

## CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DE MISTURAS BIODIESEL/DIESEL MARÍTIMO PARA FINS DE USO COMO COMBUSTÍVEL MARÍTIMO

Bianca M. M. Neves<sup>1</sup>; Lívia C. Mouzinho<sup>1</sup>; Larissa C. de Menezes<sup>1</sup>; Lyzette G. M. de Moura<sup>1</sup>; Lorena C. M. de Azevedo<sup>1</sup>; Maira S. Ferreira<sup>1</sup>; Joacy B. de Lima<sup>1</sup>; Wendell F. de La Salles<sup>1</sup>; Janyeid K. C. Sousa<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal do Maranhão (UFMA), São Luís - MA, Brasil

E-mail: bianca.neves@discente.ufma.br

**Palavras-Chave:** Combustível Marítimo, Biodiesel, Estabilidade

### Introdução

O transporte marítimo é estratégico para a economia global, movimentando cerca de 90% das mercadorias e respondendo por aproximadamente 4% do consumo mundial de petróleo (EPE, 2024). Apesar de sua relevância econômica, essa atividade é uma das principais fontes de poluentes atmosféricos, contribuindo com cerca de 3% das emissões globais de gases de efeito estufa (GEE) (IMO, 2023). Além dos GEE, os combustíveis tradicionais, como o óleo diesel marítimo (DMA), apresentam elevados teores de enxofre e são responsáveis por emissões significativas de óxidos de enxofre (SOx), óxidos de nitrogênio (NOx) e material particulado (MP), impactando a saúde pública e o meio ambiente (LINDSTAD et al., 2017).

Para reduzir esses impactos, políticas internacionais e nacionais têm imposto limites mais rigorosos à qualidade dos combustíveis marítimos. A IMO, por meio da IMO 2020, estabelece teor máximo de enxofre de 0,5% m/m em escala global, com limite de 0,1% em áreas de controle de emissões (ECAs) (IMO, 2020). No Brasil, a ANP regulamenta o óleo diesel marítimo pela Resolução nº 903/2022, estabelecendo limites de massa específica, ponto de fulgor, teor de enxofre e teor de água (ANP, 2022).

Uma alternativa promissora para redução de impactos ambientais provenientes do uso de combustível marítimo é a adição de biodiesel ao diesel marítimo. Produzido a partir de óleos vegetais ou gorduras animais por transesterificação, o biodiesel é compatível com motores a diesel convencionais e possui propriedades que podem reduzir impactos ambientais (DEMIRBAS, 2009). No Brasil, o Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB), instituído pela Lei nº 11.097/2005, tornou obrigatória a adição gradual de biodiesel ao diesel rodoviário, atualmente em 14% ±1% (BRASIL, 2005; CNPE, 2023). Embora não seja obrigatório no diesel marítimo, estudos recentes indicam seu potencial nesse setor (ROMERO, 2013; OTHMAN et al., 2017).

O biodiesel apresenta vantagens ambientais significativas: ausência de enxofre, maior biodegradabilidade e redução de emissões de CO, HC e MP em comparação ao diesel fóssil (KNOTHE, 2010; SILVA et al., 2020). Além disso, seu balanço de carbono é mais favorável, pois parte do CO<sub>2</sub> emitido é compensada pela absorção durante o cultivo das oleaginosas (DEMIRBAS, 2009; LEVY, 2011).

Entretanto, a utilização de biodiesel exige atenção a parâmetros físico-químicos críticos, como: A viscosidade cinemática, que indica o grau de resistência que um fluido apresenta ao escoar. É considerada uma das propriedades mais relevantes dos combustíveis, pois influencia

diretamente a eficiência da pulverização e o tamanho das partículas de combustível durante a injeção (HYPPOLITO et al., 2021). Outro parâmetro é o Ponto de fulgor, que indica a temperatura mínima em que vapores do combustível entram em ignição na presença de fonte de calor. Combustíveis com ponto de fulgor mais elevado são mais seguros para armazenamento e transporte. O biodiesel, por possuir ponto de fulgor acima de 100 °C, tende a elevar este parâmetro nas misturas, favorecendo a segurança operacional (CANDÉIA et al., 2009).

O Teor de enxofre é um parâmetro fundamental, pois está diretamente relacionado às emissões atmosféricas e é objeto de rigorosas regulamentações internacionais. Como o biodiesel é isento de enxofre, sua adição ao diesel marítimo contribui para a redução desse contaminante, atendendo mais facilmente aos limites impostos pela ANP e pela IMO (IMO, 2020; ANP, 2022).

O teor de água representa um dos principais desafios no uso do biodiesel, devido à sua higroscopidez. O excesso de água pode favorecer processos de corrosão em sistemas de injeção, crescimento microbiano nos tanques e degradação oxidativa. Por isso, sua avaliação é essencial para garantir estabilidade e conformidade com os limites normativos (FREITAS et al., 2020).

Estudos indicam que misturas de biodiesel com diesel marítimo em proporções até 20% mantêm as especificações de qualidade, oferecendo benefícios em segurança e sustentabilidade (HYPPOLITO et al., 2021; ROMERO, 2013), enquanto proporções mais elevadas exigem monitoramento mais rigoroso das condições de estocagem (SANTOS; LIMA, 2018).

Diante desse cenário, este trabalho avaliou viscosidade, ponto de fulgor, teor de enxofre e teor de água em misturas de biodiesel de soja com diesel marítimo em diferentes percentuais de biodiesel de soja, e ao longo de um período de armazenamento verificando a conformidade com a Resolução ANP nº 903/2022 e discutindo a viabilidade técnica de sua utilização como combustível marítimo.

## Material e Métodos

As amostras analisadas foram compostas por misturas em diferentes proporções de biodiesel de soja com óleo diesel marítimo (DMA), obtidas diretamente de distribuidoras autorizadas. As misturas foram preparadas por meio de combinações volumétricas (v/v) nas concentrações de 3%, 5%, 10% e 15% de biodiesel em diesel marítimo, denominadas B3, B5, B10 e B15, conforme a porcentagem de biodiesel presente.

O preparo foi realizado sob agitação constante em agitador magnético, à temperatura ambiente, e as amostras foram armazenadas em frascos de polietileno de alta densidade (PEAD) para posterior caracterização. A análise foi conduzida em diferentes períodos de tempo (24 h, 7, 15, 30 e 45 dias) no Laboratório de Pesquisa em Química Analítica de Petróleo e Biocombustíveis (LAPQAP).

Na viscosidade a 40 °C: a análise foi realizada conforme as normas NBR 10441 e ASTM D445, utilizando banho de viscosidade cinemática modelo HVB 438, com sistema de circulação e controle de temperatura por fluido térmico. Foi empregado tubo viscosimétrico capilar do tipo Cannon-Fenske modificado para 40 °C. Utilizaram-se capilares de numeração 150 e 200,

dependendo da mistura (B3, B5, B10 e B15). Cerca de 10 mL de cada amostra permaneceram em banho a 40 °C por 30 minutos antes da medição. O tempo de escoamento foi determinado com cronômetro, realizando-se cada ensaio em duplicata.

O ponto de fulgor: o ensaio seguiu as normas ASTM D93 e NBR 14598, utilizando o equipamento Pensky-Martens, modelo HFP 380. Aproximadamente 50 mL da amostra foram transferidos para a cuba de ensaio, respeitando o nível indicado e garantindo que a temperatura inicial estivesse ao menos 28 °C abaixo do ponto de fulgor estimado. Em seguida, registrou-se a pressão barométrica ambiente, acendeu-se a chama de ensaio ajustada a 3,2 mm de diâmetro e programou-se o aquecimento em uma taxa de 5 a 6 °C/min, conforme especificado.

Para a análise do teor de enxofre: a determinação foi realizada de acordo com as normas ASTM D2622, ASTM D4294 e NBR 14533, em espectrômetro de fluorescência de raios X por energia dispersiva (EDX), modelo EDX-800, operando em ambiente de gás hélio (pressão de 700 a 800 kPa, pureza 99,995%). O equipamento foi calibrado a partir dos valores de massa específica das amostras, com inserção dos dados no software de operação. Utilizou-se uma alíquota de 5 µL da amostra, introduzida no injetor mecânico por meio de seringa de vidro.

E para a determinação do teor de água: o ensaio seguiu a norma NBR 14236 e ASTM D95, pelo método Karl Fischer. Foi utilizado titulador coulométrico Metrohm, modelo 899. Aproximadamente 2,0 g da amostra foram pesados em recipiente seco e limpo, registrando-se a massa com quatro casas decimais. Em seguida, a amostra foi introduzida com seringa seca na célula de titulação, contendo o solvente Karl Fischer, para determinação do teor de água.

## Resultados e Discussão

A viscosidade cinemática das misturas permaneceu dentro da faixa regulamentar, demonstrando que a adição de até 15% de biodiesel não compromete a eficiência de pulverização e combustão, garantindo a operação segura dos motores marítimos. De acordo com a Tabela 1, todas as misturas avaliadas (B3, B5, B10 e B15) permaneceram em conformidade com os limites estabelecidos durante os 45 dias de monitoramento. O biodiesel puro apresentou viscosidade de 4,3 mm<sup>2</sup>/s, valor próximo ao limite superior permitido, enquanto o óleo diesel marítimo (DMA) registrou 3,9 mm<sup>2</sup>/s, situando-se confortavelmente dentro da faixa recomendada.

Tabela 1 – Valores da viscosidade cinemática

Tempo (dias)	Viscosidade (mm <sup>2</sup> /s)			
	B3	B5	B10	B15
1	3,6	3,7	3,8	3,7
7	3,8	3,8	3,7	3,9
15	3,7	3,7	3,9	3,9
30	3,7	3,8	3,8	3,7
45	3,8	3,9	3,9	3,9

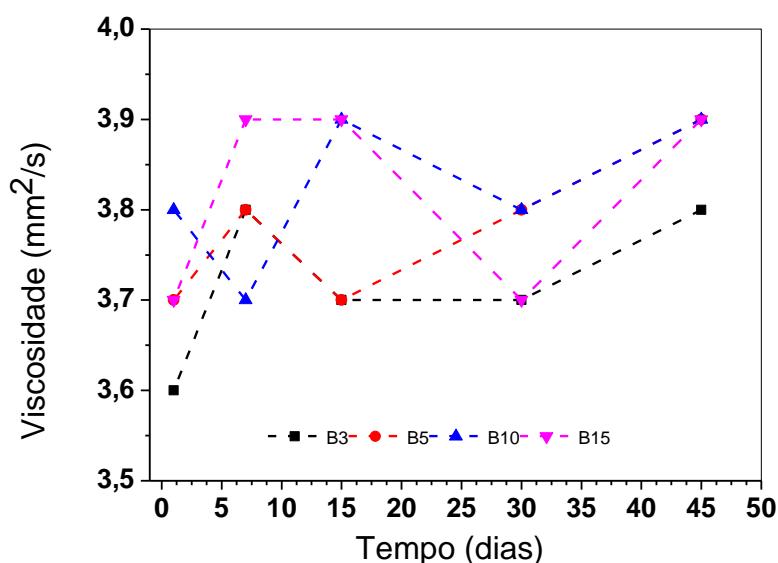
  

Combustível puros				
DMA	3,9	-	-	-
Biodiesel	4,3	-	-	-

Fonte: Autor, 2025

Os dados da Figura 1 demostram que a adição gradual de biodiesel promove um leve incremento na viscosidade das misturas. As amostras B3 e B5 apresentaram variação entre 3,6 mm<sup>2</sup>/s e 3,9 mm<sup>2</sup>/s, mantendo estabilidade ao longo do período analisado. Já as formulações com maior teor de biodiesel, B10 e B15, apresentaram valores entre 3,7 mm<sup>2</sup>/s e 3,9 mm<sup>2</sup>/s, confirmando a tendência de elevação atribuída à presença dos ésteres metílicos.

Figura 1 – Variação da viscosidade cinemática ao longo do tempo de acordo com o tempo de armazenamento



Fonte: Autor, 2025

Observa-se, entretanto, que não houve uma relação linear direta entre o aumento do teor de biodiesel e a viscosidade. Exemplo disso é a mistura B3, que no primeiro dia apresentou

valor inferior ao DMA puro (3,6 mm<sup>2</sup>/s contra 3,9 mm<sup>2</sup>/s), possivelmente em função de interações moleculares específicas ou diferenças na composição do biodiesel utilizado. Por outro lado, a mistura B10 mostrou-se consistentemente mais viscosa que B3 e B5, reforçando o efeito da maior concentração de biodiesel.

Adicionalmente, todas as formulações apresentaram excelente estabilidade ao longo dos 45 dias de armazenamento. As variações observadas foram mínimas ( $\pm 0,2$  para todas as misturas), não indicando tendência de aumento progressivo da viscosidade. Esse comportamento sugere ausência de degradação oxidativa significativa ou formação de subprodutos capazes de comprometer a qualidade das misturas, corroborando resultados encontrados por Quadros et al. (2013).

A análise do ponto de fulgor (Tabela 2) das misturas biodiesel-soja/diesel marítimo (DMA) revelou um aumento proporcional à concentração de biodiesel, comportamento esperado devido ao ponto de fulgor naturalmente mais elevado do biodiesel em relação ao diesel fóssil (CANDÉIA et al., 2009). O DMA apresentou ponto de fulgor inicial de 69 °C, (conforme a Tabela 2) compatível com sua natureza mais pesada e acima do limite mínimo de 60 °C estabelecido pela Resolução ANP nº 903/2022.

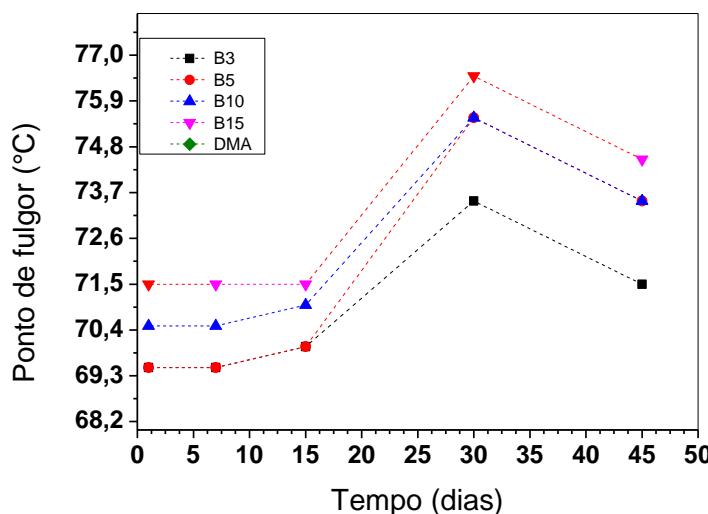
Tabela 2 – Resultado da análise do ponto de fulgor das misturas biodiesel soja/ diesel marítimo.

<b>Tempo</b>	<b>Amostras</b>			
	<b>B3</b>	<b>B5</b>	<b>B10</b>	<b>B15</b>
1 dia	69,5 °C	69,5 °C	70,5 °C	71,5 °C
7 dias	69,5 °C	69,5 °C	70,5 °C	71,5 °C
15 dias	70,0 °C	70,0 °C	71,0 °C	71,5 °C
30 dias	73,5 °C	75,5 °C	75,5 °C	76,5 °C
45 dias	71,5 °C	73,5 °C	73,5 °C	74,5 °C
DMA	69,0 °C			

Fonte: Autor, 2025

De acordo com a Figura 2, as misturas B3 e B5 mostraram valores ligeiramente superiores ao DMA, mantendo estabilidade até 15 dias, enquanto após 30 dias houve aumento significativo, atingindo 73,5 °C e 75,5 °C, respectivamente, possivelmente devido à evaporação de compostos voláteis. Já as misturas B10 e B15 apresentaram desde o início valores acima de 70 °C, alcançando 76,5 °C no 30º dia, refletindo a predominância de frações menos inflamáveis e a composição de ésteres metílicos de ácidos graxos do biodiesel (RODRIGUES, 2011; CANDÉIA et al., 2009). Uma leve redução no ponto de fulgor após 45 dias pode ser atribuída à oxidação natural do biodiesel, sem comprometer sua segurança (Zuñiga, 2011; Wcisło et al., 2024).

Figura 2 –Variação do ponto de fulgor em relação ao tempo de armazenamento nas concentrações de 3%, 5%, 10% e 15%



Fonte: autor, 2025

Os resultados indicam que a adição de biodiesel ao diesel marítimo eleva o ponto de fulgor das misturas, aumentando a segurança no armazenamento e transporte, corroborando a literatura técnica e reforçando a viabilidade do uso de biodiesel em motores marítimos.

A análise do teor de enxofre nas misturas de biodiesel-soja com diesel marítimo (B3, B5, B10 e B15) e no diesel marítimo puro (DMA) revelou valores significativamente inferiores ao limite máximo de 0,5% m/m estabelecido pela Resolução ANP nº 903/2022, (como demonstrado na tabela 3) variando entre 0,075% e 0,091% m/m (750–910 ppm).

Tabela 3 - Teores de enxofre (% m/m) nas amostras ao longo do tempo

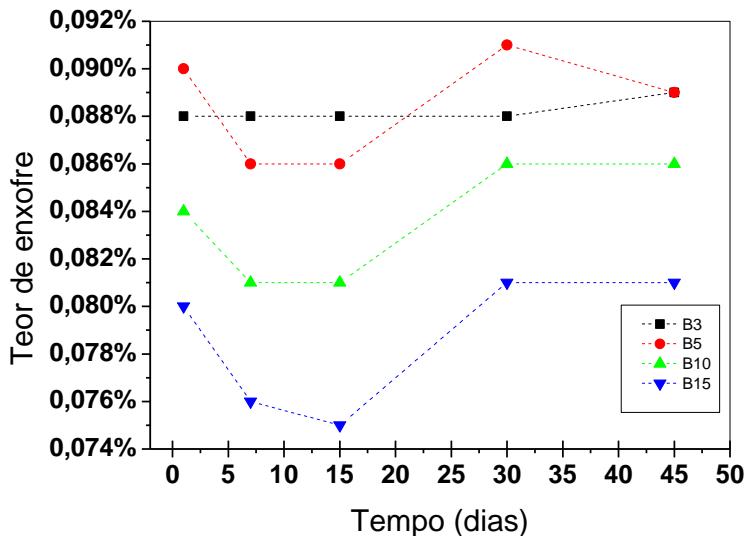
Tempo (dias)	Teores de enxofre % m				
	B3	B5	B10	B15	DMA
1	0.088	0.090	0.084	0.080	0.089
7	0.088	0.086	0.081	0.076	-
15	0.088	0.086	0.081	0.075	-
30	0.088	0.091	0.086	0.081	-
45	0.089	0.089	0.086	0.081	-

Fonte: Autor, 2025

Esses resultados confirmam a ausência de enxofre no biodiesel e a contribuição positiva de sua adição para a redução das emissões de óxidos de enxofre (SOx), atendendo à regulamentação nacional e às diretrizes internacionais da IMO 2020.

O monitoramento ao longo de 45 dias indicou estabilidade do parâmetro, evidenciando que não houve degradação significativa das amostras durante o armazenamento, o que garante a qualidade e a segurança do combustível para uso em motores marítimos (Souza, Guarieiro e Santos, 2016), conforme observado na Figura 3.

Figura 3: Variação do teor de enxofre (% m/m) ao longo do tempo em diferentes concentrações 3%, 5%, 10% e 15%



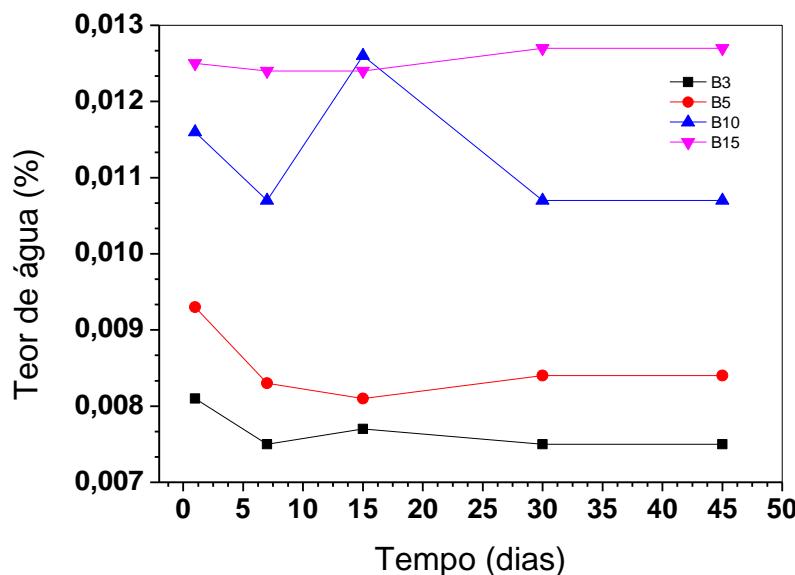
Fonte: Autor, 2025

Observou-se ainda que o aumento do teor de biodiesel nas misturas promoveu redução do teor de enxofre, especialmente em B10 e B15, favorecendo práticas de sustentabilidade e alinhando-se à transição energética no setor naval (Quadros et al., 2016; Romero, 2013).

Dessa forma, a adição de biodiesel ao diesel marítimo não apenas mantém os combustíveis dentro dos limites legais, mas também contribui para a preservação ambiental e para a eficiência dos sistemas de pós-tratamento de gases, reforçando a viabilidade técnica do uso de biodiesel no setor marítimo.

A análise do teor de água nas misturas de biodiesel-soja com diesel marítimo (B3, B5, B10 e B15) mostrou aumento proporcional à fração de biodiesel, refletindo a maior higroscopidade do biocombustível (FREITAS et al., 2020; BÜCKER, 2009). Apesar disso, os valores permaneceram dentro dos limites normativos, indicando que, em teores de até 15%, as misturas mantêm estabilidade adequada ao longo de 45 dias de armazenamento conforme demonstrado na Figura 4.

Figura 4 - Variação do teor de água ao longo do tempo de armazenamento de 24h até os 45 dias



Fonte: Autor, 2025

Observou-se uma tendência geral de leve redução nos primeiros dias, seguida de estabilização para todas as amostras. Misturas com maiores teores de biodiesel (B10 e B15) apresentaram os maiores valores de água livre, resultado da capacidade do biodiesel de absorver umidade atmosférica, fator que pode favorecer contaminação microbiológica em ambientes marítimos (Cazarolli et al., 2020; Silva et al., 2021; Lin, 2013).

Os resultados obtidos para as análises físico-químicas demonstraram que as misturas de biodiesel de soja com diesel marítimo apresentaram comportamento dentro dos limites estabelecidos pela Resolução ANP nº 903/2022. Em termos gerais, os dados confirmam que a incorporação de biodiesel ao diesel marítimo até 15% é tecnicamente viável, proporcionando benefícios ambientais sem comprometer a qualidade do combustível, desde que sejam observadas boas práticas de armazenamento e transporte, confirmando, dessa forma, a viabilidade técnica de sua utilização como combustível marítimo.

## Conclusões

As análises físico-químicas realizadas neste trabalho demonstraram que as misturas de biodiesel de soja com diesel marítimo (B3, B5, B10 e B15) apresentam propriedades compatíveis com os limites estabelecidos pela Resolução ANP nº 903/2022, confirmando a viabilidade técnica de sua utilização em teores de até 15%.

A viscosidade cinemática das misturas manteve-se dentro da faixa regulamentar ao longo de 45 dias, indicando que a adição de biodiesel não compromete a eficiência de pulverização e combustão, garantindo a operação segura dos motores marítimos. O ponto de fulgor apresentou aumento proporcional à concentração de biodiesel, reforçando a segurança

no armazenamento e transporte das misturas e evidenciando a influência positiva do biodiesel na estabilidade térmica do combustível.

O teor de enxofre permaneceu significativamente abaixo do limite máximo permitido, refletindo a ausência de enxofre no biodiesel e contribuindo para a redução das emissões de óxidos de enxofre (SOx), em conformidade com a regulamentação nacional e internacional (IMO 2020). O teor de água apresentou leve aumento com o incremento do biodiesel, devido à higroscopичidade do biocombustível, mas manteve-se dentro dos limites normativos, garantindo estabilidade química das misturas durante o armazenamento.

Dessa forma, a incorporação de biodiesel ao diesel marítimo até 15% mostra-se tecnicamente viável, proporcionando benefícios ambientais, como a redução de emissões atmosféricas e melhoria das propriedades de segurança do combustível, sem comprometer sua qualidade ou estabilidade. Os resultados reforçam a aplicabilidade do biodiesel no setor marítimo, evidenciando seu potencial para contribuir com práticas sustentáveis e a transição energética no transporte naval.

### Agradecimentos

Ao Programa de Capacitação de Recursos Humanos para o Setor de Petróleo e Gás - PRH/ANP (PRH 54 - UFMA) e a Empresa Vibra Energia SA pelas amostras concedidas.

### Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEL. Resolução ANP Nº 903, de 18 de novembro de 2022. Rio de Janeiro, 2022.

BRASIL. Lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005. Dispõe sobre a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, ano 142, n. 10, p. 1, 14 jan. 2005. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2004-2006/2005/lei/l11097.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2005/lei/l11097.htm). Acesso em: 30 maio 2025.

BÜCKER, F.; et al. Biodeterioração de misturas de diesel e biodiesel e seu controle com biocidas. 2009. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/46284113\\_Biodeterioracao\\_de\\_misturas\\_de\\_diesel\\_e\\_biodiesel\\_e\\_seu\\_controle\\_com\\_biocidas](https://www.researchgate.net/publication/46284113_Biodeterioracao_de_misturas_de_diesel_e_biodiesel_e_seu_controle_com_biocidas). Acesso em: 30 maio 2025.

CANDÉIA, R. A.; et al. Influence of soybean biodiesel content on basic properties of binary blends with diesel. Fuel, v. 88, n. 4, p. 738–743, 2009. DOI: 10.1016/j.fuel.2008.10.016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876107013001673>. Acesso em: 30 maio 2025.

DEMIRBAS, A. Progress and recent trends in biodiesel fuels. Energy Conversion and Management, v. 50, n. 1, p. 14–34, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2008.09.00>. Acesso em: 30 maio 2025.

HYPPOLITO, M. L.; SOUZA, L. A.; SILVA, I. M.; SILVA, F. C.; LOPES, L. F. Produção e caracterização das misturas do diesel com biodiesel de óleo de milho. Simpósio de Engenharia e Desenvolvimento Sustentável. Disponível em: [https://www.editorarealize.com.br/revistas/seds/trabalhos/TRABALHO\\_EV046\\_MD2\\_SA9\\_ID1010\\_16032017141657.pdf](https://www.editorarealize.com.br/revistas/seds/trabalhos/TRABALHO_EV046_MD2_SA9_ID1010_16032017141657.pdf). Acesso em: 30 maio 2025.

KNOTHE, G. Dependence of biodiesel fuel properties on the structure of fatty acid alkyl esters. Fuel Processing Technology, v. 86, n. 10, p. 1059–1070, 2005. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378382004001894>. Acesso em: 30 maio 2025.

LIN, C.-Y. Effects of Biodiesel Blend on Marine Fuel Characteristics for Marine Vessels. Energies, v. 6, n. 9, p. 4945–4959, 2013. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1996-1073/6/9/4945>. Acesso em: 30 maio 2025.

QUADROS, D. P. C.; CHAVES, E. S.; SILVA, J. S. A.; TEIXEIRA, L. S. G.; CURTIUS, A. J.; PEREIRA, P. A. P. Contaminantes em Biodiesel e Controle de Qualidade. In: Anais do Congresso Brasileiro de Química, 2016.

RODRIGUES, P. R. P. Obtenção e caracterização físico-química do biodiesel. Revista Ciências Exatas e Naturais, Unicentro, v. 13, n. 2, p. 221–225, 2011. Disponível em: <https://rvq-sub.sbz.org.br/index.php/rvq/article/download/189/201/1812>. Acesso em: 30 maio 2025.

ROMERO, G. A. Uso do Biodiesel em Motores Marítimos para a Navegação. Projeto de Graduação – UFRJ, 2013. Disponível em: <http://www.repositorio.poli.ufrj.br/monografias/monopolio10008509.pdf>. Acesso em: 30 maio 2025.

SANTOS, R. A.; LEITE, D. F.; FERNANDES, J. R. Fuel Quality Monitoring by Color Detection. In: FUEL QUALITY MONITORING. London: IntechOpen, 2018. cap. 2, p. 15-30. Disponível em: <https://www.intechopen.com/chapters/67693>. Acesso em: 30 maio 2025.

SILVA, T. L.; CAZAROLLI, J. C.; BENTO, F. M.; et al. Como a adição de biodiesel poderá impactar o óleo diesel marítimo durante a estocagem? Revista Marítima Brasileira, v. 141, n. 07/09, 2021. Disponível em: <https://www.portaldeperiodicos.marinha.mil.br/index.php/revistamaritima/article/download/5869/5608/>. Acesso em: 30 maio 2025.

SOUZA, L. S. A.; GUARIEIRO, L. L. N.; SANTOS, A. A. B. Avaliação Experimental do Desempenho de Motores do Ciclo Diesel Utilizando Misturas Biodiesel/Diesel Marítimo. Revista Virtual de Química, v. 8, n. 4, p. 1192–1203, 2016. Disponível em: <https://rvq-sub.sbz.org.br/index.php/rvq/article/download/1803/807>. Acesso em: 30 maio 2025.

SOUZA, L. T. de; RIBEIRO, R. F. Energia renovável e extrativismo verde: transição ou reconfiguração? Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais, v. 26, 2024. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeur/a/G4XcXrdtWm4vWqnshPnYmZn>. Acesso em: 30 maio 2025.

VISCARDI, F. A. P. D. Análise de Viabilidade Técnica e Econômica do Biodiesel no Brasil. Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás – IBP, 2004. Disponível em: [https://www.portalabpg.org.br/PDPetro/3/trabalhos/IBP0659\\_05.pdf](https://www.portalabpg.org.br/PDPetro/3/trabalhos/IBP0659_05.pdf). Acesso em: 30 maio 2025.

WCISŁO, G.; et al. Experimental Investigation of Physicochemical Properties and Combustion Characteristics of Biodiesel Blends for Marine Engines. Energies, v. 17, n. 16, p. 4175, 2024. DOI: 10.3390/en17164175. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1996-1073/17/16/4175>. Acesso em: 30 maio 2025.

ZUÑIGA, A. D. G. Revisão: propriedades físico-químicas do biodiesel. Pesticidas: Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente, Curitiba, v. 21, p. 45–56, 2011. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/pesticidas/article/view/25939>. Acesso em: 30 maio 2025.