

ESTUDO DE CASO COMPARATIVO ENTRE A MANUTENÇÃO PREVENTIVA VERSUS CORRETIVA APLICADA A MANUTENÇÃO DE CLIMATIZAÇÃO AUTOMOTIVA

Carlos Eduardo Januário da Silva¹

Wilde José Silva de Abreu¹

Vitor Iotte Medeiros²

vitor_iotte@hotmail.com

ÁREA DO CONHECIMENTO: Engenharias

RESUMO

Este estudo de caso comparativo avalia a manutenção preventiva versus a corretiva em sistemas de ar-condicionado de ônibus urbanos. A pesquisa, de natureza quantitativa e exploratória-descritiva, analisa dados históricos de manutenção corretiva de uma frota. Os resultados preliminares mostram que a abordagem corretiva resulta em custos elevados, tempo de inatividade considerável (alto MTTR) e baixa confiabilidade (baixo MTBF), impactando negativamente a disponibilidade da frota. O estudo sugere que a implementação de um plano de manutenção preventiva, priorizando componentes como compressores e filtros, pode reduzir falhas, aumentar a confiabilidade e diminuir os custos operacionais. Também são discutidas melhorias adicionais, como o uso de um plano de manutenção por tempo, em vez de quilometragem, e o reaproveitamento da água de condensação.

PALAVRAS-CHAVE: refrigeração; transporte coletivo; manutenção preventiva.

1 INTRODUÇÃO

O transporte coletivo é essencial para a mobilidade em grandes centros urbanos, e o sistema de climatização dos ônibus se destaca como um item fundamental para o conforto, saúde e segurança de passageiros e motoristas. No entanto, a manutenção do ar-condicionado, especialmente em veículos de transporte coletivo, ainda é frequentemente reativa — ou seja, realizada apenas após falhas graves. Essa abordagem corretiva não só aumenta os custos financeiros, mas também causa a paralisação do veículo, prejudicando a operação da empresa e o serviço aos usuários. Em contrapartida, a manutenção preventiva surge como uma alternativa mais eficiente. Através de ações planejadas e realizadas em intervalos

¹ Acadêmicos do curso de Engenharia Mecânica

² Doutor em Química (UFJF) – Professor da Faculdade Vértix Trirriense - UNIVÉRTIX

regulares, essa prática visa preservar os componentes do sistema e antecipar falhas. Seus benefícios incluem maior previsibilidade de custos, redução de paradas inesperadas e aumento da vida útil dos equipamentos.

O objetivo central desse trabalho analisar os procedimentos de manutenção de veículos com ar-condicionado, identificando possíveis melhorias. A análise focará em três pontos principais: a compreensão dos sistemas de refrigeração da frota, a análise do histórico de manutenção e a proposição de um plano de manutenção preventiva. A relevância deste tema é justificada por dados técnicos e econômicos. De acordo com a SAE International (2018), 38% das falhas prematuras em compressores de ar-condicionado são causadas por falha na lubrificação. Além disso, a ANFAVEA (2023) aponta que os custos de manutenção corretiva são, em média, 72% superiores aos da manutenção preventiva, e que frotas com manutenção programada têm 40% menos tempo ocioso em oficinas.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2. Manutenção Preventiva e Corretiva: Definições, Objetivos, Vantagens, Desvantagens e Aplicações Específicas na Área Automotiva

A manutenção é definida como a combinação de ações técnicas e administrativas para manter ou recolocar um item em um estado funcional (Gayão, 2014; Andrade; Maciel, 2021). Essa área evoluiu de um simples reparo para uma estratégia crucial (Oliveira, *et al.*, 2018), com tipos principais como a manutenção corretiva, preventiva e preditiva (Chen, 2022; *et al.*, 2024).

A manutenção corretiva é realizada após a ocorrência de uma falha (Oliveira *et al.*, 2018), sendo uma intervenção aleatória que ocorre quando o equipamento quebra (Hermosilla *et al.*, 2021). Embora o custo inicial possa parecer menor, ela resulta em custos mais elevados, baixa produtividade e dificuldade de planejamento (Hermosilla *et al.*, 2021). É aceitável apenas quando a falha não oferece riscos significativos ou quando seu custo é inferior a outros métodos (Andrade; Maciel, 2021).

Por outro lado, a manutenção preventiva é efetuada em intervalos predeterminados para reduzir a probabilidade de falha (Mat Nor *et al.*, 2024; Oliveira *et al.*, 2018). Essa abordagem visa diminuir a necessidade de manutenções corretivas, reduzindo custos e aumentando a disponibilidade (Hermosilla *et al.*, 2021). Para ser eficaz, é crucial definir critérios de intervenção (Mat Nor *et al.*, 2024). A manutenção

preventiva prolonga a vida útil do maquinário, evitando falhas e paradas não planejadas (Oliveira *et al.*, 2018; Mat Nor *et al.*, 2024), e é ideal para sistemas com riscos à segurança ou ao meio ambiente (Chen, 2022). O desafio principal é encontrar o equilíbrio entre o risco de falha e o gasto excessivo com manutenção (Mat Nor *et al.*, 2024). Mesmo com a manutenção preventiva, sempre haverá falhas que exigirão ações corretivas (Andrade; Maciel, 2021).

Na área automotiva, a manutenção do ar-condicionado demanda precisão e conhecimento (Chen, 2022). A manutenção inadequada pode causar desconforto, problemas de segurança e ineficiência energética (Gayão, 2014). A manutenção preventiva em veículos tipicamente inclui a reposição do fluido refrigerante e a limpeza dos sistemas (Knopp, 2021).

2.1. Funcionamento e Importância do Sistema de Climatização Automotiva

O sistema de ar-condicionado automotivo é considerado uma necessidade, especialmente em climas quentes (Gayão, 2014). O mecanismo principal envolve a extração de calor do ar que interage com os tubos e aletas da unidade evaporativa, regulando a temperatura no interior do veículo para maior conforto dos ocupantes (Chen, 2022). A eficiência desse sistema depende da qualidade e manutenção de seus componentes (Chen, 2022).

Basicamente, o sistema funciona resfriando o ar por meio de serpentinas que contêm gás refrigerante ou água gelada. Esses dispositivos capturam, filtram e reintroduzem o ar tratado no ambiente, assegurando o conforto térmico desejado (Gayão, 2014). A escolha do sistema atual é influenciada por fatores como o histórico tecnológico e a economia de escala (Chen, 2022).

Em um sentido mais amplo, o ar-condicionado significa condicionar o ar para um nível desejado, seja aquecendo, resfriando, umidificando, desumidificando, ou purificando (Gayão, 2014). Para projetar um sistema eficaz, é crucial entender os aspectos térmicos do corpo humano. A importância do sistema de climatização veicular está diretamente ligada à sua capacidade de atender à carga térmica necessária. Nesse processo, o compressor (Figura 1 e Figura 2) é o "coração" do ciclo de refrigeração por compressão a vapor (Chen, 2022).

Figura 1 – Compressor alternativo Bitzer com acionamento por polia.



Fonte: Os autores (2025).

Figura 2 – Compressor de ar e sistema de correias



Fonte: Os autores (2025).

2.3. Consequências da Falta de Manutenção Preventiva

A falta de manutenção em equipamentos, como os de ar-condicionado em veículos, pode causar problemas à saúde de seus ocupantes (Gayão, 2014). A falta de manutenção contribui para o mau funcionamento (Knopp, 2021). Paradas não planejadas devido à falta de manutenção preventiva podem gerar custos inesperados e perdas econômicas (Hermosilla *et al.*, 2021). A falta de manutenção preventiva em equipamentos de bomba de vácuo, por exemplo, levou à parada de equipamentos devido a falhas (Andrade; Maciel, 2021).

2.4. Contaminação Microbiológica (Bactérias, Fungos etc.) nos Filtros e Dutos do Sistema de Climatização Automotiva

Os filtros (Figura 3) e outras partes do sistema de ar-condicionado podem acumular impurezas, como fungos, bactérias e ácaros, que podem ser prejudiciais à

saúde dos usuários. Fungos podem estar associados a doenças alérgicas como rinites, sinusites e câncer devido à presença de micotoxinas (ANVISA, 2021). A falta de manutenção periódica nos filtros do ar-condicionado é um problema, pois serve de substrato para o crescimento fúngico potencialmente patogênico e toxigênico. Estudos identificaram 11 espécies de fungos potencialmente patogênicas e toxigênicas em filtros de ar-condicionado de automóveis, sendo os gêneros mais frequentes *Paecilomyces* spp., *Acremonium* spp. e *Cladosporium* spp. (UFAL, 2020).

Portanto, a manutenção regular dos componentes do aparelho é importante não apenas para garantir a funcionalidade, mas também para assegurar um ambiente saudável e livre de contaminantes (UFAL, 2020).

Figura 3 – Filtro de ar contaminado em sistema de climatização automotiva.



Fonte: Os autores (2025).

2.5. Comparações Teóricas entre os Efeitos da Manutenção Preventiva e Corretiva

A manutenção preventiva visa evitar falhas antes que ocorram, enquanto a corretiva espera que a falha aconteça (Hermosilla *et al.*, 2021). A manutenção preventiva contribui para a diminuição da manutenção corretiva, resultando na redução de custos e aumento da disponibilidade produtiva (Hermosilla *et al.*, 2021). A implementação da manutenção preventiva com a técnica checklist se mostrou mais eficaz em um estudo, demonstrando significativa redução nos custos comparado à manutenção corretiva e aumento na disponibilidade dos equipamentos (Hermosilla *et al.*, 2021). A manutenção corretiva, por outro lado, não traz benefícios à organização, gerando custos mais elevados e baixa produtividade (Oliveira *et al.*, 2018).

Em termos de impacto operacional e técnico, a manutenção preventiva planejada pode contribuir significativamente para o bom andamento do processo e é uma ferramenta estratégica para alcançar resultados (Mat Nor *et al.*, 2024). A

manutenção corretiva planejada é uma opção, mas a manutenção preditiva, por exemplo, permite otimizar o rendimento de vários componentes, ao contrário da manutenção preventiva sistemática (Chen, 2022).

É importante destacar que a escolha do método de manutenção adequado dependerá de razões técnicas e econômicas para cada equipamento ou sistema, podendo-se optar por um método isolado ou uma mescla dos diferentes tipos. Um programa de manutenção eficaz será alcançado através de uma combinação apropriada, considerando as vantagens e desvantagens de cada método (Oliveira *et al.*, 2018).

3 METODOLOGIA

Este trabalho adota uma metodologia de natureza aplicada, com enfoque quantitativo, e caráter exploratório e descritivo (Gil, 2019). A pesquisa é aplicada porque busca solucionar um problema prático na manutenção de sistemas de climatização em ônibus urbanos. O aspecto exploratório familiariza o pesquisador com o problema, enquanto o descritivo caracteriza, quantifica e compara as variáveis entre os métodos de manutenção preventiva e corretiva. O método quantitativo é justificado pela necessidade de mensurar objetivamente os impactos técnicos e financeiros (Marconi; Lakatos, 2017).

3.1 Tipo de Pesquisa

O estudo é um estudo de caso comparativo, analisando uma frota de ônibus urbanos. Conforme Yin (2016), o estudo de caso é apropriado para investigar fenômenos em seus contextos reais, onde os limites entre fenômeno e contexto não são claros e o pesquisador tem pouco controle sobre os eventos. Neste trabalho, o fenômeno é o desempenho técnico e econômico de sistemas de climatização sob diferentes estratégias de manutenção. A pesquisa compara veículos com manutenção preventiva e corretiva para identificar impactos em custos, tempo de parada e frequência de falhas.

3.2 Coleta de Dados

A coleta de dados será baseada em fontes documentais e técnicas, visando garantir a objetividade e a quantificação. As informações serão obtidas de históricos de manutenção, ordens de serviço (OS) e planilhas de controle operacional da

empresa. Manuais técnicos dos fabricantes servirão como referência. Não haverá entrevistas ou observações diretas, mantendo o foco em dados registrados e auditáveis para garantir a padronização e a comparabilidade.

3.3 Procedimentos Técnicos

Os dados coletados serão tratados e analisados para comparar indicadores de desempenho, como: quantidade e frequência de falhas, tempo médio de parada (TMP), custo médio por intervenção e disponibilidade técnica. Serão aplicados KPIs (Key Performance Indicators) como MTBF (Mean Time Between Failures) e MTTR (Mean Time to Repair), além da disponibilidade operacional. Estes indicadores permitirão uma comparação objetiva entre os grupos de veículos para verificar a eficiência de cada abordagem.

3.4 Ferramentas de Análise

Os dados serão organizados e analisados no Microsoft Excel. As planilhas permitirão o cálculo automatizado dos indicadores, a criação de gráficos e tabelas comparativas e a realização de análises estatísticas simples. O uso dessas ferramentas visa garantir a rastreabilidade dos dados e fornecer subsídios sólidos para as conclusões.

3.5 Limitações do Estudo

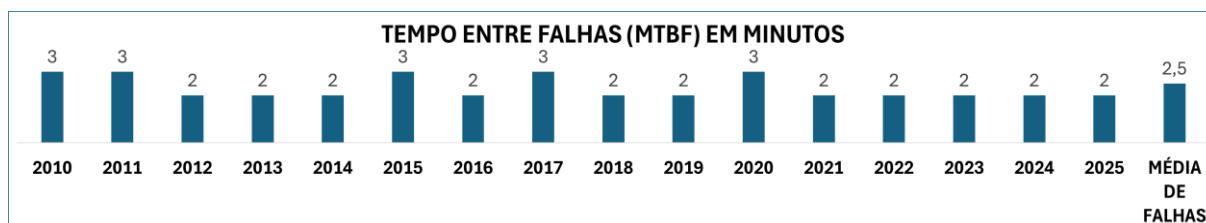
As principais limitações incluem: a qualidade e completude dos registros históricos, a restrição de acesso a informações sensíveis da empresa e a variação da maturidade dos processos de manutenção entre os veículos. A não inclusão de dados qualitativos limita a compreensão das causas humanas e operacionais das falhas. Apesar disso, o enfoque quantitativo possibilita conclusões objetivas e fundamentadas em evidências mensuráveis.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A pesquisa, em fase inicial e com resultados parciais, analisa exclusivamente os registros de manutenção corretiva de uma frota, já que dados de manutenção preventiva não foram disponibilizados. Apesar da limitação, a análise permite compreender os impactos financeiros e operacionais do modelo atual. Os resultados preliminares indicam (Figura 4) um número significativo de falhas nos sistemas de

climatização, resultando em paradas frequentes e custos elevados com substituição de componentes. Além do impacto financeiro direto, a indisponibilidade dos veículos afeta a confiabilidade da operação da frota, comprometendo o serviço.

Figura 4 – Gráfico do MTBF.



Fonte: Os autores (2025).

Esses resultados preliminares já apontam para a necessidade de revisão da estratégia de manutenção, pois confirmam o que autores como Hermosilla *et al.* (2021) e Oliveira *et al.* (2018) destacam: a manutenção corretiva, embora necessária em alguns contextos, tende a elevar os custos globais e reduzir a eficiência produtiva quando adotada como principal abordagem.

Os dados analisados possibilitaram o cálculo de indicadores clássicos de desempenho da manutenção. O MTBF (Mean Time Between Failures) apresentou valores baixos, evidenciando que os intervalos entre falhas do sistema de climatização são curtos e comprometem a confiabilidade operacional. Esse resultado reforça a caracterização do regime corretivo como reativo, no qual a recorrência de falhas se mantém elevada.

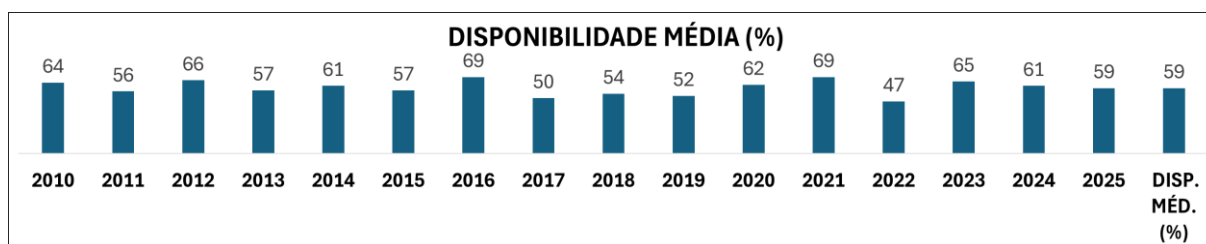
Figura 5 – Gráfico do MTTR.



Fonte: Os autores (2025).

O MTTR (Mean Time to Repair) mostrou (Figura 5) variação conforme o tipo de componente envolvido, mas em média manteve-se elevado, o que indica que os reparos não apenas são frequentes, mas também demandam tempo considerável para sua execução. Consequentemente, a disponibilidade operacional da frota ficou abaixo do esperado (Figura 6), considerando-se o tempo total de veículos indisponíveis para operação em função de falhas no sistema de climatização.

Figura 6 – Gráfico de disponibilidade.

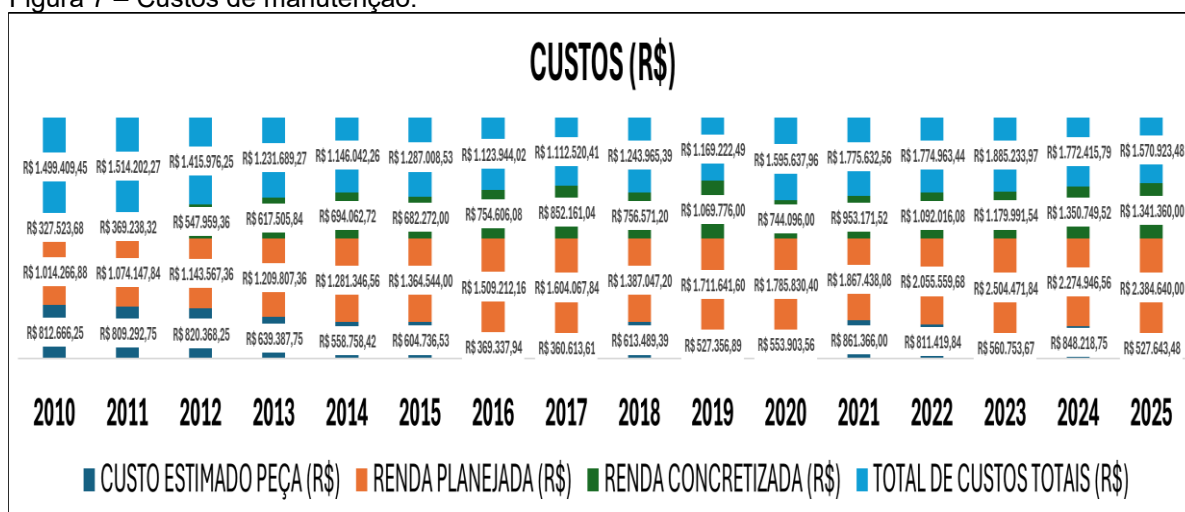


Fonte: Os autores (2025).

Na literatura, Oliveira *et al.* (2018) ressaltam que a disponibilidade técnica é resultado direto da relação entre MTBF e MTTR. Assim, valores baixos de MTBF somados a altos MTTR, como identificados neste estudo, resultam inevitavelmente em perda de disponibilidade. Esses achados evidenciam o impacto negativo do predomínio de corretivas e justificam a proposição de um plano preventivo direcionado à redução de falhas recorrentes e à melhoria da confiabilidade do sistema.

A análise dos custos associados (Figura7) às intervenções corretivas revelou que este regime de manutenção gera despesas significativamente elevadas para a empresa. Os registros evidenciam que cada falha no sistema de climatização envolve não apenas a substituição de peças e a alocação de mão de obra especializada, mas também custos indiretos decorrentes da paralisação dos veículos e da consequente interrupção das rotas programadas.

Figura 7 – Custos de manutenção.



Fonte: Os autores (2025).

Em média, o custo por intervenção corretiva mostrou-se superior ao esperado, em grande parte devido à necessidade de aquisição emergencial de componentes,

sem possibilidade de negociação de preços ou planejamento de estoque. Além disso, o custo por hora de indisponibilidade dos veículos aumenta consideravelmente em função do tempo de inatividade registrado, impactando diretamente a receita operacional da frota.

Comparando esses resultados com a literatura, verifica-se que a Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA, 2023) aponta que os custos médios de corretivas podem superar em até 72% os de um regime preventivo. Portanto, ainda que este estudo não disponha de dados próprios sobre a preventiva, os registros de corretivas demonstram de forma concreta que o modelo atual é financeiramente oneroso e pouco eficiente.

A predominância da manutenção corretiva na frota estudada traz consequências diretas sobre a confiabilidade, a disponibilidade e os custos operacionais. Os resultados obtidos reforçam o consenso da literatura técnica de que a dependência excessiva desse regime gera impactos negativos para empresas de transporte coletivo (Oliveira *et al.*, 2018; Hermosilla *et al.*, 2021).

Embora a manutenção corretiva seja necessária em situações pontuais — como falhas imprevistas ou em componentes de baixo custo e risco — a análise dos registros evidencia que, quando adotada como prática predominante, ela compromete a eficiência da operação. O baixo MTBF, somado ao alto MTTR, resultou em disponibilidade reduzida, confirmando a relação direta entre falhas frequentes e perdas financeiras por tempo de inatividade.

É importante ressaltar que, apesar de não terem sido disponibilizados dados de manutenção preventiva para comparação direta, a literatura fornece benchmarks consistentes que permitem projetar cenários alternativos. Autores como Chen (2022) e Mat Nor *et al.* (2024) demonstram que programas de manutenção preventiva, quando bem estruturados, são capazes de reduzir significativamente a frequência de falhas e proporcionar maior previsibilidade nos custos. Nesse sentido, os resultados obtidos neste estudo não apenas evidenciam os impactos da estratégia corretiva, mas também fornecem subsídios concretos para a elaboração de um plano preventivo adaptado à realidade da frota.

Com base nos resultados obtidos e na identificação dos principais componentes responsáveis pelos custos e pelas falhas recorrentes nos registros

corretivos, torna-se viável projetar um plano de manutenção preventiva voltado à redução desses impactos.

A análise mostrou que elementos como compressores, filtros, dutos e condensadores concentraram a maior parte das ocorrências e, portanto, devem ser priorizados em um cronograma preventivo. Segundo a SAE International (2018), falhas relacionadas à lubrificação e contaminação microbiológica representam parcela expressiva dos problemas em sistemas de climatização automotiva, reforçando a importância da inspeção periódica desses componentes.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa se encontra em andamento e os resultados parciais nos indicam que a implementação de um plano de manutenção preventiva tem o potencial de reduzir a frequência de falhas, aumentar a confiabilidade da frota e diminuir custos totais de manutenção, ainda que demande investimento inicial em mão de obra e gestão de peças de reposição.

Durante a análise dos registros de manutenção corretiva e na elaboração do plano preventivo, identificaram-se também algumas oportunidades adicionais de aprimoramento da gestão da frota. Uma primeira possibilidade consiste em estruturar o plano não apenas por periodicidade temporal, mas também por quilometragem percorrida. Essa abordagem é amplamente utilizada em manutenções automotivas e possibilita maior aderência ao desgaste real dos componentes, reduzindo a probabilidade de falhas precoces em veículos que operam em rotas mais intensivas.

Entretanto, a adoção de um plano preventivo baseado em periodicidade temporal mostra-se mais viável no contexto atual da frota analisada por três fatores principais: (i) a maior disponibilidade e confiabilidade dos registros em intervalos de tempo, em comparação com dados de quilometragem, que nem sempre estão devidamente consolidados nos históricos da empresa; (ii) a natureza do desgaste dos sistemas de climatização, cujo processo de degradação decorre não apenas do uso, mas também de fatores ambientais como umidade, poeira, variações térmicas e contaminação microbiológica, que ocorrem independentemente da quilometragem percorrida; e (iii) a recomendação técnica de fabricantes e literatura especializada (Knopp, 2021; Chen, 2022; UFAL, 2020), que estabelecem prazos em meses como referência mais apropriada para a manutenção de sistemas de ar-condicionado

automotivo. Ressalta-se, contudo, que a implementação futura de um modelo híbrido, combinando tempo e quilometragem, pode representar uma evolução do plano aqui proposto, possibilitando maior adequação ao uso real dos veículos.

Outra oportunidade observada refere-se ao reaproveitamento da água proveniente da condensadora dos sistemas de climatização. Em condições normais de operação, o sistema libera uma quantidade significativa de água por condensação, a qual pode ser coletada e reutilizada em atividades de limpeza ou até mesmo em sistemas auxiliares da empresa. Além de representar um ganho ambiental, tal prática pode gerar redução de custos operacionais e alinhar-se a políticas de sustentabilidade e eficiência no uso de recursos. Essas ideias complementares não substituem o plano preventivo proposto, mas ampliam o horizonte de melhorias possíveis.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, P. C. de R.; MACIEL, G. A. . Modelagem dos dados de falha de uma bomba de refrigeração de alto-forno. **Revista Thema**, Pelotas, v. 19, n. 3, p. 721–730, 2021. DOI: 10.15536/thema.V19.2021.721-730.2309. Disponível em: <https://periodicos.ifsul.edu.br/index.php/thema/article/view/2309>. Acesso em: 25 ago. 2025.

ANFAVEA. **Relatório de custos de manutenção veicular**. São Paulo, 2023. Disponível em: www.anfavea.com.br/relatorios. Acesso em: 27 maio 2025.

ANVISA. **Qualidade microbiológica do ar em veículos automotores**. Brasília, 2021. Disponível em: <www.gov.br/anvisa>. Acesso em: 27 maio 2025.

BARBOZA, Rebeca, Ingrid dos Santos. **Microbiota fúngica em sistema de ar condicionado de automóveis**. Universidade Federal de Alagoas, 2020. Disponível em: <https://www.repositorio.ufal.br/bitstream/123456789/12178/1/Microbiota%20f%C3%BAngica%20em%20sistema%20de%20ar%20condicionado%20de%20autom%C3%B3veis.pdf>. Acesso em: 29 maio 2025.

CHEN, Chuan. **Fundamentos de engenharia da manutenção**. São Paulo: Blucher, 2022.

DE OLIVEIRA, Albert Vilela; DOS SANTOS, Bruno Borges; SANTOS, Josvaldo da Silva; MAGALHÃES, Márcio Henrique; DE FREITAS, Carlos Alberto; S. DE ARRUDA, Antonio Carlos. Implementação de manutenção preventiva estratégica para os negócios. **REMIPE - Revista de Micro e Pequenas Empresas e Empreendedorismo da Fatec Osasco**, [S. l.], v. 4, n. 1, p. 32–47, 2018. DOI: 10.21574/remipe.v4i1.146. Disponível em: <https://remipe.fatecosasco.edu.br/index.php/remipe/article/view/146>. Acesso em: 25 ago. 2025.

GAYÃO, Marcus Vinícius. **Sistema de ar-condicionado para ônibus urbano**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Energia) – Faculdade de Engenharia, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, MS, 2014.

HERMOSILLA, José G. *et al.* Custos da manutenção: implementação e gestão da técnica de manutenção preventiva checklist e seus impactos. In: **ENEGEP – Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, 2021.

KNOPP, George Felipe. **Estudo de viabilidade de instalação de um sistema de ar condicionado em um veículo antigo**. Caxias do Sul: Universidade de Caxias do Sul, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ucs.br/xmlui/bitstream/handle/11338/9014/TCC%20George%20Felippe%20Knopp.pdf?sequence=1> Acesso em: 29 maio 2025.

MAT NOR, Muhamad Asrul Affendi; OTHMAN, Farah Waheda; MAT NASHIR, Irdyanti; SUDIYATNO, Sudiyatno. Air Conditioning System Maintenance Automation with Smart Sensors for Energy Efficiency. **Future Energy and Environment Letters**, [S. l.], v. 1, n. 1, p. 36–47, 2024. DOI: 10.37934/feel.1.1.3647. Disponível em: <https://karyailham.com.my/index.php/feel/article/view/11>. Acesso em: 25 ago. 2025.

SAE INTERNATIONAL. Failure analysis in automotive A/C compressors. **SAE Technical Paper** 2018-01-5002, 2018. DOI: <<https://doi.org/10.4271/2018-01-5002>>.