

DOI: <http://dx.doi.org/10.18265/1517-0306a2021id4353>

# Estimativa das propriedades do biodiesel metílico produzido a partir da pupunha e aspectos biotecnológicos

Anne Caroline DeFranceschi Oliveira <sup>[1]</sup>, Ana Claudia Graziani <sup>[2]</sup>,  
Caroline Schultz <sup>[3]</sup>, André Bellin Mariano <sup>[4]</sup> 

[1] [annewcaroline@hotmail.com](mailto:annewcaroline@hotmail.com). [2] [anaclaudia\\_graziani@yahoo.com.br](mailto:anaclaudia_graziani@yahoo.com.br). [3] [caroline.schultz@gmail.com](mailto:caroline.schultz@gmail.com). Núcleo de Pesquisa e Desenvolvimento de Energia Autossustentável (NPDEAS) / Universidade Federal do Paraná (UFPR), Brasil. [4] [andrebmariano@gmail.com](mailto:andrebmariano@gmail.com). Departamento de Engenharia Elétrica (DEE) / Universidade Federal do Paraná (UFPR), Brasil.

## RESUMO

Dentre as diversas matérias-primas viáveis para a produção de biodiesel, a pupunheira (*Bactris gasipaes*) apresenta-se como uma promissora fonte de óleo, a partir do mesocarpo e amêndoa. Essa palmeira natural da América Central e do Noroeste da América do Sul apresenta também um grande potencial agroindustrial e biotecnológico, devido às características do palmito e composição dos seus resíduos: bainha, folhas e frutos. Os resíduos da agroindústria podem ser utilizados como suplementos alimentares para ruminantes, devido ao alto teor de proteínas, na fabricação ou elaboração de biofertilizantes e na produção de etanol, bebidas alcoólicas e outros produtos. Esse aproveitamento dos resíduos consiste de grande importância, tendo em vista o aumento recente da área cultivada no país. A viabilidade técnica da produção de biodiesel da pupunha depende, entre outros aspectos, da qualidade dos lipídios obtidos para produção de combustíveis líquidos. Assim sendo, este trabalho apresenta a relação entre a composição do óleo do mesocarpo da pupunha e a qualidade do biodiesel, com foco na estimação do Número de Cetano e do Ponto de Entupimento a Frio. Aspectos biotecnológicos e agroindustriais são discutidos, e processos integrados são sugeridos com objetivo de viabilizar a produção de biocombustível com maximização dos ganhos e diminuição dos impactos ambientais.

**Palavras-chave:** Agroindústria. Biodiesel. Propriedades. Pupunha. Resíduos.

## *Estimation of methyl biodiesel properties produced from peach palm and biotechnological aspects*

## ABSTRACT

*Among the various viable raw materials for biodiesel production, peach palm (*Bactrisgasipaes*) is a promising source of oil from mesocarp and almond. This natural palm from Central America and Northwestern South America also presents an agro-industrial and biotechnological potential due to the characteristics of the palm heart and the composition of its residues: sheath, leaves, and fruits. Agroindustry residues can be used to complement ruminant feed due to their high protein content, in the manufacture or elaboration of biofertilizers, and the production of ethanol and alcoholic beverages. This use of waste is of great importance due to the recent increase in the cultivated area in the country. The technical feasibility of producing biodiesel from peach palm depends, among other aspects, on the quality of the lipids obtained for liquid fuels production. Therefore, this work presents the relationship between the composition of the peach palm mesocarp oil and the biodiesel quality, focusing on the estimation of the cetane number and the cold filter plugging point. Biotechnological and agro-industrial aspects are discussed and integrated processes are suggested to enable biofuel production with maximization of gains and reduction of environmental impacts.*

**Keywords:** Agroindustry. Biodiesel. Properties. Peach palm. Residue.

## 1 Introdução

A busca por combustíveis alternativos, que sejam renováveis e que contribuam para diminuir o impacto das emissões de gases ao efeito estufa tem recebido crescente atenção. Os combustíveis que apresentam maior potencial como alternativa aos combustíveis convencionais, bioetanol e o biodiesel, são os que concentram maior parte do esforço de desenvolvimento, já que podem surtir efeito em curto prazo. O biodiesel vem sendo gradativamente adicionado ao diesel de origem fóssil em motores de ignição por compressão, porém a inserção deste combustível no mercado nacional depende, em maior parte, de dois fatores: a qualidade e o custo da matéria prima.

O estudo de matérias-primas alternativas para produção do biodiesel, que não dependam de culturas normalmente empregadas na alimentação humana, é um desafio que vem sendo abordado de diversas maneiras. Uma alternativa é a utilização de cultivares que forneçam tanto alimento quanto matéria-prima para a produção de biocombustível, como é o caso da soja, que é fonte de farelo e de óleo, e também da pupunheira (*Bactris gasipaes*), que fornece os frutos (mesocarpo e amêndoa) e o palmito. Desde 2010, observa-se um crescimento significativo na área de plantio – só em 2018, registrou-se colheita expressiva em uma área de cerca de 24 mil hectares, o que torna o estudo do aproveitamento de todos os seus resíduos tão relevante (RIBEIRO *et al.*, 2021b; YONEYA, 2010).

O biodiesel é composto basicamente por uma mistura de monoésteres de ácidos graxos (KNOTHE; RAZON, 2017) que, por sua vez, são geralmente obtidos pela transesterificação de um óleo purificado, proveniente da biomassa oleaginosa, que pode ser obtida de óleos vegetais, gorduras animais ou de microorganismos (microalgas, fungos e bactérias). A reação de transesterificação, que se faz necessária devido à viscosidade excessivamente alta dos óleos brutos, envolve um glicerídeo e um álcool, na presença de catalisador, formando ésteres e glicerol. O álcool empregado determina qual o radical R, enquanto as cadeias que formam o triglicerídeo determinam os radicais R1 a R3 dos ésteres obtidos na reação. Desta forma, a composição do óleo empregado (i.e., as proporções de ácidos graxos presentes no óleo) e a estrutura do álcool utilizado determinam a composição e a estrutura dos monoésteres. Com isso, determinam, portanto, as propriedades dos ésteres produzidos.

Sendo assim, na busca por combustíveis de alta qualidade, faz-se necessário otimizar a estrutura dos ésteres obtidos e a composição dos biodieseis.

O presente estudo apresenta a aplicação de uma metodologia de estimação de propriedades do biodiesel, a partir da composição do óleo empregado na produção. Esta análise permite avaliar se o perfil de ácidos graxos de um determinado óleo é apropriado para a produção de biodiesel, considerando as principais propriedades. Pode-se assim comparar diversas matérias primas e, no caso da pupunha, diferentes variedades conhecidas.

O objetivo deste trabalho é estabelecer uma relação entre a composição do óleo do mesocarpo da pupunha e a qualidade do biodiesel, focando na estimação do Número de Cetano e no ponto de entupimento a frio.

## 2 Fundamentação teórica

Nesta seção será apresentada uma revisão de literatura a respeito das características gerais da pupunha e seu óleo, objetos de estudo deste trabalho.

### 2.1 Características gerais da pupunha e distribuição no território nacional

A pupunha (*Bactris gasipaes*) é uma planta da família *Arecaceae* (antiga *Palmae*), que normalmente possui troncos cobertos de espinhos e pode atingir até 20 metros de altura na fase adulta. É originária das florestas tropicais do continente americano, conhecida pelas populações nativas da América Central até a Floresta Amazônica. Sua casca (epicarpo) pode ser vermelha, amarela ou laranja, quando o fruto está amadurecido, dependendo de sua variedade. Existe uma grande variedade de aves que se alimentam da pupunheira silvestre, a exemplo das araras, papagaios e periquitos, os quais ocasionalmente podem ser espécies endêmicas com risco de extinção. A polinização da pupunheira é predominantemente cruzada e realizada principalmente por insetos; nesse processo, o pólen vem de outra inflorescência para fecundar a flor feminina e formar o fruto (SILVA; PRADO; SILVA, 2009). A pupunheira se adapta a uma grande diversidade de solos em virtude de estarem associados a micorrizas, embora se desenvolvam melhor em terrenos profundos, bem drenados, com textura areno argilosa, com topografia plana ou levemente ondulada, facilitando assim a colheita e o

transporte da produção. O plantio deve ser realizado em época de chuva, com mudas apresentando altura entre 30 a 40 cm, contendo de 5 a 6 folhas (NEVES *et al.*, 2002).

A distribuição geográfica da pupunheira cultivada revela as rotas de migração e do comércio pré-colombianos, onde se encontra distribuída em um extenso território contendo as regiões do Pacífico Norte da América do Sul e do Caribe, pela bacia do alto Amazonas e também na América Central. A pupunheira é cultivada, atualmente, desde Vera Cruz no México, estendendo-se até Santa Cruz e Chapare, na Bolívia. No Brasil, só no ano de 2018, foram produzidas cerca de 108 mil toneladas. Os principais Estados produtores dessa fruta são: São Paulo, Espírito Santo, Rondônia, Pará, Bahia, Mato Grosso, Goiás, Minas Gerais, Rio Grande do Norte, Amazonas, Acre, Paraná e Santa Catarina (RIBEIRO *et al.*, 2021b).

O estado de São Paulo está entre os maiores produtores nacionais de palmito pupunha, com cerca de 30 mil hectares da cultura. Em termos de rendimento em larga escala, as pupunheiras rendem de 5 mil a 10 mil hectares, com colheitas entre 18 e 24 meses após o plantio e rendimento médio de 0,8 a 1,2 hastes por plantas (RIBEIRO *et al.*, 2020)

No litoral do estado do Paraná, o cultivo da pupunha para produção de palmito vem se constituindo importante alternativa para a diversificação e fonte de renda dos agricultores locais, por apresentar capacidade de perfilhamento, mantendo-se, de forma contínua, a produção de palmito (EMBRAPA, 2021).

## 2.2 Óleo a partir da pupunha

O óleo do mesocarpo da pupunha possui alta taxa de ácidos graxos não saturados. Arkoll e Aguiar (1984) foram os primeiros a observar o potencial do óleo da pupunha. Procurando frutos com alto teor de óleo, esses autores encontraram casualmente um espécime com 62% de óleo no mesocarpo seco e 34% de óleo no peso do cacho, valores similares aos encontrados em dendê (*Elaeis guineensis*) (CLEMENT, 1987). Óleos insaturados normalmente apresentam excelente valor de mercado, sendo interessantes tanto do ponto de vista nutricional como industrial. Seu óleo é límpido, de coloração amarela-avermelhada, que em repouso, tiveram separados os glicerídeos sólidos (RIBEIRO; JORGE, 2013). É constituído de triglicerídeos com um baixo teor de ácidos livres (>0,2%). Os triglicerídeos são constituídos na sua maioria de ácido láurico, mirístico, palmítico e oleico (SILVA; PRADO; SILVA, 2009).

A pupunha apresenta 8,9 mg de beta-caroteno (pró-vitamina A) por 100 g de polpa, além de considerável quantidade de vitaminas B2 e C. Contém niacina e aminoácidos como: tiamina, lisina, fenilalanina, treonina, valina metionina, leucina e isoleucina. Os aminoácidos em fração são: lisina, glicina, arginina, ácido glutâmico e ácidos aspartáticos (CLEMENT, 1987).

## 2.3 Uso dos resíduos para energia e diferentes aplicações biotecnológicas da pupunha

Avaliando-se a cultura da pupunha, observaram-se produções entre 54 e 82 toneladas de massa verde (MV)/ha de resíduos potencialmente aproveitáveis principalmente na alimentação de animais. O resíduo da agroindústria pode ser aproveitado na dieta de ruminantes, pois a casca do palmito, ou "bainha", é um subproduto rico em proteínas e mineral, o que foi demonstrado por amostras do material *in natura*, apresentando teores em torno de 9% a 12% de proteína bruta quando em comparação com a cana-de-açúcar, que não chega a acumular 2% desse tipo de proteína (PASTORE JUNIOR *et al.*, 2007; RIBEIRO *et al.*, 2021a).

Através da composição química da bainha da pupunha, pode-se observar a possibilidade de produção de etanol devido às consideráveis quantidades de amido (14,1%), proteínas (10,7%) e celulose (32,9%) presentes (NEVES *et al.*, 2002; RESENDE; FRANCA, 2019).

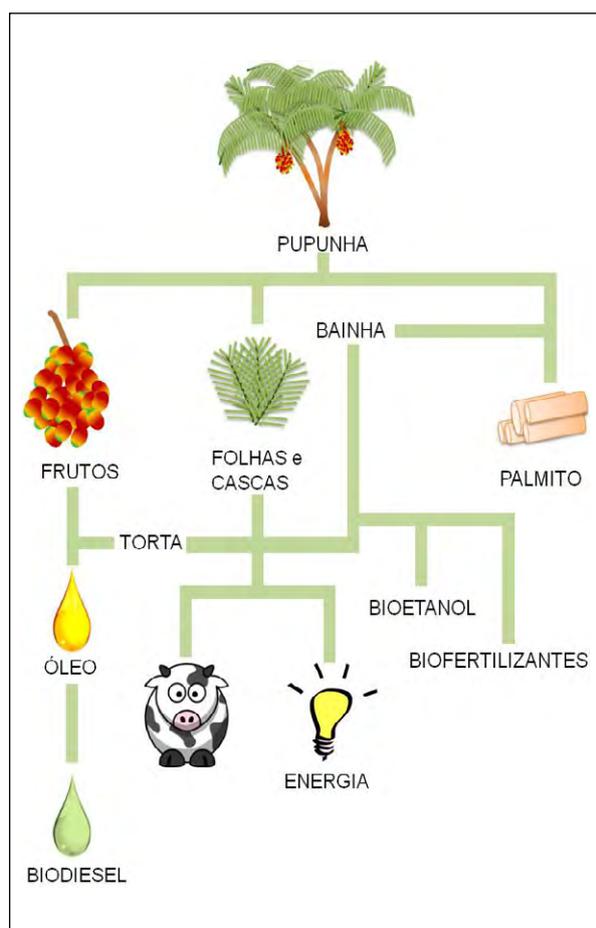
Outro estudo avaliou a geração de biogás e uso de biofertilizantes, a partir dos resíduos de pupunha. Os resultados obtidos indicaram produções médias do biogás de 39,27 e 29,60 L e redução da carga orgânica de até 74% (VIDAL, 2014).

Segundo estudo de Franco *et al.* (2019), os autores avaliaram a produção de nanocelulose a partir da moagem ultrafina das bainhas da pupunha. Eles obtiveram protocolos, combinando diferentes designificações químicas e verificando sua influência sobre algumas propriedades e características das nanofibras. A partir dos resultados obtidos, pode-se afirmar que os resíduos da extração do palmito podem ser processados para obtenção de material nanocelulósico com alto teor de celulose e propriedades morfológicas, químicas e físicas que permitem sua aplicação em diversas áreas, incluindo o uso em alimentos, medicamentos e cosméticos, bem como em biopolímeros. Esses usos promovem a sustentabilidade ambiental ao reduzir os danos causados pelo descarte incorreto desses resíduos. Adicionalmente, Franco *et*

al. (2020) também avaliaram a valorização de resíduos agroindustriais da pupunheira para produção de nanofibras, considerando sua aplicação como agente estabilizador em emulsões em óleo de abacate.

Na Figura 1, uma visão geral das potenciais aplicações biotecnológicas da cultura da pupunha é apresentada.

**Figura 1** – Potencial bioenergético e biotecnológico da cultura da pupunha



Fonte: Elaborado pelos autores

## 2.4 Características do biodiesel obtido a partir da pupunha

Visando controlar a qualidade dos combustíveis, diversos países estipularam normas que visam assegurar a padronização do biodiesel. Das diversas propriedades que são controladas por estas normas, Knothe (2008) e Ramos *et al.* (2009) destacam três aspectos como mais determinantes no desempenho do biodiesel: a qualidade de ignição, o desempenho a frio e a estabilidade oxidativa.

A qualidade de ignição é em geral expressa em termos do Número de Cetano (NC), aspecto relacionado ao intervalo de autoignição que o combustível apresenta em um motor de testes (KNOTHE, 2006; KNOTHE, 2007). Monoésteres de cadeias mais longas apresentam intervalos de autoignição mais curtos (KNOTHE, 2005), *i.e.*, NC mais elevado, enquanto insaturações na cadeia tendem a diminuir esse número: quanto maior o número de grupos  $\text{CH}_2$  (metileno) em sequência na cadeia, mais elevado é o valor dessa propriedade.

O desempenho a frio é costumeiramente expresso por duas propriedades do combustível: a temperatura de névoa e o Ponto de Entupimento do Filtro a Frio—PEFF (*cold filter plugging point*, em °C). A primeira é a temperatura na qual a cristalização dos monoésteres de ponto de fusão elevada torna-se visível, enquanto a segunda, de maior interesse, é a temperatura na qual a solidificação parcial do combustível passa a dificultar a passagem do combustível por um filtro padronizado. Em geral, as normas nacionais da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Bicombustíveis (ANP) não apresentam limites em relação a essas propriedades, uma vez que esta restrição é dada regionalmente, de acordo com as médias de temperaturas regionais (KNOTHE, 2008; KNOTHE 2017). O desempenho a frio é principalmente afetado pelo conteúdo em monoésteres saturados, enquanto os ésteres insaturados têm influência insignificante.

As outras propriedades regidas por norma são também importantes, mas em geral tratam da pureza do combustível, e estão relacionadas à qualidade da matéria-prima. Este trabalho demonstrará, portanto, a aplicação de métodos de estimação na avaliação do NC e do PEFF de biodiesel derivado do óleo da pupunha (PATEL; SHAH, 2015).

## 3 Material e métodos

Nesta seção, os materiais e as metodologias empregados neste estudo são apresentados.

### 3.1 Composição do óleo

Os dados determinados por Pastore Junior *et al.* (2007) sobre a composição do óleo do mesocarpo e amêndoa da pupunha foram utilizados para se estimarem as propriedades do biodiesel a ser gerado a partir desse material. Isso permitiu a antecipação de possíveis problemas e possibilitou o desenvolvimento

de algumas sugestões em relação à cadeia produtiva da pupunha. Os dados da composição do óleo da pupunha estão representados na Tabela 1.

**Tabela 1** – Composição dos óleos de três variedades de pupunha (% m/m) e comparação com óleos de soja, palma e colza

| Ácido graxo      | Mesocarpo Benjamin Constant <sup>(1)</sup> | Mesocarpo Fonte Boa <sup>(1)</sup> | Mesocarpo Coari <sup>(1)</sup> | Óleo da Amêndoa <sup>(1)</sup> | Soja <sup>(2)</sup> | Palma <sup>(2)</sup> | Colza <sup>(2)</sup> |
|------------------|--|------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|---------------------|----------------------|----------------------|
| C14:0            | 0,5  | 0,4                                | 0,5                            | 33,0                           | 0,0                 | 0,0                  | 0,0                  |
| C16:0            | 41,3                                       | 47,4                               | 39,4                           | 20,0                           | 11,4                | 37,4                 | 4,9                  |
| C18:0            | 3,27                                       | 2,2                                | 1,8                            | 6,0                            | 3,6                 | 6,7                  | 1,6                  |
| C20:0            | 2,3  | 4,6                                | 1,6                            | 0,0                            | 0,0                 | 0,0                  | 0,0                  |
| C16:1            | 5,5  | 6,7                                | 5,1                            | 0,0                            | 0,0                 | 0,0                  | 0,0                  |
| C18:1            | 43,1                                       | 37,0                               | 49,9                           | 31,0                           | 25,2                | 47,0                 | 33,0                 |
| C20:1            | 0,0  | 0,0                                | 0,0                            | 0,0                            | 0,0                 | 0,0                  | 9,3                  |
| C22:1            | 0,0  | 0,0                                | 0,0                            | 0,0                            | 0,0                 | 0,0                  | 23,0                 |
| C18:2            | 1,7  | 1,2                                | 1,3                            | 11,0                           | 53,6                | 8,8                  | 20,4                 |
| C18:3            | 4,1  | 6,4                                | 2,1                            | 0,0                            | 6,2                 | 0,0                  | 7,9                  |
| Saturados%       | 47   | 52                                 | 43                             | 58                             | 15                  | 44                   | 6                    |
| Insaturados%     | 48   | 41                                 | 54                             | 31                             | 25                  | 47                   | 65                   |
| Poliinsaturados% | 6  | 7                                  | 3                              | 11                             | 60                  | 9                    | 28                   |

(1) Pastore Junior et al. (2007)

(2) Ramos et al. (2009)

### 3.2 Método de estimação de propriedades

Na literatura, é possível encontrar diversos métodos para estimação das propriedades físico-químicas do biodiesel, conforme revisado por Krishnasamy e Bukkarapu (2021). Yuan, Hansen e Zhang (2003) demonstram a aplicação de métodos de estimação para as propriedades críticas (temperatura, pressão e volume do ponto crítico), fator acêntrico, densidade, pressão do vapor, entre outras. Tais propriedades são de interesse para a modelagem de combustão; entretanto essas não auxiliam na avaliação da possibilidade, ou não, de emprego de um biodiesel. Dessa forma, o presente trabalho, concentra-

se na estimação do Número de Cetano, viscosidade cinemática e do Ponto de Entupimento a Frio.

Para estimar a viscosidade dos ésteres, a metodologia proposta por Ceriani, Gonçalves e Coutinho (2011), que consiste na estimativa da viscosidade dinâmica ( $\eta$ , in mPa.s), foi utilizada devido, principalmente, a sua capacidade de suportar ser trabalhada com baixas temperaturas. Nesse método, especialmente desenvolvido e otimizado para compostos graxos, ocorre uma contribuição do grupo com um termo de perturbação e um termo de correção. Dessa forma, a Equação (1) descrita pode ser utilizada para estimativa da viscosidade da soma dos ésteres ácidos graxos:

$$\ln \eta_i = \sum_k N_k \left( A_{1k} + \frac{B_{1k}}{T} - C_{1k} \ln T - D_{1k} T \right) + \left[ M_i \sum_k N_k \left( A_{2k} + \frac{B_{2k}}{T} - C_{2k} \ln T - D_{2k} T \right) \right] + Q \ln \quad (1)$$

onde as constantes  $A_{1k}$ ,  $B_{1k}$ ,  $C_{1k}$ ,  $D_{1k}$ ,  $A_{2k}$ ,  $B_{2k}$  e  $D_{2k}$  são parâmetros obtidos por Ceriani, Gonçalves e Coutinho (2011), a partir de regressões experimentais;  $T$  é a temperatura absoluta;  $N_k$  representa o número de cada grupo de moléculas ( $\text{CH}_3$ ,  $\text{CH}_2$ ,  $\text{CH} = \text{e COO}$ );

$M_i$  é o peso molecular da molécula; e  $Q$  é o termo de correção, dependendo da temperatura e da estrutura molecular, dadas pelas seguintes equações (3-6) (CERIANI; GONÇALVES; COUTINHO, 2011):

$$Q = \varepsilon_1 q + \varepsilon_2 \quad (3)$$

$$q = -0.3157 + \frac{9.324}{T} + 0.054 \ln T - 0.00007812T \quad (4)$$

$$\varepsilon_1 = -5291.2 + 354N_c \quad (5)$$

$$\varepsilon_2 = 0.1984 - 0.0512N_{cs} \quad (6)$$

onde:  $q$  é a função da temperatura  $T$  otimizada;  $N_c$  é o número total de carbonos na molécula de Etil Éster;  $N_{cs}$  é o número de átomos de carbono na parte alcoólica da molécula (1 para metil ésteres e 2 para etil ésteres) e  $\varepsilon_1$  e  $\varepsilon_2$  estão relacionados a cada classe de compostos. Para as estimativas realizadas neste trabalho, foi considerado  $N_{cs}$  igual a 1.

A qualidade da ignição, normalmente, é expressa em termos de Número de Cetano (NC) dos combustíveis. O Número de Cetano é comumente relacionado à composição, o que faz com que seja necessário utilizar os valores relatados na literatura para o NC dos monoésteres. A equação que é aplicada nessa estimativa é a correlação formulada por Clements (1996). Sendo assim, o NC dos combustíveis foi estimado com a Equação 7:

$$NC = \sum X_{ME} \times CN_{ET} \quad (7)$$

em que NC é o Número de Cetano estimado,  $X_{ME}$  é o percentual mássico de cada etil éster presente no combustível e  $CN_{ET}$  é o Número de Cetano do etil éster.

Com a viscosidade de cada etil éster calculado, é possível estimar a viscosidade da mistura. Allen *et al.* (1999) propôs a regra de mistura que usa a fração de massa dos etil ésteres ( $w_i$ ) e a viscosidade de cada componente. Relações mais precisas foram estudadas, como a equação Grunberg-Nissan, descrita por Yuan, Hansen e Zhang (2003), a qual é consideravelmente mais complexa. Para uma primeira estimativa, utiliza-se Equação 8:

$$LCSF = 0,1C_{16} + 0,5C_{18} + 1C_{20} + 1,5C_{22} + 2C_{24} \quad (8)$$

Os padrões internacionais consideram os limites para viscosidade cinemática ( $\nu$ ) dos combustíveis à temperatura de 40°C. Assim sendo, é necessário estimar a densidade nesta temperatura, já que  $\nu = \eta/\rho$ . A densidade pode ser estimada utilizando-se a equação adaptada de Raquett, recomendada por Reid *et al.* (1987).

O desempenho a frio, medido PEFF, foi estimado utilizando-se a metodologia proposta por Ramos *et al.* (2009), que consiste em correlacionar essa propriedade a um fator ligado ao conteúdo e ao comprimento das cadeias saturadas presentes no biodiesel – dito *Long Chain Saturated Factor* (LCSF) –, que pode ser calculado conforme a Equação 9.

$$PEFF = 3,1417LCSF - 16,477 \quad (9)$$

Esta equação contempla o percentual mássico dos ésteres saturados de 16 a 24 carbonos e pondera as cadeias mais longas, de forma a reproduzir o impacto que estas têm nas propriedades a frio.

Esse fator empiricamente calculado foi empregado por Ramos *et al.* (2009), devido à correlação com o PEFF. Autores demonstraram tal correlação através da Equação 10, a partir da regressão de dez diferentes biodieseis (coeficiente de correlação  $R^2 = 0,966$ ). Os métodos termodinâmicos existentes são demasiado complexos e com uma precisão reduzida, o que levou à adoção desse método mais simplificado:

$$\ln \eta = \sum_i w_i \ln \eta_i \quad (10)$$

Com base na Equação 10, é possível estimar diretamente o PEFF, a partir da composição do óleo, o que é de grande importância para a pré-avaliação do combustível. Como é imprescindível que o ponto de entupimento seja inferior à temperatura de utilização do combustível, essa propriedade torna-se limitante, sobretudo em climas frios.

## 4 Resultados e discussão

Na Tabela 1, apresentada na Seção 3, está apresentada a caracterização do óleo extraído das diferentes partes da pupunha de algumas variedades. Em relação às matérias primas mais convencionais, as

três composições analisadas apresentam semelhança ao óleo de palma, com predominância do ácido palmítico (C16:0) e oleico (C18:1). Os óleos de soja e colza apresentam ambos os teores mais elevados de ácidos poliinsaturados (C18:2 e C18:3) e teores baixos de ácidos saturados (acima do eixo). O óleo da amêndoa diverge da composição do mesocarpo e apresenta-se com uma maior quantidade de ácidos graxos insaturados.

Os óleos isolados dos frutos obtidos de diferentes fontes apresentaram proporções semelhantes entre

ácidos graxos saturados, insaturados e poliinsaturados, o que possibilita o processamento conjunto das variedades. O óleo da amêndoa apresenta uma maior quantidade de saturados e poliinsaturados em comparação ao óleo do fruto.

Com base na composição dos óleos, pode-se aplicar a Equação 7, visando estimar o NC do biodiesel, utilizando-se os números de cetano relatados na literatura, dispostos na Tabela 2, a seguir.

**Tabela 2** – Número de Cetano dos monoésteres

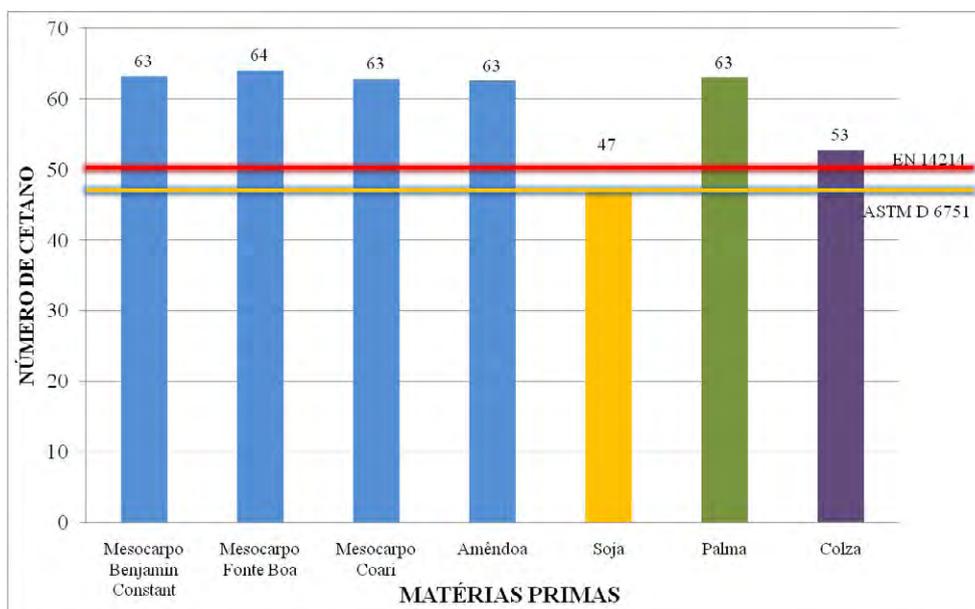
| C14:0             | C16:0             | C18:0             | C16:1             | C18:1           | C20:1           | C22:1           | C18:2             | C18:3             |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------------|-------------------|
| 66,2 <sup>1</sup> | 74,5 <sup>1</sup> | 86,9 <sup>1</sup> | 51,0 <sup>1</sup> | 55 <sup>1</sup> | 59 <sup>2</sup> | 63 <sup>2</sup> | 38,2 <sup>1</sup> | 22,7 <sup>1</sup> |

<sup>1</sup> Knothe (2005); <sup>2</sup> Inferidos a partir do C16:1 e C18:1.

O Número de Cetano calculado para os óleos descritos na Tabela 2 encontra-se representado na Figura 2. Observa-se que os óleos isolados da pupunha (fruto e amêndoa) apresentam números de cetano elevados, acima do exigido (ou permitido?) pelas normas internacionais: (51) segundo a norma europeia, (47) segundo a norma da *American Society for Testing and Materials* (ASTM) – conforme se vê na Figura 2, nas linhas vermelha e laranja, respectivamente – e

valor a ser reportado segundo a Resolução 50 da ANP (2013). Já o óleo de soja produz um biodiesel de NC indesejável pela norma europeia, EN14214 (2012), o que pode ser explicado pelo baixo Número de Cetano do metil linoleato, seu principal componente (53,6%). O óleo de colza, segundo este resultado, produz um biodiesel com NC próximo do limite imposto pela norma europeia. Caso haja impurezas, este valor pode cair abaixo do valor estipulado pela norma.

**Figura 2** – Variação do Número de Cetano em diferentes matérias primas



Fonte: dados da pesquisa

Uma das principais vantagens do uso do biodiesel é a possibilidade de redução de emissões, o que se deve, em parte, ao elevado Número de Cetano de alguns de seus componentes, juntamente com a presença de oxigênio em sua formulação (GRABOSKI; MCCORMICK, 1998; SCHÖNBORN *et al.*, 2009). Se a matéria-prima utilizada leva à produção de um biodiesel de NC baixo, esta vantagem desaparece, e as emissões poluentes podem ser degradadas. Além disso, se o biodiesel é usado em misturas com o diesel convencional, ele pode agir como melhorador do NC, mesmo em pequenas quantidades, o que só é possível com NC bem acima do diesel convencional.

Em relação ao desempenho a frio, utilizando as Equações 9 e 10, é possível estimar o Ponto de Entupimento de Filtro a Frio (PEFF) desses óleos. Os

resultados dessa estimativa estão representados na Tabela 3. Pode ser observado que o PEFF dos óleos de mesocarpo da pupunha apresenta valores elevados, em especial nas variedades Fonte Boa e Benjamin Constant, em função de seus altos teores de ácidos graxos saturados em comparação aos outros óleos. Nesse caso, os combustíveis gerados a partir desses óleos teriam problemas de funcionamento em motores diesel, em locais de clima frio. O resultado estimado para o óleo de Mesocarpo da variedade Coari, bem como para o do óleo da amêndoa, apresenta valores mais interessantes de PEFF (3,5°C e -1,2°C, respectivamente). O óleo de Mesocarpo de Coari apresenta a composição mais parecida ao óleo de Palma e, dessa forma, apresentou PEFF semelhante.

**Tabela 3** – Estimativa do Ponto de Entupimento de Filtro a Frio (PEFF)

| Matéria-prima | Mesocarpo Benjamin Constant | Mesocarpo Fonte Boa | Mesocarpo Coari | Amêndoa | Soja | Palma | Colza |
|---------------|-----------------------------|---------------------|-----------------|---------|------|-------|-------|
| PEFF(°C)      | 8,4                         | 14,5                | 3,5             | -1,2    | -7,1 | 5,8   | -12,4 |

Fonte: adaptado de Pastore *et al.* (2007) e Ramos *et al.* (2009)

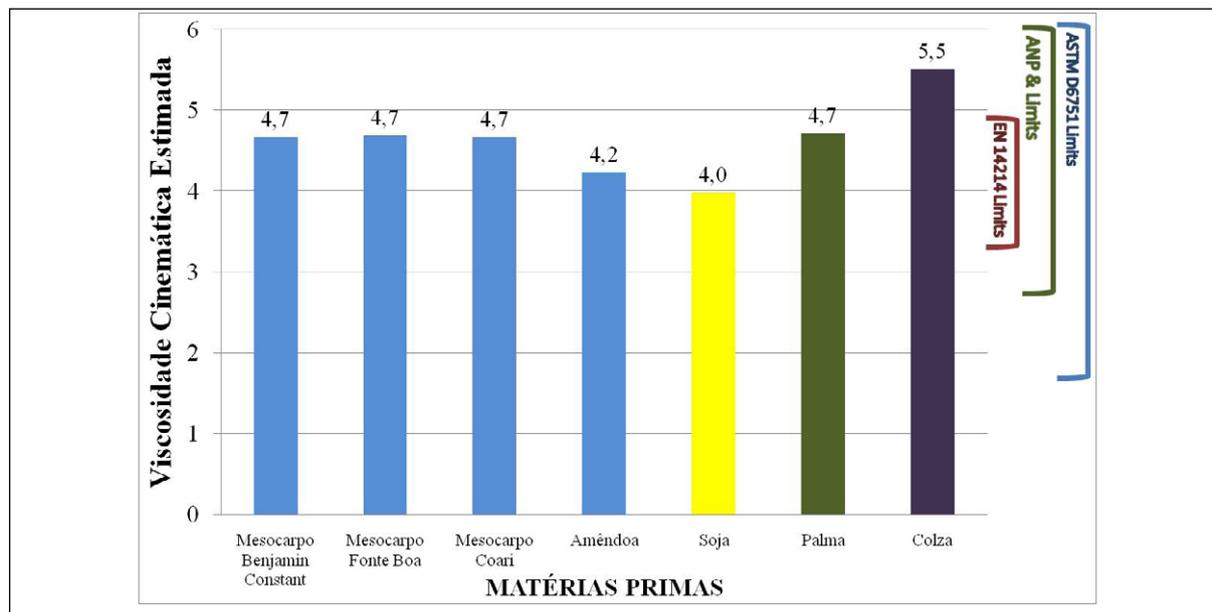
O fato de o biodiesel derivado do mesocarpo da pupunha apresentar PEFF elevado deve ser considerado ao se decidir pela comercialização deste combustível nas regiões Sul/Sudeste. Isso é de especial interesse, já que São Paulo apresenta as maiores plantações dessa cultivar no país (EMBRAPA, 2021); além disso, uma logística para utilização e comercialização desse combustível deve ser estudada.

Os óleos de soja e colza produzem um combustível com PEFF baixo. Isso se deve ao baixo teor de ácidos graxos saturados, entretanto, como visto, isso prejudica o NC e pode inviabilizar a comercialização do biodiesel derivado dessas matérias-primas. Nada impede, no entanto, que se utilize um biodiesel de alto NC para elevar o teor de saturados nestes combustíveis. O próprio biodiesel de pupunha seria um bom candidato para tal fim, podendo ser utilizado para corrigir as propriedades do biodiesel de soja ou de matérias-primas menos nobres.

A viscosidade cinemática dos combustíveis sintetizados a partir das matérias-primas relacionadas na Figura 3 (página seguinte) foi estimada pela utilização das Equações 1 a 6. Observa-se que a viscosidade cinemática estimada para os óleos do mesocarpo de pupunha é a mesma que para o óleo de palma, devido à semelhança de sua composição. O óleo de amêndoa da pupunha apresentou viscosidade cinemática mais próxima da soja.

Todos os materiais avaliados apresentaram valores de viscosidade cinemática dentro das normas internacionais, com exceção do óleo de colza, que forneceu valores acima do limite superior estabelecido pela *European Standard* (Norma Europeia) ou EN 14214 (2012), segundo nosso modelo de estudo.

Figura 3 – Viscosidade cinemática estimada, para os diversos casos estudados



Fonte: dados da pesquisa

## 5 Conclusões e perspectivas futuras

A cultura da pupunha está evoluindo muito no Brasil e apresenta um grande potencial agroindustrial, pelas características da planta como produtividade e grande área possível de plantio. O aproveitamento de todos os subprodutos da pupunha irá propiciar maior sustentabilidade do processo e, conseqüentemente, maiores ganhos para os produtores. Pode-se aproveitar o fruto, folha e até os resíduos.

Neste sentido, foram avaliadas metodologias de predição das propriedades do biodiesel sintetizado a partir da pupunha, de forma geral, muito semelhante às qualidades do biodiesel de palma. O biodiesel de pupunha pode apresentar viscosidade cinemática e alto Número de Cetano adequados aos padrões internacionais. O único parâmetro que deve ser investigado é em relação ao Ponto de Entupimento de Filtro a Frio que apresentou valores elevados. Esse fato poderia inviabilizar a utilização deste biocombustível na região Sul/Sudeste e é de especial preocupação devido ao estado de São Paulo ser o maior produtor nacional de pupunha. Uma alternativa para esse problema é a mistura com o biodiesel de outras fontes como a soja, por exemplo, ou até mesmo do biodiesel sintetizado a partir da amêndoa da pupunha, que apresenta alto índice de ácidos graxos insaturados e, desta forma, excelentes propriedades a frio.

## AGRADECIMENTOS

Os pesquisadores agradecem o financiamento do PRH24, CAPES e CNPq (310708/2017-6) pelo financiamento das pesquisas, ao pesquisador Jonas Colen Ladeia Torrens pelo auxílio no desenvolvimento deste trabalho e à UFPR pela infraestrutura.

## REFERÊNCIAS

ALLEN, C. A. W.; WATTS, K. C.; ACKMAN, R. G.; PEGG, M. J. Predicting the viscosity of biodiesel fuels from their fatty acid ester composition.

**Fuel**, v. 78, n. 11, p. 1319-1326, 1999.

ANP – AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. **Resolução ANP nº 50 de 23 de dezembro de 2013.**

Regulamenta as especificações do óleo diesel de uso rodoviário, contidas no Regulamento Técnico ANP nº 4/2013, e as obrigações quanto ao controle da qualidade a serem atendidas pelos diversos agentes econômicos que comercializam o produto em todo o território nacional. Brasília: ANP, 2013.

CERIANI, R.; GONÇALVES, C. B.; COUTINHO, J. A. P. Prediction of Viscosities of Fatty Compounds and Biodiesel by Group Contribution. **Energy Fuels**, v. 25, n. 8, p. 3712-3717, 2011. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0016-2361\(99\)00059-9](https://doi.org/10.1016/S0016-2361(99)00059-9).

CLEMENT, C. R. Pupunha: uma árvore domesticada. **Ciência Hoje**, v. 5, n. 29, p. 66-73, 1987.

CLEMENTS, L. D. Blending rules for formulating biodiesel fuel. *In*: LIQUID FUEL CONFERENCE, 3., 1996, Nashville. **Proceedings...** 1996, p. 44-53.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Pupunha para palmito impulsiona desenvolvimento econômico, social e ambiental no litoral paranaense**, 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/64761581/pupunha-para-palmito-impulsiona-desenvolvimento-economico-social-e-ambiental-no-litoral-paranaense>. Acesso em: out. 2021.

EN 14214. **Liquid petroleum products – Fatty Acid Methyl Esters (FAME) for use in diesel engine and heating applications. Requirements and test methods.** London: BSI Group, 2012.

FRANCO, T. S.; POTULSKI, D. C.; VIANA, L. C.; FORVILLE, E.; ANDRADE, A. S.; MUNIZ, G. I. B. Nanocellulose obtained from residues of peach palm extraction (*Bactris gasipaes*). **Carbohydrate Polymers**, v. 218, p. 8-19, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.04.035>.

GRABOSKI, M. S.; MCCORMICK, R. L. Combustion of fat and vegetable oil derived fuels in diesel engines. **Progress in Energy and Combustion Science**, v. 24, n. 2, p. 125-164, 1998. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0360-1285\(97\)00034-8](https://doi.org/10.1016/S0360-1285(97)00034-8).

KNOTHE, G. "Designer" biodiesel: optimizing fatty ester composition to improve fuel properties. **Energy Fuels**, v. 22, n. 2, p. 1358-1364, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1021/ef700639e>.

KNOTHE, G. Analyzing biodiesel: standards and other methods. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 83, n. 10, p. 823-833, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11746-006-5033-y>.

KNOTHE, G. Dependence of biodiesel fuel properties on the structure of fatty acid alkyl esters. **Fuel Processing Technology**, v. 86, n. 10, p. 1059-1070, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2004.11.002>.

KNOTHE, G. Some aspects of biodiesel oxidative stability. **Fuel Processing Technology**, v. 88, n. 7, p. 660-677, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2007.01.005>.

KNOTHE, G.; RAZON, L. F. Biodiesel fuels. **Progress in Energy and Combustion Science**, v. 58, p. 36-59, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2016.08.001>.

KRISHNASAMY, A.; BUKKARAPU, K. R. A comprehensive review of biodiesel property prediction models for combustion modeling studies. **Fuel**, v. 302, 121085, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.121085>.

NEVES, E. J. M.; SANTOS, A. F.; KALIL FILHO, A. N.; MARTINS, E. G. **Teores de nitrogênio, fósforo e potássio nas folhas de pupunha plantada no litoral do Estado do Paraná**. Comunicado Técnico 71. Colombo: Embrapa, 2002. Disponível em: [http://www.cnpf.embrapa.br/publica/comuntec/edicoes/com\\_tec71.pdf](http://www.cnpf.embrapa.br/publica/comuntec/edicoes/com_tec71.pdf).

PASTORE JUNIOR, F. *et al.* **Plantas da Amazônia para produção cosmética: uma abordagem química**. 60 espécies do extrativismo florestal não-madeireiro da Amazônia. Brasília: UnB, 2007. p. 30-33. Disponível em: [http://www.itto.int/files/itto\\_project\\_db\\_input/2202/Technical/2.2%20Plantas%20da%20Amaz%C3%B4nia%20para%20produ%C3%A7%C3%A3o%20cosm%C3%A9tica.pdf](http://www.itto.int/files/itto_project_db_input/2202/Technical/2.2%20Plantas%20da%20Amaz%C3%B4nia%20para%20produ%C3%A7%C3%A3o%20cosm%C3%A9tica.pdf). Acesso em: out. 2021.

PATEL, N. K.; SHAH, S. N. Biodiesel from plant oils. *In*: AHUJA, S. (ed.). **Food, energy, and water: the chemistry connection**. Elsevier, 2015. p. 277-307. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800211-7.00011-9>.

RAMOS, M. J.; FERNÁNDEZ, C. M.; CASAS, A.; RODRÍGUEZ, L.; PÉREZ, Á. Influence of fatty acid composition of raw materials on biodiesel properties. **Bioresource Technology**, v. 100, n. 1, p. 261-268, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.06.039>.

RESENDE, L. M.; FRANCA, A. S. Flours based on exotic fruits and their processing residues-features and potential applications to health and disease prevention. *In*: PREEDY, V. R.; WATSON, R. R. (ed.). **Flour and breads and their fortification in health and disease prevention**, 2. ed. Elsevier, 2019. p. 387-401, cap. 30. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814639-2.00030-7>.

RIBEIRO, C. C.; JORGE, L. H. A. **Beneficiamento de produtos da pupunha para exportação**. Manaus: SENAI/AM Escola SENAI Antônio Simões, 2013. Disponível em: <https://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/sbrt/Dossies/beneficiamento-de-produtos-da-pupunha-para-exportacao,4ae9fdbf304ca710VgnVCM100000d701210aRCRD>. Acesso em: out. 2021.

RIBEIRO, J. C.; PEREIRA, M. G.; GADIOLO, J. L.; ALMEIDA, J. C. R. Litterfall dynamics and nutrient cycling in an experimental plantation of peach palm (*Bactris gasipaes* Kunth). **Floresta e Ambiente**, v. 27, n. 2, e20180210, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/2179-8087.021018>.

RIBEIRO, L. S. O.; PEREIRA, M. L. A.; SANTOS, A. B.; PIRES, A. J. V.; CARVALHO, G. G. P.; SILVA, H. G. O.; PEREIRA, T. C. J. Nitrogen balance of goat kids fed diets containing peach palm meal. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 73, n. 2, p. 543-549, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/1678-4162-11656>.

RIBEIRO, S. A.; CONEGLIAN, R. C. C.; SILVA, B. C.; DECO, T. A.; PRUDÊNCIO, E. R.; DIAS, A. Shelf life extension of peach palm heart packed in different plastic packages. **Horticultura Brasileira**, v. 39, n. 1, p. 26-31, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/s0102-0536-20210104>.

SCHÖNBORN, A.; LADOMMATOS, N.; WILLIAMS, J.; ALLAN, R.; ROGERSON, J. The influence of molecular structure of fatty acid monoalkyl esters on diesel combustion. **Combustion and Flame**, v. 156, n. 7, p. 1396-1412, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.combustflame.2009.03.011>.

SILVA, F. A. M.; PRADO, J. E.; SILVA, R. B. Aproveitamento de resíduos da agroindústria do palmito no Vale do Ribeira. **Cadernos de Agroecologia**, v. 4, n. 1, p. 2595-2598, 2009. Disponível em: <http://revistas.aba-agroecologia.org.br/index.php/cad/article/view/4338>. Acesso em: out. 2021.

VIDAL, T. C. M. **Geração de biogás a partir de resíduos das agroindústrias de banana e palmito pupunha**. 2014. 61 fls. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2014. Disponível em: <http://tede.unioeste.br/handle/tede/784>. Acesso em: out. 2021.

YONEYA, F. **Restos de pupunha para bovinos**, Estado de São Paulo, 2010. Disponível em: <http://www.estadao.com.br/noticias/suplementos,restos-de-pupunha-para-bovinos,584058,0.htm>. Acesso em: out. 2021.

YUAN, W.; HANSEN, A. C.; ZHANG, Q. Predicting the physical properties of biodiesel for combustion modeling. **Transaction of the ASAE**, 2003; v. 46, n. 6, p. 1487-1493, 2003. DOI: <https://doi.org/10.13031/2013.15631>.