e câmeras de alta resolução	1 a 3 minutos	Hunter Engineering (2024); Continental (2023)
Filtro de combustível	Inspeção visual, verificação de pressão e histórico de manutenção	10 a 20 minutos	Bosch (2020)
Filtro de pólen	Inspeção visual do elemento filtrante	3 a 5 minutos	Continental (2023)

7. BANNER: MANUTENÇÃO PREDITIVA

A manutenção automotiva desempenha papel fundamental na segurança e na confiabilidade dos veículos, especialmente diante do avanço tecnológico dos sistemas embarcados. Nesse contexto, a manutenção preditiva destaca-se por basear suas intervenções na condição real dos componentes, utilizando instrumentos de diagnóstico e sensores para evitar falhas inesperadas e substituições desnecessárias.

O estudo apresentado teve como objetivo avaliar práticas de manutenção automotiva com foco na manutenção preditiva, analisando métodos capazes de aumentar a eficiência operacional, elevar a segurança dos veículos e reduzir custos. Para isso, foram utilizados instrumentos de diagnóstico não invasivos, como a caneta de teste de fluido de freio e o densímetro, permitindo identificar a deterioração dos fluidos em uso real e orientar intervenções com base em parâmetros objetivos, conforme a Figura 19.

Os resultados indicaram que a manutenção preditiva possibilita a antecipação de falhas, a redução de custos operacionais e o aumento da segurança, por meio do monitoramento de sistemas como fluido de freio, arrefecimento, bateria, pneus e filtros. Como complemento prático, destaca-se o estudo realizado no projeto piloto de extensionismo da Fatec Santo André, aplicado à empresa Suzantur, no qual a metodologia Lean foi associada à manutenção preditiva no sistema de combustível de ônibus. Nesse caso, o monitoramento da pressão permitiu avaliar a condição do filtro de combustível, viabilizando a extensão do intervalo de troca de 15.000 km para até 25.000 km, desde que mantidos os limites especificados pelo fabricante, reduzindo desperdícios e custos operacionais.

Figura 19 - Banner



MANUTENÇÃO PREDITIVA

Gabriel Bordim Antunes – gabriel.antunes10@fatec.sp.gov.br
 Irinaldo Heleno Silva – irinaldo.silva@fatec.sp.gov.br
 Marcus Vinicius da Silva – marcus.silva68@fatec.sp.gov.br

Professor Orientador: Marco Aurelio Froes – marco.froes@fatec.sp.gov.br



Introdução

A manutenção automotiva desempenha papel central na mobilidade e na segurança, especialmente diante da crescente complexidade tecnológica dos veículos. A gestão eficiente dos sistemas requer abordagens estruturadas que reduzam falhas, prolonguem a vida útil dos componentes e otimizem custos operacionais.

Entre os modelos existentes, a manutenção preditiva se destaca por basear suas intervenções no estado real dos componentes, permitindo diagnósticos precisos e evitando trocas desnecessárias. Essa abordagem aumenta a confiabilidade do veículo, reduz gastos e contribui para práticas mais sustentáveis no setor automotivo.

Materiais e Procedimento

Foram utilizados dois instrumentos de diagnóstico: a caneta de teste de fluido de freio, para medir contaminação por umidade, e o densímetro, para avaliar a densidade e o desempenho do líquido de arrefecimento. Os testes foram realizados diretamente nos veículos, sem desmontagem, permitindo identificar o grau de deterioração dos fluidos e orientar a substituição com base em dados reais.







Objetivo

Investigar e avaliar práticas de manutenção automotiva com foco na manutenção preditiva, buscando identificar métodos capazes de aumentar a eficiência operacional, elevar a segurança dos veículos e reduzir custos. A proposta inclui analisar como o diagnóstico por condição, o uso de sensores e ferramentas de medição contribuem para intervenções mais precisas, promovendo maior sustentabilidade no uso, conservação e desempenho dos sistemas automotivos.

Metodologia

Foram aplicadas técnicas de manutenção preditiva com foco na avaliação direta das condições dos sistemas. Utilizou-se a caneta de teste de fluido de freio para mensurar a contaminação por umidade e o densímetro para verificar a densidade e o desempenho do líquido de arrefecimento. Os resultados permitiram identificar a deterioração dos fluidos em uso real, antecipar falhas e orientar intervenções com base em parâmetros objetivos, reduzindo custos e aumentando a segurança operacional.

Resultados

O estudo indica que a manutenção preditiva reduz custos operacionais e aumenta a eficiência dos veículos. A análise de sistemas como fluido de freio, arrefecimento, bateria, pneus e filtros demonstrou que o uso de sensores e métodos de medição direta permite identificar alterações iniciais, possibilitando intervenções no momento adequado e prevenindo falhas graves.

Fundamentação Teórica

O estudo apresenta o histórico da manutenção automotiva, destacando sua evolução ao longo do tempo em função das transformações tecnológicas e das demandas do mercado. São examinadas as principais categorias de manutenção adotadas no setor corretiva, preventiva e preditiva, evidenciando seus contextos de aplicação e limitações operacionais.

A manutenção preditiva recebe especial atenção por se apoiar em tecnologias de monitoramento, sensores e análise de dados para antecipar falhas, prolongar a vida útil dos componentes, reduzir custos e elevar os níveis de segurança e confiabilidade dos veículos, consolidando-se como uma abordagem mais eficiente frente às práticas tradicionais.



Considerações finais

Percebemos que a manutenção preditiva é essencial para a gestão de veículos, pois reduz custos, aumenta a segurança e mantém o veículo disponível por mais tempo. O uso de sensores e ferramentas de diagnóstico permite identificar problemas antes que se tornem graves, evitando falhas e os altos gastos da manutenção corretiva.

Referências

ABREU, Rafael Andrade de. **Eficácia da manutenção preventiva**. Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação, v. 9, n. 3, p. 2112–2119, 2023.

LAMBERT-TORRES, Germano. **Inteligência computacional aplicada à manutenção preditiva**. Revista IEEE América Latina, v. 18, n. 7, p. 1172–1179, 2020.

LEOPOLDINO, Miguel Ângelo Barreiro. **Sistematização das atividades de manutenção preventiva e implementação de um sistema kanban numa indústria de extração e transformação de calcário**. 2016. 143 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Monte de Caparica, 2016.

Fonte: (Própria Autoria, 2025).

7. CONCLUSÃO

A realização deste trabalho permitiu compreender de forma clara como a manutenção preditiva se tornou uma ferramenta estratégica para reduzir custos e aumentar a eficiência operacional no setor automotivo. Ao longo da pesquisa, foi possível observar que as práticas tradicionais, baseadas apenas em intervenções corretivas ou cronogramas preventivos, já não atendem plenamente às demandas atuais, especialmente em um cenário onde a tecnologia, a competitividade e a necessidade de disponibilidade dos veículos exigem respostas cada vez mais precisas e rápidas.

A análise dos diferentes sistemas como: fluido de freio, sistema de arrefecimento, baterias, scanner de pneus e filtros, demonstrou que cada componente possui características próprias de desgaste e degradação, reforçando que intervenções programadas de maneira genérica não conseguem contemplar todas as variáveis envolvidas. Dessa forma, o uso de ferramentas de diagnóstico, sensores e métodos de medição direta se mostra essencial para identificar alterações ainda em fase inicial, garantindo intervenções no momento certo e evitando falhas que poderiam resultar em custos elevados e perda de confiabilidade.

Verificou-se também que a manutenção preditiva não apenas contribui para a redução de gastos, mas melhora significativamente a segurança do motorista, a disponibilidade da frota e o desempenho geral dos veículos. Elementos como análise de ponto de ebulição do fluido de freio, monitoramento do sistema de arrefecimento, avaliação da saúde da bateria, leitura de desgaste dos pneus via scanners e acompanhamento das condições dos filtros evidenciam o quanto a predição pode substituir práticas reativas e trazer ganhos mensuráveis tanto para empresas quanto para usuários individuais.

Além disso, a pesquisa reforça que, embora a adoção dessas tecnologias exija investimento inicial e capacitação técnica, os benefícios ao longo do ciclo de vida do veículo justificam plenamente sua implementação. A redução de paradas emergenciais, a prevenção de danos maiores e a ampliação da vida útil dos componentes mostram que a manutenção preditiva não é apenas uma tendência, mas uma necessidade diante da evolução do setor automotivo.

8. PROPOSTAS FUTURAS

Como continuidade deste trabalho, sugere-se a realização de estudos voltados à análise detalhada dos custos de aquisição, implantação e manutenção dos equipamentos utilizados na manutenção preditiva automotiva, bem como à avaliação do retorno sobre o investimento – ROI, decorrente da adoção dessas tecnologias em oficinas mecânicas e na gestão de frotas veiculares, especialmente no contexto de aplicação da metodologia Lean, estudada no âmbito do projeto piloto de extensionismo da Fatec Santo André, iniciativa que envolve estudantes do ensino superior em atividades de extensão universitária com o objetivo de promover a integração entre a universidade e a sociedade, por meio da aplicação prática de conhecimentos acadêmicos em ambientes reais.

Recomenda-se também o aprofundamento da análise dos custos adicionais associados à manutenção corretiva, considerando não apenas os gastos diretos com reparos emergenciais, mas também os impactos indiretos, como o aumento do consumo de combustível, a redução da eficiência dos veículos, o maior tempo de indisponibilidade e o risco de falhas em cadeia. Esses fatores representam desperdícios sob a ótica do Lean Manufacturing, uma vez que não agregam valor ao processo e comprometem a eficiência operacional.

Além disso, futuros trabalhos podem ampliar o escopo desta pesquisa por meio da inclusão de outros componentes e sistemas veiculares, como transmissão, suspensão, sistemas eletrônicos embarcados e gerenciamento do motor, bem como pela análise de novos equipamentos e técnicas de monitoramento preditivo. Nesse sentido, iniciativas como o próprio projeto piloto de extensionismo da Fatec Santo André podem ser aprofundadas, fortalecendo a integração entre universidade e sociedade e contribuindo para a aplicação prática da filosofia Lean aliada à manutenção preditiva, permitindo decisões baseadas em dados e na condição real dos componentes.

Como desdobramento prático dessas propostas, destaca-se a possibilidade de aprofundar o estudo realizado em parceria com a empresa de transporte urbano Suzantur, no qual a aplicação da metodologia Lean associada à manutenção preditiva foi analisada no sistema de combustível de veículos do tipo ônibus. Nesse contexto, a substituição preventiva do filtro de combustível, tradicionalmente realizada a cada

15.000 km, pode ser otimizada por meio do monitoramento da pressão no sistema, uma vez que o aumento desse parâmetro está diretamente relacionado à contaminação e à restrição do filtro. O acompanhamento contínuo da pressão permite avaliar a condição real do componente, possibilitando a extensão do intervalo de troca para até 25.000 km, desde que os valores permaneçam dentro dos limites especificados pelo fabricante, reduzindo desperdícios, custos operacionais e intervenções desnecessárias, em conformidade com os princípios do Lean Manufacturing.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABCR. Associação Brasileira de Concessionárias de Rodovias. Relatório de atendimentos – Superaquecimento veicular (jan.–out. 2021). Disponível em: <<https://www.abcr.org.br/>>. Acesso em: 24 novembro 2025.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7148: Determinação da densidade de líquidos por densímetro. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

ABREU, Rafael Andrade de. **Eficácia da manutenção preventiva**. Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação, v. 9, n. 3, p. 2112–2119, 2023. Disponível em: <<https://doi.org/10.51891/rease.v9i3.9085>>. Acesso em: 20 de maio de 2025.

ALVES. J. Filtro de combustível entupido: sintomas, causas e soluções. Disponível em: <<https://jalves.pt/filtro-combustivel-entupido/>>. 2023. Acesso em: 27 dez. 2025.

AUTO MECÂNICA E ELÉTRICA PABOCAR. O que é filtro de pólen. 2020. Disponível em: <<https://pabocar.com.br/glossario/o-que-e-filtro-de-polen>>. Acesso em: 21 novembro 2025.

BOSCH. Manual técnico sobre sistemas elétricos automotivos. 2020. Disponível em: <https://www.bosch.com.br/>. Acesso em: 24 novembro 2025.

BRUNETTI, C. Motores de combustão interna: fundamentos e funcionamento. 2018. Disponível em: <<https://www.mecanicaindustrial.com.br/>>. Acesso em: 24 novembro 2025.

CARRO E TÉCNICA. Solução arrefecedora ou água do radiador? 31 mar. 2017. Disponível em: <<http://carroetecnica.com.br/2017/03/31/solucao-arrefecedora-ou-agua-do-radiador/>>. Acesso em: 23 novembro 2025.

CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL (CETEM). Ações e desenvolvimento da cadeia do lítio no Brasil. 2016. Disponível em: <https://www.cetem.gov.br/antigo/images/ eventos/2016/ii_litio_brasil/apresentacoes/12-acoes_desenvolvimento_cadeia_lito_br.pdf>. Acesso em: 24 novembro 2025.

CONCRELONGO. Mecânico de veículos a diesel: vagas para as unidades de Amparo, Espírito Santo do Pinhal, Hortolândia e Paulínia. Disponível em: <<https://concrelongo.com.br/mecanico-de-veiculos-a-diesel-vagas-para-as-unidades-de-amparo-espirito-santo-do-pinhal-hortolandia-e-paulinia/>>. Acesso em: 24 novembro 2025.

CONTINENTAL. Tire Service Life and Aging – Technical Information. Hannover, 2023. Disponível em: <<https://www.continental-tires.com>>. Acesso em: 15 novembro 2025.

COSTA FILHO, Carlos Pinheiro da; CHAVES, Pedro Artur de Souza; ARAÚJO, Luana Leal Fernandes de. **Estudo manutenção preventiva em edificações**. Revista Mangaio Acadêmico, v. 5, n. 1, 2020. Disponível em: <<https://estacio.periodicoscientificos.com.br/index.php/mangaio/article/view/1558>>. Acesso em: 20 de maio de 2025.

CRIATIVAS, Dynamox Soluções. **Principais diferenças entre manutenção corretiva, preventiva e preditiva**. 2018. Disponível em: <<https://www.industria40.ind.br/artigo/16473-principais-diferencas-entre-manutencao-corretiva-preventiva-e-preditiva>>. Acesso em: 20 de maio de 2025.

CTEK. Guia de manutenção e diagnóstico de baterias automotivas. 2021. Disponível em: <<https://www.ctek.com/>>. Acesso em: 24 novembro 2025.

DNER - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. DNER-ME 009/94: determinação da densidade de líquidos. Adota a ABNT NBR 7148/92 pelo processo de referência, conforme DNER-PRO 101/97. Rio de Janeiro, 1994.

FILTROS BRASIL. Filtro do combustível: funções, importância e recomendações de troca. Disponível em: <<https://www.filtrosbrasil.com.br/linha/filtro-do-combustivel#:~:text=O%20Filtro%20do%20Combust%C3%ADvel%20%C3%A9,cada%2010%20mil%20km%20rodados>>. Acesso em: 20 novembro 2025.

GYNPRO LOJA. Medidor de profundidade dos pneus Autel TBE200. Disponível em: <<https://www.gynproloja.com.br/tpms/autel/medidor-de-profundidade-dos-pneus-autel-tbe200>>. Acesso em: 24 novembro 2025.

GONÇALVES, Pedro Henrique Lima. **Manutenção automotiva: conheça os diferentes tipos**. Magazine Automotiva. 2020. Disponível em: <<https://www.magazineautomotiva.com.br/manutencao-automotiva-conheca-os-diferentes-tipos/>>. Acesso em: 20 de maio de 2025.

HELIAR. Manual Técnico de Baterias Automotivas. 2021. Disponível em: <<https://www.heliar.com.br/>>. Acesso em: 24 novembro 2025.

HUNTER ENGINEERING. *Tire Tread Depth and Wear Diagnostic Systems*. Missouri: Hunter Engineering Company, 2024. Disponível em: <<https://www.hunter.com/tire-condition/>>. Acesso em: 15 novembro 2025.

INPM – Instituto Nacional de Pesos e Medidas. Portaria nº 34/62 – Requisitos para densímetros de vidro. Brasília, 1962.

IQA – Instituto da Qualidade Automotiva. Boletim técnico sobre falhas elétricas e manutenção automotiva. 2020. Disponível em: <<https://www.iqa.org.br/>>. Acesso em: 24 novembro 2025.

LAMBERT-TORRES, Germano. **Inteligência computacional aplicada à manutenção preditiva**. Revista IEEE América Latina, v. 18, n. 7, p. 1172–1179, 2020.

LEOPOLDINO, Miguel Ângelo Barreiro. **Sistematização das atividades de manutenção preventiva e implementação de um sistema kanban numa indústria de extração e transformação de calcário**. 2016. 143 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Monte de Caparica, 2016. Disponível em: <<https://run.unl.pt/handle/10362/20622>>. Acesso em: 23 de maio de 2025.

MARIANO, Gustavo Henrique Costa. **Manutenção preventiva corretiva em edificações**: uma revisão de literatura. *Engineering Sciences*, v. 8, n. 2, p. 10–17, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.6008/CBPC2318-3055.2020.002.0002>>. Acesso em: 20 de maio de 2025.

MARTINS, A.; LOPES, D. Degradação térmica e química de fluidos de freio DOT. *Revista Engenharia Automotiva*, v. 8, n. 2, p. 45–58, 2019.

MARTINS, A. L.; SOUZA, J. P. Inovações tecnológicas no setor automotivo: diagnóstico e manutenção inteligente. São Paulo: Érica, 2021.

MICHELIN. Pneu: prazo de validade e cuidados essenciais. Clermont-Ferrand, 2022. Disponível em: <<https://www.michelin.com.br>>. Acesso em: 15 novembro 2025.

MOURA, Baterias. Manutenção preditiva: o que é, como funciona e quais são seus benefícios. Blog Moura. 2024. Disponível em: <<https://www.moura.com.br/blog/manutencao-preditiva>>. Acesso em: 2 janeiro 2026

NEWMAX. Breve história das baterias. Disponível em: <<https://newmax.com.br/breve-historia-das-baterias/>>. 2019. Acesso em: 25 dez. 2025.

NHTSA – *National Highway Traffic Safety Administration*. FMVSS 116 – *Motor Vehicle Brake Fluids*. Washington, DC, 2022.

O MECÂNICO. A evolução das oficinas de reparação. Disponível em: <<https://omecanico.com.br/a-evolucao-das-oficinas-de-reparacao/>>. Acesso em: 24 novembro 2025

PLETT, Gregory L. *Battery management systems, Volume I: Battery modeling*. Artech House. p. 4-8. 2015.

POSTOS, Brasil. Aprenda a fazer os testes de qualidade em combustíveis. Disponível em: <<https://www.brasilpostos.com.br/noticias/gerenciamento-do-posto/aprenda-a-fazer-os-testes-de-qualidade-em-combustiveis/>>. 2015. Acesso em: 24 dez. 2025.

REDE FROTA. **Manutenção preventiva, preditiva e corretiva: tudo que o gestor de frotas deve saber**. Disponível em: <<https://redefrota.com.br/manutencao-preventiva-preditiva-e-corretiva-tudo-que-o-gestor-de-frotas-deve-saber/>>. Acesso em: 20 de maio de 2025.

- REEFSHOCK. Hidrometro de salinidade Tropic Marin. Disponível em: <<https://www.reefshock.com.br/marinho/hidrometro-salinidade-tropic-marin>>. Acesso em: 24 dezembro de 2025.
- REPSOL. Filtro de pólen: para que serve e como mudar. 2014. Disponível em: <<https://www.repsol.pt/particulares/assessoramento/filtro-de-polen-para-que-serve-como-mudar/>>. Acesso em: 24 novembro 2025.
- SABÓ. Como usar a manutenção preditiva na sua oficina. Disponível em: <<https://www.sabo.com.br/tecnica/como-usar-a-manutencao-preditiva-na-sua-oficina/>>. Acesso em: 24 novembro 2025.
- SAE INTERNATIONAL. SAE J1703 – *Motor Vehicle Brake Fluid*. Warrendale, 2019.
- SCHWAB, K. A quarta revolução industrial. São Paulo: Edipro, 2016.
- SEMPARAR EMPRESAS. Manutenção de veículos. Disponível em: <<https://blog.sempararempresas.com.br/veiculos/manutencao-de-veiculos>>. Acesso em: 24 novembro 2025.
- SILVA, João. **Gestão da manutenção industrial: estratégias e práticas operacionais**. São Paulo: Editora Técnica, 2021.
- SILVA, R.; LIMA, P. Métodos de diagnóstico de fluidos automotivos. Revista Tecnologia Automotiva, v. 12, n. 3, p. 55–64, 202.
- SOFIT4. **Manutenção preventiva, corretiva ou preditiva: qual é a melhor para sua frota?** Disponível em: <<https://www.sofit4.com.br/blog/manutencao-preventiva-corretiva-ou-preditiva-saiba-qual-e-melhor-para-sua-frota/>>. Acesso em: 20 de maio de 2025.
- STA - SISTEMAS e Tecnologia Aplicada. “Artigo: Baterias em Geral, Disponível em: informações Básicas, “História das Baterias”. Disponível em: <<http://www.sta-eletronica.com.br/artigos/baterias-em-geral/informacoes-basicas/a-historia-das-baterias>>. Acesso em: 15 de abril de 2020.
- SOUZA, L.; FERREIRA, J. Variabilidade operacional e diretrizes de manutenção automotiva. Revista Mecânica & Segurança, v. 5, n. 1, p. 22–35, 2020.
- TECFIL. Qual a função do filtro de combustível e quando devo trocá-lo? Disponível em: <http://www.tecfil.com.br/qual-a-funcao-do-filtro-de-combustivel-e-quando-devo-troca-lo/?doing_wp_cron=1764017240.0715739727020263671875>. Acesso em: 24 novembro 2025.
- TEKFIL. **Tipos de manutenção corretiva e preventiva: qual a diferença entre eles?** 2022. Disponível em: <<https://www.tecfil.com.br/tipos-de-manutencao-corretiva-e-preventiva-qual-a-diferenca-entre-eles/>>. Acesso em: 20 de maio de 2025.
- TILLMANN, C. Sistemas de arrefecimento automotivo. 2013. Disponível em: <<https://www.oficinabrasil.com.br/>>. Acesso em: 24 novembro 2025.

TOTALENERGIES. Filtro de combustível: o que é e quando trocar. Disponível em: <<https://totalenergies.com.br/blog/filtro-de-combustivel-o-que-e-e-quando-trocar#:~:text=O%20que%20%C3%A9%20o%20filtro%20de%20combust%C3%ADvel?,falhas%20no%20sistema%20de%20inje%C3%A7%C3%A3o>>. Acesso em: 20 novembro 2025.

TUPIMOB. Bateria de carro elétrico: tudo o que você precisa saber. Disponível em: <<https://tupimob.com/bateria-carro-eletrico/>>. Acesso em: 24 novembro 2025.

VALEO. Guia técnico do sistema de arrefecimento automotivo. 2025. Disponível em: <<https://www.valeo.com.br/>>. Acesso em: 24 novembro 2025.

VOLKSWAGEN. Manual do Proprietário – Volkswagen Gol 2014. São Bernardo do Campo: Volkswagen do Brasil, 2014.

WURTH. Caneta para teste de fluido de freio Wurth – 0715530200. Disponível em: <<https://www.wurth.com.br/p/7790996/caneta-para-teste-de-fluido-de-freio-wurth-0715530200-unitario>>. Acesso em: 19 novembro 2025.

ZARO, Eduardo Marcio; WEBBER, Carine Getrudel. **Manutenção Preditiva 4.0:** Aplicação de sensores IoT e análise de dados em ambientes industriais. Revista Produção Online, v. 22, n. 2, p. 450–465, 2022.

