Síntese de lubrificantes biodegradáveis a partir de biodieseis do óleo de palma obtidos por catálise ácida

Rafael de Souza Santos[1], Matheus de Sousa Soares[2], João Pedro Pereira de Araujo[3], José Carlos Oliveira Santos[4]

[1]*Universidade Federal de Campina Grande, Cuité-PB, Brasil (rafael.souza@estudante.ufcg.edu,br)*
[2]*Universidade Federal de Campina Grande, Cuité-PB, Brasil (sousa.soares@estudante.ufcg.edu,br)*
[3]*Universidade Federal de Campina Grande, Cuité-PB, Brasil (pedro.araujo@estudante.ufcg.edu,br)*
[4]*Universidade Federal de Campina Grande, Cuité-PB, Brasil (jose.oliveira@professor.ufcg.edu.br)*

Resumo: Este trabalho teve como objetivo sintetizar biodieseis e biolubrificantes a partir do óleo de palma via catálise ácida. Inicialmente, realizou-se a transesterificação ácida do óleo de palma utilizando etanol e metanol, posteriormente os ésteres obtidos foram submetidos à epoxidação com ácido peracético visando à produção dos biolubrificantes. Os resultados demonstraram ótimos rendimentos reacionais e as análises físico-químicas indicaram aumento da viscosidade nos biolubrificantes em comparação aos biodieseis, favorecendo características desejáveis para aplicação como materiais lubrificantes. Entretanto, observou-se tendência à cristalização a temperatura ambiente indicando potencial aplicação como graxas biodegradáveis.

Palavras-chave: óleo de palma; biodiesel; lubrificante; transesterificação; biomassa.

INTRODUÇÃO

A utilização dos combustíveis fósseis e derivados de petróleo vem causando sérios problemas ambientais como por exemplo a emissão de gases do efeito estufa, causadas principalmente pela utilização desses agentes poluentes na área de energia e transportes. Devido a isso, há a busca por novas alternativas energéticas que sejam capazes de trazer o desenvolvimento sustentável para as nações, dentre as possibilidades, existe a energia solar, eólica, hidrelétrica e bioenergética (Algarni *et al*., 2023).

O óleo de palma é originário do sudeste africano e chegou ao Brasil na vinda dos africanos na época da escravidão (Borges *et al*., 2016). Popularmente chamado de azeite de dendê, esse óleo é derivado de uma palmeira conhecida como dendezeiro e mais formalmente como palma de óleo (*Elaeis guineensis*) (Fernanda *et al*., 2014). De acordo com a Associação Brasileira de Produtores de Óleo de Palma, a oleaginosa Palma de Óleo fornece um dos óleos mais extraídos no mundo, 80% da produção está localizada em países como Indonésia e Malásia e na região sudeste do continente asiático, além disso, foi constatado um aumento de 300% na produção desse óleo no decorrer dos últimos 20 anos. No Brasil, no ano de 2021, de acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o estado do Pará e a Bahia lideram o ranking dos maiores produtores do país, que gerou uma quantidade de 2.887.696 toneladas de dendê (Brasil, 2013).

Destaca-se a ampla utilização do óleo de palma nos mais diversos setores, como no setor alimentício e produção de biodiesel, que ocorre devido a maior produção de óleo por área de plantação, além disso, vale destacar a produção do fruto por todo o ano (Santos *et al*., 2026). De acordo com Borges *et al.* (2016), as principais fontes oleaginosas para a produção de alquil-ésteres no Brasil no ano de 2013 foram: soja, amendoim, dendê, girassol, algodão em caroço, mamona e canola. A partir dos estudos realizados, ficou constatado que dentre as matérias-primas citadas, o óleo de dendê é o que apresenta a maior produtividade (kg/ha) e um dos maiores teores de óleo, diante disso torna-se o óleo de palma como uma excelente fonte de matéria prima para a produção de biodiesel e a consequente diminuição da utilização dos combustíveis derivados do petróleo (Vieira *et al.*, 2026; Borges *et al.*, 2016).

Da palma (*Elaeis guineensis*) podem ser extraídos dois tipos de óleo: o primeiro é extraído do mesocarpo do fruto e é considerado como um óleo bruto, esse é utilizado para a produção de

biocombustíveis; o segundo é um óleo refinado, extraído da amêndoa (a polpa), conhecido como palmiste. Esses óleos são formados por ácidos graxos diferentes e apresentam propriedades distintas (Borges *et al*., 2016). Os óleos são materiais de natureza orgânica que pertencem a classe dos lipídios sendo ricos majoritariamente por triglicerídeos (Silveira, 2021). Diante da importância da mamona, o objetivo do presente trabalho é o uso do seu óleo na indústria através de sua utilização como matéria-prima para produção de biodiesel e biolubrificante.

Apesar dos avanços, no que diz respeito à melhoramento da cultura da palma, ainda necessitam de ajustes para o manejo geral, com o intuito de um melhor rendimento final deste produto, melhor adaptabilidade a diferentes regiões e atendimento da demanda do mesmo, que será utilizado como matéria-prima para muitas outras áreas (Cruz, 2022). Assim, esta pesquisa foi desenvolvida com o objetivo de sintetizar biocombustíveis e lubrificantes biodegradáveis a partir de óleo de palma, usando transesterificação por catálise ácida seguida da epoxidação ácida, e comparar suas propriedades físico-químicas.

MATERIAL E MÉTODOS

O óleo de palma, produzido por uma indústria brasileira, foi adquirido no comércio local. O óleo refinado necessitou de tratamento prévio antes das reações a que seria submetido, pois cristalizava a temperatura ambiente. Os reagentes para síntese e análises físico-químicas foram preparados seguindo as normas analíticas específicas a partir de reagentes de grau analítico.

Para obtenção dos biodieseis (ésteres etílicos e metílicos), a reação de transesterificação foi realizada adotando-se uma razão em massa de óleo/álcool igual a 1:1 e 3% de catalisador H_2SO_4 (catalisador/óleo).

A reação foi mantida a uma temperatura de aproximadamente 60^{o}C durante 6 h. Decorrido o tempo e após o resfriamento do sistema, a mistura foi transferida para um funil de decantação por 1 hora para a separação das fases (Rodrigues, 2007; Andrade; Santos, 2026).

A fase superior do funil de decantação foi transferida para outro funil para realização de lavagem com água destilada. Foram realizadas quatro lavagens com água destilada quente (temperatura aproximada de 85^{o}C) do produto obtido, para retirar os resíduos, subprodutos e excessos de álcool e catalisador. Foi observado que o produto formou duas fases, sendo a fase inferior rica em álcool e glicerina e a fase superior com os ésteres (biodiesel).

O mesmo procedimento descrito anteriormente foi realizado com o metanol e com o etanol.

Os ésteres metilicos e os ésteres etilicos do óleo de palma obtidos por transesterificação ácida foram submetidos á reação de epoxidação para obtenção dos biolubrificantes, realizada utilizando a proporção em massa de 1:1,1 entre éster e ácido peracético. Em um balão de fundo redondo de 500 mL, foram adicionados 130 g do éster metílico obtido e, gota a gota, 143g de ácido peracético comercial a 15%. A mistura permanceu sob agitação e aquecimento a 45ºC, em banho de água e gelo, durante 2 horas.

As propriedades físico-químicas analisadas foram a aparência, a densidade relativa e as viscosidades dinâmica e cinemática.

A aparência foi determinada de modo visual, comparando-se as amostras quanto a cor e a turbidez.

A densidade das amostras foi determinada utilizando um picnômetro de 25 mL. Inicialmente, o picnômetro foi preenchido com água destilada e pesado. Em seguida, o procedimento foi repetido utilizando as amostras analisadas (Silva *et al*., 2022). O cálculo da densidade foi feito de acordo com Equação (1):

$$d_x = m_x / m_{água} \qquad (1)$$

onde: d_x: densidade relativa da amostra; m_x: massa da amostra (g); $m_{água}$: massa da água (g).

A viscosidade dinâmica das amostras foi determinada utilizando um viscosímetro digital da marca Marte, modelo MDV-8, utilizando o rotor nº 1 para as análises do óleo, biodieseis e biolubrificantes (Macedo *et al*., 2021). As determinações foram realizadas á temperatura ambiente, não houve necessidade de aquecimento das amostras por meio da chapa de aquecimento, a temperatura foi medida por um sensor que acompanha o produto. A viscosidade dinâmica foi determinada pela relação entre a viscosidade cinemática e a densidade das amostras usando a Equação (2):

$$\nu = \eta / d \qquad (2)$$

onde: ν: viscosidade cinemática da amostra (mm^2/s); η: viscosidade dinâmica da amostra (mPa.s); d: densidade da amostra (g/cm^3).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os rendimentos para obtenção dos biodieseis a partir do óleo de palma foram: transesterificação metílica com rendimento de 97,5%, obtendo-se um biodiesel alaranjado; transesterificação etílica com rendimento 90,2% obtendo-se um biodiesel alaranjado (Silva *et al.*, 2021). O processo de produção do biodiesel por transesterificação metílica do óleo de palma, via catálise ácida está representado nas Figuras 1 a 6.



Figura 1. Síntese do biodiesel metílico do óleo de palma.



Figura 2. Biodiesel metílico do óleo de palma via catálise ácida antes da decantação.



Figura 3. Decantação do biodiesel metílico do óleo de palma obtido via catálise ácida.



Figura 4. Biodiesel metílico do óleo de palma obtido via catálise ácida antes da lavagem.

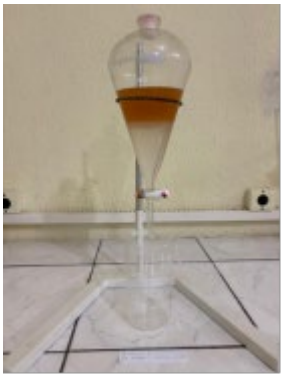


Figura 5. Lavagem do biodiesel metílico do óleo de palma obtido por catálise ácida.



Figura 6. Biodiesel metílico do óleo de palma via catálise ácida após processo de lavagem.

O processo de produção do biodiesel por transesterificação etílica do óleo de palma, via catálise ácida está representado nas Figuras 7 a 12.

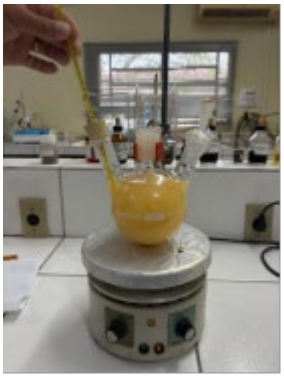


Figura 7. Síntese do biodiesel etílico do óleo de palma.



Figura 8. Biodiesel etílico do óleo de palma via catálise ácida antes da decantação.



Figura 9. Decantação do biodiesel etílico do óleo de palma obtido via catálise ácida.



Figura 10. Biodiesel etílico do óleo de palma obtido via catálise ácida antes da lavagem.



Figura 11. Lavagem do biodiesel etílico do óleo de palma obtido por catálise ácida.



Figura 12. Biodiesel etílico do óleo de palma via catálise ácida após processo de lavagem.

O rendimento das reações de obtenção dos biolubrificantes a partir dos biodieseis obtidos do óleo de palma foram satisfatórias: na epoxidação metílica o rendimento foi de 95,8% e na epoxidação etílica o rendimento foi 85,8%.

As amostras do biodiesel e biolubrificante apresentaram um alto rendimento, o que comprova na prática que o óleo de palma possui elevado potencial como matéria-prima para a produção de biocombustíveis e biolubrificantes de origem renovável. No qual foi observada uma melhor conversão para a rota metílica, com um rendimento de 97,5% para o biodiesel e 95,8% para o biolubrificante. Indicando este produto e a viabilidade técnica deste processo para as indústrias, de modo que faça com que seja uma opção inovadora e viável do ponto de vista para fins lucrativos e reforçando a importância do desenvolvimento de produtos sustentáveis capazes de substituir derivados de petróleo em aplicações energéticas e industriais, colaborando para a preservação do meio ambiente e contribuindo para um planeta melhor (Silva et al., 2026).

O processo de produção do biolubrificante por epoxidação dos ésteres metílicos obtidos do óleo de palma está representado nas Figuras 13 a 18.



Figura 13. Síntese do biolubrificante a partir do biodiesel metílico do óleo de palma via catálise ácida.



Figura 14. Biolubrificante metílico do óleo de palma via catálise ácida antes da decantação.



Figura 15. Decantação do biolubrificante metílico do óleo de palma obtido via catálise ácida.



Figura 16. Biolubrificante metílico do óleo de palma, obtido via catálise ácida antes da lavagem.



Figura 17. Lavagem do biolubrificante metílico do óleo de palma com bicarbonato de sódio.



Figura 18. Biolubrificante metílico do óleo de palma via catálise ácida após processo de lavagem.

O processo de produção do biolubrificante por epoxidação dos ésteres etílicos obtidos do óleo de palma estão descritos nas Figuras 19 a 24.



Figura 19. Síntese do biolubrificante a partir do biodiesel etílico do óleo de palma via catálise ácida.



Figura 20. Biolubrificante etílico do óleo de palma via catálise ácida antes da decantação.



Figura 21. Decantação do biolubrificante etílico do óleo de palma obtido via catálise ácida.



Figura 22. Biolubrificante etílico do óleo de palma obtido via catálise ácida antes da lavagem.



Figura 23. Lavagem do biolubrificante etílico do óleo de palma com bicarbonato de sódio.



Figura 24. Biolubrificante etílico do óleo de palma via catálise ácida após processo de lavagem.

Com relação as propriedades físico-químicas, a Figura 25 e a Tabela 1 apresenta os resultados das aparências das amostras.

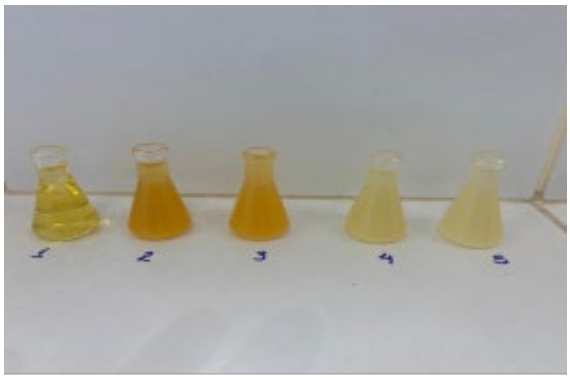


Figura 25. Aspecto das amostras (1) óleo de palma; (2) biodiesel metílico; (3) biodiesel etílico; (4) biolubrificante metílico e (5) biolubrificante etílico.

Tabela 1. Aparência visual das amostras.

Material	Aparência observada
Óleo de palma	Líquido amarelo-claro, transparente e com aspecto homogêneo.
Biodiesel metílico	Líquido amarelo mais intenso, levemente turvo e com boa fluidez.
Biodiesel etílico	Líquido alaranjado/amarelado, aparência semelhante ao metílico, porém um pouco mais densa visualmente.
Biolubrificante metílico	Material esbranquiçado e mais viscoso, com aspecto semissólido.
Biolubrificante etílico	Material esbranquiçado, opaco e ainda mais consistente visualmente.

A foto das amostras mostra claramente a mudança de aparência dos produtos ao longo das reações. O óleo de palma apresentou uma coloração amarelo-clara e transparente, indicando uma fase líquida homogênea e com baixa viscosidade visual. Após a reação para obtenção dos biodieseis metílico e etílico, foi possível perceber que os produtos continuaram líquidos, mas passaram a apresentar coloração mais intensa e leve turbidez, mostrando que houve alteração na composição do material.

Já os biolubrificantes apresentaram a mudança mais evidente. Tanto o metílico quanto o etílico ficaram com aspecto esbranquiçado e semissólido, chegando a apresentar comportamento praticamente sólido em temperatura ambiente. Esse comportamento combina diretamente com os resultados de viscosidade mostrados anteriormente. Isso acontece porque a formação dos ésteres de cadeia longa aumenta as forças de interação entre as moléculas, deixando o

material menos fluido e com maior capacidade de aderência.

Outro detalhe importante é que o biolubrificante etílico aparentou ser visualmente mais consistente que o metílico, o que também acompanha os valores experimentais obtidos na viscosidade. Na prática, essa característica é interessante para aplicações como graxas lubrificantes, já que materiais mais viscosos conseguem permanecer por mais tempo aderidos às superfícies metálicas, reduzindo desgaste e atrito durante o funcionamento.

Durante a síntese dos biolubrificantes metílicos e etílicos por rota ácida, utilizando o óleo de palma, um ponto que chamou a atenção foi o comportamento do produto em temperatura ambiente, onde ele tendeu a se cristalizar. Isso provavelmente aconteceu devido ao alto ponto de fluidez do material, algo que está diretamente ligado à estrutura molecular dos ésteres que foram formados. Fora isso, notou-se que esses biolubrificantes ficaram com densidade e viscosidade bem mais altas do que os lubrificantes líquidos comuns. Na prática, essa característica é boa porque ajuda o produto a grudar melhor nas superfícies metálicas e evita que ele escorra fácil durante o uso. Essa viscosidade elevada vem das cadeias de ácidos graxos longas e saturadas que o próprio óleo de palma possui, gerando forças de atração mais fortes entre as moléculas e deixando o sistema com um aspecto semissólido. Por conta dessa boa adesão, resistência para fluir e estabilidade, o material se mostra muito promissor para virar graxa lubrificante, sobretudo onde há necessidade de proteger peças contra o desgaste e o atrito pesado. Os valores detalhados desse ensaio estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Densidade e viscosidade das amostras.

Parâmetros	OP	BMOP	BEOP	LMOP	LEOP
Viscosidade Dinâmica (mPa.S)	34,7	18,0	14,4	31,9	25,3
Viscosidade Cinemática (mm^2 / S)	36,8	19,1	15,4	33,4	26,9
Densidade (g/cm^3)	0,94	0,94	0,93	0,95	0,95

Onde: (OP) óleo de palma; (BMOP) biodiesel metílico; (BEOP) biodiesel etílico; (LMOP) biolubrificante metílico e (LEOP) biolubrificante etílico.

Analisando os resultados da Tabela 2, fica claro que a densidade mudou muito pouco após os ensaios (Ramos *et al*., 2024). A matéria-prima marcou uma densidade de 0,943 g/cm^3, o que prova que as reações para obter os biolubrificantes não mexeram de forma significativa nessa propriedade física. Esse detalhe sinaliza que o arranjo molecular dos novos compostos ainda preserva traços muito parecidos com os do óleo original, garantindo uma boa estabilidade para o produto final.

Já na parte da viscosidade, houve uma diferença perceptível: o produto metílico alcançou 19,1 mm^2/s, superando os 15,4 mm^2/s do etílico. Essa variação tem relação direta com o desenho estrutural de cada éster. As moléculas do tipo metílico costumam interagir mais entre si e têm menos liberdade de movimento do que as do tipo etílico, o que dificulta o escoamento do fluido. Pensando na aplicação prática, essa viscosidade maior do produto metílico ajuda o lubrificante a aderir com mais firmeza nas peças, uma qualidade indispensável para graxas, nas quais o objetivo principal é manter o produto fixo no lugar para reduzir o atrito mecânico.

O biolubrificante etílico, mesmo sendo menos viscoso que o metílico, ainda assim entregou um valor alto, mostrando que consegue formar uma boa película protetora (Macedo *et al.*, 2022). Essa diferença entre os dois aconteceu pela influência do tipo de álcool usado na reação. Como os ésteres etílicos trazem uma cadeia de carbono mais longa, eles ganham mais mobilidade molecular, o que quebra um pouco a força de atração entre as moléculas e abaixa a viscosidade geral (Farias *et al*., 2021). De qualquer forma, os patamares elevados de viscosidade de ambos os produtos confirmam que eles funcionam bem como graxas lubrificantes, garantindo boa fixação nos componentes e alta resistência à lavagem ou remoção mecânica durante o trabalho.

CONCLUSÃO

Conclui-se que a síntese dos biolubrificantes metílicos e etílicos a partir do óleo de palma via catálise ácida possibilitou a obtenção de produtos com potencial aplicação na área de lubrificantes biodegradáveis. No entanto, os resultados obtidos não corresponderam integralmente ao esperado inicialmente, principalmente devido à tendência de cristalização e à elevada resistência apresentada pelos produtos em temperatura ambiente, características que podem comprometer sua aplicação em determinadas condições operacionais.

Apesar disso, o estudo demonstrou a viabilidade da utilização do óleo de palma como matéria-prima para a produção de biolubrificantes, evidenciando a importância do desenvolvimento de alternativas renováveis e ambientalmente mais sustentáveis. Dessa forma, faz-se necessária a realização de novos estudos e otimizações no processo de síntese, buscando aprimorar as propriedades do produto final e ampliar seu potencial de aplicação industrial.

REFERÊNCIAS

ALGARNI, S.; TIRTH, V.; ALOAHTANI, T.; ALSHEHRY, S.; KSHIRSAGAR, P. Contribution of renewable energy sources to the environmental impacts and economic benefits for sustainable development. Sustainable Energy Technologies and Assessments, v. 56, p. 103098, 15 mar. 2023.

ANDRADE, R. L.; SANTOS, J. C. O. Purification and utilization of glycerol waste generated in biofuel production: a review. Brazilian Applied Science Review, [S. l.], v. 10, n. 1, p. e87047, 2026.

BORGES, A. J.; COLLICCHIO, E.; CAMPOS, G. A. A cultura da palma de óleo (Elaeis guineensis Jacq.) no Brasil e no mundo: aspectos agronômicos e tecnológicos – uma revisão. Revista Liberato, v. 17, n. 27, p. 65–78, 2016.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Anuário estatístico de agroenergia 2012: statistical yearbook of agrienergy. Brasília: Secretaria de Produção e Agroenergia, 284 p. 2013.

CRUZ, J. F. S. Química e sustentabilidade: análise comparativa da obtenção de lubrificantes biodegradáveis pela epoxidação do óleo de soja comercial e usado de fritura. 54 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Licenciatura em Química), Universidade Federal de Campina Grande, Cuité, 2022.

FARIAS, H. H.; MACEDO, A. D. M.; RAMOS, J. D. F.; SANTOS, J. C. O. Epoxidação metílica doóleo de mamona para síntese de biolubrificante. Educação, Ciência e Saúde, v. 8, n. 2, 2021.

FERNANDA, K.; MONTEIRO, K. F.; KINGO, A.; HOMMA, A. Diferentes sistemas de produção com palma de óleo (*Elaeis guineensis Jacq*.) e a participação do Brasil no cenário internacional. 2014.

MACEDO, A. D. M. ; SANTOS, J. C. O. Synthesis of biodegradable lubricating oils by methyl and ethyl epoxidation of castor oil esters. International Journal of Development Research, v. 12, n. 9, p. 59024-59027, 2022.

MACEDO, A. D. M.; FARIAS, H. H.; RAMOS, J. D. F.; PEREIRA, A. M. S.; ROCHA, E. C. S. ; OLIVEIRA, I. L.; SANTOS, J. C. O. Otimização do Processo de Síntese de Biolubrificantes por Epoxidação de Óleo Residual Oriundo de Restaurante Universitário. Brazilian Journal of Development, v. 7, n. 12, p. 119743-119761, 2021.

RAMOS, J. D. F.; FREITAS, J. C. R.; SANTOS, J. C. O. Análise espectroscópica e físico-química de um lubrificante biodegradável sintetizado pela epoxidação metílica do óleo de algodão. Educação, Ciência e Saúde, v. 11, n. 2, 2024.

RODRIGUES, H. S. Obtenção de ésteres etílicos e metílicos por reações de transesterificação a partir do óleo da palmeira latino americana macaúba – Acrocomia aculeata. 236 f. Dissertação de Doutorado (Programa de Pós-Graduação em Química), Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2007.

SANTOS, D. C.; VIEIRA, F. M.; SANTOS, J. C. O. Desenvolvimento de lubrificantes biodegradáveis a partir do óleo de palma para uso na construção civil. Educação, Ciência e Saúde, v. 13, n. 1, p. e743, 2026.

SILVA, Á. S. G.; SOUZA, D. S.; SANTOS, D. C.; SOUZA, M. R. F.; SANTOS, J. C. O. Synthesis of Biodiesel and Biolubricant using Sweet Almond Oil (*Prunus Dulcis*). Academic Journal of Engineering Studies, v. 4, n. 2, p. 585, 2026.

SILVA, C. C. M.; MORAES, L. C. K.; SANTOS JÚNIOR, J. R.; CASTRO, T. L. A. Redução da viscosidade do biodiesel de *Ricinus communis* L. (mamona) por acetilação química. Brazilian Journal of Production Engineering, v. 7, n. 3, 2021.

SILVA, C. C.; CONCEIÇÃO, M. M.; SANTOS, J. C. O. Obtaining biofuel from rice bran oil as energy alternative: Thermal and oxidative stability. International Journal of Development Research, v. 12, n. 6, p. 56425-56429, 2022.

SILVEIRA, R. M. Diversidade da composição química dos óleos essenciais de Eugenia – Myrtaceae: uma revisão. Brazilian Journal of Development, v. 7, n. 3, p. 33276-33303, 2021.

VIEIRA, F. M.; SANTOS, D. C.; CRUZ, J. F. S.; FREITAS, J. C. R.; SANTOS, J. C. O. Desafios da Sustentabilidade Ambiental: Obtenção de Lubrificantes Biodegradáveis do Óleo de Algodão Para Uso na Construção Civil. Revista Eletrônica Multidisciplinar de Investigação Científica, Brasil, v. 5, n. 23, 2026.