

O POTENCIAL O BABAÇU NA MATRIZ ENERGÉTICA: SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO DE BIODIESEL

Brena Lhaís Mendes Arouche¹, Mariana Bandeira Coelho³, Livia Correia Mouzinho³, Hélio de Jesus Diniz Boaz Junior³, Jaciene Jesus Cardoso Rocha¹, Janyeid Karla Castro Sousa².

¹Coordenação de Química Industrial na Universidade Federal do Maranhão, São Luís, Brasil

(brena.lhais@discente.ufma.br)

²Coordenação de Ciência e tecnologia na Universidade Federal do Maranhão, São Luís, Brasil

³Laboratório de Análise e Pesquisa em Química Analítica de Biocombustíveis

Resumo: O biodiesel de babaçu foi sintetizado via transesterificação metílica e avaliado segundo a Resolução ANP nº 920/23. A análise por CG-MS confirmou a predominância de laurato de metila. O biocombustível atendeu aos limites legais: massa específica de 874,09 kg/m³, ponto de fulgor de 112,5 °C, viscosidade de 3,4 mm²/s e acidez de 0,23 mg KOH/g. O teor de ésteres atingiu 99,68% e a estabilidade oxidativa foi de 25 h (mínimo de 13 h), devido à baixa insaturação. O processo gerou um produto de alta qualidade técnica e com alto potencial de consolidação no setor de bioenergia.

Palavras-chave: Biodiesel, Babaçu, Transesterificação, Perfil Cromatográfico, Estabilidade oxidativa.

INTRODUÇÃO

A crescente demanda por energia aliada à necessidade iminente de redução das emissões de gases de efeito estufa tem impulsionado a transição da matriz energética global em direção a fontes renováveis (KNOTHE et al., 2006). Nesse cenário, o biodiesel surge como uma alternativa consolidada ao diesel de origem fóssil, destacando-se por sua biocompatibilidade, elevado ponto de fulgor, excelente poder lubrificante e ausência de compostos sulfurados (PARENTE, 2003; LLANOS et al., 2021).

No contexto brasileiro, regulamentado pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), a diversificação de matérias-primas oleaginosas regionais é uma estratégia crucial para garantir a segurança energética e impulsionar o desenvolvimento socioeconômico de ecossistemas locais (ANP, 2023; SUAREZ et al., 2017).

Entre as biomassas com elevado potencial energético no Norte e Nordeste do Brasil, destaca-se a palmeira do babaçu (LIMA et al., 2015). O óleo extraído de suas amêndoas apresenta uma composição peculiar rica em ácidos graxos saturados de cadeia média, diferindo substancialmente de matrizes tradicionais como a soja (SILVA et al., 2010).

A arquitetura molecular saturada do óleo de babaçu exerce influência direta sobre as propriedades físico-químicas do biodiesel sintetizado. Pesquisas

cromatográficas prévias indicam o predomínio do ácido láurico (C12:0) nesta matéria-prima (SOUZA et al., 2012). Essa predominância confere ao biocombustível uma estabilidade oxidativa e térmica superior, tornando-o altamente resistente ao envelhecimento e à degradação por oxigênio atmosférico devido à baixa concentração de insaturações na cadeia (MOREIRA et al., 2019).

Diante do exposto, este trabalho justifica-se pela necessidade de validar a eficiência do processo de síntese e purificação do biodiesel de babaçu purificado por meio de uma ampla avaliação físico-química e de seu perfil de ésteres via CG-MS. O objetivo principal consistiu em sintetizar o biodiesel de babaçu por transesterificação metílica básica e realizar sua caracterização completa, analisando parâmetros cruciais como massa específica, viscosidade cinemática, ponto de fulgor, índice de acidez, estabilidade oxidativa e pureza em ésteres, garantindo sua conformidade com os critérios de qualidade do setor de bioenergia.

MATERIAL E MÉTODOS

As etapas experimentais desta pesquisa foram executadas no Laboratório de Análise e Pesquisa em Química Analítica de Petróleo e Biocombustíveis (LAPQAP/UFMA) e no Núcleo de Análise de Resíduo de Pesticidas (NARP). As atividades compreenderam desde a etapa de síntese do biodiesel

de babaçu (*Attalea speciosa*) via transesterificação, até a caracterização físico-química completa do biocombustível obtido. A caracterização analítica do biodiesel de babaçu, seguiu um protocolo de caracterização físico-química, cujos ensaios abrangeram as determinações de cor, aspecto visual, massa específica a 20 °C, ponto de fulgor, viscosidade cinemática a 40 °C, estabilidade oxidativa, teor de ésteres, índice de acidez. Todas as análises foram executadas em estrita conformidade com as diretrizes normativas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT NBR), da American Society for Testing and Materials (ASTM), Normas Europeias (EN) e International Organization for Standardization (ISO).

A reação foi realizada em um sistema conforme Figura 1 que consiste basicamente de um balão volumétrico de 2 bocas de 500 mL (a) acoplada em um pirex contendo glicerina (b) e conectado a um tubo condensador de serpentina (c), sob um agitador com aquecimento (d), e utilizando um termômetro (e) para controle da temperatura da glicerina, a temperatura do óleo foi controlada até o início da reação. Os parâmetros reacionais empregados foram: razão molar álcool/óleo empregada foi de 6:1, temperatura de 65°C, 1h30 de reação e 1% de catalisador em relação a massa do óleo.

Inicialmente, pesou-se 350g de óleo de babaçu, o mesmo foi seco em estufa por 3h a 110°C, afim de remover possível umidade presente na matéria-prima. Logo após, foi obtido o metóxido de potássio misturando-se metanol com hidróxido de potássio, sob agitação magnética até a completa homogeneização. Em seguida, adicionou-se ao óleo de babaçu seco o metóxido de potássio sob chapa com agitação. Ao final da reação, a mistura foi transferida para um funil de decantação por 24h até separar as fases.

Após o repouso, observou-se duas fases distintas, o biodiesel, na fase superior, mais claro e menos densa, a na fase inferior, a glicerina, mais densa e escura. A glicerina foi removida e o biodiesel foi purificado com etapas de lavagens, sendo inicialmente lavado com 80mL solução ácida morna de HCL 0,5 mol/L e em seguida, lavado 3 vezes com água destilada morna. A cada lavagem, o biodiesel foi deixado em repouso por 30 minutos para promover a decantação da fase orgânica. As lavagens foram cessadas quando a água de lavagem chegou próximo no neutro, pH 7,0.

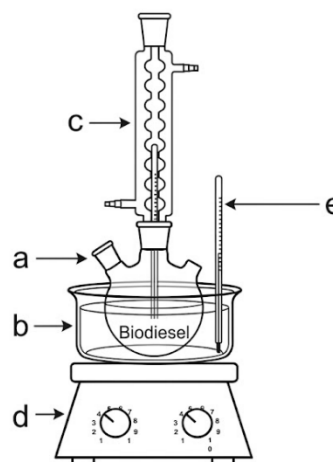


Figura 1. Montagem do sistema de reação.

A massa específica foi realizado no densímetro Anton Paar DMA 4500 M. Para essa análise, retirou-se 2 mL de amostragem com auxílio de uma seringa de vidro e em seguida, introduzida no tubo capilar em U, assegurando que a amostra esteja livre de bolhas. Os resultados foram expressos em Kg/cm³.

Para esse procedimento foi utilizado o analisador automatizado em vaso fechado Pensky-Martens, modelo PMA. O procedimento experimental consistiu na transferência de uma alíquota de aproximadamente 50 mL de amostra para a cuba de ensaio, respeitando o limite de menisco indicado pelo fabricante. O ensaio seguiu com o ajuste do diâmetro da chama-piloto para 3,2 mm e aplicação de uma taxa de aquecimento linear programada entre 5 e 6 °C/min.

Os ensaios de estabilidade à oxidação foram conduzidos por meio da determinação do período de indução a 110 °C, utilizando o equipamento termostaticado Rancimat Metrohm 873. O procedimento consistiu no acondicionamento de uma alíquota de 3 g de amostra em uma célula de reação sob fluxo constante de ar purificado de 10 L/h. Os compostos voláteis gerados pela oxidação térmica foram arrastados para uma célula de medição contendo 60 mL de água destilada, monitorando-se o aumento da condutividade elétrica até o ponto de inflexão da curva cinética.

A determinação do teor de ésteres no biodiesel de babaçu foi executada por cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (CG-MS), por meio de uma adaptação da metodologia regulamentar da norma EN 14103, o equipamento utilizado foi o Espectrômetro de Massas Shimadzu modelo GCMS-QP2010 SE acoplado com injetor automático Autosampler AOC - 20i. O sistema cromatográfico operou com a temperatura do injetor fixada em 250 °C, programado em modo de divisão de fluxo (split) na razão de 1:40. O gás de arraste foi mantido sob fluxo constante na coluna de 1,00 mL/min e pressão

de cabeça de 80,6 kPa. No espectrômetro de massas, configurou-se um tempo de corte do solvente (solvent delay) de 5 minutos para proteção do filamento, mantendo-se a fonte de íons calibrada a 200 °C e a temperatura da interface de transferência (transfer line) a 250 °C. O solvente empregado para análise foi o n-hexano.

Para análise de viscosidade cinemática a 40°C, empregou-se um banho termostático de imersão (modelo HVB 438), cujo controle de temperatura ocorre por circulação de fluido térmico, equipado com tubos capilares Cannon-Fensky. O biodiesel, diesel marítimo e as blends B5, B10 e B15 foram avaliadas utilizando-se capilares de numeração 75. O procedimento consistiu em condicionar aproximadamente 10 mL de cada amostra no banho por 30 min para estabilização térmica, seguido da cronometragem do tempo de escoamento. As análises foram realizadas em triplicatas e os valores finais foram calculados com base na seguinte equação:

$$v = C \times t \quad (\text{Equação 1})$$

onde:

- v = Viscosidade cinemática da amostra (mm^2/s ou cSt);
- C = Constante de calibração do viscosímetro (fornecida pelo fabricante, em mm^2/s);
- t = tempo de escoamento do fluido no tubo viscosímetro (segundos).

O índice de acidez é definido como o número de miligramas de hidróxido de potássio (KOH) necessário para neutralizar os ácidos livres presentes em 1 grama da amostra. A metodologia para a determinação do índice de acidez foi a mesma usada no trabalho de Correia (2012), que se baseou no método da American Oil Chemist' Society (AOCS) com algumas modificações. Pesou-se aproximadamente 2 gramas da amostra do biodiesel em um frasco erlenmeyer. Adicionou-se 25 mL de álcool etílico neutro e duas gotas de indicador fenolftaleína. A mistura foi titulada com solução de hidróxido de sódio 0,01 mol·L⁻¹ até a identificação visual da mudança da coloração da amostra para rósea.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos na caracterização físico-química do biodiesel de babaçu purificado evidenciam um biocombustível de alta qualidade, com parâmetros em estrita conformidade com os limites estabelecidos pela legislação nacional vigente (Resolução ANP nº 920/2023). A eficiência do processo de transesterificação foi ratificada pelo teor de ésteres de 99,68% e pelo rendimento reacional de 87%, indicando uma conversão satisfatória dos triacilgliceróis em ésteres alquílicos, com perdas

residuais aceitáveis durante as etapas de lavagem e purificação.

O perfil lipídico do babaçu, composto majoritariamente por ácidos graxos saturados de cadeia média (predominantemente o ácido láurico, (C12:0)), refletiu-se diretamente nas propriedades físicas do combustível. A viscosidade cinemática a 40 °C fixou-se em 3,442 mm^2/s , situando-se confortavelmente dentro do intervalo regulatório da ANP (3,0 a 6,0 mm^2/s). Essa viscosidade moderadamente baixa é uma vantagem crítica para o gerenciamento de blends marítimas, pois garante uma atomização eficiente do combustível na câmara de combustão, evitando o desgaste prematuro de bombas de injeção e bicos injetores. Em estreita correlação, a massa específica a 20°C resultou em 874,09 kg/m^3 , valor que atende perfeitamente ao intervalo normatizado de 850 a 900 kg/m^3 , assegurando a adequação volumétrica e mássica no sistema de alimentação do motor.

No que tange à segurança operacional e de estocagem, o ponto de fulgor de 112,5 °C superou o limite mínimo exigido pela ANP para o B100 (mínimo de 100 °C). Esse resultado confirma a remoção completa do metanol/etanol residual da reação, eliminando riscos de inflamabilidade precoce no armazenamento. Adicionalmente, o índice de acidez de 0,23 mg KOH/g permaneceu significativamente abaixo do teto de 0,50 mg KOH/g estipulado pela norma. O baixo teor de ácidos graxos livres corrobora a eficiência do processo de refino e purificação da matéria-prima, mitigando potenciais problemas de corrosão em ligas metálicas do sistema de combustível.

O maior destaque tecnológico dos resultados reside na estabilidade oxidativa, que atingiu 25 horas. O período de indução obtido supera o requisito mínimo da ANP (mínimo de 13 horas para o B100 automotivo), consolidando o biodiesel de babaçu como uma matriz excepcionalmente estável. Do ponto de vista químico, esse desempenho superior é uma consequência direta da baixa concentração de sítios insaturados na cadeia do babaçu, tornando a molécula altamente resistente ao ataque por oxigênio atmosférico e ao envelhecimento térmico.

Tabela 1. Parâmetros Físico-químicos do Biodiesel de Babaçu.

Parâmetros	Resultados Obtidos	Resolução ANP n°920/23
Massa Específica (Kg/m^3)	874,09	850-900
Ponto de Fulgor ($^{\circ}\text{C}$)	112,5	min. 100

Estabilidade Oxidativa (h)	25	13h
Teor de Ésteres (% massa)	99,68	96,5
Viscosidade (mm ² /s)	3,4	3,0-5,0
Índice de Acidez (mg KOH/g)	0,23	0,5

O perfil cromatográfico obtido na análise do biodiesel de babaçu revelou uma separação eficiente e de alta resolução dos ésteres constituintes, caracterizada por picos simétricos e uma linha de base estável ao longo de toda a corrida. A análise quantitativa detalhada na figura confirma a natureza predominantemente láurica da matéria-prima, apresentando o éster metílico do ácido láurico (C12:0) como o componente majoritário, correspondendo a 39,82% da área total integrada (Pico 2). Adicionalmente, verificou-se teores significativos dos ésteres dos ácidos mirístico (C14:0; 18,86%), elaidico (C18:1; 13,41%), palmítico (C16:0; 11,11%) e cáprico (C10:0; 8,76%). A excelente resolução entre os picos e a concentração residual quase nula de compostos intermediários tardios atestam a elevada eficiência da reação de transesterificação na conversão dos triacilgliceróis originais em ésteres alquílicos puros, validando a qualidade do biodiesel sintetizado.

O somatório das áreas percentuais dos ésteres metílicos purificados demonstra a viabilidade técnica do óleo de babaçu para a produção de biodiesel dentro dos parâmetros de qualidade exigidos, fornecendo uma estimativa confiável da composição química e da distribuição de cadeia de ácidos graxos na amostra analisada.

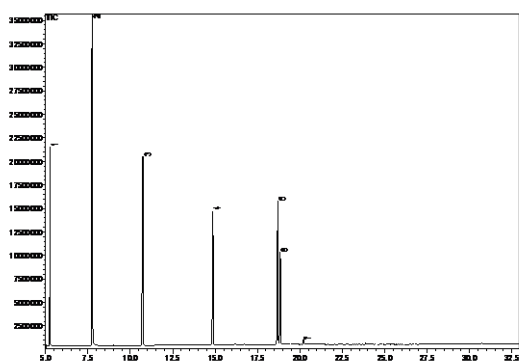


Figura 2. Cromatograma do Biodiesel de Babaçu

Tabela 2. Teor de Ésteres do Biodiesel de Babaçu

Nome	Área (%)	Pico
Caprato de Metila	8,79	1
Laurato de Metila	39,82	2

Miristato de Metila	18,86	3
Palmitato de Metila	11,11	4
Elaidato de Metila	13,41	5
Estearato de Metila	7,72	6

CONCLUSÃO

Os resultados obtidos neste trabalho demonstram que a síntese de biodiesel a partir do óleo de babaçu via transesterificação metílica foi executada com elevada eficiência, consolidando esta matéria-prima como uma alternativa técnica e ambientalmente viável para a matriz energética nacional.

A caracterização físico-química evidenciou que todos os parâmetros avaliados — massa específica (874,09 kg/m³), ponto de fulgor (112,5 °C), viscosidade cinemática (3,4 mm²/s) e índice de acidez (0,23 mg KOH/g) — encontram-se em estrita conformidade com os limites restritivos da Resolução ANP nº 920/23.

Os maiores diferenciais qualitativos do biocombustível sintetizado residem no excepcional teor de ésteres alcançado (99,68%), que comprova o rigor e a eficácia das etapas de conversão e purificação, e na sua estabilidade oxidativa superior de 25 horas. Este tempo de indução, que supera em quase o dobro o mínimo regulamentar de 13 horas, é diretamente justificado pelo perfil cromatográfico (CG-MS), que confirmou o predomínio de cadeias carbonáceas saturadas, majoritariamente representadas pelo laurato de metila (39,82%).

Portanto, conclui-se que o biodiesel de babaçu puro cumpre integralmente os requisitos de qualidade exigidos por lei, destacando-se como um combustível de alta estabilidade térmica e oxidativa, com potencial estratégico para o fortalecimento da bioenergia e valorização dos recursos oleaginosos regionais.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (Brasil). Anuário estatístico brasileiro do petróleo, gás natural e biocombustíveis: 2023. Rio de Janeiro: ANP, 2023. Disponível em: [link da ANP]. Acesso em: 3 maio 2026.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (Brasil). Resolução ANP nº 918/2023. Brasília: ANP, 2023.

ALMEIDA NETO, J. A. Produção de biodiesel a partir de óleo de soja: avaliação do processo e caracterização do produto. 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.



- ALMEIDA, V. F. et al. Propriedades físico-químicas de misturas de biodiesel de soja e diesel comercial. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 15, n. 11, p. 1198-1204, 2011.
- BIOMER. BioMer Program Final Report: Testing B100 biodiesel in marine applications. Canadá, 2005.
- BRASIL. Lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005. Dispõe sobre a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira. Brasília, DF: Presidência da República, 2005.
- BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Agrário. Promoção Nacional da Cadeia de Valor do Coco Babaçu. Brasília, DF: MDA/MDS/MMA, 2009. 124 p.
- CORREIA, L. M. Produção de biodiesel a partir de óleos de fritura e de palma utilizando catalisadores básicos heterogêneos. 2012. 165 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2012.
- DANÉZE, T. A. et al. Avaliação da estabilidade oxidativa e propriedades físico-químicas de misturas diesel/biodiesel durante o armazenamento. *Química Nova*, v. 40, n. 8, p. 865-871, 2017.
- DEMIRBAS, A. Biodiesel production from vegetable oils via catalytic and non-catalytic supercritical methanol transesterification methods. *Energy Conversion and Management*, v. 46, n. 13-14, p. 1919-1927, 2005.
- DIAS, F. R. F.; FERREIRA, V. F.; CUNHA, A. C. Uma visão geral dos diferentes tipos de catálise em síntese orgânica. *Revista Virtual de Química*, v. 4, n. 6, p. 840-871, 2012.
- EPE. Empresa de Pesquisa Energética. Balanço Energético Nacional 2023: Ano base 2022. Rio de Janeiro: EPE, 2023.
- EPE. Empresa de Pesquisa Energética. Plano Nacional de Energia 2050. Brasília: EPE, 2020.
- FERRARI, R. A.; OLIVEIRA, V. S.; SCABIO, A. Biodiesel de soja: taxa de conversão em ésteres etílicos, caracterização físico-química e consumo em gerador de energia. *Química Nova*, v. 28, n. 1, p. 19-23, 2005.
- FROEHNER, S.; LEITHOLD, J.; LIMA, J. P. Transesterificação de óleos vegetais: caracterização por cromatografia gasosa e infravermelho. *Química Nova*, v. 30, n. 8, p. 2016-2020, 2007.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. World Energy Outlook 2022. Paris: IEA, 2022.
- INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION. MARPOL Annex VI: Prevention of Air Pollution from Ships. London: IMO, 2020.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 8217:2017: Petroleum products — Fuels (class F) — Specifications of marine fuels. Geneva: ISO, 2017.
- JUOPERI, K. et al. Wärtsilä's experience with alternative fuels in medium-speed engines. In: *Proceedings of the CIMAC Congress*, 2007.
- KNOTHE, G.; VAN GERPEN, J.; KRAHL, J. Manual de Biodiesel. Rio de Janeiro: Edgard Blücher, 2006.
- LIMA, J. R. O.; SILVA, R. B.; SILVA, C. M. Biodiesel de babaçu (*Orbignya* sp.) obtido por via etanólica. *Química Nova*, São Paulo, v. 30, n. 3, p. 600-603, 2007.
- MENDES, G. L. P. Obtenção de biodiesel a partir do óleo de girassol: estudo das variáveis da reação de transesterificação. 2005. 97 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2005.
- MME. Ministério de Minas e Energia. Programa Combustível do Futuro: diretrizes para a descarbonização da matriz de transporte. Brasília: MME, 2021.
- MOREIRA, Francisca Belkise de Freitas. Síntese e caracterização de óleo básico biolubrificante a partir do biodiesel de babaçu (*Atalea speciosa*). 2017. 82 f. Dissertação (Mestrado em Energias Renováveis) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE), Maracanaú, 2017.
- MOURA, C. V. R. et al. Biocombustíveis de babaçu. *Química Nova*, v. 33, p. 115-120, 2010.
- PAIVA, E. J. M. et al. Biodiesel de babaçu (*Orbignya* sp.) obtido por transesterificação etílica: síntese, caracterização e mistura com biodiesel de soja. *Química Nova*, São Paulo, v. 36, n. 4, p. 505-509, 2013.
- PETROBRAS. Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos (FISPQ): Óleo Diesel Marítimo DMA. Rio de Janeiro, 2023.
- RAMOS, L. P. et al. Biodiesel. *Revista Virtual de Química*, v. 9, n. 1, p. 340-369, 2016.
- RAMOS, L. P. et al. Biodiesel: matéria-prima, tecnologias de produção e propriedades combustível. *Revista Virtual de Química*, v. 3, n. 5, p. 385-405, 2011.
- RIOS, M. A. S. et al. Óleo e azeite de coco babaçu (*Orbignya speciosa* Mart.) como matérias-primas para a produção de biodiesel. *Matéria* (Rio de Janeiro), v. 26, 2021.
- SUAREZ, P. A. Z. Produção e propriedades de biodiesel de diferentes oleaginosas brasileiras. Brasília: Editora UnB, 2022.



TRINDADE, D. M.; BARICCATTI, R. A. Estudo da estabilidade oxidativa do biodiesel de babaçu e soja. Revista Varia Scientia - Agrárias, v. 4, n. 2, 2014.

ANJOS, M. R. dos et al. Potencialidades químicas e energéticas do óleo de babaçu no cenário nacional. Revista de Ciências Agrárias, 2021.

CRUZ, D. C. P. et al. Avaliação das propriedades físico-químicas e do desempenho das três gerações de biodiesel através do processo de transesterificação: uma revisão. Research, Society and Development, v. 11, n. 4, e23111427234, 2022.

MARQUES, E. P. et al. Metodologia analítica para glicerol em biodiesel: cenário atual e parâmetros da ANP. Química Nova, 2011.

TEIXEIRA, G. L.; IBAÑEZ, E.; BLOCK, J. M. Emerging Lipids from Arecaceae Palm Fruits in Brazil. Molecules, v. 27, n. 13, p. 4188, 2022.