

PROTÓTIPO DE UM MODELO DE BIORREFINARIA COM BIOMASSA DA CAATINGA

Data de aceite: 02/06/2023

Léssia Souza Carneiro

Universidade Federal do Recôncavo da
Bahia

Consuelo Cristina Gomes Silva

Universidade Federal do Recôncavo da
Bahia

ABSTRACT: The development of biorefineries integrates different conversion routes to process biomass, such as macaúba fruit, aiming for efficient use of resources. Macaúba, with a high oleic acid content, produces oil on a large scale, being attractive in the production of biodiesel. The cake, an extraction residue, shows potential for biofuels such as bio-oil, biochar and synthesis gas. The research analyzes efficient conversion routes, considering economic, social and environmental feasibility.

PALAVRAS-CHAVE: Biorrefinaria, Macaúba, Pirólise, Transesterificação.

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o interesse global pela transição energética tem impulsionado a busca por fontes renováveis

e alternativas de energia mais limpas. De acordo com Silva et al. (2023), durante o encontro do G20 em 2023, líderes de importantes economias globais lançaram a Aliança Global para os Biocombustíveis (GBA) visando promover a produção sustentável e o uso em larga escala de biocombustíveis como alternativa aos combustíveis fósseis. Paralelamente, o Governo Federal Brasileiro apresentou ao Congresso Nacional o Projeto de Lei Programa Combustível do Futuro (PLPCF) com o intuito de impulsionar a mobilidade de baixo carbono e alcançar metas de redução das emissões de gases de efeito estufa (Silva et al., 2023). Essas iniciativas buscam enfrentar os desafios do descontrolado climático, ressaltando o papel potencial do Brasil como uma potência ambiental devido às suas vastas reservas de floresta tropical e água doce, bem como à sua matriz energética com considerável participação de fontes renováveis, como etanol e biodiesel (Silva et al., 2023).

Na década de 1990, o conceito de biorrefinaria emergiu em resposta à

escassez de combustíveis fósseis e ao crescente interesse na utilização de biomassa como fonte renovável para produtos não alimentares, como biocombustíveis e plásticos. Esse conceito visa reduzir a dependência de matéria-prima fóssil e mitigar os impactos ambientais (Oliveira, 2016). Conforme destacado pela Embrapa (2011), o conceito de biorrefinaria abarca instalações que convertem biomassa em uma ampla gama de produtos, incluindo biocombustíveis, insumos químicos, materiais, alimentos, rações e energia. Em Borges (2010) é enfatizada a importância fundamental das tecnologias baseadas em biomassa e biorrefinarias para uma produção integrada de diversos produtos, atendendo às demandas futuras de alimentos, substâncias químicas, materiais e combustíveis de forma eficiente e sustentável. Entre os tipos de biorrefinarias identificados estão as convencionais, verdes, de cereais, de lignocelulose, plataforma dual, termoquímicas, aquáticas, além das convencionais com estrutura descentralizada. Os diferentes conceitos de biorrefinarias oferecem rotas para o processamento da biomassa e a produção de uma ampla variedade de produtos. A biorrefinaria de lignocelulose tem se destacado devido à abundância da biomassa lignocelulósica e sua competitividade em relação aos alimentos. No entanto, é crucial integrar eficientemente as diversas cadeias da biomassa, incluindo alimentos, combustíveis e produtos químicos. Isso requer avanços tecnológicos para aprimorar a separação da celulose, hemicelulose e lignina, além de explorar o potencial da lignina na indústria química (Borges, 2010).

A macaúba (*Acrocomia aculeata*), conhecida também como coco-baboso, coco-de-espinho ou macajuba, é uma espécie que ocorre em diversos biomas, inclusive na caatinga, destacando-se por seus atributos singulares. Pertencente à família botânica *Palmae*, a macaúba é amplamente distribuída por quase todas as regiões do Brasil (Embrapa). A macaúba destaca-se na produção de biodiesel devido à sua alta capacidade de produzir óleo, tanto na polpa (70%) quanto na amêndoa (50%), rivalizando com a produção de óleo de palma e superando a da soja. Com uma produtividade média de 114,11 kg/planta/ano e produtividade estimada de 45,6 toneladas/hectare, considerando a eficiência de 70% da extração do óleo bruto a macaúba pode gerar cerca de 4 toneladas de óleo/hectare/ano da polpa e 0,8 tonelada de óleo/hectare/ano da amêndoa (Embrapa, 2014). Os óleos da polpa e da amêndoa têm diferentes composições de ácidos graxos, ideais para várias aplicações, como biodiesel, alimentos, cosméticos e farmacêuticos. Além disso, a torta de macaúba, resíduo sólido após a extração do óleo, mostra potencial na produção de biocombustíveis e geração de energia renovável, com produtos como bio-óleo, biocarvão e gás de síntese. Diante desse cenário, o presente estudo tem como objetivo avaliar rotas de processamento eficientes, visando explorar de maneira integrada e sustentável o potencial energético da macaúba em biorrefinarias.

2. METODOLOGIA

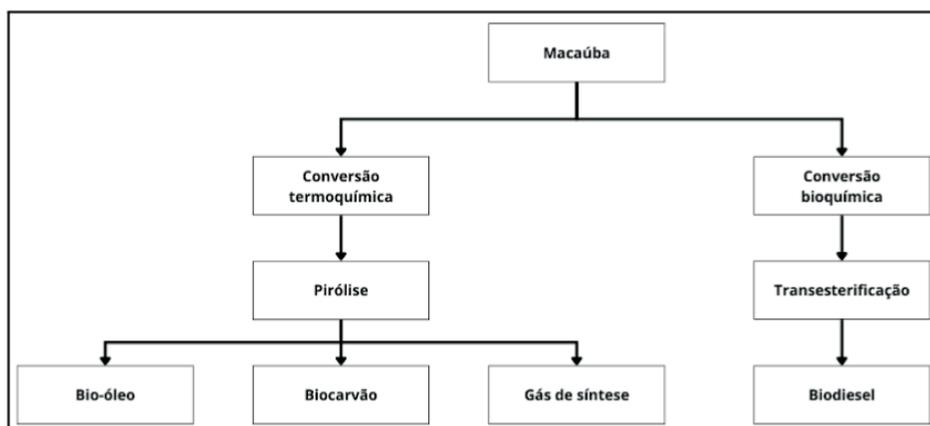
O presente artigo caracteriza-se como uma pesquisa bibliográfica e tem como objetivo avaliar a caracterização da torta, composição do óleo, parâmetros e os produtos obtidos pela pirólise e transesterificação da macaúba. O trabalho se divide em quatro partes: introdução, metodologia, resultados e discussão, e conclusão. O tópico de resultados e discussão divide-se em duas partes, as quais tratam das rotas de processamento termoquímica e bioquímica da macaúba.

Para a seleção da bibliografia foram utilizados os seguintes bancos de dados: a plataforma google acadêmico, o repositório institucional da UFMG e bibliotecas digitais de teses e dissertações. Para a seleção da bibliografia foram empregados os seguintes descritores: biorrefinaria, macaúba, pirólise, transesterificação, caracterização e composição química. A pesquisa baseou-se em dissertações de mestrado, revistas e artigos científicos, com recorte temporal de 13 anos.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A revisão dos estudos conduzidos por Borges (2010) em modelos de biorrefinarias serviu de base para a proposição de um modelo de biorrefinaria de lignocelulose integrada com macaúba. Esse modelo visa obter produtos de potencial energético por meio de rotas de processamento termoquímicas e bioquímicas. A estratégia proposta permite a utilização eficiente das diferentes partes da macaúba: o óleo extraído mecanicamente é destinado à produção de biodiesel, enquanto a torta remanescente é convertida em bio-óleo, biocarvão e gás de síntese. A Figura 1 apresenta um fluxograma geral ilustrando as rotas de processamento da macaúba e os produtos obtidos.

Figura 1 – Rotas de processamento da macaúba



Fonte: elaborado pelo autor.

3.1 Rota termoquímica de processamento da macaúba

Foram estabelecidos parâmetros experimentais adequados à pirólise da torta de macaúba, abordando a viabilidade da torta de macaúba como matéria-prima para a produção de bio-óleo, biocarvão e gases através de processos termoquímicos. A Tabela 1 apresenta os dados referentes às análises da caracterização realizadas na torta de macaúba.

Tabela 1 – Caracterização da torta de macaúba

Parâmetro	Valor
Densidade (gcm ⁻³)	1,32 ± 0,03
Análise imediata	(%)
Umidade	5,7 ± 0,1
Volatéis	76,5 ± 0,3
Carbono fixo	11,8 ± 0,8
Cinzas	6,1 ± 0,5
Análise elementar	(%)
Carbono	40,2
Nitrogênio	2,1
Hidrogênio	5,2
Enxofre	0,4
Oxigênio	46,7
Composição química	(%)
Extrativos	27,2
Celulose	21,8
Hemicelulose	22,3
Lignina	17,9
Composição mineral	(%)
Flúor	3,2
Potássio	2,5
Cálcio	0,5
Ferro	0,2
Magnésio	0,1

Fonte: elaborada a partir de Teófilo, 2019.

As análises de composição centesimal realizadas por Garroni et al. (2021) revelaram variações nos teores de umidade e cinzas apresentados, o teor de umidade foi medido em 4,4%, enquanto o de cinzas foi de 5,3%. Os modelos isoconversionais utilizados por Teófilo (2019), indicaram que a energia de ativação variou significativamente entre os componentes da biomassa, sendo a lignina a mais reativa e a celulose a menos reativa. Na Tabela 2 são apresentadas a energia de ativação dos componentes da torta de macaúba, essas informações são cruciais para otimizar as condições de processamento termoquímico.

Tabela 2 – Energia de ativação dos componentes da torta de macaúba

Componente	Energia de ativação (kJ mol ⁻¹)
Lignina	28,140 - 44,220
Hemicelulose	72,863
Celulose	120,600

Fonte: elaborada a partir de Teófilo, 2019

Os resultados obtidos por Teófilo (2019) evidenciaram que a temperatura é o fator mais determinante no rendimento dos produtos da pirólise. O reator utilizado foi o pirolisador CDS, e as condições ótimas foram identificadas com taxa de aquecimento de 20°C ms⁻¹, temperatura de 400°C, granulometria entre 0,106 e 0,250 mm e vazão de N₂ de 500 mL min⁻¹, resultando em um rendimento de bio-óleo em 21,1%, biocarvão em 32,4% e gases em 46,5%.

3.2 Rota bioquímica de processamento da macaúba

No estudo conduzido por Nunes (2013), é destacado a variação significativa na umidade e no teor de lipídeos dos frutos de macaúba (conforme Tabela 3), entre plantas da mesma região, em Corumbá (MS). A macaúba desperta interesse socioeconômico devido à sua alta produtividade de óleo, além de diversos outros produtos que podem ser obtidos em biorrefinarias. O óleo de macaúba tem várias aplicações, desde alimentação até indústrias de fármacos, cosméticos e lubrificantes (Nunes, 2013).

Tabela 3 – Variação nas características dos frutos de macaúba

Teor	(%)
Umidade	57,17 - 70,29
Lipídeos	16,29 - 45,43
Proteína (amêndoa)	17,6
Óleo (amêndoa)	51,7

Fonte: elaborada a partir de Nunes, 2013.

Existem dois tipos de óleo extraídos da macaúba: da polpa e da amêndoa, com características químicas distintas e economicamente relevantes. O óleo de polpa da macaúba tem coloração alaranjada devido à presença de carotenoides e é composto principalmente por ácido oleico, sendo conhecido como “azeite do cerrado” devido às suas semelhanças com o azeite de oliva (Nunes, 2013). Já o óleo da amêndoa da macaúba é claro e possui alto teor de ácidos graxos saturados, com predominância de ácido láurico, tornando-se um óleo do tipo láurico/oleico (Nunes, 2013). A análise da Tabela 3 revela que a

amêndoa da macaúba possui uma alta concentração de proteína e óleo, com uma elevada saturação, o que confere um alto valor agregado. Estimativas indicam que a produção de óleo da macaúba supera significativamente outras culturas oleaginosas anuais, como a soja (420 litros por hectare/ano), o girassol (890 litros) e até mesmo a mamona (1320 litros) (Nunes, 2013).

Na Tabela 4 são apresentados os perfis de ácidos graxos presentes na polpa e na amêndoa da macaúba, as características de composição dos ácidos graxos podem influenciar na aplicação desses óleos (Nunes, 2013).

Tabela 4 – Perfis de ácidos graxos constituintes na polpa e amêndoa da macaúba

Ácido graxo	Polpa (%)	Amêndoa (%)
Caprílico C 8:0	0,45	6,2
Cáprico C 10:0	0,27	5,3
Láurico C 12:0	1,97	43,6
Mirístico C 14:0	0,45	8,5
Palmítico C 16:0	15,96	5,3
Palmitoleico C 16:1	1,01	-
Esteárico C 18:0	5,92	2,4
Oleico C 18:1 (ω 9)	65,87	25,5
Linoleico C 18:2 (ω 6)	5,10	3,3
Linolênico C 18:3 (ω 3)	2,52	-
Araquídico C 20:0	0,50	-

Fonte: Nunes, 2013., 2005; Cetec, 1983.

O processamento bioquímico do óleo de macaúba abarca etapas como extração, purificação e transesterificação. A alta acidez do óleo extraído da polpa, aproximadamente 43,90% em massa, representa um desafio significativo para esse processo. No entanto, entre os métodos investigados por Rezende e Pasa (2019), a reesterificação do óleo com glicerol, sem a presença de catalisador, demonstrou ser uma abordagem mais eficaz na redução da acidez do óleo, diminuindo-a para 0,8% em massa em apenas 80 minutos. Essa técnica apresenta vantagens econômicas e ambientais, uma vez que dispensa o uso de catalisadores externos.

A transesterificação homogênea alcalina, utilizando metanol, representa a principal técnica industrial para a produção de biodiesel, requerendo matéria-prima com baixo teor de ácidos graxos livres, inferior a 2% em massa (Rezende e Pasa, 2019). No estudo de Rezende e Pasa (2019), o óleo resultante da reação de reesterificação não catalisada foi empregado na produção de biodiesel por transesterificação alcalina homogênea, alcançando um teor de éster de 98,4%, em conformidade com os padrões internacionais. Esse resultado ressalta o potencial da macaúba como uma fonte promissora de biocombustíveis.

Com base na metodologia desenvolvida por Rezende e Pasa (2019), foram definidos os parâmetros experimentais ideais para os processos de reesterificação (sem catalisador) e transesterificação do óleo de macaúba, visando a produção de biodiesel, conforme apresentado na Tabela 5.

Tabela 5 – Parâmetros de reesterificação e transesterificação do óleo de macaúba

Parâmetro	Reesterificação	Transesterificação
Fluxo de nitrogênio (L/min)	1,0	-
Temperatura (°C)	235 ± 5	65
Tempo de reação (min)	180	60
Agitação	Magnética	Vigorosa com refluxo
Glicerol (%)	100	-
Glicerol : ácido graxo	1:3	-
Hidróxido de sódio (%)	-	0,5 m/m
Metanol : óleo	-	6:1
Processamento pós-reação	-	Decantação e lavagem com água destilada
Remoção de água	-	Rotoevaporação

Fonte: elaborada a partir de Rezende e Pasa, 2019.

4 . CONCLUSÕES E/OU CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo demonstrou que a rota termoquímica é uma alternativa viável para o aproveitamento da torta de macaúba. A compreensão dos mecanismos cinéticos e a otimização das condições operacionais são fundamentais para maximizar o rendimento e a qualidade dos produtos gerados. A torta de macaúba mostrou-se promissora para a obtenção de bio-óleo, biocarvão e gases, contribuindo assim para o desenvolvimento sustentável e para a economia circular.

A macaúba representa uma fonte promissora para a indústria de biocombustíveis e biorrefinarias. Além disso, a revisão evidencia a importância da caracterização do óleo e do desenvolvimento de métodos eficientes para seu processamento. A reesterificação sem catalisador surge como uma alternativa viável para a recuperação de óleos ácidos e produção subsequente de biodiesel. Esse potencial reforça o papel significativo da macaúba como uma fonte versátil e renovável de energia e produtos químicos.

5 . REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BORGES, Fernanda Cabral. Proposta de um modelo conceitual de biorrefinaria com estrutura descentralizada. 2010. 121 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

EMBRAPA AGROENERGIA. Biorrefinarias. Brasília, DF, 2011, 6 p.

GARRONI, Nayabi et al. Caracterização físico-química e tecnológica de bolos tipo cupcake incorporados com torta de amêndoa de jerivá e de macaúba. *Brazilian Journal of Food Research*, v. 12, n. 1, p. 1-13, 2021.

Macaúba - Portal Embrapa. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/agroenergia/biodiesel/materias-primas/macauba>>. Acesso em: 24 out. 2023.

Macaúba é matéria-prima promissora para biodiesel - Portal Embrapa. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/2329636/macauba-e-materia-prima-promissora-para-biodiesel>>. Acesso em: 20 fev. 2024.

NUNES, Ângela Alves. Óleo da Polpa de Macaúba (*Acrocomia aculeata* (Jacq) Lood. ex Mart.) com Alta Qualidade: Processo de Refino e Termoestabilidade. 2013. 149 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia, Universidade Católica Dom Bosco, Mato Grosso do Sul, 2013.

OLIVEIRA, B. Complexidade Em Biorrefinarias. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de processos Químicos e Bioquímicos) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química. Rio de Janeiro, 2016, p. 20 - 23.

REZENDE, D. B. DE; PASA, V. M. D. Reesterificação de óleo ácido de macaúba visando a produção de biodiesel. *repositorio.ufmg.br*, 2019.

SILVA, Fabiano Rosa et al. O biodiesel no Brasil: Uma análise da produção, consumo e perspectivas na transição energética. *Research, Society and Development*, v. 12, n. 11, p. e43121143670-e43121143670, 2023.

TEÓFILO, C. R. Pirólise de torta de macaúba: influência dos parâmetros experimentais e caracterização dos produtos. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras – Programa de Pós-graduação em Agroquímica. Lavras/MG, 2019.