

**AVALIAÇÃO DO ÓLEO DE SEMENTE DE *Mabea fistulifera* Mart.
(CANUDO-DE-PITO) PARA A PRODUÇÃO DE BIODIESEL**

**SEED OIL EVALUATION OF *Mabea fistulifera* Mart.
(CANUDO-DE-PITO) FOR THE PRODUCTION OF BIODIESEL**

¹ Flávia Elaine de Andrade Pereira.

² César Reis.

^{3,*} Efraim Lázaro Reis.

⁴ Antônio Jacinto Demuner.

⁵ Paulo Roberto Cecon.

⁶ Alexsandro Antônio Matias.

⁷ Ricardo Natalino.

¹ Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais, Rua Monsenhor José Augusto - nº 204, São José Barbacena - MG, Brasil. CEP: 36.205-018. E-mail: flavia.pereira@ifsudestemg.edu.br.

² Departamento de Química, Universidade Federal de Viçosa, Avenida Peter Henry Rolfs - s/ nº Viçosa - MG, Brasil. CEP: 36.570-900. E-mail: cesareis2011@gmail.com

³ Departamento de Química, Universidade Federal de Viçosa, Avenida Peter Henry Rolfs - s/ nº Viçosa - MG, Brasil. CEP: 36.570-900. E-mail: efrainreis@gmail.com

⁴ Departamento de Química, Universidade Federal de Viçosa, Avenida Peter Henry Rolfs - s/ nº Viçosa - MG, Brasil. CEP: 36.570-900. E-mail: ademuner@gmail.com

⁵ Departamento de Estatística, Universidade Federal de Viçosa, Avenida Peter Henry Rolfs - s/ nº Viçosa - MG, Brasil. CEP: 36.570-900. E-mail: cecon@ufv.br

⁶ Departamento de Veterinária, Universidade Federal de Viçosa, Avenida Peter Henry Rolfs - s/ nº Viçosa - MG, Brasil. CEP: 36.570-900. E-mail: alexsandroufv@gmail.com.

⁷ Departamento de Química, Universidade Federal de Viçosa, Avenida Peter Henry Rolfs - s/ nº Viçosa - MG, Brasil. CEP: 36.570-900. E-mail: natalino_78@yahoo.com.br.

*Autor de correspondência

Artigo submetido em 12/03/2022, aceito em 03/03/2023 e publicado em 10/03/2023.

Resumo: A espécie *Mabea fistulifera* Mart., conhecida como “Canudo-de-pito”, foi utilizada como matéria prima para a produção de biodiesel, por apresentar sementes com teor de óleo da ordem de 40% e características agrônômicas de boa adaptação a solos bem drenados e de baixa fertilidade. O óleo foi extraído com solvente, mas o elevado teor permite que a extração seja realizada por prensagem. O óleo obtido tem como componentes principais os ácidos linolênico e linoleico que faz que a viscosidade seja muito baixa. Foi realizado um experimento fatorial 3^3 a fim de determinar a melhor proporção de catalisador, bem como a melhor proporção entre álcool etílico e o óleo extraído e a temperatura ideal para o maior rendimento de ésteres etílicos produzidos. Os resultados demonstraram que o emprego de concentrações elevadas de catalisador gerou perdas de rendimento devido à formação de sabões. O maior rendimento em ésteres etílicos correspondeu a 91,96%, utilizando razão molar 10:1 (etanol:óleo), proporção de 1,0% (m/m) do catalisador NaOH e temperatura de 50 °C. A variável de maior importância para a etanólise do óleo foi a razão molar etanol:óleo. A temperatura não apresentou efeito significativo no rendimento da reação. A avaliação da qualidade do biodiesel produzido se deu por testes baseados na Resolução ANP 45/2014, como índices de iodo, acidez, ésteres, corrosividade ao cobre, viscosidade cinemática, análise de estabilidade

à oxidação, cinzas sulfatadas, massa específica e teores de Na, K, Ca, Mg e P. Todos os testes deram resultados dentro dos padrões especificados pelos órgãos reguladores.

Palavras-chave: Biodiesel; *Mabea fistulifera* Mart.; Transesterificação, Planejamento Fatorial.

Abstract: The species *Mabea fistulifera* Mart., known as “Canudo-de-pito”, was used as raw material for the production of biodiesel, as it presents seeds with an oil content of around 40% and agronomic characteristics of good adaptation to well-drained soils and low fertility. The oil was extracted with solvent, but the high content allows the extraction to be carried out by pressing. The major components of this oil are linolenic and linoleic acids, which makes the viscosity very low. A factorial experiment 3^3 was carried out in order to determine the best proportion of catalyst, as well as the best proportion between ethyl alcohol and the extracted oil and the ideal temperature for the highest yield of ethyl esters produced. The results showed that the use of high catalyst concentrations generated yield losses due to the formation of soaps. The highest yield in ethyl esters corresponded to 91.96%, using a 10:1 molar ratio (ethanol:oil), 1.0% (m/m) of the NaOH catalyst and a temperature of 50 °C. The most important variable for oil ethanolysis was the ethanol:oil molar ratio. The temperature had no significant effect on the reaction yield. The evaluation of the quality of the biodiesel produced was carried out by tests based on the ANP Resolution 45/2014, such as indexes of iodine, acidity, esters, copper corrosivity, kinematic viscosity, oxidation stability analysis, sulfated ash, specific mass and contents of Na, K, Ca, Mg and P. All tests gave results within the standards specified by organs regulatory bodies.

Keywords: Biodiesel; *Mabea fistulifera* Mart.; Transesterification, Factorial Experiment.

1 INTRODUÇÃO

O biodiesel é o combustível biodegradável obtido de fontes renováveis por processos como craqueamento, esterificação ou pela transesterificação (SALUJA *et al.*, 2016; KNOTHE e RAZON, 2017). Pode ser definido, de acordo com a “National Biodiesel Board” dos Estados Unidos, como um monoalquil éster de ácidos graxos de cadeia longa, como óleos vegetais ou gordura animal, existindo dezenas de espécies vegetais oleaginosas no Brasil que podem ser utilizadas para a sua produção (PINHO e SUAREZ, 2017; RAMOS *et al.*, 2017; BABU e DEVARADJEN, 2003). A transesterificação é o processo mais utilizado atualmente para a produção de biodiesel, devido ao menor custo em relação aos outros processos, à simplicidade do procedimento e ao alto rendimento da conversão (MOHIDDIN *et al.*, 2021; SILITONGA *et al.*, 2017). Consiste na reação química dos óleos vegetais ou gorduras animais com o etanol ou o metanol, acelerada por um catalisador, que produz, além dos ésteres, a glicerina que é uma substância com aplicações diversas na indústria química (AGHBASHLO e DEMIRBAS, 2016; ABBASZAADEH *et al.*, 2012).

Várias oleaginosas têm sido estudadas com o objetivo de obter óleo para a produção de biodiesel. As principais são mamona, pinhão-mansão, soja, pequi, girassol, caroço de algodão, macaúba, indaiá, buriti, babaçu, cotieira, tingui, etc (ABDULVAHITOGU e KILIC, 2022; PARENTE, 2003). Outra espécie muito interessante, mas ainda não explorada para esta finalidade é a *Mabea fistulifera* Mart. (Euphorbiaceae), uma planta nativa conhecida como Canudo-de-pito, amplamente encontrada no Cerrado e em áreas de transição para Mata Estacional Semidecidual. Ocorre nos estados de Minas Gerais, Rio de Janeiro e São Paulo. É normalmente encontrada agregada em bordas de mata e em locais com impacto antrópico acentuado.

Em fragmentos florestais degradados pós-fogo em Viçosa - MG (Souza *et al.*, 2015) e na Mata Atlântica (Christo, 2021), foi observado que a espécie *Mabea fistulifera* Mart. é uma das espécies arbóreas com capacidade de rebrota mais importantes na restauração florestal pôr fogo, reduzindo custos de projetos de recuperação dessas áreas degradadas.

A floração desta planta (Figura 1a) ocorre de fevereiro a junho atingindo o pico

entre abril e maio (LORENZI, 1992), que corresponde ao início da estação seca. Por ocorrer durante o período de escassez de alimentos, muitos animais utilizam seu pólen e néctar, produzidos em abundância, como fonte alternativa de alimento. Dentre esses animais encontram-se espécies de macacos (FERRARI e STRIER 1992), morcegos (VIEIRA e CARVALHO-OKANO, 1996), gambás (VIEIRA *et al.*, 1991), aves (OLMOS e BOULHOSA 2000; SILVA, 2008) e insetos (VIEIRA e CARVALHO-OKANO, 1996). A maturação da semente ocorre de setembro a outubro, produzindo grande quantidade (Figura 1b). É uma planta adaptada a solos de baixa fertilidade e acidez elevada, sendo por isso muito utilizada em recuperação de áreas degradadas (MEIRA JÚNIOR *et al.*, 2015; Fardin *et al.*, 2021) e até mesmo na fitorremediação de solos contaminados com herbicidas hormonais (BARROSO *et al.*, 2021).

Figura 1. Árvore de *Mabea fistulifera* Mart (a) com os cachos no ponto da colheita (b).



(a)



(b)

Fonte: os autores, 2022.

O Canudo-de-Pito (*Mabea fistulifera* Mart.) mede de 6 a 15 m de altura, ocorre agregadas, havendo raramente indivíduos isolados. É uma espécie monóica, latescente. O fruto é uma tricoca, subgloboso, levemente tri-sulcado, de aproximadamente 15,5 a 19,0 mm de comprimento/diâmetro com epimesocarpo trincado. As sementes são oblongas a abovóides medindo de 6 a 10 mm de comprimento (Figura 2), incluindo a carúncula, e de 5 a 7 mm de largura com a rafe na parte central (ELDER e PAIVA, 2019).

Feres & Moraes (1998) registraram a fauna de Phytoseiidae em plantas nativas da região noroeste do Estado de São Paulo, observando a maior diversidade em *Mabea fistulifera* e *Euseius citrifolius* como sendo a espécie mais frequente e abundante.

Devido às características desta espécie, e ao incentivo por parte do governo federal através do Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB), o qual prevê que até 2023 o percentual de biodiesel no diesel chegue a 15% (RODRIGUES, 2021) é importante assinalar a importância desta planta.

O rendimento do óleo das sementes de Canudo-de-pito, extraído da planta é de 40% utilizando a extração com éter de petróleo em extrator tipo soxhlet, que pode ser comparado com o rendimento obtido com mamona que varia em torno de 35 a 55%, cujo padrão comercial é de 45% (REIS *et al.*, 2005).

Figura 2. Sementes do *Mabea fistulifera* Mart. secas e prontas para a extração.



Fonte: os autores, 2022.

Desta forma o objetivo principal deste trabalho é verificar o potencial desta planta para a produção de biodiesel.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 PREPARO DAS SEMENTES E EXTRAÇÃO DO ÓLEO

Os caroços originados de plantas nativas em terrenos na periferia e zona rural de Viçosa - MG, foram colhidos nos meses de setembro e outubro. Após a colheita, foram colocados em pátio, ao sol, cobertos com uma tela para que não ocorresse perda de semente provocada pela abertura dos caroços. As sementes foram separadas, limpas e maceradas. Em seguida colocadas num cartucho de forma cilíndrica, feito de papel de filtro. O cartucho foi transferido para um extrator do tipo soxhlet. O conjunto (balão, condensador e extrator) foi colocado sob uma manta aquecedora da marca Nalgon, modelo 3320 e aquecido a uma temperatura em torno de 70 °C. O solvente utilizado para a extração do óleo foi o éter de petróleo (Vetec) com 99% de pureza. Um banho termostatizado da marca Frigomix B modelo B foi utilizado para manter a temperatura do condensador em torno de 10 °C e, desta forma, evitar a perda do solvente para o ambiente.

O teor de óleo das sementes de Canudo-de-pito foi medido de acordo com o

método oficial da AOCS (Bc 3-49). Pesaram 100 gramas de sementes já maceradas preenchendo os cartuchos de papel. Após 2 horas de extração, o óleo obtido foi aquecido a 100 °C para a eliminação do excesso de solvente. Após o conjunto (balão e óleo) ter atingido a temperatura ambiente o mesmo foi pesado e por diferença do peso do recipiente vazio, limpo e seco o valor do teor foi calculado e expresso em teor % m/m.

2.2. OBTENÇÃO E OTIMIZAÇÃO DO BIODIESEL

Para a realização dos experimentos de transesterificação etanólica foram feitas reações com 10,0 g de óleo bruto em um planejamento fatorial, utilizando os seguintes parâmetros com seus limites de variação mínimos e máximos: concentração de catalisador NaOH em relação à massa do óleo usada (X_1) 1,5; 1,3 e 0,8 % m/m de NaOH; razão molar do álcool etílico em relação ao óleo (X_2) 12:1, 10:1 e 8:1 e temperatura da reação (X_3) 80, 65 e 50 °C. A combinação desses fatores gerou um planejamento do tipo 3^3 mostrado na tabela 1.

O tempo zero da reação foi considerado o momento do início da agitação do sistema, imediatamente após a adição do etanol e NaOH ao óleo.

Tabela 1. Planejamento fatorial 3^3 para otimização do rendimento de ésteres etílicos.

N	Fatores			N	Fatores			N	Fatores		
	X_1	X_2	X_3		X_1	X_2	X_3		X_1	X_2	X_3
1	-	-	+	10	-	-	-	19	-	-	0
2	0	-	+	11	0	-	-	20	0	-	0
3	+	-	+	12	+	-	-	21	+	-	0
4	-	0	+	13	-	0	-	22	-	0	0
5	0	0	+	14	0	0	-	23	0	0	0
6	+	0	+	15	+	0	-	24	+	0	0
7	-	+	+	16	-	+	-	25	-	+	0
8	0	+	+	17	0	+	-	26	0	+	0
9	+	+	+	18	+	+	-	27	+	+	0

Fonte: os autores, 2022.

A reação de cada experimento estendeu-se por 60 minutos. Após este período, cada ensaio foi deixado em repouso para que ocorresse a separação de fases.

Após a separação das duas fases por decantação, a purificação dos ésteres foi feita utilizando uma solução contendo 150,0 mL de água destilada a 80 °C e 0,50 mL de HCl concentrado (Ferrari et al., 2005). Com isso o catalisador remanescente da reação foi neutralizado, fato confirmado com a análise da água de lavagem com indicador fenolftaleína 1%. A fase aquosa foi separada do éster por decantação e os traços de umidade foram eliminados pela filtração posterior com sulfato de sódio comercial (Merck).

O rendimento da reação foi calculado pela razão entre a massa de ésteres etílicos produzidos em relação à massa de óleo utilizada, sendo expresso em % m/m com relação à massa inicial de óleo, 10,0 g.

2.3. ANÁLISES DE CARACTERIZAÇÃO DOS ÉSTERES ETÍLICOS

Foram realizadas análises de índice de iodo, índice de acidez, índice de saponificação, índice de ésteres, estabilidade à oxidação, cinzas sulfatadas, corrosividade ao cobre, teor de Na, K, Ca, Mg e P, massa específica e viscosidade cinemática do biodiesel de *Mabea fistulifera* Mart. baseadas em normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), contidas na Resolução N° 45/2014 da Agência Nacional de Petróleo (ANP, 2014).

As análises cromatográficas foram realizadas em equipamento Shimadzu QP5000, coluna capilar Supelcowax 10 de 30 m de comprimento por 0,25 mm de diâmetro interno e 0,25 µm de espessura de filme da fase estacionária. O gás de arraste foi o nitrogênio na vazão 1,3 mL min⁻¹. A injeção ocorreu a 220 °C e a temperatura inicial da coluna foi de 60 °C durante 5 minutos. A rampa de aquecimento foi de 10 °C min⁻¹ até 220 °C e 15 °C min⁻¹ até 320 °C, mantendo a temperatura final por 20 minutos. O tempo total de análise foi de 52 minutos e a faixa de massa detectada foi entre 40 e 400 m/z com intervalo de varredura de 0,5 s. A

sensibilidade do detector foi 2,0 kV. Para as análises cromatográficas as amostras de biodiesel foram diluídas em hexano 1:100 (v/v).

Na determinação quantitativa dos componentes das amostras foi utilizado como padrão interno o tetracosano. No preparo da amostra foram pesados 95,0 mg de biodiesel e diluídas em 5,00 mL de diclorometano correspondendo a 19,0 mg mL⁻¹. Foi adicionado 10,2 mg de tetracosano na solução da amostra como padrão interno correspondendo a 2,04 mg mL⁻¹. A partir desses valores foram calculadas as porcentagens de cada componente.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O rendimento da extração do óleo de Canudo-de-pito foi de 40% utilizando a extração com éter de petróleo em extrator tipo Soxhlet, que pode ser comparado com o rendimento obtido com mamona que varia de 35 a 55%, cujo padrão comercial é de 45%. Este tipo de extração foi utilizado para este fim, apenas no laboratório, pois permite calcular o rendimento com maior exatidão, visto que a extração é mais eficiente. Com este rendimento torna-se viável a extração do óleo por prensagem, diminuindo o custo da extração. A grande vantagem desta planta é a adaptação em solos ácidos e de baixa fertilidade, enquanto a mamoneira, como exemplo, é exigente em fertilidade, devendo ser cultivada em solos com fertilidade média a alta.

A Tabela 2 apresenta os rendimentos da reação de transesterificação etanólica conforme cada experimento do planejamento fatorial da Tabela 1.

A tabela 3 apresenta os efeitos estimados, erros padrão e graus de significância para este experimento.

Pela análise da tabela 3, verifica-se que o fator 2 (X₂), razão molar do álcool etílico em relação ao óleo, foi o que mais influenciou no rendimento da reação, mas apenas o efeito linear é significativo. Já para o fator 1 (X₁), concentração de catalisador NaOH em relação à massa do óleo, apenas o efeito quadrático foi significativo e este possui um efeito negativo, diminuindo o rendimento

da reação. O fator 3 (X_3), temperatura, influenciou negativamente na resposta.

Tabela 2. Rendimentos das reações conforme os ensaios realizados.

Ensaio	Rend. (%)	Ensaio	Rend. (%)	Ensaio	Rend. (%)
1 (- - +)	73,04	10 (- - -)	75,68	19 (- - 0)	72,04
2 (0 - +)	43,04	11 (0 - -)	68,43	20 (0 - 0)	74,77
3 (+ - +)	56,16	12 (+ - -)	76,31	21 (+ - 0)	67,97
4 (- 0 +)	72,77	13 (- 0 -)	75,98	22 (- 0 0)	70,08
5 (0 0 +)	63,15	14 (0 0 -)	68,01	23 (0 0 0)	73,56
6 (+ 0 +)	72,66	15 (+ 0 -)	65,28	24 (+ 0 0)	70,85
7 (- + +)	79,41	16 (- + -)	91,96	25 (- + 0)	77,91
8 (0 + +)	83,17	17 (0 + -)	74,52	26 (0 + 0)	74,57
9 (+ + +)	76,08	18 (+ + -)	72,51	27 (+ + 0)	69,80

Fonte: os autores, 2022.

Tabela 3. Efeitos estimados, erros padrão e graus de significância estatística (α).

Fatores	Efeito	Erro padrão	α
Média	71,68012	1,830287	0,000000
X_1 (Linear)	-4,76444	3,684036	0,210658
X_1 (Quadrática)	-6,27974	3,666453	0,102219
X_2 (Linear)	9,05667	3,684036	0,023202
X_2 (Quadrática)	1,55292	3,666453	0,676416
X_3 (Linear)	-5,42667	3,684036	0,156310
X_3 (Quadrática)	-1,81782	3,666453	0,625441

Fonte: os autores, 2022.

O modelo escolhido foi o quadrático sem os termos cruzados cuja equação, com as variáveis codificadas, que descreve as

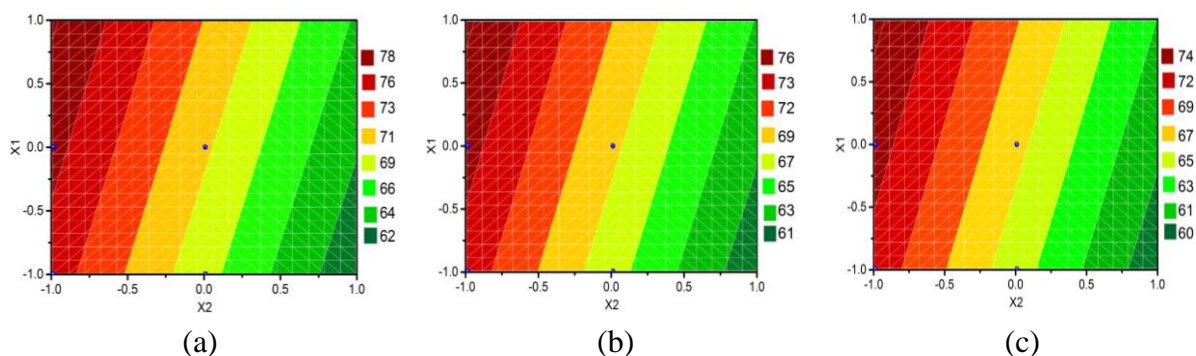
superfícies (a), (b) e (c) da figura 3, nas quais a variável X_3 foi fixada respectivamente em -1, 0 e +1, é:

$$Y(X_1, X_2, X_3) = 67,87 - 6,26X_1 + 0,06X_1^2 + 1,62X_2 - 1,015X_2^2 - 1,85X_3 + 0,01X_3^2$$

(±3,97) (±3,64) (±0,03) (±3,64) (±0,03) (±3,64) (±0,03)

Figura 3. Projeção das superfícies de respostas (X_1 vs. X_2) relativas aos rendimentos do processo de transesterificação. X_1 representa a % de catalisador, X_2 representa a razão molar etanol/óleo.

Em (a), (b) e (c) a variável X_3 foi fixada nos níveis -1, 0 e +1, respectivamente.



Fonte: os autores, 2022.

Os gráficos da figura três mostram máximos, em que as variáveis X1 e X2 são respectivamente iguais a +1 e -1, independente dos valores da variável X3.

Há uma tendência de aumento no rendimento em ésteres com a redução da porcentagem de catalisador e aumento da razão molar etanol/óleo. Um dos fatores mais importantes que afetaram a conversão aos ésteres etílicos foi a razão molar etanol/óleo.

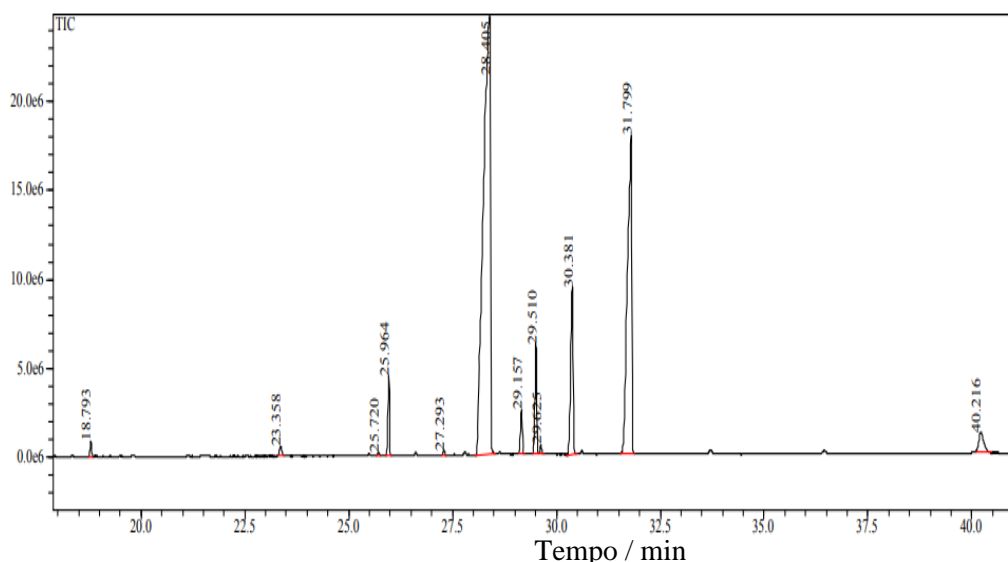
O cromatograma dos ésteres etílicos (biodiesel) é mostrado na Figura 4. Verifica-se que o do ácido linolênico (Tempo de retenção = 28,4 min) é o constituinte principal do óleo, seguido pelo o éter do ácido linoleico (Tempo de retenção = 31,8 min).

De acordo com a tabela 4, pode-se

perceber que a constituição principal do biodiesel é dos ésteres etílicos dos ácidos graxos insaturados (72,6%) sendo o (9Z,12Z,15Z)-Octadec-9,12,15-trienoato de etila com 50,3% seguido do ((9Z,12Z)-Octadec-9,12-dienoato de etila) com 14,6%.

Os ésteres etílicos dos ácidos palmítico e esteárico estão em menores proporções; e os constituintes menores como o ácido (2E,4Z)-deca-2,4-dienóico, o pentadecano, o icosano e o heptadecano foram também detectados. A composição química do biodiesel produzido confere propriedades químicas e físicas importantes, como a viscosidade que diminui com o aumento do grau de insaturação dos ácidos graxos, de cadeias mais longas.

Figura 4. Cromatograma do biodiesel do óleo de *Mabea fistulifera* Mart.



Fonte: os autores, 2022.

Tabela 4. Identificação por cromatografia dos seis componentes principais do biodiesel obtido com o óleo de *Mabea fistulifera* Mart.

TR (min) *	Componentes	Concentração (g L ⁻¹) **
25,96	Hexadecanoato de etila	0,083
28,40	(9Z,12Z,15Z)-Octadec-9,12,15-trienoato de etila	0,956
29,51	Octadecanoato de etila	0,057
30,38	(9Z)-Octadec-9-enoato de etila	0,146
31,80	(9Z,12Z)-Octadec-9,12-dienoato de etila	0,278

* Tempo de retenção; ** O biodiesel foi diluído em hexano na proporção de 1:100. Fonte: os autores, 2022.

No caso estudado obteve-se um biodiesel com alto teor do éster do ácido linolênico, o que confere a ele uma viscosidade muito baixa, quando comparada ao biodiesel obtido com óleo de mamona, assemelhando-se muito à do óleo diesel.

Na tabela 5 são apresentadas as características analíticas do biodiesel de Canudo-de-pito sintetizado.

O valor do índice de iodo é uma medida importante que serve para a estimativa do grau de insaturação dos ácidos graxos presentes no combustível. Esta propriedade influencia extremamente a oxidação do combustível e o tipo de produtos e de depósitos do envelhecimento formados em injetores dos motores diesel. De acordo com os métodos reguladores este índice deve ter um valor abaixo de 11,09 g I₂ por 100 g da amostra.

A determinação do índice de acidez é um procedimento para avaliar os constituintes que são solúveis no biodiesel. Os ácidos graxos livres podem conduzir à corrosão e é sintoma de água no combustível ou oxidação do combustível (VAN GERPEN *et al.*, 2004). Pelo fato de a acidez livre de um óleo ser uma característica intimamente relacionada com a natureza e qualidade da matéria-prima, este valor não é uma constante e desta forma, de acordo com a ANP, o valor máximo permitido é de 0,80 mg KOH g⁻¹.

O índice de ésteres corresponde ao número de miligramas de KOH requeridos na saponificação do óleo neutro contido em um grama de amostra, excluindo o requerido para neutralizar os ácidos graxos livres (Nunes, 2013). Quando um óleo ou gordura é aquecido com solução aquosa de álcali (NaOH ou KOH) forma-se glicerol e uma mistura de sais alcalinos (sabões).

A estabilidade à oxidação é um parâmetro de grande importância (PULLEN e SAEED, 2012), cuja determinação baseia-se na metodologia de ensaio acelerado originalmente proposta por Lutterbach *et al.*, 2006. Para as amostras de biodiesel de Canudo-de-pito o ponto de indução ocorreu próximo de 7 horas. Uma vez que o valor mínimo requerido pelos órgãos reguladores é

no mínimo 6 horas, o biodiesel produzido se adequa às normas de controle e qualidade.

Um teste realizado no biodiesel para determinar a quantidade de cinza mineral restante após a queima do combustível é o de cinzas sulfatadas. Para o biodiesel, este teste é um indicador importante da quantidade de metais residuais no combustível que poderiam vir do catalisador usado no processo de esterificação. O limite estabelecido pela ANP é de 0,020 % m/m (LÔBO e FERREIRA, 2009; VAN GERPEN *et al.*, 2004).

A corrosão pode afetar todos os materiais metálicos em contato com o combustível. Neste trabalho a corrosividade apresentou o valor 1a, segundo a norma reguladora da ANP, não sendo, portanto, corrosivo às peças de cobre, ligas e outros metais.

Os valores encontrados para os metais Na, K e Ca, Mg encontram-se dentro dos limites estabelecidos pela ANP, uma vez que a soma de Na e K apresentou um valor de 1,063 mg kg⁻¹ cujo limite máximo permitido é 10 mg kg⁻¹ de óleo analisado. Contudo, a soma de Ca e Mg apresentou um valor elevado, 27,553 mg kg⁻¹ de amostra. Isto explica o alto valor de cinzas sulfatadas encontrado para o biodiesel de Canudo-de-pito.

Segundo a norma da ANP, o valor máximo de fósforo permitido no biocombustível é de 10 mg kg⁻¹. A quantidade de fósforo presente pode ser proveniente da refinação incompleta do óleo vegetal e das proteínas existentes nos óleos (VAN GERPEN *et al.*, 2004).

De acordo com os dados da tabela 5, observa-se que a densidade do biodiesel mostrou-se pouco acima do limite permitido pela portaria da ANP, o que não o impede de ser utilizado em motores de ciclo diesel.

A viscosidade cinemática é uma propriedade fluidodinâmica que expressa a resistência oferecida pela substância ao escoamento sob gravidade. O controle da viscosidade de uma substância visa garantir um funcionamento adequado dos sistemas de injeção e bombas de combustível (LUGO-MÉNDEZ *et al.*, 2021). Mais importante que a massa específica, esta propriedade diz

respeito à atomização do combustível, bem como seu escoamento no motor (FELIZARDO *et al.*, 2006). Para que o

biodiesel seja usado em motores de ciclo diesel, a viscosidade cinemática, conforme a norma deve estar entre 3.5 e 6.0 mm² s⁻¹.

Tabela 5. Características analíticas do biodiesel de *Mabea fistulifera* Mart.

Análises	Valores
Índice de iodo	11,09 ± 0,99 g I ₂ /100 g
Índice de acidez	0,016 ± 0,0004 mg KOH/g
Índice de ésteres	105,0 ± 0,51 mg KOH/g
Estabilidade à oxidação	~7 h
Cinzas sulfatadas	0,0167 ± 0,0012 % m/m
Corrosividade ao cobre	1a
Sódio	0,813 ± 0,004 mg kg ⁻¹
Potássio	0,250 ± 0,008 mg kg ⁻¹
Cálcio	3,963 ± 0,020 mg kg ⁻¹
Magnésio	23,590 ± 0,020 mg kg ⁻¹
Fósforo	0,010 ± 0,0011 mg kg ⁻¹
Massa específica (20 °C)	892,8 ± 0,0013 kg m ⁻³
Viscosidade cinemática (40 °C)	3,485 ± 0,032 mm ² s ⁻¹

Fonte: os autores, 2022.

A viscosidade da amostra de biodiesel utilizado neste trabalho foi de 3,495 mm² s⁻¹.

Estas características fazem com que o biodiesel obtido deste óleo seja mais fluido, que facilitará a injeção na câmara de combustão através dos bicos injetores. Entretanto, o alto teor de ácidos poli-insaturados no óleo de *Mabea fistulifera* Mart. pode tornar a combustão do biodiesel incompleta, gerando uma série de compostos que podem contaminar o lubrificante, necessitando, com isso, ampliar as pesquisas em relação à utilização deste biodiesel obtido em motores a combustão.

4 CONCLUSÕES

Considerando que a *Mabea fistulifera* Mart. (Canudo-de-pito) é de fácil adaptação, não precisando fazer correção de acidez e de fertilidade no solo, o alto teor de óleo produzido e a facilidade da extração que pode ser feita por prensagem, o trabalho mostrou que esta espécie vegetal apresenta grande potencial na produção de biodiesel.

O biodiesel obtido apresentou uma característica bastante desejável que é a baixa viscosidade, comparável à do óleo diesel, embora a presença majoritária do ácido linolênico possa torná-lo mais susceptível à oxidação. Desta maneira, outros estudos devem ser realizados a fim de confirmar a viabilidade do óleo de semente de *Mabea fistulifera* Mart. como matéria prima para a produção de biodiesel.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pela bolsa concedida à primeira autora (F. E. A. P.), Código de Financiamento 001 e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais - FAPEMIG) pelo suporte financeiro ao projeto.

REFERÊNCIAS

ABBASZAADEH, A.; GHOBADIAN, B.; OMIDKHAH, M. R.; NAJAFI, G. Current biodiesel production technologies: A

- comparative review. **Energy Conversion and Management**, v. 63, p. 138-148. 2012.
<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2012.02.027>
- ABDULVAHITOGLU, A.; KILIC, M.. A new approach for selecting the most suitable oilseed for biodiesel production; the integrated AHP-TOPSIS method. **Ain Shams Engineering Journal**, v. 13, n. 3, ID 101604. 2022.
<https://doi.org/10.1016/j.asej.2021.10.002>
- AGHBASHLO, M.; DEMIRBAS, A. Biodiesel: hopes and dreads. **Biofuel Research Journal**, v. 10, p. 379-379, 2016.
<https://doi.org/10.18331/BRJ2016.3.2.2>
- ANP. **Resolução ANP n° 45**. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. 2014. Disponível em:
<https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=274064>. Acessado em 20/11/2021.
<https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=274064>. Acessado em 20/11/2021.
- BABU, A. K.; DEVARADJANE, G. Vegetable oils and their derivatives as fuels for CI engines: An overview. **SAE Tech. Pap. Ser.**, v. 1, p. 767-780. 2003.
<https://doi.org/10.4271/2003-01-0767>
- BARROSO, G. M.; FERREIRA, M. G.; SANTOS, E. A.; FERREIRA, E. A.; TITON, M.; XAVIER, P. V. S.; FRANCISCO, D. M. T.; SANTOS, J. B. *Mabea fistulifera* and *Zeyheria tuberculosa* can be indicated for phytoremediation programs of soils contaminated with hormonal herbicides, **International Journal of Phytoremediation**, v. 1, p 1-9, 2021.
<https://doi.org/10.1080/15226514.2021.1991267>
- CHRISTO, A. V. D.; MARTINS, S. V.; BALESTRIN, D.; TORRES, F. T. P. Efeito do fogo sobre a regeneração natural e serapilheira na mata atlântica. **Scientia Forestalis**, v. 49, n. 130, e3501. 2021.
<https://doi.org/10.18671/scifor.v49n130.10>
- ELDER, A. L. A.; PAIVA, A. S. Colleters in *Mabea fistulifera* Mart. (Euphorbiaceae) Anatomy and biology of the secretory process. **Flora**, v. 258, p. 1-30. 2019.
<https://doi.org/0.1016/j.flora.2019.151439>
- FARDIN, F. H.; MALTONI, K. L.; BONI, T. S.; FARIA, G. A., REZENDE, A. A. Restauração ecológica de subsolo exposto condicionado com resíduos no Cerrado. **Scientia Forestalis**, v. 49, n. 130, e34522021, 2021.
<https://doi.org/10.18671/scifor.v49n130.17>
- FELIZARDO, P.; CORREIA, M. J. N.; RAPOSO, I.; MENDES, J. F.; BERKEMEIER, R.; BORDADO, J. M. 2006. Production of biodiesel from waste frying oil. **Waste Management**, v. 26, n. 5 p. 487-494, 2006.
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2005.02.025>
- FERES, R. J. F., MORAES, G. J. Phytoseiid mites (Acari: Phytoseiidae) from woody areas in the state of São Paulo, Brazil. **Systematic and Applied Acarology**, v. 3, n. 1, p. 125-132, 1998.
<https://doi.org/10.11158/saa.3.1.20>
- FERRARI, R. A., OLIVEIRA, V. S.; SCABIO, A. Biodiesel de soja: taxa de conversão em ésteres etílicos, caracterização físico-química e consumo em geradores de energia. **Química Nova**, v. 28, n. 1, p. 19-23, 2005.
<https://doi.org/10.1590/S0100-40422005000100004>
- FERRARI, S. F.; STRIER, K. B. Exploitation of *Mabea fistulifera* nectar by marmosets (*Callithrix flaviceps*) and muriquis (*Brachyteles arachnoides*) in south-east Brazil. **Journal of Tropical Ecology**, v. 8, n. 3, p. 225-239, 1992.
<https://doi.org/10.1017/S0266467400006428>

- KNOTHE, G.; RAZON, L. F. Biodiesel fuels. **Progress in Energy and Combustion Science**, v. 58, p. 36-59, 2017.
<https://doi.org/10.1016/j.pecs.2016.08.001>
- LÔBO, I. P.; FERREIRA, S. L. C. Biodiesel: parâmetros de qualidade e métodos analíticos. **Quim. Nova**, v. 32, n. 6, p. 1596–1608, 2009.
<https://doi.org/10.1590/S0100-40422009000600044>
- LORENZI, H. **Árvores Brasileiras: Manual de Identificação e Cultivo de Plantas Arbóreas Nativas do Brasil**. Nova Odessa: Instituto Plantarum. 352p. 1992.
<https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.120595>
- LUGO-MÉNDEZ, H.; SÁNCHEZ-DOMÍNGUEZ, M.; SALES-CRUZ, M.; OLIVARES-HERNÁNDEZ, R.; LUGO-LEYTE, R.; TORRES-ALDACO, A. Synthesis of biodiesel from coconut oil and characterization of its blends. **Fuel**, v. 295, ID 129595, 2021.
<https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.120595>
- LUTTERBACH, M. T. S.; BARRETO, A. J.; FERRAZ, O. B.; CAVALCANTI, E. H. S. Avaliação da Tendência à Biocorrosão e da Estabilidade à Oxidação de Biodiesel Metílico de Soja e Mistura B5. **Anais Iº Congresso da Rede Brasileira de Tecnologia de Biodiesel**, Brasília, DF, Brasil, 2006.
- MEIRA JÚNIOR, M. S.; PEREIRA, I. M.; MACHADO, E. L. M.; MOTA, S. L. L.; OTONI, T. J. O. Espécies potenciais para recuperação de áreas de floresta estacional semidecidual com exploração de minério de ferro na serra do Espinhaço. **Biosci. J.**, v. 31, n. 1, p. 283-295, 2015.
<https://doi.org/10.14393/BJ-v31n1a2015-23414>
- MOHIDDIN, M. N. B.; TAN, Y. H.; SEOW, Y. X.; KANSEDO, J.; MUBARAK, N. M.; ABDULLAH, M. O.; CHAN, Y. S.; KHALID, M. Evaluation on feedstock, technologies, catalyst and reactor for sustainable biodiesel production: A review. **Journal of Industrial and Engineering Chemistry**. V. 98, p. 60-81, 2021.
<https://doi.org/10.1016/j.jiec.2021.03.036>
- NUNES, C. A. **Tecnologia de Óleos e Gorduras para Engenharia de Alimentos**. Lavras: Editora UFLA, 69p. 2013.
- SOUZA, P. A.; NUNES, L. A. P. L.; PEIXOTO, G. L.; MARTINS, S. V. Rebrotas em área pós-fogo em um fragmento de floresta estacional semidecidual no município de Viçosa-MG. **Científica - Journal of Agrarian Sciences**, v. 43, n. 4, p. 407-412, 2015.
<https://doi.org/10.15361/1984-5529.2015v43n4p407-412>
- OLMOS, F.; BOULHOSA, R.L.P. A meeting of opportunists: birds and other visitors to *Mabea fistulifera* (Euphorbiaceae) inflorescences. **The Brazilian Journal of Ornithology**, v. 8, n. 2, p. 93-98, 2000.
<http://www.revbrasilornitol.com.br/BJO/article/view/1304>. Acessado em 20/11/2021.
- PARENTE, E. S. **Biodiesel: Uma Aventura Tecnológica Num País Engraçado**. Fortaleza: Tecbio, 65p. 2003.
- PINHO, D. M. M.; SUAREZ, P. A. Z. Do Óleo de Amendoim ao Biodiesel. Histórico e Política Brasileira para o Uso Energético de Óleos e Gorduras. **Revista Virtual de Química**, v. 9, n. 1, p. 39-51, 2017.
<https://doi.org/10.21577/1984-6835.20170006>
- PULLEN, J.; SAEED, K. An overview of biodiesel oxidation stability. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 16, n. 8, p. 5924-5950, 2012.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.06.024>

- RAMOS, L. P.; KOTHE, V.; CÉSAR-OLIVEIRA, M. A. F.; MUNIZ-WYPYCH, A. S.; NAKAGAKI, S.; KRIEGER, N.; WYPYCH, F.; CORDEIRO, C. S. Biodiesel: Matérias-Primas, Tecnologias de Produção e Propriedades Combustíveis. **Revista Virtual de Química**, v. 9, n. 1, p. 317-369, 2017.
<https://doi.org/10.21577/1984-6835.20170020>
- REIS, C.; MATIAS, A. A.; REIS, E. L.; KIMO, J. W.; DEMUNER, A. J.; NATALINO, R. 2005. Avaliação preliminar do óleo da semente de *Mabea fistulifera* Mart. (Canudo-de-pito) para a produção de biodiesel. **Anais II Congresso Brasileiro de Plantas Oleaginosas, Óleos, Gorduras e Biodiesel**, Varginha, MG, Brasil, 1. 734-738, 2005.
- RODRIGUES, A. C. C. Policy, regulation, development and future of biodiesel industry in Brazil. **Cleaner Engineering and Technology**, v. 4, ID 100197, 2021.
<https://doi.org/10.1016/j.clet.2021.100197>
- SALUJA, R. K.; KUMAR, V.; SHAM, R. Stability of biodiesel - A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 62, n. C, p. 866-881, 2016.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.05.001>
- SILITONGA, A. S.; MAHLIA, T. M. I.; ONG, H. C.; RIAYATSYAH, T. M. I.; KUSUMO, F.; IBRAHIM, H. A. Comparative study of biodiesel production methods for *Reutealis trisperma* biodiesel. **Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects**, v. 39, n. 20, p. 2006-2014, 2017.
<https://doi.org/10.1080/15567036.2017.1399174>
- SILVA, P. A. Periquitos (*Aratinga aurea* e *Brotogeris chiriri*, Psittacidae) como potenciais polinizadores de *Mabea fistulifera* Mart. (Euphorbiaceae). **Revista Brasileira de Ornitologia**, v. 16, n. 1, p. 23-28, 2008.
- VAN GERPEN, J.; SHANKS, B.; PRUSZKO, R.; CLEMENTS, D.; KNOTHE, G. **Biodiesel Analytical Methods**. NREL, 100p. 2004.
- VIEIRA, M. F.; CARVALHO-OKANO, R. M. Pollination biology of *Mabea fistulifera* (Euphorbiaceae) in southeastern Brazil. **Biotropica**, v. 28, n. 1, p. 61-68, 1996.
<https://doi.org/10.2307/2388771>
- VIEIRA, M. F.; CARVALHO-OKANO, R. M.; SAZIMA, M. The common opossum, *Didelphis marsupialis*, as a pollinator of *Mabea fistulifera* (Euphorbiaceae). **Ciência e Cultura**, v. 43, n. 5, p. 390-393, 1991.