DESENVOLVIMENTO DE UM LUBRIFICANTE HÍBRIDO ÓLEO MINERAL-VEGETAL: ANÁLISE DO COMPORTAMENTO E DAS PROPRIEDADES

Witney Karen Moraes Costa[1], Jadson Lucas Alcântara Nascimento Ferreira[2], Larissa Costa de Menezes[3], Janyeid Karla Castro Souza[2], Maira Silva Ferreira[2]

[1]Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia, Universidade Federal do Maranhão, São Luís, Brasil (witney.moraes@discente.ufma.br)
[2]Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia, Universidade Federal do Maranhão, São Luís, Brasil
[3]Laboratório de Análises e Pesquisa em Química Analítica de Petróleo e Biocombustíveis, Universidade Federal do Maranhão, São Luís, Brasil

Resumo: Avaliou-se a viabilidade técnica de lubrificantes híbridos formulados com fluido hidráulico mineral e óleo de coco babaçu (Orbignya phalerata) em frações de 10% (m/m). Ensaios físico-químicos indicaram excelente enquadramento regulatório, com as misturas de B10-H a B40-H atendendo aos limites de viscosidade e massa específica da ANP e normas ISO VG. A biomassa elevou o ponto de fulgor, aumentando a segurança térmica. Os resultados validam o potencial da hibridização regional.

Palavras-chave: lubrificante híbrido, óleo mineral, óleos vegetais, propriedades físico-químicas

INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, a preocupação global com a preservação ambiental e a mitigação das mudanças climáticas têm impulsionado a transição para uma economia de baixo carbono (Gbadeyan *et al*., 2024). Nesse cenário, o Brasil destaca-se pela consolidação de políticas voltadas ao uso de energias renováveis, exemplificada pelo sucesso na adoção de biocombustíveis como o etanol e o biodiesel na matriz energética nacional (Silva *et al*., 2021). Entretanto, o país ainda enfrenta um entrave estratégico e financeiro no setor de lubrificantes, uma vez que, a produção interna de óleos básicos lubrificantes de alta performance ainda é deficitária. Esse cenário reflete-se numa forte dependência do mercado externo, evidenciada pela importação de aproximadamente 802 mil metros cúbicos de óleo básico apenas em 2024, um dos maiores volumes da história do país (Portal Lubes, 2025). Deste modo, a introdução de uma matéria-prima regional apresenta-se, portanto, como uma solução para mitigar essa dependência econômica.

Segundo Uppar, Dinesha e Kumar (2023), um lubrificante é definido como uma substância que, interposta entre duas superfícies em movimento relativo, tem a finalidade de reduzir o atrito, o calor e o desgaste mecânico. O principal constituinte de um óleo lubrificante acabado é o chamado óleo básico, que pode ter origem mineral, sintética ou vegetal. Em termos volumétricos, os óleos básicos representam a maior parte da formulação, cerca de 90% do produto, enquanto o restante é composto por aditivos destinados a potencializar propriedades específicas. Embora essa porcentagem pode variar de acordo com a aplicação, o óleo básico permanece como o componente predominante e determinante das características físico-químicas do fluido (Jasim; Kashmoula, 2022; Lacroix-Andrivet *et al*., 2023; Pichler *et al.*, 2023).

Esses fluidos são indispensáveis para o funcionamento de motores de combustão interna, engrenagens industriais e sistemas hidráulicos de alta pressão. A escolha correta da base lubrificante é fundamental, uma vez que diferentes bases oferecem distintos níveis de estabilidade térmica, resistência à oxidação e índice de viscosidade (Garcés; Martínez-Force; Salas, 2011; Murru; Badía-Laíño; Díaz-García, 2021; Woma *et a*l., 2019). No entanto, a utilização em larga escala desses fluidos, majoritariamente derivados do petróleo, gera um passivo ambiental significativo. Estima-se que aproximadamente 50% dos lubrificantes usados acabam perdidos no meio ambiente como resíduos através do transporte, uso, armazenamento ou vazamentos (Sazzad *et al*., 2024). Por serem de origem fóssil, esses óleos apresentam elevada toxicidade e baixíssima biodegradabilidade, contaminando o solo e os recursos hídricos por longos períodos (Noawk; Kucharska; Kamínski, 2019).

Neste contexto, torna-se necessária a busca por alternativas tecnologicamente viáveis que reduzam esse impacto ambiental. Surge, assim, a hibridização

de lubrificantes como uma estratégia promissora. Esta pesquisa baseia-se na formulação de misturas compostas por bases minerais e vegetais, unindo o desempenho técnico de um à sustentabilidade do outro. Para compor a base mineral, foi selecionado um lubrificante mineral com aplicação para sistemas hidráulicos, enquanto a base vegetal foi composta pelo óleo de coco babaçu (*Orbignya phalerata*).

A seleção do óleo se justifica pelo interesse em avaliar como um fluido hidráulico, amplamente usado na transmissão de força em equipamentos industriais e agrícolas, se comporta quando misturado com um óleo vegetal, uma vez que os fluidos hidráulicos são essenciais para os setores industrial e automotivo, demandando alternativas que unam eficiência técnica à redução do impacto ecológico. De forma complementar, a escolha do óleo vegetal utilizado considerou seu potencial desempenho teórico como lubrificante, avaliando a importância de suas características físico-químicas e sua ampla disponibilidade no território maranhense. Nesse contexto, o óleo de babaçu destaca-se por sua relevância sociocultural e econômica para o estado, sendo um pilar para a agricultura familiar e para o extrativismo tradicional, além de apresentar propriedades de destaque na literatura, como uma excelente estabilidade oxidativa e boa viscosidade quando comparado a outras fontes vegetais (Melo *et al.*, 2019; Porro; Sousa, 2023; Santos; Bruzaca, 2025; Teixeira, 2008).

Com base nas caracterizações presentes na literatura sobre o babaçu (Sales, 2018; Gomes *et al*., 2020; Souza, 2014; Rios *et al*., 2014; Dias, 2012; Santos, 2019; Cavalcante, 2011), o óleo babaçu destaca-se por propriedades físico-químicas particulares, as quais são diretamente influenciadas por sua composição rica em ácidos graxos saturados de cadeia média e curta. No que diz respeito ao ponto de fulgor, o fluido apresenta elevada estabilidade térmica, registrando valores geralmente acima de 200 °C, o que assegura resistência contra a combustão precoce em processos industriais. Ademais, quanto à viscosidade, devido ao menor comprimento médio de suas cadeias carbonadas em comparação a outros óleos vegetais, o óleo de babaçu possui uma viscosidade cinemática relativamente baixa em torno de 40 °C, situando-se tipicamente na faixa de 30 a 50 mm^2/s. Essa propriedade decresce de forma inversamente proporcional ao aumento da temperatura, viabilizando sua aplicação em biocombustíveis e biolubrificantes sem demandar excessiva diluição. Por fim, verifica-se que a sua massa específica (ou densidade) a 20 °C demonstra valores estáveis e controlados, oscilando de forma aproximada entre 0,910 g/cm^3 e 0,925 g/cm^3, característica fundamental para o dimensionamento mecânico e a modelagem de operações unitárias que envolvem o escoamento deste fluido.

Do ponto de vista técnico, a substituição integral das bases minerais por óleos vegetais puros apresenta limitações decorrentes principalmente de sua baixa estabilidade oxidativa em altas temperaturas e propriedades de escoamento em climas frios. Por este motivo, o desenvolvimento de uma formulação híbrida (mineral-vegetal) justifica-se pela busca de um efeito sinérgico, uma vez que permite aliar o caráter ecológico da biomassa à robustez e estabilidade térmica dos óleos minerais. Dessa forma, garante-se que a formulação híbrida final não apenas possua um apelo sustentável, mas também cumpra rigorosamente os parâmetros de qualidade exigidos pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP).

Deste modo, este trabalho tem como objetivo geral desenvolver um lubrificante híbrido composto por óleo mineral hidráulico e o óleo vegetal de babaçu buscando uma alternativa de menor impacto ambiental que atenda aos critérios regulatórios vigentes. Para alcançar esse propósito, o estudo do comportamento e da estabilidade termo-temporal das misturas em diferentes proporções e, por fim, a caracterização físico-química dos fluidos obtidos. Essa etapa experimental abrangerá a análise de parâmetros essenciais, sendo eles viscosidade, densidade, ponto de fulgor e cor ASTM realizados em estrita conformidade com os requisitos de qualidade estabelecidos pela Resolução ANP Nº 911/2022.

MATERIAL E MÉTODOS

Os óleos base utilizados foram adquiridos no comércio local de São Luís, Maranhão. Para constituir a base de origem fóssil, selecionou-se um fluido comercial representativo para transmissões hidráulicas, fabricado pela GT Oil sob a especificação TASA (Tipo A, Sufixo A) pertencente ao Grupo I da API caracterizado por ser um óleo mineral convencional obtido por refino de solventes, contendo baixo teor de saturados e índice de viscosidade moderado (GT OIL, 2022). Como fonte vegetal empregou-se óleo de babaçu da marca Babaçu Nativo (Indústria Mariano, Trizidela do Vale - MA), caracterizando-se como uma biomassa 100% natural e isenta de modificações químicas severas, o que preserva suas características físico-químicas originais para avaliação do potencial como biolubrificante.

O preparo das misturas binárias foi realizado com o auxílio de uma balança analítica, assegurando o rigor e a precisão (0,0001g) das proporções mássicas estabelecidas. No total, foram formuladas 11 amostras expressas em porcentagem em massa (% m/m), cujas concentrações variaram em intervalos de aproximadamente 10%. Para identificação, as amostras foram codificadas conforme o padrão BXX-H, onde B indica a presença dos óleo de babaçu; H

identifica a base lubrificante hidráulica e o sufixo XX aponta o percentual mássico do componente vegetal na mistura. O delineamento experimental iniciou-se com a amostra B100-H, composta puramente por óleo de babaçu (100%) e isenta de lubrificante hidráulico (0%). A partir disso, as proporções foram ajustadas de forma progressiva e sequencial, como por exemplo, na amostra B90-H (aprox. 90% de babaçu e 10% de lubrificante hidráulico), estendendo-se gradualmente até a formulação final (B00-H), constituída por 0% de óleo de babaçu e 100% de lubrificante hidráulico

Para compreender o comportamento das formulações sob diferentes condições operacionais e de armazenamento, realizou-se o monitoramento térmico e temporal de sistemas selecionados de misturas sob temperatura de 5°C, 25°C e 50°C o que permitiu avaliar a resistência das interações entre as bases fósseis e vegetais, identificando possíveis fenômenos de separação de fases ou alterações devido ao estresse térmico e ao envelhecimento natural.

A caracterização físico-química consistiu na execução de quatro ensaios fundamentais, em conformidade com as normas da ANP n°911 (ANP, 2022).

A viscosidade cinemática a 40 °C (ASTM D445) foi determinada em temperatura controlada no equipamento VISCOBATH, utilizando viscosímetros capilares de vidro do tipo Cannon-Fenske de tamanho 200 (constante 0,1). Após imersão por 30 minutos para estabilização térmica, o tempo de escoamento foi registrado em triplicata, sendo o valor final da viscosidade cinemática (v), expresso em mm²/s (cSt).

A massa específica (ASTM D1298) foi executada em densímetro digital Anton Paar, modelo DMA 4500 M, baseado no princípio do tubo em U oscilante. As análises foram realizadas a 20 °C mediante a introdução de aproximadamente 2 mL de amostra na célula de medição, com resultados expressos em kg/m³.

O ponto de fulgor (ASTM D93) foi realizado em medidor automático Pensky-Martens de vaso fechado, utilizando uma alíquota de 50 mL; durante o aquecimento controlado, uma fonte de ignição foi direcionada ao interior do vaso na temperatura alvo, registrando-se o ponto exato da primeira inflamação da mistura de vapor e ar, com resultado expresso em °C.

Por fim, a análise de cor (ASTM D1500) foi conduzida no colorímetro Orbeco-Hellige da Koehler, comparando-se visualmente as amostras em frascos padronizados contra discos de vidro de referência sob luz branca, com resultado expresso numericamente na escala de Cor ASTM, iniciando em 0,5 indicando um tom claro e escurecendo gradativamente até chegar em 8,0 (ver Figura 1)

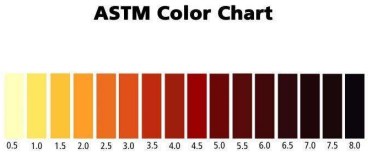

Figura 1. Escala de cor ASTM (Pitta *et al.*, 2021).

Para validar a conformidade regulatória do sistema híbrido, buscou-se correlacionar os resultados experimentais com as variações dos parâmetros permitidos para as classes ISO VG 32, 46 e 68. Conforme a norma ISO 3448 (ISO, 1992), a viscosidade cinemática a 40 °C admite uma tolerância de ±10% sobre o valor nominal de cada classe, estabelecendo os limites operacionais de 28,8 a 35,2 cSt (ISO 32), 41,4 a 50,6 cSt (ISO 46) e 61,2 a 74,8 cSt (ISO 68). Paralelamente, o controle dos limites de massa específica e ponto de fulgor é regido pelos critérios de desempenho da Resolução ANP Nº 911/2022. Para fluidos hidráulicos industriais a norma nacional estipula valores de massa específica de 850 a 890 kg/m³ e exige um ponto de fulgor mínimo de 190 °C para as classes 32 e 46, e de 200 °C para a classe 68. O conhecimento dessas faixas normativas é indispensável para garantir

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No ensaio de estabilidade térmica e de estocagem para as amostras BH, o monitoramento temporal revelou comportamentos distintos sob diferentes faixas de temperatura. Após a exposição por 4 horas sob refrigeração a 5 °C, o fluido híbrido contendo óleo de babaçu solidificou completamente, porém manteve-se em estado líquido, sem sofrer congelamento. Em temperatura ambiente a 25 °C, as misturas BH permaneceram armazenadas por 3 semanas e não apresentaram nenhuma alteração visual ou separação de fases. Quando submetidas ao estresse térmico em estufa a 40 °C por 6 horas as formulações mantiveram-se totalmente estáveis e homogêneas.

A Figura 2 expressa o comportamento da massa específica para o sistema híbrido óleo de babaçu-lubrificante hidráulico (BH). É possível observar que a propriedade exibe um perfil linear que decresce à medida que a concentração de lubrificante hidráulico aumenta, evidenciando que quanto maior o percentual de óleo de babaçu na formulação, maior é a massa específica do fluido final. Sob a ótica regulatória, as amostras que apresentaram maior conformidade com o padrão técnico referencial para um fluido hidráulico comercial foram as misturas compreendidas no intervalo de B10-H a B40-H. Essas formulações registraram valores de massa específica situados entre

863,13 kg/m³ e 879,63 kg/m³, demonstrando viabilidade técnica para um lubrificante híbrido nessa faixa operacional.

A viscosidade e a densidade são duas das propriedades mais importantes de um lubrificante, pois estão intrinsecamente ligadas à sua hidrodinâmica (Ewen *et al.*, 2016). Na física dos fluidos, a viscosidade cinemática é definida diretamente pela razão entre a viscosidade dinâmica e a densidade do óleo. Em termos práticos, enquanto a viscosidade mede a resistência do fluido ao escoamento, a densidade influencia a pressão e a inércia desse movimento dentro do circuito. Portanto, um equilíbrio entre essas propriedades é fundamental, pois fluidos muito densos ou excessivamente viscosos exigem maior esforço mecânico para se movimentarem, gerando perdas energéticas por atrito fluido. Dessa forma, as amostras que se mantiveram dentro dos limites normativos de massa específica se mostram altamente eficientes, pois garantem o equilíbrio hidrodinâmico necessário para transmitir potência mecânica com o mínimo de perda energética, preservando a vida útil dos componentes do sistema.

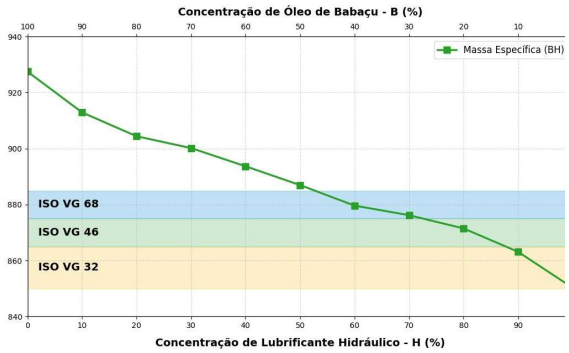

Figura 2. Comportamento de massa específica das misturas BH.

Os resultados experimentais evidenciaram o perfil reológico da viscosidade cinemática a 40 °C para as formulações híbridas em função do incremento da fração mássica do óleo de coco babaçu. Observa-se que o perfil da propriedade cresce conforme a concentração de babaçu diminui, isso acontece porque a base mineral pura apresenta maior viscosidade (50,20 cSt) quando comparada ao óleo de coco babaçu in natura (32,20 cSt).

A viscosidade é a propriedade principal de um lubrificante, sendo o parâmetro que determina a espessura da camada de óleo que separa as peças móveis e evita o desgaste mecânico. Ela é responsável pela eficiência com que o fluido opera em bombas e atuadores, pois um valor equilibrado evita tanto o atrito excessivo quanto as perdas por vazamentos internos.

Verifica-se na Figura 3 que apenas três das formulações desenvolvidas no sistema híbrido BH se encontram fora das faixas de viscosidade da ISO. Esse resultado demonstra que, embora algumas formulações tenham divergido da especificação, a maioria atendeu aos limites estabelecidos. Esse comportamento viabiliza tecnicamente a hibridização, assegurando a estabilidade do filme lubrificante e a eficiência na transmissão de potência hidráulica dentro das exigências práticas de mercado.

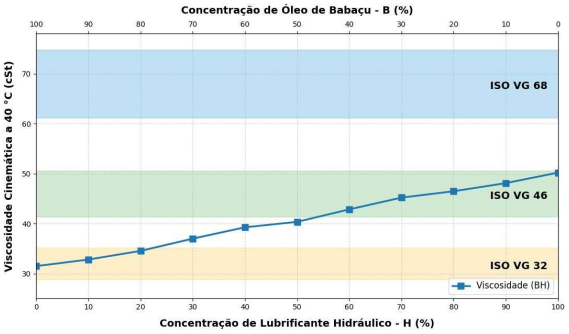

Figura 3. Comportamento de Viscosidade Cinemática das misturas BH.

Na análise do ponto de fulgor, apresentada na Figura 4, é possível notar que o comportamento do ponto de fulgor cresce à medida que se eleva o percentual de óleo de babaçu na mistura. Enquanto o lubrificante mineral puro exibe um limite térmico de 205°C, a incorporação gradativa da biomassa eleva significativamente essa propriedade, atingindo a marca de 256°C na amostra puramente vegetal.

O ponto de fulgor define a menor temperatura na qual um combustível libera vapores em quantidade suficiente para formar uma mistura inflamável com o ar, necessitando de uma fonte externa de ignição para inflamar. Essa análise é fundamental para caracterizar a estabilidade térmica e a volatilidade de lubrificantes, servindo como um indicador crítico para prever o comportamento do fluido sob condições severas de atrito e aquecimento. Na prática industrial, a aplicação desses resultados comprova que todas as formulações ricas em babaçu superaram os limites mínimos estabelecidos pelas normas regulatórias, demonstrando que a introdução dessa base vegetal reduz drasticamente os riscos de incêndios e explosões em circuitos hidráulicos que operam sob alta pressão e temperaturas elevadas.

Sob o viés da segurança operacional, todas as formulações híbridas ricas em babaçu superaram o limite mínimo estabelecido pelas da ANP, demonstrando que a introdução do óleo vegetal agrega excelente estabilidade contra a volatilização e reduz drasticamente os riscos de inflamação e incêndios em ambientes operacionais sob alta pressão.

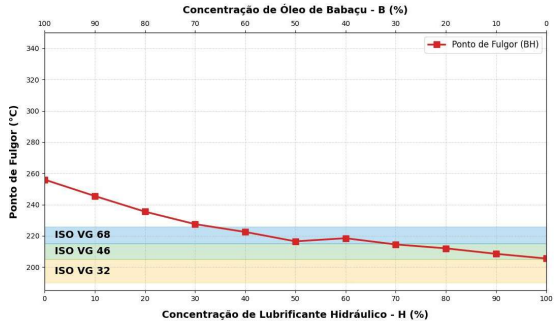

Figura 4. Comportamento de Ponto de fulgor das misturas BH.

O ensaio de cor ASTM para as amostras BH, o óleo de coco babaçu agiu como um clareador quando misturado com o óleo hidráulico. Essa base vegetal exibe uma coloração extremamente clara, registrando o valor mínimo de 0,5 na escala ASTM na sua forma pura. À medida que o lubrificante hidráulico é adicionado ao sistema, observa-se uma elevação na numeração, que passa por faixas inferiores a 3,5 e 4,5 até atingir o patamar máximo superior a 5,0 (> 5) no óleo mineral puro. Esse comportamento confirma que a introdução do óleo de babaçu reduz progressivamente a opacidade e atenua as frações escuras típicas da base fóssil, resultando em um uma mistura final visualmente mais limpa.

CONCLUSÃO

O presente estudo comprovou a viabilidade técnica do desenvolvimento de formulações lubrificantes híbridas (mineral-vegetal) a partir do óleo de coco babaçu (Orbignya phalerata), consolidando-se como uma alternativa promissora para a mitigação de impactos ambientais e para a redução da dependência de insumos puramente fósseis em sistemas hidráulicos industriais.

A caracterização físico-química e o monitoramento termo-temporal evidenciaram que a hibridização interfere diretamente no comportamento hidrodinâmico e térmico das blendas. No intervalo de concentrações de B10-H a B40-H, as formulações atenderam rigorosamente aos critérios de massa específica estabelecidos pela Resolução ANP Nº 911/2022 e mantiveram-se alinhadas às faixas de viscosidade cinemática padronizadas pelas normas ISO VG 32, 46 e 68, assegurando a capacidade de transmissão de potência mecânica sem perdas energéticas por atrito fluido excessivo.

Sob a perspectiva d segurança operacional, a incorporação da biomassa atuou como propriedade determinante na elevação linear do ponto de fulgor do sistema, mitigando riscos de inflamação e severidade térmica em circuitos sob alta pressão. Em síntese, os resultados obtidos no intervalo de até 40% de óleo de babaçu validam a sinergia fôssil-biomassa, aliando a eficiência requerida pelo mercado à valorização de uma matéria-prima renovável e abundante no estado do Maranhão.

AGRADECIMENTOS

A Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão (FAPEMA) pela bolsa de iniciação científica (BIC-15416/25). A Universidade Federal do Maranhão (UFMA), ao Laboratório de Pesquisas Químicas Analítica (LPQA) e ao Laboratório de Análises e Pesquisa em Química Analítica de Petróleo e Biocombustíveis (LPQAP) da UFMA, pela infraestrutura.

REFERÊNCIAS

Gbadeyan, Oluwatoyin J.; Muthivhi, Joseph; Linganiso, Linda Z.; Deenadayalu, Nirmala. Decoupling Economic Growth from Carbon Emissions: A Transition toward Low-Carbon Energy Systems—A Critical Review. Clean Technologies, Basileia, v. 6, n. 3, p. 1076-1113, ago. 2024. Disponível em: https://doi.org/10.3390/cleantechnol6030054. Acesso em: 5 maio 2026.

Silva, A. C. *et al.* Bioenergy in Brazil: the current scenario of the energy matrix and the biofuel production. Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais, [S. l.], v. 12, n. 5, p. 553-566, maio 2021. Disponível em: https://www.sustenere.co. Acesso em: 5 maio 2026.

Portal Lubes. Mercado Brasileiro de lubrificantes bate recorde histórico crescendo 2,3% em 2024. Rio de Janeiro: Editora Lubes, 4 fev. 2025. Disponível em: https://portallubes.com.br/2025/02/mercado-brasileiro-de-lubrificantes-bate-recorde/. Acesso em: 5 maio 2026.

Uppar, Rajendra; Dinesha, P.; Kumar, Shiva. A critical review on vegetable oil-based bio-lubricants: preparation, characterization, and challenges. Environment, Development and Sustainability, [S. l.], v. 25, p. 9011-9046, set. 2023. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s10668-022-02669-w. Acesso em: 5 maio 2026.

Pichler, Jessica *et al.* A comprehensive review of sustainable approaches for synthetic lubricant components. Green Chemistry Letters and Reviews, [S. l.], v. 16, n. 1, p. 1-28, mar. 2023. Disponível em: https://doi.org/10.1080/17518253.2023.2185547. Acesso em: 5 maio 2026.

Lacroix-Andrivet, Oscar et al. Characterization of Base Oil and Additive Oxidation Products from Formulated Lubricant by Ultra-High Resolution Mass Spectrometry. Lubricants, Basileia, v. 11, n. 8, p. 345, ago. 2023. Disponível em:

https://doi.org/10.3390/lubricants11080345. Acesso em: 5 maio 2026.

Jasim, Tiba N.; Kashmoula, Talib B. Improving the Intrinsic Viscosity for Base Lubricating Oils mixed with OCP by using Some Polymeric Additives. Journal Al-Farabi For Engineering Sciences, Bagdá, v. 1, n. 2, p. 31-41, dez. 2022. Acesso em: 5 maio 2026.

Murru, Clarissa; Badía-Laíño, Rosana; Díaz-García, Marta E. Oxidative Stability of Vegetal Oil-Based Lubricants. ACS Sustainable Chemistry & Engineering, [S. l.], v. 9, n. 4, p. 1459-1476, jan. 2021. Disponível em: https://pubs.acs.org/journal/ascecg. Acesso em: 5 maio 2026.

Garcés, Rafael; Martínez-Force, Enrique; Salas, Joaquín J. Vegetable oil basestocks for lubricants. Grasas y Aceites, Sevilha, v. 62, n. 1, p. 21-28, jan./mar. 2011. Disponível em: https://doi.org/10.3989/gya.045210. Acesso em: 5 maio 2026.

Woma, Timothy Yakubu *et al.* Vegetable Oil Based Lubricants: Challenges and Prospects. Tribology Online, Tóquio, v. 14, n. 2, p. 60-70, jun. 2019. Disponível em: https://doi.org/10.2474/trol.14.60. Acesso em: 5 maio 2026.

Sazzad, Md Rahatul Islam *et al.* Advancing sustainable lubricating oil management: Re-refining techniques, market insights, innovative enhancements, and conversion to fuel. Heliyon, [S. l.], v. 10, n. 24, e39248, dez. 2024. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e39248. Acesso em: 17 maio 2026.

Nowak, Paulina; Kucharska, Karolina; Kamiński, Marian. Ecological and Health Effects of Lubricant Oils Emitted into the Environment. International Journal of Environmental Research and Public Health, Basileia, v. 16, n. 16, p. 3002, ago. 2019. Disponível em: https://doi.org/10.3390/ijerph16163002. Acesso em: 17 maio 2026.

Porro, Roberto; Sousa, Ronaldo Carneiro de. Anatomy of babassu-nut value chain for policy guidance in support of traditional agroextractive communities in the Mearim Valley, Maranhão, Brazil. Revista de Economia e Sociologia Rural, Brasília, v. 61, n. 4, e263743, 2023. Disponível em: https://doi.org/10.1590/1806-9479.2022.263743. Acesso em: 17 maio 2026.

Melo, Elaine *et al.* First Study on the Oxidative Stability and Elemental Analysis of Babassu (Attalea speciosa) Edible Oil Produced in Brazil Using a Domestic Extraction Machine. Molecules, Basileia, v. 24, n. 23, p. 4235, nov./dez. 2019. Disponível em: https://doi.org/10.3390/molecules24234235. Acesso em: 17 maio 2026.

Santos, Rômulo Bessa dos; Bruzaca, Ruan Didier. Análise do extrativismo do coco babaçu no Maranhão: uma abordagem sociojurídica. RELACult – Revista Latino-Americana de Estudos em Cultura e Sociedade, [S. l.], v. 11, n. 1, artigo n. 2434, jan./jun. 2025. Disponível em: http://claec.org/relacult. Acesso em: 17 maio 2026.

Teixeira, Marcos Alexandre. Babassu—A new approach for na ancient Brazilian biomass. Biomass and Bioenergy, [S. l.], v. 32, n. 9, p. 857-864, set. 2008. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2007.12.016. Acesso em: 17 maio 2026.

Pereira, Simão Pereira da Silva; Vieira, Alexandre Sylvio Vieira da Costa. Analysis of the efficiency in the productivity of oilseeds exploited for biodiesel in Brazil. Latin American Journal of Business Management, Taubaté, v. 16, n. 1, p. 4-22, jan./jun. 2025. Disponível em: https://www.lajbm.com.br. Acesso em: 17 maio 2026.

Lima, Fernando Silva; Rodrigues, Waldecy; Oliveira, Nilton Marques de. Competitividade do biodiesel: desafios e perspectivas na região MATOPIBA. Informe GEPEC, Toledo, v. 28, n. 1, p. 208-230, jan./jun. 2024. Disponível em: https://doi.org/10.48075/igepec.v28i1.31952. Acesso em: 17 maio 2026.

Pitta, Christiano Santos Rocha *et al.* Desempenho da soja sob diferentes tráfegos agrícolas e plantas de cobertura de outono-inverno. Revista Sodebras, v. 16, n. 189, set. 2021.

GT-Oil. Ficha técnica: GT-Oil Tasa. Lorena: GT-Oil, ago. 2022. Disponível em: https://gtoil.com.br/wp-content/uploads/2022/08/ficha-tecnica-gt-oil-tasa-3.pdf. Acesso em: 3 abr. 2026.

SALES, Airton Ricart Rodrigues de. Caracterização físico-química do óleo de coco babaçu industrial e artesanal e suas aplicações tecnológicas. Orientador: Bruno Raniere Lins de Albuquerque Meireles. 2018. Monografia (Bacharelado em Engenharia de Alimentos) – Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, Universidade Federal de Campina Grande, Pombal, 2018. Disponível em: https://dspace.sti.ufcg.edu.br/bitstream/riufcg/28212/1/AIRTON%20RICART%20RODRIGUES%20DE%20SALES%20-%20TCC%20ENGENHARIA%20DE%20ALIMENTOS%202018..pdf. Acesso em: 9 mar. 2026.

GOMES, Paulo Roberto Barros *et al.* Microemulsões combustíveis à base de óleo de babaçu (Orbignya martiniana). Revista ION, Bucaramanga, v. 33, n. 2, p. 71-80, dez. 2020. Disponível em: http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-100X2020000200071&script=sci_arttext. Acesso em: 9 mar. 2026.

SOUZA, Ana Paula de. Estudo da viabilidade da produção de biodiesel a partir do óleo de babaçu (Orbignya phalerata). Orientador: Luiz Antonio Pimentel Cavalcanti. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2014. Disponível em: https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/tede/7073/1/Arquivototal.pdf. Acesso em: 9 mar. 2026.

RIOS, Maria Alexsandra dos Santos *et al*. Lipase-catalyzed alcoholic fermentation of babassu oil (Orbignya phalerata Mart.) using a central composite rotatable design (CCRD). Fuel, v. 117, p. 1172-1176, jan. 2014. Disponível em: https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/48043/1/2014_art_masrios.pdf. Acesso em: 9 mar. 2026.

DIAS, Cássio da Silva. Estudo e uso de microemulsões combustíveis de óleo de babaçu (Orbignya phalerata) em motor do ciclo diesel. Orientador: Adeilton Pereira Maciel. 2012. Dissertação (Mestrado em Química) – Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2012. Disponível em: http://tede2.ufma.br:8080/jspui/bitstream/tede/912/1/CASSIO%20DA%20SILVA%20DIAS.pdf. Acesso em: 9 mar. 2026.

SANTOS, Maria Fernanda Vicente dos. Pirólise do óleo de babaçu (Orbygnia phalerata) para a obtenção de hidrocarbonetos renováveis. Orientadora: Amanda Duarte Gondim. 2019. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Petróleo) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2019. Disponível em: https://repositorio.ufrn.br/server/api/core/bitstreams/a957bc24-97ed-456c-8553-ace7abda5bd7/content. Acesso em: 9 mar. 2026.

CAVALCANTE, Glene de Melo. Óleo de babaçu (Orbignya phalerata Mart.) como fase oleosa em sistemas microemulsionados para incorporação de anfotericina B. Orientador: Anselmo Gomes de Oliveira. 2011. Dissertação (Mestrado em Ciências Farmacêuticas) – Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2011. Disponível em: http://tedebc.ufma.br:8080/jspui/bitstream/tede/1662/2/GleneCavalcante.pdf. Acesso em: 9 mar. 2026.

Marques, Malú de Andrade. Óleo de babaçu (Orbignya speciosa): determinação das propriedades físicas e físico-químicas e aplicação em nanoemulsões. 2022. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2022.728. Acesso em: 29 maio 2026.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 3448: Industrial liquid lubricants — ISO viscosity classification. 2. ed. Genebra: ISO, 1992.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (ANP). Resolução ANP Nº 911, de 18 de novembro de 2022. Estabelece os requisitos para especificação de óleos lubrificantes de uso industrial. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2022.

Ewen, James P. *et al*. Nonequilibrium Molecular Dynamics Simulations of Organic Friction Modifiers Adsorbed on Iron Oxide Surfaces. Langmuir, v. 33, n. 40, p. 10438-10451, set. 2017. Disponível em: https://doi.org/10.1021/acs.langmuir.7b02224. Acesso em: 27 maio 2026.