

SUSTENTABILIDADE QUE CORRÓI: UM PLANO DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA PARA A LONGEVIDADE DE MOTORES NA ERA DOS BIOCOMBUSTÍVEIS

Claryssa Martins Pitzer Herdy¹

Vitor Iotte Medeiros²

Aldo Falconi Filho³

vitor.medeiros.quimica@gmail.com

ÁREA DO CONHECIMENTO: Engenharias

PALAVRAS-CHAVE: biocombustíveis; manutenção; motores; corrosão; sustentabilidade; biodiesel.

1 INTRODUÇÃO

A busca por fontes de energia renovável como alternativa aos combustíveis fósseis é um tema antigo, com destaque para a longa pesquisa com o biodiesel no Brasil, mas se tornou muito mais urgente nas últimas décadas (Fantinel *et al*, 2017). Essa transição energética, fomentada por questões de ordem ambiental e de soberania energética, tem estimulado o desenvolvimento de soluções sustentáveis (Duarte *et al*, 2022). Os biocombustíveis derivam de biomassa, isto é, fontes biológicas renováveis como cana-de-açúcar, soja e milho. Durante sua combustão, o volume de carbono emitido para a atmosfera equivale, em tese, ao sequestrado pela matéria-prima em seu ciclo de crescimento, mitigando assim a intensificação do efeito estufa (Vidal, 2019). Esta característica físico-química é fundamental para a compreensão de sua principal vantagem ambiental. Em contrapartida, os combustíveis de origem fóssil, por sua natureza não renovável, liberam carbono aprisionado na geosfera há milhões de anos, o que gera um desbalanço no ciclo biogeoquímico e os posiciona como uma alternativa energeticamente menos sustentável (Barbieri, 2021). Entretanto, a conversão do uso padrão energético do diesel de petróleo para o biodiesel, um biocombustível, não é apenas uma transição de matéria prima, envolve uma profunda alteração nas características físico-químicas do combustível, propriedades como sua maior higroscopia e menor estabilidade à oxidação o tornam inerentemente mais suscetível a processos degradativos, resultando em um potencial corrosivo significativamente maior para os componentes do motor (Tavares, 2023). Frente ao exposto, a deterioração prematura de componentes essenciais do grupo motopropulsor configura-se como um proeminente obstáculo de natureza técnico-econômica. Tal fenômeno repercute adversamente na vida útil dos veículos e acarreta a intensificação dos custos com manutenção. Neste cenário, a manutenção preventiva emerge como uma abordagem estratégica fundamental para a mitigação desses impactos. Por conseguinte, o presente estudo tem por finalidade delinear um plano de

¹ Acadêmica do 6º período de Engenharia Mecânica – Univértix – TR.

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

³ Mestre em Engenharia Mecânica (PUC-RJ) – Professor da Faculdade Vértix Trirriense – UNIVÉRTIX TR

manutenção preventiva focada em atenuar os efeitos deletérios da corrosão, decorrentes do emprego de biocombustíveis em propulsores de combustão interna.

2 METODOLOGIA

A presente pesquisa foi produzida como uma revisão bibliográfica narrativa (Roter, 2007) de caráter qualitativo e exploratório. O levantamento de dados foi conduzido nas bases SciELO (Scientific Electronic Library Online) e Google Acadêmico, utilizando os descritores "corrosão E biodiesel", "manutenção preventiva E motores diesel" e "compatibilidade de materiais E biocombustíveis". Foi considerado o recorte temporal de 10 anos, sendo os critérios de exclusão artigos duplicados, publicações fora do período estipulado e trabalhos cujo tema não se relacionava diretamente com os objetivos deste estudo. O processo de seleção dos artigos se deu primeiramente pela leitura do Título e resumo dos trabalhos e posteriormente foi realizada a leitura completa para a construção dos resultados. Ao fim da busca foram selecionados 27 trabalhos para compor o *corpus* de análise. Os trabalhos selecionados foram submetidos a uma análise de conteúdo (Franco, 2007), visando à identificação dos principais mecanismos de degradação, dos materiais mais vulneráveis e das falhas recorrentes em componentes de motores.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A literatura sobre a corrosividade dos biocombustíveis agrupa-se em três categorias: as propriedades físico-químicas do combustível, como a higroscopia e a baixa estabilidade à oxidação (Silva, 2021); os efeitos dessa agressividade sobre os materiais do motor (Kugelmeier *et al.*, 2018); e as consequências operacionais e modos de falha decorrentes (Bastos, 2016). A agressividade do biocombustível é multifatorial e resulta de uma complexa interação de mecanismos intrínsecos à sua estrutura molecular. O primeiro fator é a higroscopia. A polaridade das moléculas de ésteres confere ao biodiesel uma acentuada afinidade pela água, permitindo a absorção de umidade do ambiente (Nórtton, 2025). A água no sistema atua como eletrólito, acelerando a corrosão eletroquímica em superfícies metálicas e fomentando a hidrólise do próprio biocombustível (Lopes, 2023; Silva; Malta; Barbosa, 2018). O segundo fator é a baixa estabilidade à oxidação, uma vulnerabilidade que distingue o biocombustível do diesel fóssil (Carvalho, 2023). A suscetibilidade à oxidação é ditada pela matéria-prima, pois óleos com alto grau de insaturações (ligações duplas), como o de soja, possuem mais sítios reativos vulneráveis ao ataque do oxigênio (Vidigal, 2020). O processo oxidativo gera dois grupos de subprodutos deletérios. O primeiro são os ácidos carboxílicos (ex: ácido fórmico e acético), que promovem a corrosão química de metais e atacam elastômeros, causando ressecamento e falhas de vedação (Batista, 2018). O segundo são os polímeros insolúveis (gomas e borras), que aderem a superfícies e obstruem componentes (Moura; Fogagnoli, 2024). Essa agressividade química manifesta-se diretamente nos materiais. Metais não-ferrosos como zinco (tanques galvanizados) e bronze (bronzinas, buchas na biela) são corroídos pelos ácidos, formando sais metálicos insolúveis ("sabões") que podem saturar filtros e catalisar novas reações de degradação (Leitão, 2023; Silva, 2018). Paralelamente, a degradação de elastômeros, como a borracha nitrílica (NBR) comum em mangueiras e anéis de vedação, representa um ponto crítico. O contato com o biocombustível induz inchaço, ressecamento e fissuras, culminando em falhas de

vedação, vazamentos de combustível ou entrada de ar no sistema (Siqueira, 2017; Mello, 2023). Finalmente, as degradações convergem para falhas operacionais críticas. A saturação prematura dos filtros é a primeira consequência, pois a borra formada bloqueia o fluxo de combustível aceleradamente, podendo causar a cavitação da bomba alimentadora (Kouketsu, 2024). Partículas que ultrapassam os filtros chegam aos bicos injetores, obstruindo seus micro-orifícios e gerando um padrão de pulverização deficiente, o que leva à combustão incompleta e perda de eficiência (Silva, 2015). Adicionalmente, a bomba injetora sofre desgaste acelerado por abrasão e corrosão (Azevedo, 2019). O somatório destes modos de falha resulta em um comprometimento generalizado do desempenho, manifesto em dificuldade na partida, marcha lenta instável, aumento de consumo e elevação da opacidade da fumaça (Pereira, 2015). Este cenário de degradação progressiva evidencia que, sem uma estratégia preventiva, a operação com biocombustíveis leva a um ciclo de manutenções corretivas onerosas e paradas não programadas do motor.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho sintetizou e demonstrou como a integridade funcional e material de motores que utilizam biocombustíveis é diretamente ameaçada por uma cascata de eventos degradantes. Para transpor esse desafio, este trabalho propõe um plano de manutenção robusto, projetado para atuar simultaneamente na causa raiz do problema, em seus modos de falha e na resiliência dos componentes (Guia; Rodrigues; Silva, 2018). A metodologia articula ações proativas, como a drenagem de água e a aditivação, que mitigam a ameaça em sua origem (Faria; Raposo, 2023); o monitoramento preditivo, via inspeção de mangueiras e vedações, que permite a detecção precoce de falhas incipientes (Portela, 2024); e as intervenções preventivas e de melhoria, englobando a otimização da filtragem e a adoção de fluorelastômeros (FKM) em substituição à NBR, promovendo maior resistência à degradação (Salazar, 2017). A implementação deste plano representa, portanto, a transição de um ciclo de manutenção reativo e ineficiente para uma cultura de engenharia de confiabilidade. O resultado é um aumento tangível na disponibilidade e performance do equipamento, viabilizando a operação com biocombustíveis como uma alternativa técnica e economicamente sustentável a longo prazo.

REFERÊNCIAS

- AZEVEDO, Lucas de Oliveira. **Produção e caracterização de biodiesel metílico de sebo bovino em escala piloto**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2019. Disponível em: <http://www.monografias.ufop.br/handle/35400000/1948>. Acesso em: 19 ago. 2025.
- BARBIERI, Gabriel Henrique. **Estudo da estabilidade térmica e oxidativa de biodiesel de óleo de soja e sebo bovino e suas misturas binárias e ternárias com diesel fóssil**. 2021. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2021. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/28823>. Acesso em: 10 ago. 2025.

BASTOS, Jairo de Souza. **Avaliação do biodiesel metílico e etílico de sebo bovino quanto à estabilidade à oxidação e corrosão**. 2016. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Faculdade de Ciências da Saúde, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2016. Disponível em: <http://repositorio.ufgd.edu.br/jspui/handle/prefix/1481>. Acesso em: 11 ago. 2025.

BATISTA, Fernando de Sousa. **Estudo da produção de biodiesel a partir de óleo de frango e da estabilidade oxidativa via planejamento fatorial**. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Faculdade de Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/20656>. Acesso em: 13 ago. 2025.

CARVALHO, Maria Eduarda Gonçalves. **Craqueamento térmico do óleo de soja e sebo bovino em escala de bancada para obtenção de biocombustíveis**. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) - Instituto de Química, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2023. Disponível em: <http://www.bdt.d.uerj.br/handle/1/20659>. Acesso em: 12 ago. 2025.

DUARTE, Victória Huch; VALENTINI, Marlon Heitor Kunst; SANTOS, Gabriel Borges dos; NADALETTI, Willian Cezar; VIEIRA, Bruno. Biocombustíveis: uma revisão sobre o panorama histórico, produção e aplicações do biodiesel. **Meio ambiente (Brasil)**, v. 4, n. 2, p. 50-68, 2022. DOI: 10.5281/zenodo.7325288. Acesso em: 10 ago. 2025.

FANTINEL, Antonio Luiz; FELIX, Lorenzo Marzari; ARTUZO, Felipe Dalzotto; FOGUESATTO, Cristian; FLORES, Yesica Ramirez; Jahn, Sergio Luiz. Mapeamento tecnológico em biodiesel: pedidos de patente depositados no mundo e brasil. **Cadernos de Prospecção**, Salvador, v. 10, n. 2, p. 177-189, jun. 2017. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Antonio-Fantinel/publication/318047561_MAPEAMENTO_TECNOLOGICO_EM_BIODIESEL_PEDIDOS_DE_PATENTE_DEPOSITADOS_NO_MUNDO_E_BRASIL/links/59571725a6fdcc2beca396fa/MAPEAMENTO-TECNOLOGICO-EM-BIODIESEL-PEDIDOS-DE-PATENTE-DEPOSITADOS-NO-MUNDO-E-BRASIL.pdf. Acesso em: 10 ago. 2025.

FARIA, Isadora Costa de; RAPOSO, Ana Clara de Oliveira. **Estudo da viabilidade de produção de biodiesel a partir de gordura residual de sebo bovino e óleo de soja**. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Técnico em Química) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo, Vila Velha, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ifes.edu.br/handle/123456789/3324>. Acesso em: 21 ago. 2025.

FRANCO, M. L. P. B. **Análise de conteúdo**. Brasília: Liber Livros Editora, 2007.

GUIA, Danilo Lima da; RODRIGUES, Anselmo Barbosa; SILVA, Maria da Guia da. A robust maintenance management of transformers considering uncertainties in fault data. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SISTEMAS ELÉTRICOS (SBSE), 2018, Niterói. **Anais [...]**. Niterói: SBSE, 2018. p. 1-6. DOI: 10.1109/SBSE.2018.8395618. Acesso em: 21 ago. 2025.

KOUKETSU, Nicolas Kenji. **Síntese e caracterização de biodiesel metílico a partir de sebo bovino e avaliação de sua estabilidade oxidativa e propriedades a frio**. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) -

Centro Tecnológico de Florianópolis, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2024. Disponível em:
<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/262678>. Acesso em: 18 ago. 2025.

KUGELMEIER, Cristie Luis; SILVA, Rodrigo da; MONTEIRO, Marcos Roberto; KURI, Sebastião Elias; ROVERE, Carlos Alberto Della. Corrosão em Aço Carbono AISI 1020 em Biodiesel de Soja e Girassol. In: INTERCORR 2018, 2018, São Paulo. **Anais do INTERCORR 2018**. São Paulo: ABRACO, 2018. Disponível em:
https://abraco.org.br/src/uploads/intercorr/2018/INTERCORR2018_188.pdf. Acesso em: 11 ago. 2025.

LEITÃO, Lia Pires. **Estudo da estabilidade à oxidação de biodiesel de óleo de soja e de sebo bovino e suas misturas com diesel verde**. 2023. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Materiais) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2023. Disponível em:
<http://repositorio.ufc.br/handle/riufc/73847>. Acesso em: 14 ago. 2025.

LOPES, José Jailson Lima. **Estudo de estabilidade oxidativa do biodiesel de sebo bovino utilizando como antioxidante o extrato da semente de açaí (Euterpe oleracea)**. 2023. Tese (Doutorado em Engenharia de Processos) - Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2023. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11422/20452>. Acesso em: 12 ago. 2025.

MELLO, Andressa de Medeiros. **Estudo da estabilidade à oxidação de biodiesel de sebo bovino e óleo de soja e suas misturas binárias e ternárias**. 2023. Dissertação (Mestrado em Química) - Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2023. Disponível em:
<https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/55492>. Acesso em: 18 ago. 2025.

MOURA, Julia da Silva; FOGAGNOLI, André Luiz. **Polímeros superabsorventes como agente sequestrante de metais pesados no tratamento de água**. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química) - Faculdade de Tecnologia de São Paulo, Centro Paula Souza, São Paulo, 2024. Disponível em:
https://ric.cps.sp.gov.br/bitstream/123456789/27763/1/quimica_2024_2_andrefogagnoli_polimerosusadosomentratamentodeagua.pdf. Acesso em: 14 ago. 2025.

NÓRTON, José Victor Nobre. **Estabilidade oxidativa de biodiesel aditivado com antioxidante extraído da borra de café**. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Petróleo) - Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2024. Disponível em:
<https://dspace.sti.ufcg.edu.br/handle/riufcg/42289>. Acesso em: 11 ago. 2025.

PEREIRA, Jéssica Caroline. **Estudo da estabilidade à oxidação do biodiesel de sebo bovino com antioxidantes sintéticos e naturais**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2015. Disponível em:
<http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/1345>. Acesso em: 19 ago. 2025.

PORTELA, João Victor. **Análise comparativa da estabilidade à oxidação de biodiesel metílico de soja, sebo bovino e suas misturas**. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) - Universidade

Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2024. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/35283>. Acesso em: 22 ago. 2025.

SALAZAR, Yina Paola Porras. **Estudo do efeito do antioxidante tert-butilhidroquinona (TBHQ) na estabilidade à oxidação de biodiesel de sebo bovino**. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/jspui/handle/123456789/25824>. Acesso em: 22 ago. 2025.

SILVA, Eliane Cristina da. **Análise da estabilidade termo-oxidativa de biodiesel metílico de soja (b100) e sua mistura (b7) com diesel fóssil aditivados com α -tocoferol**. 2021. Dissertação (Mestrado em Química) - Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/47536>. Acesso em: 11 ago. 2025.

SILVA, Fabiano André Narciso da; MALTA, Liana F. B.; BARBOSA, Ronalda. Degradação oxidativa e antioxidantes em biodiesel. **Química Nova**, São Paulo, v. 41, n. 2, p. 192-202, fev. 2018. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/GLmRMnyN4ZSLYnXbjYnZVj/?lang=pt>. Acesso em: 12 ago. 2025.

SILVA, Gerlany Medeiros da. **Produção de biodiesel a partir de sebo bovino e borra de café**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química do Petróleo) – Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2015. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/server/api/core/bitstreams/43b96981-5734-4177-8fb5-bfcc23d97eb9/content>. Acesso em: 18 ago. 2025.

SILVA, Waleska Ferreira da. **Produção de biodiesel a partir do óleo residual de fritura suplementado com sebo bovino**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) – Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2018. Disponível em: <https://ri.ufs.br/jspui/handle/riufs/17798>. Acesso em: 14 ago. 2025.

SIQUEIRA, Lilian de Lacerda. A Política Nacional de Biocombustíveis (Renovabio) e a inserção do biodiesel. **Política & Sociedade**, Florianópolis, v. 16, n. 37, p. 301-325, set. 2017. DOI: 10.5007/2175-7984.2017v16n37p301. Acesso em: 15 ago. 2025.

TAVARES, Nathália Cristina Pereira. **Estudo do biodiesel metílico e etílico a partir da borra de café por via extrativa e reacional in situ**. 2023. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2023. Disponível em: <http://www.btd.uerj.br/handle/1/21047>. Acesso em: 10 ago. 2025.

VIDAL, Maria de Fátima. Produção e uso de biocombustíveis no Brasil. 2019. **Caderno Setorial ETENE**, n.79). Disponível em: <https://www.bnb.gov.br/s482-dspace/handle/123456789/630>. Acesso em: 10 ago. 2025.

VIDIGAL, Igor Gomes. **Estudo da estabilidade oxidativa do biodiesel para a qualidade do biocombustível**. 2020. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento

de Produtos e Processos) – Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, Lorena, 2020. DOI: 10.11606/D.97.2020.tde-29042022-104409. Acesso em: 13 ago. 2025.