



UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS- UFAM  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA- ICET  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM FARMÁCIA



FELIPO GIOVANI FEITOSA RUSSO

PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO BIODIESEL PRODUZIDO A  
PARTIR DO ÓLEO DE BABAÇU

ITACOATIARA – AM

2019

ACADÊMICO:  
FELIPO GIOVANI FEITOSA RUSSO

PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO BIODIESEL PRODUZIDO A  
PARTIR DO ÓLEO DE BABAÇU

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
ao Curso de Farmácia da Universidade  
Federal do Amazonas, para obtenção do  
diploma de bacharel em farmácia.

Orientador: Valdomiro Martins Lacerda

ITACOATIARA – AM

## Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

R969p Russo, Felipo Giovani Feitosa  
Produção e caracterização do biodiesel produzido a partir do óleo de babaçu / Felipo Giovani Feitosa Russo. 2019  
30 f.: il.; 31 cm.

Orientador: Prof. Drº: Valdomiro Martins Lacerda  
TCC de Graduação (Farmácia) - Universidade Federal do Amazonas.

1. Babaçu. 2. Biodiesel. 3. Planejamento fatorial. 4. Amazônia . I. Lacerda, Prof. Drº: Valdomiro Martins II. Universidade Federal do Amazonas III. Título

2019

**TERMO DE APROVAÇÃO**  
**ACADÊMICO FULANO DE TAL**

Produção e caracterização do biodiesel produzido a partir do óleo de babaçu

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Farmácia da Universidade Federal do Amazonas, para obtenção do diploma de bacharel em farmácia.

Orientador: Valdomiro Martins Lacerda

Banca Examinadora:

---

Prof. Dr<sup>o</sup>: Valdomiro Martins Lacerda – UFAM

---

Prof. Dr<sup>o</sup>. Margarida Carmo de Souza – UFAM

---

Prof. Moysés Batista de Araújo Júnior – UFAM

ITACOATIARA – AM

2019

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho,

A Deus...

Meus Avós

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus avós, minha mãe, meu tio Garivaldo e meu irmão por não terem desistido de mim mesmo após minhas mudanças de cursos universitários quando eu mesmo já não acreditava em mim e não queria nada com a vida. Estas pessoas, incansavelmente, seguiram me apoiando e confiando em mim durante toda esta jornada.

Ao meu orientador Valdomiro Martins Lacerda por todo aprendizado, por todo conhecimento compartilhado e todo auxílio concedido durante a elaboração deste trabalho.

Aos professores Dr<sup>o</sup>. Anderson Cavalcante Guimarães, Dr<sup>o</sup>. Bruno Sampaio Sant'Anna, Dr<sup>o</sup>. Maxwell Adriano Abegg e Dr<sup>o</sup>. Paulo Maximiliano Correa por terem dividido todo seu conhecimento e por despertarem em mim o interesse pela busca de mais aprendizagem. Isso, no decorrer de minha formação, despertou em mim o interesse pela pesquisa e mostrou-me que há bom caminho que pode ser trilhado através da educação.

Também, não posso deixar de ser grato ao Sistema de Seleção Unificada (SISU) e a política pública do Governo de Luís Inácio Lula da Silva que permitiram ao povo acesso à Educação Superior nos rincões mais longínquos e descentralizados deste país. Por estas ações públicas é que me foi proporcionada a inserção na respeitável Universidade Federal do Amazonas (UFAM).

Ao Instituto de Ciências Exatas e Tecnologia (ICET) que foi minha casa durante mais de 5 anos.

## RESUMO

O babaçu, *Orbignya martiniana*, é uma espécie de palmáceae, com grande ocorrência na região norte e nordeste do Brasil. Esta palmeira nasce de forma espontânea em áreas que são destinadas a lavoura ou cultivo de pastagens, em uma tentativa da floresta se restabelecer no local. Os frutos possuem amêndoas, de onde é extraído o óleo que corresponde em média 60 a 72% de seu peso em gramas. Por este motivo possui um grande potencial energético para a produção do biodiesel, tornando-se uma alternativa de aproveitamento por comunidades tradicionais e agricultura familiar como fonte de renda extra com a venda. O óleo submetido a uma rota de transesterificação por via metílica apresenta um bom rendimento podendo chegar a 86,7%, possuindo boas características as quais satisfaz a legislação vigente para a produção e comercialização do biodiesel, conforme pode ser atestado pelo índice de acidez, ponto de fulgor e densidade.

**Palavras-chaves:** Babaçu, Biodiesel, Planejamento fatorial, Amazônia

## ABSTRACT

The babaçu, *Orbignya martiniana*, is a species of palmácea, with great occurrence in the north and northeast region of Brazil. This palm tree is born spontaneously in areas that are intended for tillage or pasture farming, in an attempt of the forest to restore itself in the place. The fruits have almonds, from which the oil is extracted, which corresponds, on average, to 60 to 72% of its weight in grams. For this reason it has a great energy potential for the production of biodiesel, becoming an alternative of utilization by traditional communities and family agriculture as a source of extra income with the sale. The oil undergoes a transesterification route by means of a metallic route, with a good yield of up to 86.7%, having good characteristics which satisfies the current legislation for the production and commercialization of biodiesel, as can be confirmed by the acid value, flash point and density.

**Keywords:** Babassu, Biodiesel, Factorial designs

## SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	I
LISTA DE SIGLAS .....	II
LISTA DE FIGURAS .....	III
1. Introdução .....	12
2. Objetivos .....	15
2.1. Objetivo Geral .....	15
2.2. Objetivo específico .....	15
3. Revisão da literatura .....	16
3.1 O Biodiesel .....	16
3.2. O babaçu.....	17
3.3. Gorduras e óleos vegetais.....	18
3.4. Composição química do óleo de babaçu .....	18
3.5. Propriedades físico-químicas do óleo do babaçu.....	19
3.6. Transesterificação .....	19
4. Materiais e métodos .....	20
4.1. Obtenção do óleo .....	21
4.2. Determinação de parâmetros de qualidade do óleo bruto .....	21
4.3. Obtenção do biodiesel .....	21
4.3.1. Reação de transesterificação .....	22
4.3.2. Separação do biodiesel do coproduto .....	23
4.3.3. Lavagem do biodiesel .....	23
4.3.4. Determinação de parâmetros de qualidade do biodiesel .....	23
5. Resultados e Discussão .....	24
6. Conclusão.....	26
7. Referências .....	27

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Composição química do óleo de babaçu .....	18
<b>Tabela 2.</b> Propriedades físico-químicas do óleo de babaçu .....	19
<b>Tabela 3.</b> Planejamento fatorial 24 utilizado para realizar as reações de transesterificação ....	22
<b>Tabela 4.</b> Especificações do biodiesel B100 .....	24
<b>Tabela 5.</b> Resultados do índice de acidez e rendimento do biodiesel .....	25
<b>Tabela 6.</b> Resultado das análises do ponto de fulgor e densidade para as amostras de biodiesel selecionadas .....	26

## LISTA DE SIGLAS

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANP: Agência Nacional de Petróleo Gás Natural e Biocombustíveis

ICET: Instituto de Ciências Exatas e Tecnologia

NBR: Normas Brasileiras Registradas

PIB: Produto Interno Bruto

PNPB: Programa Nacional de Produção e uso de Biodiesel

PROBIODIESEL: Programa Brasileiro de Desenvolvimento Tecnológico do Biodiesel

**LISTA DE FIGURAS**

<b>Figura 1.</b> Tamanho e composição médios de frutos do babaçu .....	17
<b>Figura 2.</b> Reação transesterificação .....	19

## 1. Introdução

O Brasil, desde o Brasil império, sempre buscou uma fonte de energia viável que pudesse suprir sua demanda interna, pois constantemente encontrava-se em uma zona de desconforto quanto a sua política petrolífera e energética em razão da escassez destes recursos ou ainda, em razão dos golpes internacionais pelo qual passou ao longo de sua história (DIAS, QUALINO, 1993; TEIXEIRA, DATYSGELD, 2016).

Politicamente, havia uma preocupação por fontes seguras de energia para sustentar o desenvolvimento do país tanto por parte de governos progressistas, quanto dos governos nacionalistas, dos quais se citam aqui o de Getúlio Vargas e o de Luiz Inácio Lula da Silva (BASTOS *et al*, 2006).

No governo de Vargas havia-se deixado de prospectar petróleo no Brasil quando, finalmente, no ano de 1939 ocorreu a descoberta do primeiro poço petrolífero do país, localizado na cidade de Lobato, estado da Bahia (BASTOS *et al*, 2006). Depois disso, já no governo Lula, os avanços nessa área seguiram quando se descobriu o Pré-Sal, reserva que se constituiu na maior descoberta (em nível mundial) de petróleo das últimas décadas (RICCOMINI, SANT' ANNA, L. G.; TASSINARI C. C. G., 2012, p.40-41).

Tal descoberta, avaliada em um montante de 70-100 bilhões de barris de petróleo, ocorreu somente no ano de 2007 depois de quase 70 anos da descoberta do primeiro poço da era Vargas (RICCOMINI, SANT' ANNA, TASSINARI, 2012; SCHUTTE, 2012). Essa escassez de recursos naturais petrolíferos, fez com que o estado viesse a idealizar dois grandes projetos o Pro-Álcool e PROBIODIESEL, de energia limpa, do qual um deles incidiu durante o período dos Governos dos Generais Militares, entre 1964 e 1985 (FICO, 2004).

Neste período houve uma grande preocupação com a mudança da matriz energética veicular, pois o mundo vinha passando por uma crise de elevação dos preços no mercado (FLEXOR, 2007). Com isso, o governo brasileiro tentando diminuir as importações de petróleo, criou um projeto de produção de biocombustível valendo-se da premissa de haver grandes quantidades de terras agricultáveis e/ou de sua vocação para agricultura que conspiravam a favor deste novo ideal na busca por matrizes energéticas (NITSCH, 1991).

Neste período, houve uma forte baixa nos preços do açúcar no mercado internacional o que deu origem ao programa para a diminuição da importação de combustíveis fósseis no Brasil

(NITSCH, 1991). Surge, então, o programa que viria a ser batizado de “Pró-Álcool” conhecido mais tarde como o Programa Nacional do Álcool, que fora idealizado para a substituição em larga escala da matriz energética dos carros, permitindo diminuir a dependência do país pela gasolina e, conseqüentemente, reduzindo a importação de combustíveis derivados do petróleo (ANDRADE *et al*, 2009).

O término deste programa deixou um legado que atualmente pode ser observado ao se abastecer uma frota de carros, estimados em 41,52%, que se movem com o uso de bicombustíveis, e que possuem o álcool como fonte de energia usual (DENATRAN, 2019).

Todavia, nessa vertente, ainda faltava um ramo dos biocombustíveis ocupado pelo biodiesel. Esse ramo, detentor de uma grande importância para a economia do país é composto pelo diesel e responsável por mover o dínamo econômico do Brasil através de sua queima nos caminhões e nas usinas térmicas acionadas no período de seca.

A produção dessa matriz sempre foi política de estado desde o período do Regime Militar, e isso levou o Governo Federal a buscar uma nova alternativa energética para baratear o acesso à energia, distribuir renda e gerar emprego no país. Desta forma, com uma ótica voltada à sua soberania energética, o Brasil vem fomentando ao longo dos anos a ideia da produção de uma energia limpa e sustentável para que no futuro seja possível possuir a vanguarda da tecnologia de produção de biocombustível.

Com o fomento da redução da importação do óleo diesel criou-se uma política de estado através do Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), que por sua vez fomentou a pesquisa visando obter a dianteira dos estudos de produção de biocombustíveis e levou ao lançamento do PROBIODIESEL em 2002 sob a Portaria nº. 702 do MCT.

Após isso, o Governo Federal cria o Programa Nacional de Produção de Biodiesel (PNPB) que surge em uma sessão solene no Palácio do Planalto em 4 de dezembro de 2004 com a presença do então presidente Lula, sendo este o marco legal para introdução de biocombustíveis derivados de óleos e gorduras na matriz energética brasileira conforme a Lei nº 11097 de 13 de Janeiro de 2005.

Neste programa fora prospectado metas comerciais para as misturas de diesel com biodiesel que inicialmente teve mescla de 2% de biodiesel ao diesel e que deu origem a uma mistura conhecida como B2. Essa mescla inicial foi desenvolvida com expectativas para o ano

de 2020 com uma participação do biodiesel maior, isto é, com um percentual em torno de 20% (B20) (RAMOS *et al*, 2003).

Tais metas visionárias são para além dos fatores econômicos, elas buscam também a redução do impacto ambiental, já que os combustíveis obtidos de fontes vegetais não geram tantos poluentes em sua queima quanto o combustível fóssil (FOCKE *et al*, 2012).

Nesse contexto, o Brasil tem realizado inúmeros estudos com diferentes oleaginosas para a produção de biodiesel. Dentre os quais se destaca aqui aquele envolvendo as sementes do Babaçu, *Orbignya martiniana*, uma espécie vegetal que pertence à família palmácea e com grande ocorrência na região norte e nordeste do Brasil (HOLANDA, 2004; OLIVEIRA, GERSO, TALAL, 2013).

A produção do biodiesel dessas sementes oriundas especificamente na Amazônia é foco de estudo nesse trabalho, pois o biocombustível dessa região possui um modelo econômico que favorece uma produção baseada em extrativismo e que garante seu dínamo de processo econômico.

Para tanto, dada às características favoráveis, o presente estudo vem tratar da produção e caracterização da qualidade do biodiesel da Amazônia a partir do óleo desta palmeira de acordo com os parâmetros da ANP da resolução n° 07/2008 através de rota metálica catalisada por hidróxido de sódio utilizando a reação de transesterificação de triglicérides (ANP, 2008; STACIWI *et al*, 2016; ZARSKA *et al*, 2014).

## **2. Objetivos**

### **2.1. Objetivo Geral**

Produzir biodiesel a partir do óleo das sementes de babaçu.

### **2.2. Objetivo específico**

- ✓ Extrair óleo das sementes de babaçu utilizando prensa hidráulica.
- ✓ Avaliar a qualidade do óleo das sementes de babaçu para a produção de biodiesel, como o índice de acidez.
- ✓ Obter biodiesel a partir do óleo das sementes de babaçu utilizando planejamento fatorial  $2^4$  com dois níveis para cada um dos fatores (catalisador, metanol, temperatura e tempo de reação).
- ✓ Determinar alguns parâmetros de qualidade do biodiesel, tais como índice de acidez, substâncias voláteis, massa específica, viscosidade e ponto de fulgor.
- ✓ Comparar os resultados obtidos com aqueles especificados pela ANP para o biodiesel puro (B100).

### 3. Revisão da literatura

#### 3.1 O Biodiesel

Os motores de combustão interna foram idealizados e projetados por Rudolf Diesel nos anos 1900. Inicialmente, eles foram criados para trabalhar com óleo vegetal, mas logo após o seu desenvolvimento e aperfeiçoamento estes motores foram convertidos para uso de combustíveis à base de petróleo por apresentarem naquele período um baixo custo, grande disponibilidade, e ainda, por não deixarem resíduo de sua queima no motor (Suarez et al, 2007). Como os óleos vegetais apresentavam um resíduo de sua queima, por esta limitação tecnológica, os motores que antes tinham sido projetados para queima de combustível limpo, foram adaptados para a queima de combustíveis fósseis a base do petróleo (SHAY, 1993).

Posteriormente o petróleo passou por um ciclo de altos e baixos em sua produção com inúmeros litígios pelo seu domínio, levando assim países não detentores de reservas petrolíferas a terem problemas em sua matriz energética (PARENTE, 2003).

A busca por novas rotas mais estáveis e baratas para a demanda energética nos anos 30 e 40. (MA; HANNA, 1999), faz surgir novos modelos de produção através de rotas sintéticas como o craqueamento e transesterificação dos ácidos graxos dos óleos vegetais, para obtenção de hidrocarbonetos semelhantes ao diesel de petróleo, (SUAREZ et al, 2007). Com isso o bio77diesel surge como uma alternativa para a substituição do óleo diesel.

Nessa perspectiva o Brasil cria um programa para fomentar a produção em larga escala de biodiesel, sendo este programa batizado de PNPB, o marco fomentador para introdução de biocombustíveis derivados de óleos e gorduras na matriz energética brasileira, pela Lei nº 11097 de 13 de janeiro de 2005 (ANP, 2005). Isto desencadeia uma série de medidas, as quais vão da origem a normas reguladoras e resoluções por parte das agências reguladoras do estado, sendo uma delas a resolução nº 07/2008 da ANP, a qual define como biodiesel o resultado da reação de transesterificação dos triglicerídeos dos óleos vegetais e gorduras animais.

### 3.2.O babaçu

O babaçu ou coco babaçu produzido por uma planta conhecida como nome genérico babaçuzeiro, nome dado as palmeiras oleaginosas pertencentes à família Palmae e integrantes dos gêneros *Orbignya e Attalea* (PORTO et al, 1954). Estas palmeiras possuem uma altura de 10-30 metros. Elas começam a produzir frutos entre 8 a 10 anos, chegando a sua plena produção aos 15 anos. Sua produtividade média é de 35 anos. Os babaçuzeiros são capazes de produzir por todo o ano, cada planta produz de 3 a 6 cachos de frutos, estes cachos possuem cerca de 300 a 500 cocos (SOLER et al, 2007).

O fruto do babaçuzeiro é um coco que tem aproximadamente 8 a 15 cm de comprimento, esse possui uma composição física dividida em três camadas, onde sua camada externa conhecida como epicarpo possui a característica mais fibrosa, já a sua camada intermediária chamada de mesocarpo possui uma característica fibrosa-amilácea e no centro do coco está presente o seu endocarpo o qual possui uma característica mais lenhosa, e nesse está inserido as amêndoas conforme descrita e ilustrada figura 1 (SOLER et al, 2007).

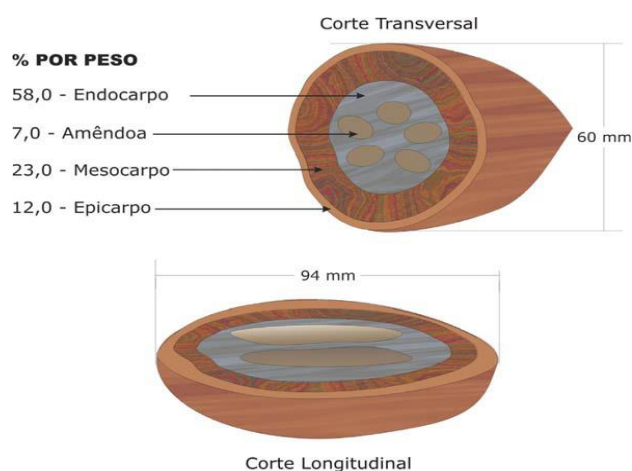


Figura 1. Tamanho e composição médios de frutos do babaçu.

Fonte: Soler et al, 2007.

As amêndoas do coco babaçu correspondem de 6 % a 8 % do peso total do fruto e estas possuem um peso médio de 3 g a 4 g. Elas contêm de 60% a 72 % de óleo em seu interior. Já as amêndoas secas ao ar podem conter uma umidade de 4%, sendo que este teor de umidade não interfere na qualidade do óleo obtido (SOLER et al., 2007).

### 3.3.Gorduras e óleos vegetais

Os óleos e gorduras vegetais são uma classe de substâncias composta por glicerol e ácidos graxos sendo conhecido comumente de triglicerídeos conforme descrita e ilustrada figura 2. Eles são obtidos através da extração de partes dos vegetais, como frutos, caroços, sementes ou amêndoas. Os triglicerídeos possuem uma característica hidrofílica e em temperatura ambiente podem possuir comportamento líquido e sólido, sendo responsável por esta característica a conformação de suas cadeias de ácidos graxos, com os óleos majoritariamente constituído por cadeias mono-insaturadas contribuindo assim para a sua fluidez, e as gorduras ricas em cadeias poli-saturadas por possuírem mais ligações duplas em suas cadeias seus ácidos graxos possuem maior rigidez em sua estrutura (BRUICE, 2006).

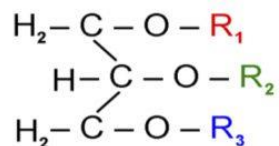


Figura 2. Tamanho e composição médios de frutos do babaçu.

#### 3.3.1 Composição química do óleo de babaçu

O óleo extraído do coco babaçu está formado por um pool de ácidos graxos saturados e insaturados segundo ANVISA, como demonstrado em tabela (tabela 1) (MACHADO et al, 2006). Dos ácidos presentes na composição do óleo o ácido láurico (C 12:0) é o majoritário, com um percentual variando de 40-50%, o qual possui uma certa facilidade para ser transformado em biodiesel, por possuir cadeias carboníferas curtas, dando um produto de boas características (LIMA et al.,2007).

Ácidos Graxos	Cadeia carbonífera	Composição (%)
Ácido Cáprico	C 8:0	2,6 – 7,3
Ácido Caprílico	C 10:0	1,2 – 7,6
Ácido Láurico	C 12:0	40 – 55
Ácido Mirístico	C 14:0	11 – 27
Ácido Palmítico	C 16:0	5,2 – 11

Ácido Esteárico	C 18:0	1,8 – 7,4
Ácido Oleico	C 18:1	9,0 – 2,0
Ácido Linoleico	C 18:2	1,4 – 6,6

Tabela 1. Composição química do óleo de babaçu.

Fonte: Machado et al, 2006.

### 3.4. Propriedades físico-químicas do óleo do babaçu

Conforme dados levantados pelo artigo de Costa et al., o óleo obtido do babaçu apresenta as seguintes características físico-químicas, conforme tabela 2.

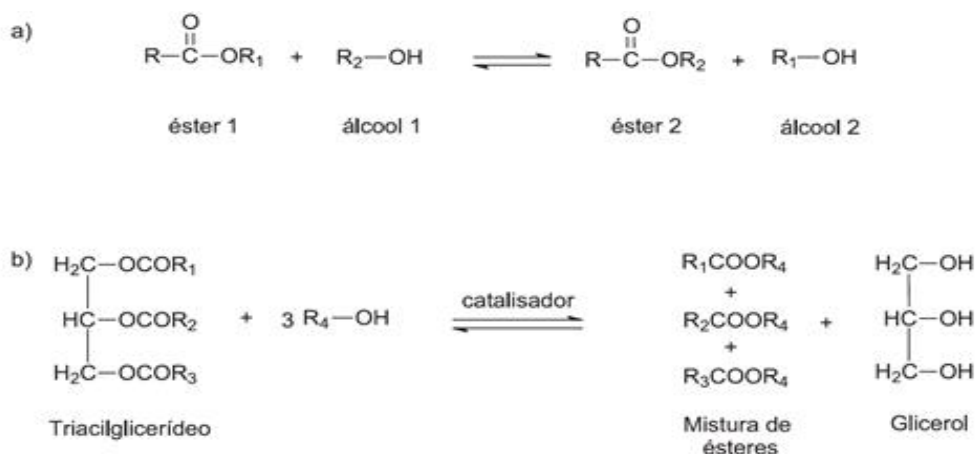
Propriedades	Limites
Índice de refração	1,448 – 1,451
Densidade relativa, 40°C / 25°C	0,911 – 0,914
Índice de Iodo (Wijs)	10 – 18
Matéria insaponificável, g / 100g	Máximo 1,2%
Índice de peróxido, meq/kg	Máximo 10
Acidez / g de ácido oleico / 100g	0,3% (óleo clarificado)
	5,0% (óleo bruto)

Tabela 2. Propriedades físico-químicas do óleo de babaçu.

Fonte: Costa et al, 2007.

### 3.5. Transesterificação

A transesterificação é o nome dado a uma reação química na qual um éster é transformado em outro éster através da troca de resíduo com um alcóxido, sendo uma das principais rotas de síntese usadas para obtenção do biodiesel. A transesterificação de óleos vegetais envolve a presença de um catalisador e álcoois de cadeias curtas juntamente com os triglicerídeos oriundos dos óleos vegetais, os quais irão reagir dando origem a monoésteres conforme ilustrado na figura 2 (GERIS et al, 2007).



- a) Equação geral para uma reação de transesterificação;  
 b) equação geral da transesterificação de um triacilglicerídeo

**Figura 2.** Reação transesterificação.

Fonte: Geris et al, 2007.

#### 4. Materiais e métodos

As análises desse trabalho foram realizadas em parte, no Laboratório de Pesquisas e Ensaio de Combustíveis (LAPEC) seguindo os métodos descritos na resolução da ANP, nº 07 de 2008 (ANP, 2008) que trata da análise de biocombustíveis produzidos em território nacional. Os parâmetros de qualidade do biodiesel analisados no LAPEC foram: ponto de fulgo e massa específica. As demais análises foram realizadas no Instituto de Ciências Exatas e Tecnologias no laboratório do Grupo de Automação e Instrumentação Analítica e Quimometria (GAIAQ).

A obtenção do óleo utilizado nessa pesquisa se deu através de frutos de babaçu oriundos de áreas de floresta degradadas da região Amazônica, pois a palmeira tende a nascer espontaneamente nestas áreas (STACHIW et al, 2016).

#### **4.1. Obtenção do óleo**

Para a obtenção do óleo de Babaçu fez-se a secagem dos cocos ao sol num período de 7 (sete) dias. Após isso, estes cocos foram quebrados com o auxílio de um martelo que facilitou a retirada das amêndoas presentes neles. Posteriormente, essas amêndoas foram submetidas a um processo de secagem em estufa em uma temperatura de 60°C, num período de 24 h.

Passado esse período as amêndoas passaram por análise gravimétrica, que se deu em intervalos de 4 em 4 horas a uma temperatura de 105 °C, num período de 32 h até que o peso dessas amêndoas permanecesse constante.

#### **4.2. Determinação de parâmetros de qualidade do óleo bruto**

Para que o óleo seja empregado na obtenção do biodiesel, este deve apresentar um índice de acidez máximo de 2,0 mg de KOH por 1,0 g do óleo. Sendo assim, antes de submetê-lo ao processo de transesterificação para obtenção do biodiesel, o mesmo foi analisado para verificar se atendia as recomendações para seu uso.

O índice de acidez fora realizado conforme o método EN 1404, recomendado pela ANP. O índice de acidez é dado pelo número de miligramas de hidróxido de potássio necessário para neutralizar os ácidos graxos livres em 1 g de amostra de óleo.

#### **4.3. Obtenção do biodiesel**

O óleo extraído na etapa 4.1 fora submetido a processos de transesterificação, também chamado de alcoólise, que é a reação de uma gordura ou óleo com um álcool na presença de um catalisador para formar ésteres e glicerol. Nessa etapa foi testada uma série de proporções de óleo, álcool e catalisador para verificar a melhor proporção e o melhor rendimento e qualidade do biodiesel obtido.

A produção de biodiesel de óleo de babaçu seguiu 3 etapas: reação de transesterificação, separação do biodiesel do coproduto e lavagem do biodiesel.

### 4.3.1. Reação de transesterificação

A obtenção do biodiesel do óleo de babaçu se deu pela combinação de 4 variáveis em 2 níveis cada, totalizando 16 ensaios, correspondendo ao planejamento fatorial  $2^4$ . As quatro variáveis estudadas foram: quantidade do catalisador (NaOH), quantidade do álcool (metanol), tempo de reação e temperatura. Os dois níveis de cada variável foram: catalisador (0,50 g, -; 0,75 g, +), metanol (15 mL, -; 20 mL, +), tempo de reação (60 min, -; 120 min, +) e temperatura (25 °C, -; 50 °C, +). O sinal negativo representa o nível inferior e o sinal positivo o nível superior da variável, tabela 3.

ENSAIOS	FATORES			
	Catalisador	Metanol	Tempo	Temperatura
1	-	-	-	-
2	+	-	-	-
3	-	+	-	-
4	+	+	-	-
5	-	-	+	-
6	+	-	+	-
7	-	+	+	-
8	+	+	+	-
9	-	-	-	+
10	+	-	-	+
11	-	+	-	+
12	+	+	-	+
13	-	-	+	+
14	+	-	+	+
15	-	+	+	+
16	+	+	+	+

Tabela 3. Planejamento fatorial  $2^4$  utilizado para realizar as reações de transesterificação.

#### **4.3.2. Separação do biodiesel do coproduto**

Para separar o biodiesel da glicerina a mistura foi transferida para um funil de separação e deixada em repouso por 24 h. Em seguida a glicerina, coproduto da reação de transesterificação, que se encontrava na fase inferior do funil de separação foi removida. O álcool e o hidróxido que não reagiu na reação de transesterificação foram removidos junto com a glicerina.

#### **4.3.3. Lavagem do biodiesel**

Após separação do biodiesel da glicerina, a fase superior manteve-se preservada para a realização da lavagem. A etapa da lavagem foi realizada com água destilada à 60°C até pH neutro ( $\text{pH} \approx 7,0$ ) da água de lavagem.

Quando o pH da água de lavagem aproximou-se de 7,0, o biodiesel foi submetido a secagem a uma temperatura de 110° C, por 3 h, para eliminar os traços de umidade e de álcool.

#### **4.3.4. Determinação de parâmetros de qualidade do biodiesel**

Para verificar a qualidade do biodiesel foi determinado o índice de acidez do mesmo para cada um dos 16 ensaios. Para fins de produção industrial foi determinado também o rendimento para todos os ensaios.

## 5. Resultados e Discussão

A produção de biodiesel no Brasil está regulamentada pela ANP. Esta agência estatal determina as características físico-químicas seguindo padrões internacionais e nacionais regulamentados pela NBR e ABNT, estas especificações técnicas estão publicadas na resolução da ANP nº 07/2008, a qual tem como exigência mínima do produto comercializado no Brasil os respectivos limites de qualidade, tabela 4.

CARACTERÍSTICA	UNIDADE	LIMITE
Aspecto	-	LII (1)
Massa específica a 20° C	kg/m <sup>3</sup>	850-900
Teor de Água, máx. (2)	mg/kg	500
Ponto de fulgor, mín. (3)	°C	100
Índice de acidez, máx.	mg KOH/g	0,5

Tabela 4. Especificações do biodiesel B100.

Fonte: ANP,2008.

Os 16 ensaios realizados com o óleo de babaçu para produção do biodiesel, utilizando o planejamento fatorial 2<sup>4</sup>, tabela 3, forneceram os seguintes valores para o índice de acidez e os rendimentos, tabela 5.

ENSAIOS	FATORES				IA (mg KOH/g óleo)	Rendimento (%)
	Catalisador	Metanol	Tempo	Temperatura		
1	-	-	-	-	0,480	79,6
2	+	-	-	-	0,520	39,8
3	-	+	-	-	0,681	86,7
4	+	+	-	-	0,562	81,4
5	-	-	+	-	0,480	85,8

<b>6</b>	+	-	+	-	0,173	29,2
<b>7</b>	-	+	+	-	0,500	85,8
<b>8</b>	+	+	+	-	0,568	80,5
<b>9</b>	-	-	-	+	0,530	80,5
<b>10</b>	+	-	-	+	*	*
<b>11</b>	-	+	-	+	0,557	78,7
<b>12</b>	+	+	-	+	0,157	78,7
<b>13</b>	-	-	+	+	0,162	84,9
<b>14</b>	+	-	+	+	0,725	53,9
<b>15</b>	-	+	+	+	0,451	77,8
<b>16</b>	+	+	+	+	0,554	69,9

**Tabela 5.** Resultados do índice de acidez e rendimento do biodiesel. (\* não foi possível produzir biodiesel para o ensaio 10)

O índice de acidez de um óleo vegetal é um importante indicador de sua qualidade e está diretamente ligado às formas de armazenamento, condições de extração e manuseio (MORETTO & FETT, 1998). Segundo Crabbe et al. (2001), elevados índices de acidez em óleos ocasionam a formação de sabão e dificultam a separação dos produtos finais da reação de transesterificação, resultando em baixo rendimento final do processo.

Para as análises do ponto de fulgor e densidade, considerou-se os ensaios que levaram ao índice de acidez igual ou inferior a 0,500 mg KOH/g e rendimento superior a 75 %, correspondendo aos ensaios 1, 5, 7, 12, 13 e 15 da tabela 5, totalizando 6 amostras. As 6 amostras selecionadas foram analisadas no LAPEC forneceram os resultados para o ponto de fulgor e densidade apresentado na tabela 6.

<b>ENSAIOS</b>	<b>FATORES</b>				<b>Ponto de Fulgor (° C)</b>	<b>Densidade (mm<sup>2</sup>/s)</b>
	<b>Catalisador</b>	<b>Metanol</b>	<b>Tempo</b>	<b>Temperatura</b>		
<b>1</b>	-	-	-	-	101,5	3,3
<b>5</b>	-	-	+	-	97,0	2,9

7	-	+	+	-	107,5	3,0
12	+	+	-	+	94,5	3,0
13	-	-	+	+	97,5	2,9
15	-	+	+	+	95,5	2,9

**Tabela 6.** Resultado das análises do ponto de fulgor e densidade para as amostras de biodiesel selecionadas.

Observou-se que o ensaio 6 apesar de apresentar um índice de acidez desejável para biodiesel, o rendimento ficou muito baixo, não sendo indicado do ponto de vista industrial, tabela 5.

Segundo a Resolução ANP N° 45 de 25/08/2014 (ANP, 2014), o limite máximo para o ponto de fulgor é de 100 °C e a densidade cinemática deve estar entre 3,0 e 6,0 mm<sup>2</sup>/s. Portanto, considerando os desvios padrão, dentre as amostras analisadas, o ensaio 1 é o mais recomendado para fins industrial, tendo em vista que requer menor quantidade do catalisador, do metanol, além do menor tempo de reação e temperatura ambiente (25 °C). O ensaio 5 requer maior tempo de reação.

## 6. Conclusão

O presente trabalho fez uso do planejamento fatorial 2<sup>4</sup> ao combinar 4 variáveis (catalisar, metanol, tempo de reação e temperatura) em 2 diferentes níveis, totalizando 16 ensaios, para verificar dentre eles aquele que permitia produzir biodiesel com qualidade e viável industrialmente. Desta combinação verificou-se que do ponto de vista industrial o ensaio 1 (catalisar = 0,50 g, metanol = 15,0 mL, tempo de reação = 60 min e temperatura ambiente) foi o que forneceu melhor resultado, por consumir menor quantidade de catalisador (NaOH), menor quantidade de álcool (metanol), menor tempo de reação e temperatura ambiente. Além de atender as especificações da ANP para o biodiesel (Resolução ANP N° 45 de 25/08/2014).

## 7. Referências

- ANDRADE, E. T. ; CARVALHO, S. R. G.; SOUZA, L. F.; Programa do Proálcool e o etanol no Brasil, *Engevista*, V. 11, n. 2. p. 127-136, dez. 2009.
- ANP Decreto nº 5.448 de 20.5.2005, acessado no portal [http://www.biodieselbrasil.com.br/legislacao/Decreto\\_5.448\\_20mai2005.pdf](http://www.biodieselbrasil.com.br/legislacao/Decreto_5.448_20mai2005.pdf), no dia 02/04/2019.
- BASTOS, P. P. Z.; *Economia, Selecta, Brasília: A Construção Nacional-Desenvolvimentismo de Getúlio Vargas e a Dinâmica de Interação entre Estado e Mercado nos Setores de Base*, v.7, n.4, p.239-275, 2006.
- BRUICE, P. Y. *Química Orgânica*. 4 ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, V. 2, 2006.
- COSTA, C. L., FRANÇA, E. T. R., SANTOS, D. S., COSTA M.C.P., BARBOSA, M. C. L., NASCIMENTO, M. D. S. B., *Caracterização físico-química de óleos fixos artesanais de coco babaçu (Orbignya phalerata) de regiões ecológicas do estado do maranhão, Brasil*. *Pesquisa em Foco*, São Luís, vol. 20, n. 1, p. 27-38. 2015.
- CRABBE, E.; NOLASCO-HIPOLITO, C. N.; KOBAYASHI, G.; SONOMOTO, K.; ISHIZAKI, A. Biodiesel production from crude palm oil and evaluation of butanol extraction and fuel properties. *Process Biochemistry*, v. 37, p. 65-71, 2001.
- DETRAN, Planilha de carros licenciados no Brasil, Retirado do site do Denatran no dia 27 de abril de 2019 as 15:38 <http://www.denatran.gov.br/estatistica/639-frota-2019>.
- DIAS, J. L. M.; QUALINO, M. A.; *A questão do petróleo no Brasil: uma história da Petrobras*. Rio de Janeiro, 1993. 1-211 p.
- FICO, C.; *Versões e controvérsias sobre 1964 e a ditadura militar*, *Revista Brasileira de História*. São Paulo, v. 24, nº 47, p.29-60, 2004.
- FLEXOR, G.; *A conturbada trajetória do álcool combustível no Brasil e seus desafios atuais*; *Artigos mensais do OPPA*. nº.1, Rio de Janeiro p.1-4, 2007.

- FOCKE W.W., WESTHUIZEN I.V., GROBLER A.B.L., NSHOANE K.T., REDDY J.K., LUYT A.S. The effect of synthetic antioxidants on the oxidative stability of biodiesel, *Fuel* 94, 2012, p. 227-233.
- GERIS, R., DOS SANTOS, N. A. C., AMARAL, B. A., MAIA, I. S., CASTRO, V. D., CARVALHO, J. R. M., Biodiesel de soja – Reação de transesterificação para aulas práticas de química orgânica, *Quim. Nova*, Vol. 30, No. 5, 1369-1373, 2007.
- HOLANDA A., Biodiesel e inclusão social. Brasília, Câmara dos Deputados, Coordenação de Publicações, 2004, Pg 13-17.
- LIMA, J. R. O; SILVA, R. B.; SILVA, C. M., Biodiesel de babaçu (*Orbignya sp.*) obtido por via etanólica. *Química Nova*, 30: 600, 2007.
- MA, F.; HANNA, A.M., Biodiesel production: a review. *Bioresource Technology* 70, 1-15, 1999.
- MACHADO, G.C., CHAVES, J. B. P., ANTONIASSI, R., composição em ácidos graxos física e química de óleo hidrogenados de coco babaçu, *Ceres*, 53:463-470, 2006.
- MORETTO, E.; FETT, R. Tecnologia de Óleos e Gorduras Vegetais, na indústria de alimentos, Livraria Varela: São Paulo, 1998.
- NITSCH, M.; O programa de biocombustível proalcool no contexto da estratégia energética brasileira; *Revista de economia Politic*, vol.11, p.123-138, n°.2, 1991.
- OLIVEIRA A. I. T., GERSO A. P., TALAL S. M., Babaçu (*Orbignya sp.*): Caracterização física de frutos e utilização de solventes orgânicos para extração de óleo, *BBR – Biochemistry and Biotechnology Reports - ISSN 2316-5200 Número Especial v. 2, n. 3, 2013, p. 126-129.*
- PARENTE, E. J. S., Biodiesel: Uma aventura tecnológica num país engraçado. Fortaleza, CE. Tecbio, 2003.
- PORTO, CMPOS P., MILANEZ, F. R., BARROSO, G. M., *Arquivos do Jardim botânico do Rio de Janeiro*, V. 12, Brasil, 1954.
- RAMOS, L. P.; KUCEK, K. T.; DOMINGOS, A. K.; WILHELM, H. M.; um projeto de sustentabilidade econômica e sócio-ambiental para o Brasil. *Biociência: Ciência e Desenvolvimento*, Brasília, v.31, p.28-37, 2003.

- RICCOMINI, C.; SANT'ANNA, L. G.; TASSINARI C. C. G; Pré-sal: geologia e exploração; Revista USP, São Paulo, n. 95, 33-42, 2012.
- SCHUTTE, G. R.; Panorama do pré-sal: Desafios e oportunidades, Texto para Discussão, n.1791, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), Brasília, p. 1-79, 2012.
- SHAY, E.G., Diesel Fuel from Vegetable Oils: Status and Opportunities. Biomass Bioenergy, 4, 227-242, 1993.
- SOLER, M. P.; MUTO, E. F.; VITALI, A. A., Tecnologia de quebra do coco babaçu (*Orbignya speciosa*). Ciênc. Tecnol. Aliment., Campinas, 27: 717,2007.
- STACHIW R., RIBEIRO B.S., JARDIM G.A.M., Possimoser D., Alves C.W., Cavalheiro S.C.W. 2016 Potencial de produção de biodiesel com espécies oleaginosas nativas de Rondônia, Brasil, ACTA AMAZONICA VOL. 46, 1, 2016, p. 81-90.
- SUAREZ P. A. Z., MENEGHETTI S. M. P., MENEGHETTI M. R., WOLF C. R., transesterificação de triglicerídeos em combustíveis, materiais poliméricos e insumos químicos: Algumas aplicações da catalise oleoquímica, Quim. Nova, Vol. 30, No. 3, 667-676, 2007.
- TEIXEIRA, C. G. P.; DATYSGELD, M. W; Estudos Internacionais, Belo Horizonte, ISSN 2317-773X, v.4 n.1, nov. 2016, p. 71-87.
- ZARSKA M., BARTOSZEK K., DZIDA M., High pressure physicochemical properties of biodiesel components, Fuel 125, 2014, p.144-151.