



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE PAU DOS FERROS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS
CURSO DE BACHARELADO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA

LÍSIA VIRGÍNIA PINTO DE MEDEIROS

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E PRODUÇÃO DE BIODIESEL DO ÓLEO
DE COCO OBTIDO DE MATERIAL VEGETAL DA REGIÃO DO SEMIÁRIDO
PORTIGUAR**

PAU DOS FERROS

Fevereiro de 2019

LÍSIA VIRGÍNIA PINTO DE MEDEIROS

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E PRODUÇÃO DE BIODIESEL DO ÓLEO
DE COCO OBTIDO DE MATERIAL VEGETAL DA REGIÃO DO SEMIÁRIDO
PORTIGUAR**

Monografia apresentado à Universidade
Federal Rural do Semi-Árido como
requisito para obtenção do título de
Bacharela em Ciência e Tecnologia.

Orientadora: Shirlene Kelly Santos Carmo,
Prof. Dra.

PAU DOS FERROS

Fevereiro de 2019

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

M488c Medeiros, Lísia Virgínia Pinto de.
Caracterização Físico-Química e Produção de
Biodiesel do Óleo de Coco Obtido de Material
Vegetal da Região do Semiárido Potiguar / Lísia
Virgínia Pinto de Medeiros. - 2019.
50 f. : il.

Orientadora: Shirlene Kelly Santos Carmo.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Ciência e
Tecnologia, 2019.

1. Biodiesel. 2. Transesterificação. 3. Óleo de
coco. 4. Catálise Ácida. I. Carmo, Shirlene Kelly
Santos, orient. II. Título.

LÍSIA VIRGÍNIA PINTO DE MEDEIROS

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E PRODUÇÃO DE BIODIESEL DO ÓLEO
DE COCO OBTIDO DE MATERIAL VEGETAL DA REGIÃO DO SEMIÁRIDO
PORTIGUAR**

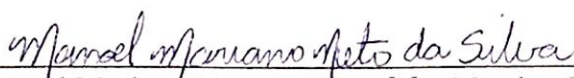
Monografia apresentada à Universidade
Federal Rural do Semi-Árido como
requisito para obtenção do título de
Bacharela em Ciência e Tecnologia.

Defendida em: 22 / 02 / 2019.

BANCA EXAMINADORA



Shirlene Kelly Santos Carmo, Dra (Presidente)



Manoel Mariano Neto da Silva, Ms (Membro Examinador)



Ricardo Paulo Fonseca Melo, Dr (Membro Examinador)

AGRADECIMENTOS

Deixo aqui meus sinceros agradecimentos, primeiramente, à Deus, pois sem Ele eu não estaria aqui, cujo tem me sustentado, me abençoado e me dado força para continuar.

Aos meus pais, Vanuzia e Lourival, por todos ensinamentos, amor, dedicação, carinho e incentivo.

Aos meus irmãos por todo apoio, amor, carinho e ajuda que me deram.

Ao meu namorado, Júlio Araújo, por todo carinho, companheirismo, ajuda e que tem sido meu braço direito e grande apoio no decorrer desses anos de estudos.

Aos técnicos de laboratório Paula Cavalcante, Felipe Guimarães, Marcelo Nascimento e Daianni Ariani que me foram de imensa ajuda nas pesquisas laboratoriais.

Ao meu amigo, Manoel Mariano, pela significativa ajuda no desenvolvimento desse trabalho e por todo o companheirismo no decorrer do curso.

Às minhas companheiras de apartamento, Karla, Eduarda, Paloma, Bianca e Isabela, por todo incentivo, conversas e amizade.

Aos colegas de grupo de pesquisa (GPAQ) por todo tempo e conversas no laboratório.

À minha orientadora, prof.^a Dr.^a Shirlene Kelly, pelas orientações, paciência e que foi de fundamental importância no desenvolvimento de minha vida científica, sempre me ajudando e incentivando a ter compromisso com a pesquisa.

Por fim, a todos aqueles que de algum modo contribuíram com a realização deste trabalho e o desenvolvimento de minha vida acadêmica.

É melhor lançar-se em busca de conquistas grandiosas, mesmo expondo-se ao fracasso, do que alinhar-se com os pobres de espírito, que nem gozam muito nem sofrem muito, porque vive numa penumbra cinzenta onde não conhecem nem vitória, nem derrota.

Theodore Roosevelt

RESUMO

Em consequência da inevitabilidade de diversificar a matriz energética, encontra-se, atualmente, muitos estudos voltados à produção energética a partir de fontes alternativas. Neste sentido, este trabalho visou apresentar resultados do estudo da produção de biodiesel a partir dos óleos de coco extravirgem e bruto com restolhos (resultante da decantação do óleo extravirgem, cujo não apresenta aplicação no ramo alimentício, tendo como utilização, em sua grande parte, para a produção de sabão). Estes foram submetidos a caracterização em relação às suas propriedades físico-químicas e testes para encontrar melhor razão molar óleo:álcool que fornecesse máxima conversão dos triglicerídeos em ésteres na produção dos biodieseis. Assim, a variável que ofereceu maior efeito foi a transesterificação direta por via metílica e catálise ácida utilizando ácido sulfúrico (H_2SO_4) como o catalizador para ambos os óleos. Os biodieseis produzidos foram caracterizados em relação às suas propriedades físico-químicas e alguns dados se apresentaram bastante satisfatórios, quando comparados com os valores estabelecidos pela RESOLUÇÃO ANP Nº 45, DE 25.8.2014, que rege sobre as especificações do biodiesel. Dentre os estudos realizados percebeu-se que o biodiesel derivado do óleo bruto com restolhos, produzido pela rota metílica com catálise ácida e de razão molar de 1:3 (óleo:álcool) apresentou todas as especificações em conformidade com os valores de referência da ANP, trazendo resultados um tanto satisfatórios.

Palavras-chave: Biodiesel; Transesterificação; Óleo de coco; Catálise Ácida.

ABSTRACT

Due to the increased needs for to diversify energy matrix, is found, currently, many studies aimed at energy production from alternative sources. Seen in these terms, this work intended to present results of a study from production of biodiesel of coconut oils extra virgin e crude with waste (resulting from the decanting of coconut oil extra virgin, whose do not have an food sector application, the most part, for use in soap production). These were subjected to characterization in relation to their physicochemical properties and have been testing find the best molar ratio oil:alcohol that provided maximum conversion of triglycerides in esters in the production of biodiesel. Thus, the variable provided the greater effect was the direct transesterification from methyl route and acid catalysis using sulfuric acid (H_2SO_4) as a catalyst for both oils. The produced biodiesel were subjected to characterization in relation to their physicochemical properties and some data were very satisfactory, when compared with parameters established by ANP RESOLUTION No. 45 of August 25, 2014, which governs the biodiesel specifications. Among the studies performed revealed that the biodiesel derived from coconut oil crude with waste, produced by methyl route with acid catalysis and molar ratio of 1:3 (oil:alcohol) has presented all specifications according to the ANP reference values, showing satisfactory results.

Keywords: Biodiesel; Transesterification; Coconut Oil; Acid Catalysis.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Composição graxa do óleo de coco	17
Figura 2 – Reação de Craqueamento de Triglicerídeos	20
Figura 3 – Reação geral de transesterificação	20
Figura 4 – Etapas da reação de transesterificação	21
Figura 5 – Óleos de coco extravirgem e bruto, respectivamente	26
Figura 6 – Aparato experimental da produção de biodiesel	27
Figura 7 - Aspecto visual do produto obtido sob temperatura de 75°C, rota etílica, razão molar de 1:6 e 1% de NaOH	36
Figura 8 – Biodieseis derivados dos óleos extravirgem (esquerda) e bruto com restolhos (direita)	38
Figura 9 – Dados dos rendimentos dos biodieseis produzidos pela rota metílica	39
Figura 10 – Teste de temperatura de combustão	43

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Informações nutricionais do óleo de coco	18
Tabela 2 – Valores dos Parâmetros A e B para viscosímetros	31
Tabela 3 – Resultados da caracterização físico-química dos óleos	35
Tabela 4 – Resultados dos testes preliminares na conversão dos óleos em biodieseis	37
Tabela 5 – Resultados da caracterização físico-química do biodiesel produzido com o óleo com impurezas pela rota metílica	40
Tabela 6 – Resultados da caracterização físico-química do biodiesel produzido com o óleo extravirgem pela rota metílica	41

ÍNDICE DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AGL – Ácidos Graxos Livres.

ANP – Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis.

AOCS – American Oil Chemists Society.

Art. – Artigo.

ASTM – American Society of Testing and materials.

B10 – 10% de biodiesel no diesel.

B100 – Biodiesel.

cSt – Centistokes.

g – Gramas.

h – Horas.

ha – Hectares.

HCl – Ácido Clorídrico.

H₂SO₄ – Ácido Sulfúrico.

IA – Índice de Acidez.

II – Índice de iodo.

IP – Índice de peróxido.

IS – Índice de Saponificação.

I₂ – Iodo.

Kg – Quilograma.

KOH – Hidróxido de potássio.

m – Massa.

meq – miliequivalente.

mg – Miligrama.

mL – Mililitro.

m^3 – Metro cúbico.

mm^2 – milímetro quadrático.

NaOH – Hidróxido de sódio.

Prop. – Proporção.

R_1 – Radical 1.

R_2 – Radical 2.

R_3 – Radical 3.

R_4 – Radical 4.

s – Segundo.

TC% – Teor de cinzas.

UMV% – Porcentagem de Umidade e Material volátil.

ν – Viscosidade Cinemática.

Δt – Variação de tempo.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. OBJETIVOS	15
2.1.OBJETIVO GERAL	15
2.2.OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
3.1.MATÉRIA-PRIMA	16
3.1.1. Composição Química	17
3.2.BIODIESEL	18
3.2.1. Processos de produção de biodiesel.....	19
3.3.ESPECIFICAÇÕES DO BIODIESEL	22
3.3.1. Índice de acidez.....	22
3.3.2. Índice de iodo	22
3.3.3. Massa Específica e Viscosidade Cinemática a 40°C.....	23
3.3.4. Teor de ácidos graxos livres (AGL)	23
3.3.5. Índice de saponificação	24
3.3.6. Umidade e material volátil	24
3.3.7. Teor de cinzas	24
3.3.8. Índice de peróxido	24
3.3.9. Tensão superficial.....	25
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	26
4.1.MATÉRIA-PRIMA	26
4.1.1. Origem e processo de extração do óleo	26
4.1.2. Caracterização da matéria-prima.....	27
4.2.APARATO EXPERIMENTAL E PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL	27
4.2.1. Aparato experimental.....	27
4.2.2. Procedimento experimental	28
4.3.PLANEJAMENTO FATORIAL.....	29
4.4.ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS.....	29
4.4.1. Índice de acidez.....	29
4.4.2. Índice de iodo	30
4.4.3. Massa específica.....	30
4.4.4. Viscosidade cinemática a 40°C	31
4.4.5. Teor de ácidos graxos livres (AGL)	31
4.4.6. Índice de saponificação	32
4.4.7. Umidade e material volátil	33

4.4.8. Teor de cinzas	33
4.4.9. Índice de peróxido	33
4.4.10. Tensão superficial.....	34
4.4.11. Teste de combustão	34
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
5.1. Caracterização das Matérias-Primas	35
5.2. Testes Preliminares	36
5.3. Caracterização físico-química dos biodieseis	39
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	44
7. REFERÊNCIAS	45

1. INTRODUÇÃO

Devido à crescente necessidade de diversificar a matriz energética, observa-se que estudos voltados à produção de biodiesel a partir de fontes alternativas estão se popularizando. Tal panorama vem se evidenciando, segundo Santos (2010), por três motivos: o meio ambiente, energia e a economia global. Embora essas áreas não aparentem ter relação uma com a outra, elas estão totalmente interligadas, sendo essas duas primeiras mais presentes na percepção do cidadão devido os evidentes problemas ambientais desencadeados pela queima de combustíveis fósseis. Quanto à economia, só o tempo dirá quais os efeitos permanentes que esta crise no sistema financeiro internacional terá sobre o setor energético. (VICHI; MMANSOR, 2009)

Segundo Knothe, Gerpen e Krahal, (2010) as vantagens do uso do óleo vegetal para produção de biodiesel como combustível em relação ao diesel devem-se à sua biodegradabilidade, redução da emissão de gases poluentes (favorecendo uma maior reciclagem do carbono pelas plantas por meio do processo de fotossíntese), maior ponto de fulgor (permitindo maior segurança para manuseio e armazenamento), excelente lubricidade e ausência de enxofre (permitindo a redução de chuva ácida, de compostos aromáticos e de gases poluentes).

Conforme Felix (2015) o uso do biodiesel como combustível propicia expectativas alvissareiras no mundo inteiro e no Brasil, que se mostra sobressalente em relação como sendo um dos países de alta produção de grãos, vastas áreas agricultáveis e de mão-de-obra disponível. Além disso, possui muitas espécies de oleaginosas domesticadas e nativas com grande possibilidade para exploração de óleos vegetais por regiões geográficas diferentes (KNOTHE et al., 2006).

Nesse sentido a região nordeste se apresenta como alto potencial na produção de biodiesel a partir de óleo de coco, tendo em vista que, conforme Silva e Barros (2017), a cultura de coco verde e seco ocupa lugar de destaque na economia da região. Tendo como principais produtores os Estados da Bahia, Ceará, Rio Grande do Norte e Sergipe, principalmente em suas áreas litorâneas.

Nessa perspectiva, o vigente trabalho, de caráter experimental consoante com Severino (2007), tem a finalidade de produzir biodiesel a partir do óleo de coco, tendo em vista que, conforme Araújo (2008), o Estado do Rio Grande do Norte é o terceiro maior produtor de coco do país.

Analizando tal cenário, uma pesquisa foi desenvolvida, cuja responsabilidade e consciência ambiental se fazem presentes para estudo e comparação das características dos biodieseis obtidos dos óleos de coco extravirgem e o bruto com restolhos (o qual tem finalidade apenas para produção de sabão), o qual não apresenta competitividade com ramo alimentício e apresenta baixo custo de produção.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Analisar a viabilidade dos biodieseis obtidos a partir dos óleos de coco bruto com restolhos e extravirgem.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar a caracterização físico-química dos óleos de coco, extravirgem e bruto com restolhos;
- Encontrar as proporções adequadas dos álcoois para a efetiva conversão dos triglicerídeos em biodiesel;
- Caracterizar os biodieseis a partir dos parâmetros estabelecidos pela ANP.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1. MATÉRIA-PRIMA

O coqueiro é uma cultura tropical, largamente distribuída na Ásia, África, América Latina e região do Pacífico (SIQUEIRA; ARAGÃO; TUPINAMBÁ, 2002). No Brasil, este plantio teve fácil adaptação aos solos arenosos da costa, o que proporcionou o advento de uma classe trabalhadora exploradora de diversas aplicações comerciais.

No Nordeste do Brasil, a produção de coco ocupa um lugar de destaque na economia da região. Como principais produtores destacam-se os Estados da Bahia, Sergipe, Ceará e Rio Grande do Norte, principalmente nas áreas dos tabuleiros costeiros e nas baixas litorâneas. (SILVA; BARROS, 2017, p. 2)

Considerando-se uma densidade de plantio de 160 plantas/ha, e uma produção de 100 frutos/planta/ano, segundo Araújo, Carvalho e Souza (2009), se utilizados coqueiros híbridos interparietais arranjados em triângulos equiláteros com espaçamento de 8,5 m de cada lado, poderia se obter uma produção de 16.000 frutos/ha, que corresponderia a 2.553 kg de copra (albúmen desidratado a 6% de umidade). Desta produção, poderiam ser obtidos aproximadamente 1.481 kg de óleo/ha, sendo superada apenas pela cultura do dendê que pode produzir até 5.000 kg de óleo /ha (FONTES, 2011).

Estas informações, segundo Cuenca et al., (2016), podem ser tomadas como referência para a produção de óleo de coco, entretanto, estes valores podem variar dependendo do tipo de coco utilizado, seja ele gigante, anão ou híbrido, o sistema empregado no plantio, tempo de vida dos frutos colhidos, além de outros parâmetros como condições do solo e clima do ambiente.

A inclusão da cultura do coqueiro entre as oleaginosas com potencial para produção de biodiesel no Brasil constitui-se, portanto numa alternativa a ser analisada pelos órgãos de desenvolvimento, reforçando assim a necessidade de implementação de um programa de revitalização da cultura, sob pena de não ser atendido o significativo aumento da demanda de matéria-prima. (ARAÚJO, 2008, p. 17)

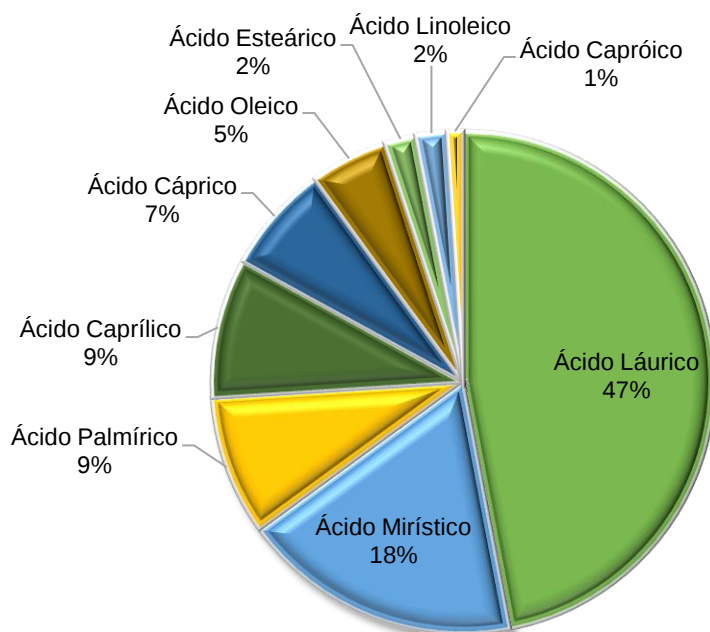
Além da cultura do coco, é possível cultivar outras oleaginosas e/ou alimentícias, uma vez que o coqueiro se adapta facilmente a consorciação de cultivo,

sem a necessidade, segundo Cuenca et al., (2016), portanto de ocupação de novas áreas de plantio.

3.1.1. Composição Química

O coco é composto, essencialmente, por 47% de água, 34% de gordura, 11% de fibras, 4% de proteína e 4% de amido e açúcar. (RIBEIRO, 2017) Já a composição do seu óleo, constituída por diversos ácidos graxos, está disposta na Figura 1.

Figura 1 – Composição graxa do óleo de coco*.



Fonte: Adaptado de RIBEIRO, 2017.

* Estes valores de porcentagem são utilizados apenas como referência, pois estes podem variar conforme alguns parâmetros, como o tipo de coco.

Os ácidos láuricos possuem cadeias carbônicas curtas que permitem uma interação mais efetiva com agentes transesterificantes, de modo que pode obter-se um produto com excelentes características físico-químicas para síntese de biodiesel (LIMA et al., 2007).

Analisando a Figura 1, em conformidade com Silva (2013), o óleo de coco é composto por cerca de 85% de ácidos graxos saturados, isto o confere elevada resistência oxidativa, contribuindo para utilização deste óleo como matéria-prima na produção de biodiesel.

Em termos nutricionais, tem-se como referência os valores dispostos na Tabela

1.

Tabela 1 – Informações nutricionais do óleo de coco.

Porção de 15 mL (1 colher de sopa)		
Quantidade por porção		%VD*
Valor energético	125 kcal = 523 kJ	7
Carboidratos	0 g	0
Proteínas	0 g	0
Gorduras totais	14 g	26
Gorduras saturadas	13 g	59
Gorduras trans	0 g	0
Gorduras monoinsaturadas	0,7 g	**
Gorduras poli-insaturadas	0,2 g	**
Colesterol	0 mg	0
Fibra alimentar	0 g	0
Sódio	0 mg	0

Fonte: COPRA INDÚSTRIA ALIMENTÍCIA LTDA, 2019.

*% Valores diários de referência com base em uma dieta de 2.000 kcal ou 8.400 kJ. Seus valores diários podem ser maiores ou menores dependendo de suas necessidades energéticas.

**Valores diários de referência não estabelecidos.

3.2. BIODIESEL

A Lei nº 11.097 de 13 de janeiro de 2005 define o biodiesel como:

“Biocombustível derivado de biomassa renovável para uso em motores a combustão interna com ignição por compressão ou, conforme regulamento, para geração de outro tipo de energia, que possa substituir parcial ou totalmente combustíveis de origem fóssil.” (BRASIL, Lei 11.097/2005, Art 4º, Inciso XXV)

Em outras palavras o biodiesel pode ser definido como um combustível alternativo constituído, segundo Delatorre (2011), por ésteres de ácidos graxos e glicerina, proveniente de fontes renováveis como óleos vegetais.

O método para sua produção, consoante com Santos (2010), consiste em reagir o óleo (triglicerídeo) com um álcool de cadeia curta (os mais utilizados são o

etílico e o metílico), na presença de um catalisador (ácido ou básico), ocasionando a produção de uma mistura de ésteres alquílicos (cognominado de biodiesel) e glicerol.

3.2.1. Processos de produção de biodiesel

Nos estudos realizados acerca da produção de biodiesel, na tentativa de acrescer o rendimento da reação, alguns métodos de obtenção foram encontrados, no intuito de otimizar as condições de reação. Atualmente o método mais utilizado é a transesterificação, porém, existem outros métodos não tão convencionais, como microemulsão e craqueamento (ou pirólise).

3.2.1.1. Microemulsões

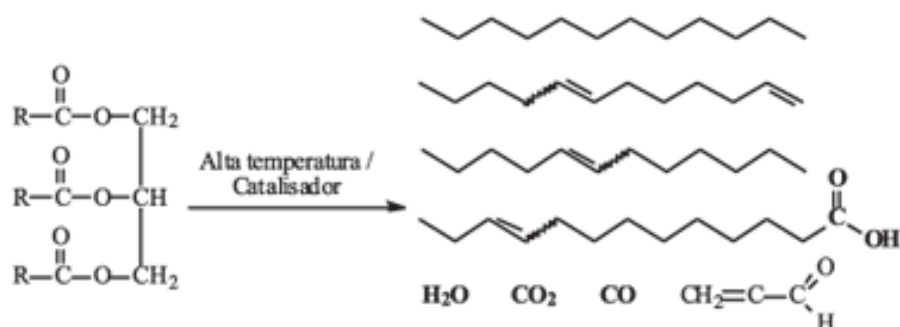
As microemulsões são dispersões isotrópicas, termodinamicamente estáveis, de óleo, água, surfactante e geralmente uma molécula pequena anfifílica (SANTOS, 2007). A utilização de microemulsões com solventes como metanol, etanol e 1-butanol é um processo que tem sido estudado com o objetivo de resolver o problema da viscosidade dos óleos vegetais (SILVA, 2014).

3.2.1.2. Craqueamento (Pirólise)

Consoante com Araújo (2008), o craqueamento (Figura 2) baseia-se na quebra das moléculas por altas temperaturas na presença ou não de catalisadores e na ausência de ar ou oxigênio, no qual resulta na formação de hidrocarbonetos similar aos do petróleo, além de compostos oxigenados como os aldeídos, ácidos carboxílicos, ésteres, dentre outros.

Difícilmente é possível proceder-se à sua caracterização, devido à presença de variadas reações e variados produtos de reação possíveis (SILVA, 2014). Os materiais pirolizados podem ser óleos vegetais, gorduras de animais, ácidos gordos naturais e ésteres metílicos de ácidos gordos (SANTOS, 2007).

Figura 2 – Reação de Craqueamento de triglicerídeos.

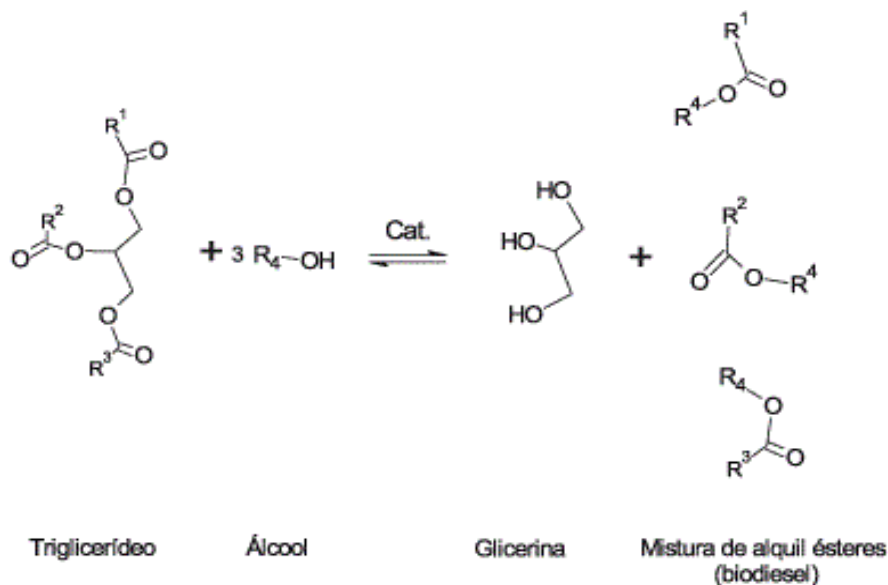


Fonte: SUAREZ, 2009.

3.2.1.3. Transesterificação

A principal tecnologia para obtenção de biodiesel no Brasil e no mundo é a transesterificação (ou alcoólise) de óleo e gorduras (SUAREZ, 2009). Tal método, em conformidade com Santos (2010), consiste em reagir um triglicerídeo com um mono-álcool de cadeia curta (metílico ou etílico), com agitação e aquecimento, na presença de um catalisador, podendo ser ácido ou básico, resultando na produção de ésteres alquílicos de ácidos graxos (biodiesel) e o glicerol.

Figura 3 – Reação geral de transesterificação.



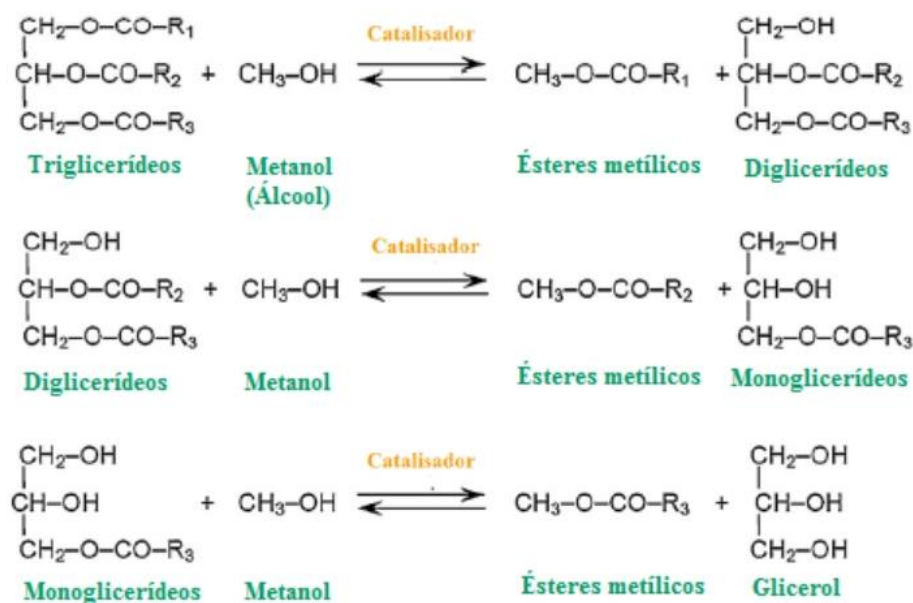
FONTE: LÔBO; PEREIRA; CRUZ, 2009.

A Figura 3 representa de forma genérica a reação de transesterificação, em que R₁, R₂ e R₃ são radicais que variam de acordo com o óleo utilizado e R₄ varia de acordo com o álcool.

As variáveis mais relevantes neste processo são a temperatura de reação, a razão álcool/óleo, a quantidade de catalisador, a velocidade de agitação, o óleo da matéria-prima utilizada e por fim o catalisador (SANTOS, 2007).

A reação de transesterificação ocorre em três etapas (Figura 4). Segundo Silva (2014), na primeira etapa os triglicerídeos são convertidos em diglicerídeos, seguindo-se a conversão dos diglicerídeos em monoglicerídeos na segunda e, por fim, na terceira etapa os monoglicerídeos são convertidos em glicerol e uma molécula de éster em cada etapa.

Figura 4 – Etapas da Reação de Transesterificação.



Fonte: Adaptado de (BORGES; DÍAZ, 2012).

A fonte para a produção de biodiesel pode ser escolhida de acordo com a disponibilidade em cada região ou país. Qualquer fonte de ácido graxo pode ser em princípio usada na síntese de biodiesel. (ARAÚJO, 2008) Em relação ao álcool, geralmente se utiliza o metanol ou o etanol, pois estes apresentam maior rendimento de conversão (remete-se à quantidade de óleo que foi convertida em biodiesel) devido ao tamanho de sua cadeira e propriedades físicas.

3.3. ESPECIFICAÇÕES DO BIODIESEL

A especificação do biodiesel certifica sua qualidade e um produto adequado ao uso. Assegurar um combustível de qualidade sob qualquer situação, garantir os direitos dos consumidores e preservar o meio ambiente são os focos principais na preocupação com as especificações do biodiesel. (GONDIM, 2009)

Brasil (2014a) designa a utilização obrigatória do biodiesel misturado ao diesel mineral, considerando o uso em misturas de até 10% (B10). Atualmente, o biodiesel deve atender às especificações estabelecidas por Brasil (2014b).

Abaixo encontra-se o resumo de algumas características utilizadas na especificação do biodiesel (B100) e no ANEXO I que mostra seus limites, usos e especificações.

3.3.1. Índice de acidez

O índice de acidez é a medida da quantidade de substâncias ácidas no combustível sobre condições especificadas por seu padrão (SANTOS, 2010). Tal análise ajuda na escolha da matéria-prima, tendo em vista que valores elevados do índice de acidez indica altas concentrações de ácidos graxos livres (AGL), fazendo com que a mesma precise de um tratamento prévio antes de uma transesterificação.

Fernando et al. (2007) e Silva (2014) destacam que, em relação ao biodiesel, índices de acidez altos revelam a ineficácia do processo de produção, atestando a presença de AGL no meio, o que pode ocasionar danos no motor do automóvel, podendo ter efeito de solvente forte nas borrachas e tubos, provocando seu rompimento, bem como formação de depósitos, causando o entupimento do filtro de combustível.

3.3.2. Índice de iodo

O índice de iodo mede o grau de insaturação pela absorção de halogênios nas cadeias graxas (MELO et al., 2016), expresso como iodo absorvido por grama da amostra, o qual está diretamente relacionado ao total de insaturações de um material lipídico.

Entretanto, esta propriedade se mostra mais importante na avaliação de estabilidade à oxidação do combustível. Isto ocorre porque as reações de degradação são favorecidas nos pontos vizinhos as duplas ligações, assim quanto maior a presença delas mais susceptível a degradação é o material. (SANTOS, 2010, p. 57)

De acordo com Castro e Alves (2016) os fabricantes de motores alegam que combustíveis com elevado índice de iodo tendem a polimerizar e formar depósitos em bicos injetores, anéis de pistão e sulcos de anéis de pistão quando aquecidos.

3.3.3. Massa Específica e Viscosidade Cinemática a 40°C

Conforme Araújo (2008), a massa específica e a viscosidade cinemática são propriedades fluidodinâmicas importantes quanto ao funcionamento de motores de injeção por compressão (motores diesel), visto que desempenham grande influência na circulação e injeção do combustível.

Para a massa específica deve-se estabelecer um valor mínimo devido a premência de obter potência máxima para o motor, o qual usa combustível com controle de vazão na bomba de injeção. Já a viscosidade é a medida da resistência ao escoamento dos combustíveis. Essa propriedade é considerada uma das mais importantes, por influenciar na operação de injeção do combustível no motor, principalmente em baixas temperaturas, que ocasionam o aumento da viscosidade (SANTOS, 2010).

3.3.4. Teor de ácidos graxos livres (AGL)

A análise de ácidos graxos livres determina de forma geral a porcentagem deste na amostra. Esta propriedade serve como indicativo da qualidade do óleo para consumo ou como carburantes (PINTO, 2014). Um alto valor deste parâmetro, em conformidade com Martins e Santos (2015), aumenta a acidez da amostra, o que pode causar odor desagradável, demonstrando armazenamento impróprio.

Ela serve também como parâmetro para reação de transesterificação, pois dependendo do valor encontrado, pode-se definir se há necessidade de realizar um processo de neutralização do óleo (DANTAS, 2006), acrescentar a massa do catalisador ou até mesmo realizar um processo de purificação do mesmo.

3.3.5. Índice de saponificação

O índice de saponificação é definido como a massa em miligramas de hidróxido de potássio necessárias para saponificar (neutralizar) um grama de ácidos graxos (gordura) (GONDIM, 2009). Quanto mais elevado for, maior a tendência de ocorrer reações indesejáveis na transesterificação, o que pode dificultar no processo de lavagem do produto e diminuir o rendimento da reação.

3.3.6. Umidade e material volátil

A literatura indica que as condições ideais para a produção de biodiesel, no que se refere à umidade, são valores de até 0,5% em virtude de não ocasionarem formação de sabão, além de favorecerem o rendimento da reação (PINTO, 2014).

3.3.7. Teor de cinzas

Dentre as impurezas da queima do biodiesel, as cinzas se apresentam como resíduos inorgânicos, não combustíveis. Devido ao seu processo de fabricação, consoante com Frizon et al. (2009), alguns metais podem estar contidos nas cinzas e a determinação destas, ajuda a controlar os parâmetros do biodiesel, de acordo com suas especificações legais, ajudando a evitar corrosão e entupimentos em motores, além de causar risco a saúde humana e ao meio ambiente.

3.3.8. Índice de peróxido

O índice de peróxido relaciona-se com todas as substâncias, em termos de miliequivalentes de peróxido por 1000g de amostra, que oxidam o iodeto de potássio. Estas substâncias são geralmente consideradas como peróxidos ou outros produtos similares resultantes da oxidação da gordura (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008).

Este ensaio é o mais utilizado para analisar o grau de oxidação de óleos e gorduras. O resultado obtido leva em consideração os peróxidos ou outros produtos similares provenientes da oxidação da matéria-prima graxa (AZEREDO, 2014).

3.3.9. Tensão superficial

A tensão superficial é a propriedade física relacionada com o poder de lubrificação de uma substância (ARAÚJO, 2008). Diferentemente dos motores movidos à gasolina, conforme Santos (2010), os motores movidos a óleo diesel demandam que o combustível apresente ótimas propriedades de lubrificação, principalmente, em virtude do trabalho da bomba, necessita que o líquido que escoar lubrifique apropriadamente as suas peças.

A tensão superficial dos óleos deve ser maior que a tensão dos biodieseis, isso se dá pelo fato da cadeia dos ésteres (biodiesel) ser menor do que a dos triglicerídeos (óleos). Essa propriedade funciona como indicativo de que a conversão dos ácidos carboxílicos em ésteres metílicos foi eficiente, uma vez que a mudança nos valores é expressiva. (SANTOS et al., 2011)

Segundo Pinto (2014) altos valores de tensão superficial fazem com que a vaporização no motor seja insatisfatória, tendo em vista que este está relacionado com a fluidez do combustível no motor.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste tópico serão apresentados os materiais, equipamentos, procedimento operacional e todos os métodos analíticos utilizados no desenvolvimento das etapas do trabalho.

4.1. MATÉRIA-PRIMA

4.1.1. Origem e processo de extração do óleo

Os óleos de coco foram fornecidos por uma empresa que funciona na cidade de Mossoró, no Oeste Potiguar. Estes foram obtidos pelo processo de extração a frio, que consiste na prensagem da copra do coco. Em seguida, o óleo bruto obtido é deixado em repouso para decantar qualquer resíduo sólido que restou.

Decorrido o tempo de repouso, o óleo extravirgem é separado do restolho (que se apresenta como um óleo de coloração amarelada) enquanto o óleo extravirgem se apresenta mais límpido (Figura 5).

Figura 5 – Óleos de coco extravirgem e bruto, respectivamente.



Fonte: Pesquisa, 2019.

O óleo bruto com restolhos resultante da decantação é descartado. Para o ramo alimentício ele não tem aplicação, e é utilizado, em sua grande parte, na produção de sabão.

4.1.2. Caracterização da matéria-prima

A caracterização da matéria-prima foi realizada em termos das seguintes análises físico-químicas: índice de acidez, índice de iodo, massa específica, viscosidade cinemática, teor de ácidos graxos livres, índice de saponificação, umidade, teor de cinzas, índice de peróxido e tensão superficial. Os métodos utilizados foram os recomendados por: Métodos Físico-Químicos para Análise de Óleos e Gorduras (compilado pelo Instituto Adolfo Lutz), Métodos da *American Oil Chemists Society* (AOCS) (2017) e a Portaria ANP Nº 255 de 15.9.2003 disponível em Brasil (2014), referentes a análises físico-químicas.

4.2. APARATO EXPERIMENTAL E PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

4.2.1. Aparato experimental

O aparato experimental utilizado está apresentado na Figura 6. O mesmo consiste na simulação de um reator, em que um Erlenmeyer é acoplado a um condensador e posto em aquecimento em um agitador magnético analógico (marca Solab, modelo SL-95).

Figura 6 – Aparato experimental da produção de biodiesel



Fonte: Pesquisa, 2019

4.2.2. Procedimento experimental

Inicialmente foram realizados testes no intuito de determinar as rotas a serem utilizadas nesse estudo, em que ambos os óleos foram submetidos às mesmas condições operacionais, a fim de determinar o meio reativo mais adequado para os dois óleos.

As condições operacionais foram baseadas em consulta bibliográfica de trabalhos utilizando óleo de coco, como Santos (2010). Os testes precedentes foram realizados a 75°C, 1h e/ou 3h de reação e razão molar de 1:6 e/ou 1:3 (óleo:álcool), cujo procedimento é representado a seguir:

4.2.2.1. Transesterificação direta

As quantidades de catalisador (ácido ou básico) utilizadas em relação ao óleo foram mantidos em 1% em relação a 100g da massa de óleo, conforme descrito por Araújo (2008). Nos testes preliminares para a rota metílica foi utilizada a razão molar óleo:álcool de 1:3 e para a rota etílica razão molar de 1:6. Os óleos foram colocados em Erlenmeyers até atingirem 100°C, no intuito de eliminar qualquer resquício de água para evitar reações indesejadas. Após, foram deixados em agitação até atingirem a temperatura de reação (70°C). Alcançada a temperatura desejada, os demais reagentes foram adicionados (álcool – etanol ou metanol e catalisador – ácido sulfúrico ou hidróxido de sódio) e iniciada a contagem de tempo de reação (1h para catálise básica e 3h para catálise ácida).

Decorrido o tempo reacional, aos biodieseis obtidos foram necessárias etapas de limpeza: decantação, lavagem e secagem. Na etapa de decantação os biodieseis foram transferidos a funis de separação, onde ficaram em repouso por um período de aproximadamente 24h para divisão da mistura de ésteres alquílicos de ácidos graxos (biodiesel) do glicerol.

No processo de lavagem foram retiradas impurezas presentes no meio como o catalisador, o excesso de álcool utilizado na reação, a glicerina livre residual, sais de ácidos graxos e glicerídeos (SANTOS, 2010). Nesta etapa o glicerol foi descartado e os biodieseis partiram para a purificação com uma solução de cloreto de sódio 9%

aquecida a 80°C e depois consecutivas lavagens com água destilada, até que a água, após lavar o biodiesel, saia incolor.

Por fim, na etapa de secagem os biodieseis foram filtrados com papel de filtro e em seguida colocados na estufa a 105°C por 4h a fim de remover qualquer resquício de água que tenha restado.

4.3. PLANEJAMENTO FATORIAL

Mediante os testes preliminares (a serem apresentados no tópico 5) baseados na literatura, foram definidas as rotas que foram utilizadas no planejamento e processo experimental:

- a) Transesterificação ácida direta;
- b) Rota metílica;
- c) Variações na razão molar (óleo:álcool) para ambos óleos, nas proporções de 1:1, 1:2 e 1:3, todos submetidos às mesmas condições de tempo e temperatura.

4.4. ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS

4.4.1. Índice de acidez

A análise do índice de acidez foi realizada baseado no método Ca 5a-40 (AOCS, 2017) onde pesou-se 7,05 g da amostra em uma balança analítica, com precisão de 0,0001 g, em um Erlenmeyer de 250 mL. Em seguida foi adicionado 75 mL de álcool etílico previamente neutralizado e aquecido (até início de ebulição) 2 mL de fenolftaleína. A solução foi titulada usando uma solução aquosa de NaOH 0,25 N até aparecer uma coloração levemente rósea, em que a cor persistiu por 30 segundos.

O cálculo do índice de acidez foi realizado pela Equação 4.1.

$$IA = \frac{V * N * F * 28,2}{m} \quad (4.1)$$

Onde:

IA: é o índice de acidez.

V: Volume em mL de NaOH gasto na titulação.

N: Normalidade da solução de NaOH.

F: Fator de correção da solução de NaOH.

28,2: Fator de conversão (equivalente grama) do ácido oleico.

4.4.2. Índice de iodo

A norma utilizada neste método é a Cd 1-125 (AOCS, 1995) em que se pesou 0,22 g da amostra em um erlenmeyer de 500 mL com a ajuda de uma balança analítica. Em seguida foram adicionados 15 mL de clorofórmio e 25 mL do reagente de Wijs ao erlenmeyer, cujo foi tampado, agitado e deixado em repouso por 1h no escuro à temperatura ambiente. Esta reação deve acontecer na ausência de iluminação para assegurar que a reação com os halogênios seja somente de adição e não de substituição, pois a luz catalisa a reação de substituição.

Passado o tempo, foi adicionado ao erlenmeyer 10 mL de solução aquosa de iodeto de potássio (KI) 10% e 100 mL de água destilada. Em seguida, a solução resultante foi titulada com tiosulfato de sódio 0,1 N sob agitação constante até apresentar uma coloração levemente amarelada. Ao atingir este ponto, 2 mL de solução indicadora de amido de milho foi adicionado ao meio e continuada a titulação até a coloração azul desaparecer.

Por fim, uma amostra branca foi titulada, afim de confirmar o teste. Para calcular o valor do índice de iodo utiliza a Equação 4.2.

$$II = \frac{(B-A)*M*1,27}{m} \quad (4.2)$$

Onde:

II: Índice de iodo.

B: Volume em mL de tiosulfato de sódio 0,1N gasto na titulação do branco.

A: Volume em mL de tiosulfato de sódio 0,1N gasto na titulação da amostra.

M: Molaridade da solução de tiosulfato de sódio.

m: massa em g da amostra.

4.4.3. Massa específica

O método empregado na determinação da densidade real dos óleos e dos biodieséis utiliza um picnômetro de 10 cm³ previamente calibrado com água destilada a 25°C (ARAÚJO, 2008).

4.4.4. Viscosidade cinemática a 40°C

Esta análise foi determinada por meio de um Viscosímetro *Saybolt Furol*, modelo Universal da marca Contenco, seguindo a metodologia descrita no método ASTM D88-07, em que uma certa quantidade da amostra é transferida para do orifício “Saybolt-Furol” e deixada lá até que o equipamento atinja a temperatura de 40°C.

Após estabilização da temperatura, a rolha de prova disposta na parte inferior do orifício é retirada, permitindo o escoamento do fluido para dentro do frasco de viscosidade que fica disposto abaixo da parte inferior do orifício. É medido o tempo, com a ajuda de um cronômetro, que o fluido demora para atingir a marca de 60 mL no frasco e assim ter sua viscosidade cinemática calculada através da Equação 4.3.

$$v = A * \Delta t - \left(\frac{\Delta t}{B} \right) \quad (4.3)$$

Em que:

v : Viscosidade Cinemática (mm²/s ou cSt).

Δt : tempo que o fluido levou para atingir o volume de 60 mL dentro do frasco de viscosidade.

A e B: parâmetros que dependem do tipo de viscosímetro, cujos valores estão dispostos na tabela abaixo.

Tabela 2 – Valores dos Parâmetros A e B para viscosímetros.

Viscosímetros	A	B
SAYBOLT UNIVERSAL		
a) Para $\Delta t < 100$ s	0,226	195
b) Para $\Delta t > 100$ s	0,220	135
REDWOOD Standar	0,260	171
ENGLER (s)	0,147	374

Fonte: BRASIL, 2014.

4.4.5. Teor de ácidos graxos livres (AGL)

A norma utilizada para este método é a Ca 5ª-406 (AOCS, 2017) em que se pesou 5g da amostra em um erlenmeyer de 250 mL e adicionou-se 50 mL de etanol

99%, previamente neutralizado e 0,5 mL de solução etanoica de fenolftaleína a 1% como indicador. Em seguida o erlenmeyer foi colocado em uma manta aquecedora até apresentar sinais de ebulição. Depois a solução foi titulada com solução aquosa de NaOH 0,1 N, até surgimento de uma coloração rósea persistente por 30 segundos.

Para calcular o teor de AGL utiliza-se a Equação 4.4.

$$AGL = \frac{V * F * 28,2}{m} \quad (4.4)$$

Onde:

AGL: teor de ácidos graxos livres.

V: volume de mL de NaOH 0,1 N gasto na titulação.

F: fator de correção da solução de NaOH.

m: massa em gramas da amostra.

4.4.6. Índice de saponificação

Para este, Instituto Adolfo Lutz (2008) descreve o método Cd 3 – 25 (AOCS, 1990) em que se pesou 5 g da amostra em um balão de fundo chato. A este foi adicionado 50 mL de solução alcoólica de KOH, conectado a um condensador e aquecido em manta aquecedora por 1h. Após o resfriamento, à solução foi adicionada 1 mL de fenolftaleína e titulada com ácido clorídrico 0,5 M até desaparecimento da cor rósea.

Para questões de cálculo, tem-se a Equação 4.5 que serve para encontrar o índice de saponificação da amostra em mg de KOH/mg da amostra.

$$IS = \frac{(B-A) * F * 28,06}{m} \quad (4.5)$$

Onde:

IS: índice de saponificação.

B: Volume de HCL 0,5M gasto na titulação do branco.

A: Volume de HCL 0,5M gasto na titulação da amostra.

F: Fator de correção da solução de HCL 0,5M.

m: massa em g da amostra.

4.4.7. Umidade e material volátil

Para a determinação do teor de umidade e material volátil nos óleos e biodieseis, utilizou-se o procedimento 012/IV descrito por Instituto Adolfo Lutz (2008) cujo pesou-se 5 g da amostra em um cadinho previamente seco em estufa a 105°C por trinta minutos e tarado. O conjunto foi colocado na estufa a 105°C por três horas, deixado para esfriar em um dessecador até atingir temperatura ambiente e pesado.

Em questões de cálculo, tem-se a Equação 4.6 a qual é utilizada para encontrar a porcentagem de umidade e material volátil (UMV%) da amostra.

$$UMV\% = \left\{ \frac{[(\text{cadinho} + \text{amostra úmida}) - (\text{cadinho} + \text{amostra seca})]}{[(\text{cadinho} + \text{amostra úmida}) - (\text{tara do cadinho})]} \right\} * 100\% \quad (4.6)$$

4.4.8. Teor de cinzas

Para determinação do teor de cinzas utilizou-se o procedimento descrito por Martins e Santos (2015) em que um cadinho foi colocado em uma mufla (marca Quimis) a temperatura de 600°C por 20 minutos e, ulteriormente, posto para esfriar em um dessecador.

Quando atingida a temperatura ambiente, neste foi pesada 2 g da amostra e o conjunto foi colocado na mufla a 600°C por 4h. Após resfriado, foi pesado mais uma vez. Para calcular o teor de cinzas (TC%), tem-se a Equação 4.7.

$$TC\% = \frac{[(\text{peso da cápsula com amostra seca}) - (\text{peso da cápsula})] * 100\%}{(\text{peso da amostra})} \quad (4.7)$$

4.4.9. Índice de peróxido

Para este, Instituto Adolfo Lutz (2008) descreve o método Cd 8 – 53 (AOCS, 1990) em que foi pesada 5 g da amostra em um erlenmeyer de 250 mL. Neste foram adicionados 30 mL de solução de ácido acético-clorofórmio 3:2 (18 mL de ácido acético e 12 mL de clorofórmio), 0,5 mL da solução saturada de KI (Pesa-se 30g de iodeto de potássio e adiciona 21 mL de água para preparo da solução) e foi deixado em repouso no escuro por exatamente um minuto.

Decorrido o tempo, adicionou-se 30 mL de água destilada e titulou-se com solução aquosa de tiossulfato de sódio 0,1 N até quase total desaparecimento da

coloração amarelada, para então adicionar 0,5 mL de solução indicadora de amido a 1% m/v e continuar a titulação até desaparecimento da cor azul provocada pelo amido. Uma prova em branco foi preparada nas mesmas condições e titulada.

Para questões de cálculo, tem-se a Equação 4.8 que serve para encontrar o índice de peróxido da amostra analisada.

$$IP = \frac{(A-B)*N*F*1000}{m} \quad (4.8)$$

IP: é o índice de peróxido.

A: Volume em mL de tiossulfato de sódio gasto na titulação da amostra.

B: Volume em mL de tiossulfato de sódio gasto na titulação do branco.

N: Normalidade da solução de tiossulfato de sódio.

F: Fator de correção da solução de tiossulfato de sódio.

m: massa em g da amostra.

4.4.10. Tensão superficial

Para análise da tensão superficial, foi utilizado um tensiômetro (marca Sensadyne, modelo QC6000) previamente calibrado e seguindo as instruções de uso do manual de operações do aparelho.

4.4.11. Teste de combustão

Os biodieseis foram submetidos a um teste temperatura de combustão, em que um palito de fósforo em chama foi aproximado de amostras dos óleos e dos biodieseis, a fim de determinar se o produto final da transesterificação apresentava temperatura de combustão inferior à da matéria-prima.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Caracterização das Matérias-Primas

Os óleos de coco foram caracterizados em relação às suas propriedades físico-químicas. A Tabela 3 apresenta os resultados da caracterização físico-química dos óleos, em que se observa elevado índice de acidez, característica de óleos que, de acordo com Brasil (2005), não passam pelo processo de refino e/ou degomagem, para remoção de fosfatídeos, e também que apresentam alto teor de ácido láurico.

Tabela 3 – Resultados da caracterização físico-química dos óleos.

Análises dos Óleos	Óleo bruto	Óleo Extravirgem	Unidades das Análises	Literatura
Índice de Iodo	15,65	25,15	g de I ₂ /100g da amostra	-
Teor de AGL	78,79	31,35	mg de ácido oleico/100mg da amostra	2,25 (coco)*
Índice de Saponificação	281,16	264,25	mg de KOH/g de óleo	253 (babaçu)**
Umidade e Material volátil	0,31	0,42	(%)	-
Teor de Cinzas	2,81	0,49	g/100g	-
Índice de Acidez	4,98	3,73	mg de KOH/g da amostra	0,5 (babaçu)**
Massa Específica	1246,9	1002,5	kg/m ³	0,909 (coco)*
Viscosidade Cinemática a 40°C	4,55	4,83	mm ² /s	-
Índice de Peróxido	15,94	25,56	meq/1000g da amostra	-
Tensão Superficial	42,7	43,3	dynas/cm	-

*JITPUTTI, J et al. (2006).

**SANTOS et al. (2007).

Os valores obtidos para as viscosidades apresentaram-se bastante favoráveis para a reação de transesterificação, tendo em vista que, segundo Santos (2010), valores baixos desta propriedade indicam um tempo menor de reação. E baixos valores de umidade, como encontrados, ajudam a evitar reações indesejáveis no processo, como saponificação.

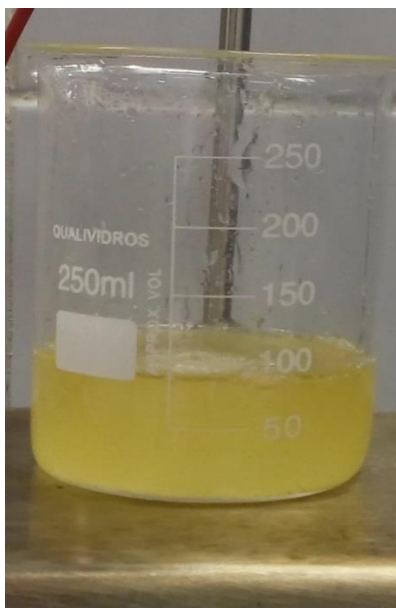
Quanto aos ácidos graxos livres, os valores encontrados se apresentaram altos, parâmetro este que influencia diretamente no índice de acidez e na reação de transesterificação, tornando a catálise básica inefetiva.

5.2. Testes Preliminares

Os testes preliminares foram realizados a princípio na tentativa de produzir biodiesel através da rota etílica, tendo em vista a responsabilidade e consciência ambiental, utilizando-se a catálise básica. As condições de operação utilizadas foram de 75°C, 1% de catalisador referente à massa do óleo e razão molar de 1:6 (óleo:álcool), com tempo reacional de 60 minutos.

Foi observado que não houve êxito neste procedimento, resultando em um fluido pastoso (Figura 7), consequência da reação de saponificação, desencadeada pelo alto teor de AGL dos óleos.

Figura 7 – Aspecto visual do produto obtido sob temperatura de 75°C, rota etílica, razão molar de 1:6 e 1% de NaOH.



Fonte: Pesquisa, 2019.

Mediante este resultado, novas rotas foram avaliadas. Foram feitos testes de reações de transesterificação pelas rotas etílica e metílica, utilização dos catalisadores ácido e básico (representando 1% das massas dos óleos) e variação nas proporções de razão molar (óleo:álcool), baseando-se nos valores dispostos na literatura. Em que, os resultados obtidos estão dispostos na Tabela 4.

Tabela 4 – Resultados dos testes preliminares na conversão dos óleos em biodieises*.

	Óleo extravirgem			Óleo bruto		
Catálise ácida (180 minutos)	Metanol	Proporção 1:3	✓	Metanol	Proporção 1:3	✓
		Proporção 1:2	✓		Proporção 1:2	✓
		Proporção 1:1	✓		Proporção 1:1	✓
	Etanol	Proporção 1:6	X	Etanol	Proporção 1:6	X
		Proporção 1:5	X		Proporção 1:5	X
		Proporção 1:4	X		Proporção 1:4	X
Catálise básica (60 minutos)	Metanol	Proporção 1:3	X	Metanol	Proporção 1:3	X
		Proporção 1:2	X		Proporção 1:2	X
		Proporção 1:1	X		Proporção 1:1	X
	Etanol	Proporção 1:6	X	Etanol	Proporção 1:6	X
		Proporção 1:5	X		Proporção 1:5	X
		Proporção 1:4	X		Proporção 1:4	X
Catálise ácida seguida da básica	Metanol	Proporção 1:3	X	Metanol	Proporção 1:3	X
		Proporção 1:2	X		Proporção 1:2	X
		Proporção 1:1	X		Proporção 1:1	X
	Etanol	Proporção 1:6	X	Etanol	Proporção 1:6	X
		Proporção 1:5	X		Proporção 1:5	X
		Proporção 1:4	X		Proporção 1:4	X

* Nos testes que apresentarem o símbolo ✓ significa que o óleo foi convertido em biodiesel. E onde apresentar o X é porque não houve conversão dos triglicerídeos em ésteres.

Como mencionado anteriormente, devido ao alto teor de AGL dos óleos não foi possível a realização da catálise básica em nenhuma das rotas, o que impossibilitou, para este trabalho, o estudo da transesterificação com catálise ácida seguida de catálise básica.

Os resultados encontrados apontaram que sob as condições de 75°C, tempo reacional de 180 minutos, 1% de catalisador ácido referente à massa do óleo, rota metílica e razões molares (óleo:álcool) de 1:1, 1:2 e 1:3 foi possível a produção de biodiesel para ambos os óleos (Figura 8), tendo em vista o rendimento que variou entre 55% e 89% dos biodieseis para os dois óleos.

Figura 8 – Biodieseis derivados dos óleos extravirgem (esquerda) e bruto (direita).

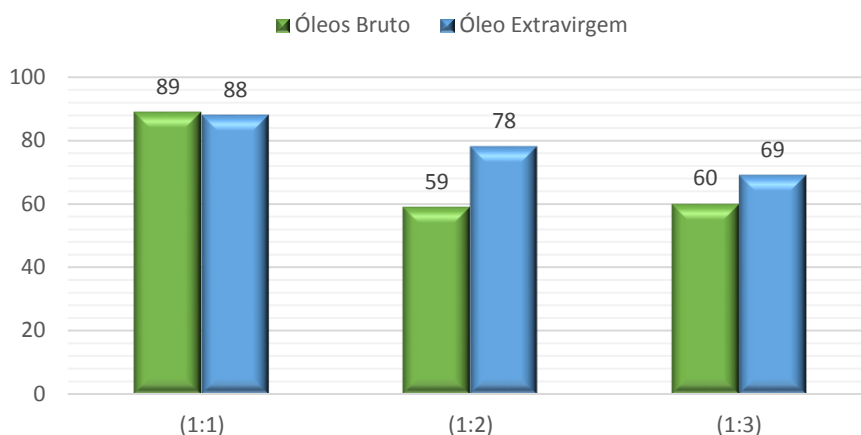


Fonte: Pesquisa, 2019.

Os rendimentos dos biodieseis foram calculados através da Equação 5.1, cujos dados estão dispostos na Figura 9, a qual faz um comparativo do rendimento de cada óleo de acordo com cada razão molar utilizada.

$$Rendimento(\%) = \frac{Volume\ de\ biodiesel}{Volume\ do\ óleo} * 100\% \quad (5.1)$$

Figura 9 – Dados dos rendimentos dos biodieseis produzidos pela rota metílica.



Fonte: Pesquisa, 2019.

A Figura 9 retrata que a proporção que obteve o maior rendimento foi a razão molar de 1:1 (óleo:álcool), tendo em vista que ambos os biodieseis apresentaram rendimento de quase 90%. Porém, mais a frente, na caracterização físico-química destes, será visto que a maioria dos valores obtidos não condizem com os estabelecidos pela ANP, o que os torna impróprio para uso como combustível automotivo.

5.3. Caracterização físico-química dos biodieseis

As Tabelas 5 e 6 apresentam os valores referentes às caracterizações físico-química dos biodieseis produzidos para ambos os óleos, com suas determinadas condições de operação.

Tabela 5 – Resultados da caracterização físico-química do biodiesel produzido com o óleo bruto pela rota metílica.

Análises	Prop.* 1:1	Prop.* 1:2	Prop.* 1:3	Unidades das Análises	Limites ANP**
Índice de Iodo	17,67	20,34	18,66	g de I ₂ /100g da amostra	120g de I ₂ /100g (Norma EM 14111)
Teor de AGL	5,23	2,32	2,03	mg de ácido oleico/100mg da amostra	-
Índice de Saponificação	201,02	262,73	186,64	mg de KOH/g de óleo	-
Umidade e Material volátil	0,93	0,89	0,54	(%)	-
Teor de Cinzas	0,14	0,29	0,06	(%)	0,02
Índice de Acidez	0,73	0,63	0,45	mg de KOH/g da amostra	0,5
Massa Específica	907,0	904,9	896,7	kg/m ³	850-900
Viscosidade Cinemática a 40°C	2,74	3,22	3,36	mm ² /s	3,0-6,0
Índice de Peróxido	22,14	13,55	13,64	meq/1000g da amostra	-
Tensão Superficial	37,20	39,00	39,20	dynas/cm	-

*Proporção óleo:álcool

**BRASIL, 2008.

Tabela 6 – Resultados da caracterização físico-química do biodiesel produzido com o óleo extravirgem pela rota metilica.

Análises	Prop. * 1:1	Prop. * 1:2	Prop. * 1:3	Unidades das Análises	Limites ANP**
Índice de Iodo	11,24	13,74	18,78	g de I ₂ /100g da amostra	120g de I ₂ /100g (Norma EM 14111)
Teor de AGL	2,32	1,75	1,74	mg de ácido oleico/100mg da amostra	-
Índice de Saponificação	191,78	8,73	240,16	mg de KOH/g de óleo	-
Umidade e Material volátil	0,49	0,69	0,67	(%)	-
Teor de Cinzas	1,16	1,018	0,053	(%)	0,02
Índice de Acidez	0,72	0,42	0,39	mg de KOH/g da amostra	0,5
Massa Específica	904,9	906,0	958,2	kg/m ³	850-900
Viscosidade Cinemática a 40°C	4,47	3,20	3,40	mm ² /s	3,0-6,0
Índice de Peróxido	19,48	17,67	22,93	meq/1000g da amostra	-
Tensão Superficial	41,85	39,50	43,2	dynas/cm	-

*Proporção óleo:álcool

**BRASIL, 2008.

Como mencionado anteriormente, o índice de iodo mede o grau de insaturação pela absorção nas cadeias dos ácidos graxos, que serve para avaliar a estabilidade oxidativa do biodiesel. Como representado na literatura da norma EN 14111, os valores obtidos encontram-se bem abaixo do estabelecido, constatando que os

biodieseis apresentam boa estabilidade oxidativa, diminuindo o risco de formação de depósitos no motor.

Analisando os valores de AGL para os óleos e nos biodieseis, é notável a diferença nos valores. Em relação ao óleo, tem-se que esses valores sejam resultados de diversos fatores, como armazenamento impróprio, exposição à luz e calor, processos de extração insatisfatórios, dentre outros, que acarretam na decomposição das gorduras pela enzima lipase e formam os AGL. Isto é um agravante no processo de produção de biodiesel por catálise básica, pois quando concentração dos ácidos graxos no óleo é elevada, em conformidade com Knothe, Gerpen e Krahl, (2010), há favorecimento de reações de saponificação, que fora o ocorrido nos testes preliminares.

Após o processo de transesterificação, o índice de AGL presente no biodiesel deve ser consideravelmente menor que nos óleos, pois, caso seja alto, consoante com Dantas (2006), os ácidos permaneceram mesmo após todo o processo, podendo acarretar danos no motor do automóvel e na elevação do índice de acidez. Neste trabalho os valores dos índices de acidez obtidos nos biodieseis derivados do óleo extravirgem nas proporções de 1:2 e 1:3 e do óleo bruto na proporção de 1:3, se apresentaram inferiores a 0,5 mg KOH/g, mostrando-se compatíveis com Araújo (2008), constatando efetiva conversão dos triglicerídeos.

Os baixos percentuais de umidade e matérias voláteis representam um efetivo processo de lavagem e secagem do biodiesel de acordo com Santos (2010).

Os biodieseis derivados dos óleos nas proporções de 1:1 e 1:2 apresentaram teor de cinzas acima do estabelecido pela literatura, o que pode causar, segundo Frizon et al. (2009), entupimento e corrosão de motores.

Os valores de viscosidade cinemática dos biodieseis são inferiores aos das matérias-primas, devendo-se ao fato de a cadeia dos ésteres ser menor que a cadeia de triglicerídeos, e apresentam-se dentro dos limites estabelecidos pela ANP, um ponto positivo, tendo em vista que altos valores, consoante Knothe et al. (2006), podem gerar problemas na parte lubrificada do sistema de injeção do motor.

Os índices de peróxidos de ambos biodieseis apresentaram valores similares, porém os biodieseis de proporção 1:1 apresentaram índices um pouco acima dos demais. Isso quer dizer que estes biodieseis apresentam maiores concentrações de peróxido, o que pode resultar em sua oxidação.

Apesar de a literatura não fornecer padrão normalizado para a tensão superficial, seus valores encontrados são considerados altos para os biodieseis, quando comparados com os valores encontrados por Santos (2010), Araújo (2008), Oliveira et al. (2012), mesmo sendo inferiores aos dos óleos. Isso se deve, em conformidade com Oliveira et al. (2012), à presença de ligações de hidrogênio que fazem com que as interações intermoleculares sejam mais fortes, acarretando na necessidade de uma maior temperatura para romper as ligações e fazer o combustível passar do estado líquido para o gasoso, o que pode reduzir o tempo de vida útil do motor que utilizar tal biodiesel.

Conforme a Figura 10, o teste de combustão apresentou resultado satisfatório, constatando a temperatura de combustão do biodiesel (segundo a ANP deve ser 100°C) inferior à do óleo. Segundo Knothe et al. (2008), teores de álcool presentes no biodiesel podem acarretar na diminuição da temperatura de combustão.

Figura 10 – Teste de temperatura de combustão.



Fonte: Pesquisa, 2019.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a realização deste estudo foi possível aprofundar conhecimentos acerca da produção de biodiesel, no tocante à utilização de óleo de coco como matéria-prima, cujo se apresenta com potencial substituinte do diesel petroquímico.

Mediante os resultados obtidos no referido trabalho, conclui-se que é viável a utilização dos óleos de coco para produção de biodiesel, os quais apresentaram valores satisfatórios relacionados à caracterização físico-química, exceto seu índice de acidez que se apresentou acima dos padrões desejados para o emprego da transesterificação básica.

No tocante aos biodieseis derivados do óleo de coco extravirgem, em sua grande maioria, os valores obtidos na caracterização físico-química apresentaram-se acima dos parâmetros estabelecidos pela ANP, tornando-o inutilizável como combustível automotivo. Já os biodieseis derivados do óleo bruto com restolhos apresentaram algumas propriedades dentro e fora dos parâmetros, tendo o de razão molar 1:3 (óleo:álcool) se sobressaído dentre os demais, uma vez que apresentou todas as especificações em conformidade com os valores de referência da ANP, com exceção de seu valor de tensão superficial que se mostrou elevado.

De posse de tais resultados, é possível concluir que é viável a produção de biodiesel utilizando óleo de coco como matéria-prima, além de tudo com óleo de coco com restolhos, que apresentou resultados satisfatórios, uma vez que o óleo de coco é produzido em larga escala no Estado do Rio Grande do Norte e a matéria-prima com restolhos é considerada como rejeito na produção de óleo de coco extravirgem.

A título de conclusão, para trabalhos futuros é recomendado pesquisar métodos que reduzam o valor de tensão superficial, a fim de tornar produto final enquadrado por completo para o ramo automobilístico e realizar testes de ponto de fulgor, com o propósito de encontrar o valor referente a tal parâmetro com precisão.

7. REFERÊNCIAS

AMERICAN OIL CHEMISTS' SOCIETY. **Official methods and recommended practices of the American Oil Chemists' Society**. 4 ed. Champaign, USA, A.O.C.S., 1995 [A.O.C.S. Recommended Practice Cd 1 – 25].

AMERICAN OIL CHEMISTS' SOCIETY. **Official methods and recommended practices of the American Oil Chemists' Society**. 4 ed. Champaign, USA, A.O.C.S., 1995 [A.O.C.S. Recommended Practice Cd 3 – 25].

AMERICAN OIL CHEMISTS' SOCIETY. **Official methods and recommended practices of the American Oil Chemists' Society**. 4 ed. Champaign, USA, A.O.C.S., 1995 [A.O.C.S. Recommended Practice Cd 8 – 53].

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Standard Test Method for Saybolt Viscosity**. 7 ed. USA, A.S.T.M., 2013 [A.S.T.M. Standard Test Method D88 - 07].

AOCS Official Methods and Recommended Practices of the American Oil Chemist's Society. 7 ed. AOCS: Champaign, 2017.

ARAÚJO, Giselle de Souza. **Produção de Biodiesel a partir de óleo de coco (*Cocos nucifera* L.)**, Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Rio Grande do Norte – NATAL, 2008.

ARAÚJO, Giselle de Souza; SOUZA, Elisa Maria Bittencourt Dutra de; CARVALHO, R. H. R. Produção de Biodiesel a partir de Óleo de Coco (*Cocos nucifera* L.) Bruto. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ADVANCES IN CLEANER PRODUCTION, 2., 2009, São Paulo. **Resumo...** São Paulo: Unip, 2009. p. 1 - 10.

AZEREDO, Weine Amorim. **Otimização da produção de biodiesel metílico a partir de óleos de fritura residuais (OFR)**. 2014. 116 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Química, Instituto de Química, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2014.

BORGES, M.e.; DÍAZ, L.. Recent developments on heterogeneous catalysts for biodiesel production by oil esterification and transesterification reactions: A review. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 16, n. 5, p.2839-2849, jun. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2012.01.071>.

BRASIL. ABNT NBR nº 10.441, de 28 de julho de 2015. Esta Norma estabelece um procedimento específico para a determinação da viscosidade cinemática, ν , de produtos líquidos de petróleo, tanto transparentes quanto opacos, pela medição do tempo de escoamento de um determinado volume de líquido que flui sob a ação da força de gravidade, através de um viscosímetro: Norma Técnica. Brasília.

BRASIL, Henrique Fernandes Figueira. **Relatório Referente à Prática de Viscosidade Utilizando Osviscosímetros Hoeppler e Saybolt**. 2011. Disponível em: <<https://pt.scribd.com/document/64749824/Relatorio-Viscosidade-Hoeppler-e-Saybolt>>. Acesso em: 18 fev. 2019.

BRASIL. Lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005. **Dispõe: Sobre A Introdução do Biodiesel na Matriz Energética Brasileira; Altera As Leis nos 9.478, de 6 de agosto de 1997, 9.847, de 26 de outubro de 1999 e 10.636, de 30 de dezembro de 2002; e Dá Outras Providências**, Brasília. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2005/Lei/L11097.htm>. Acesso em

BRASIL. Lei nº 13.033, de 24 de setembro de 2014. Dispõe sobre a adição obrigatória de biodiesel ao óleo diesel comercializado com o consumidor final; altera as Leis nos 9.478, de 6 de agosto de 1997, e 8.723, de 28 de outubro de 1993; revoga dispositivos da Lei no 11.097, de 13 de janeiro de 2005; e dá outras providências. Brasília, DF, Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2014/Lei/L13033.htm>. Acesso em: 17 fev. 2019.

BRASIL. Portaria ANP nº 255, de 15 de setembro de 2003. Estabelece a especificação do biodiesel puro a ser adicionado ao óleo diesel automotivo para testes em frotas cativas ou para uso em processo industrial específico nos termos da Portaria ANP nº 240, de 25 de agosto de 2003. Brasília - DF, Disponível em: <<https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=185852>>. Acesso em: 16 fev. 2019.

BRASIL. Regulamento Técnico nº 184, de 23 de setembro de 2005. Regulamento Técnico para Óleos Vegetais, Gorduras Vegetais e Creme Vegetal. Brasília, DF: ANVISA, Disponível em: <http://portal.anvisa.gov.br/documents/33880/2568070/RDC_271_2005.pdf/b51df869-921a-412e-92d9-c1626871f383/>. Acesso em: 06 mar. 2019.

BRASIL. Resolução ANP nº 7, de 19 de março de 2008. **RANP 7 - 2008**. Brasília, BRASIL, 20 mar. 2008. Disponível em: <<http://legislacao.anp.gov.br/?path=legislacao-anp/resol-anp/2008/marco&item=ranp-7--2008>>. Acesso em: 25 jan. 2019.

BRASIL. Resolução ANP nº 45, de 25 de agosto de 2014. Dispõe sobre a especificação do biodiesel contida no Regulamento Técnico ANP nº 3 de 2014 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, Disponível em: <<https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=274064>>. Acesso em: 16 fev. 2019.

CASTRO, Marco Vinicius de; ALVES, Daniela Alves de. As controvérsias sociotécnicas sobre as especificações do biodiesel. **Sinais**, [viçosa], v. 20, n. 2, p.99-116, 01 dez. 2016.

COPRA INDÚSTRIA ALIMENTÍCIA LTDA (Maceió). **Óleos de Coco Extravirgem**. Desenvolvido por Lucatelli Design. Disponível em: <<http://www.copraalimentos.com.br/produto/oleos-de-coco-extravirgem-2/>>. Acesso em: 11 fev. 2019.

CUENCA, Manuel Alberto Gutiérrez et al. A Cultura do Coqueiro. **Sistemas de Produção Embrapa**, Brasília - Df, v. 2, n. 1, ago. 2016. Editores técnicos: Humberto Rollemberg Fontes e Joana Maria Santos Ferreira. Disponível em: <https://www.spo.cnptia.embrapa.br/conteudo?p_p_id=conteudoportlet_WAR_sistem>

asdeproducaolf6_1ga1ceportlet&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-2&p_p_col_count=1&p_r_p_-76293187_sistemaProducaold=7703&p_r_p_-996514994_topicold=7829>. Acesso em: 16 fev. 2019.

DANTAS, H. J. **Estudo Termoanalítico, Cinético e Reológico de Biodiesel Derivado do Óleo de Algodão**. 2006. 74 p. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa – PB, 2006.

DELATORRE, Andréia Boechat et al. Produção de Biodiesel: Considerações sobre as diferentes matérias-primas e rotas tecnológicas de processos. **Perspectivas Online**, [Rio de Janeiro], v. 1, n. 1, p.21-47, jun. 2011.

FELIX, Poliana Harlanne Dantas. **Modificação Química da Argila Bentonítica para uso como Suporte Catalítico para a Síntese do Biodiesel**. 2015. 143 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Química, Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2015.

FERNANDO, S et al. Effect of incompletely converted soybean oil on biodiesel quality. **Energy**, [s.l.], v. 32, n. 5, p.844-851, maio 2007. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2006.06.019>.

FONTES, Humberto Rollemberg. **Perspectivas para a produção de biodiesel a partir de óleo de coco (Cocos nucifera L)**. 2011. Disponível em: <<https://www.biodieselbr.com/noticias/biodiesel/perspectivas-producao-biodiesel-partir-oleo-coco-cocos-nucifera-l-17-08-06>>. Acesso em: 01 fev. 2019.

FRIZON, Diane Antunes et al. Determinação de Cinzas em Biodiesel de Óleo de Girassol, de Algodão e de Sebo Bovino. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE QUÍMICA, 32., 2009, Fortaleza. **Resumo...** Fortaleza: Sociedade Brasileira de Química, 2009. p. 1 - 1. Disponível em: <<http://sec.sbq.org.br/cdrom/32ra/resumos/T2389-2.pdf>>. Acesso em: 04 fev. 2019.

GONDIM, Amanda Duarte. **Avaliação da estabilidade térmica e oxidativa do biodiesel de algodão e do efeito da adição de antioxidantes (a-tocoferol e BHT)**. 2009. 249 f. Tese (Doutorado) - Curso de Química, Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal - RN, 2009. Disponível em: <<https://repositorio.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/17703/1/AmandaDG.pdf>>. Acesso em: 04 fev. 2019.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. 4. ed. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008. 1020 p. Coordenadores Odair Zenebon, Neus Sadocco Pascuet e Paulo Tiglea. Disponível em: <http://www.ial.sp.gov.br/resources/editorinplace/ial/2016_3_19/analisedealimentosia_l_2008.pdf>. Acesso em: 04 fev. 2019.

JITPUTTI, J et al. Transesterification of crude palm kernel oil and crude coconut oil by different solid catalysts. **Chemical Engineering Journal**, [s.l.], v. 116, n. 1, p.61-66, 1 fev. 2006. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cej.2005.09.025>.

KLICHOWSKI, Maria Goretti Bernardes; SILVA, Expedito Leite. **Proposta de Ensino de Química nas Escolas de Ensino Médio a Partir do Tema Óleos e Gorduras**. 2008. Disponível em: <<http://www.diaadiaeducacao.pr.gov.br/portals/pde/arquivos/2161-6.pdf>>. Acesso em: 12 jun. 2017.

KNOTHE, Gerhard. Dependence of biodiesel fuel properties on the structure of fatty acid alkyl esters. **Fuel Processing Technology**, [s.l.], v. 86, n. 10, p.1059-1070, jun. 2005. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fuproc.2004.11.002>.

KNOTHE, Gerhard; GERPEN, Jon; KRAHL, Jürgen. **The Biodiesel Handbook**. 2. ed. Urbana - IL: Aocs Press, 2010. 494 p.

KNOTHE, Gerhard et al. **Manual de Biodiesel**. São Paulo: Blucher, 2006. 352 p.

LIMA, José Renato de Oliveira et al. Biodiesel de babaçu (*Orbignya sp.*) obtido por via etanólica. **Química Nova**, [s.l.], v. 30, n. 3, p.600-603, jun. 2007. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-40422007000300019>.

LÔBO, I. P.; FERREIRA, S. L. C.; CRUZ, R. S. Biodiesel: parâmetros de qualidade e métodos analíticos. **Química Nova** vol. 32. n. 6, São Paulo: 2009.

MARTINS, Jakeline Santos; SANTOS, José Carlos Oliveira. Estudo comparativo das propriedades de óleo de coco obtido pelos processos industrial e artesanal. **Anais do 5º Encontro Regional de Química & 4º Encontro Nacional de Química**, [s.l.], p.1-12, nov. 2015. Editora Edgard Blücher. <http://dx.doi.org/10.5151/chenpro-5erq-fq6>.

MELO, Marco Aurélio Rodrigues de et al. Avaliação do Teor de Água, Propriedades Físico-Químicas e Estabilidade Oxidativa de Biodieseis e suas Blendas. **Revista Principia - Divulgação Científica e Tecnológica do Ifpb**, [s.l.], v. 1, n. 32, p.18-25, 26 dez. 2016. Instituto Federal de Educacao, Ciencia e Tecnologia da Paraiba. <http://dx.doi.org/10.18265/1517-03062015v1n32p18-25>.

NUNES, Gilliande Azevedo; MANHÃES, Alex Azeredo. Energia eólica no Brasil: uma alternativa inteligente frente às demandas elétricas atuais. **Bolsista de Valor: Revista de divulgação do Projeto Universidade Petrobras e IF Fluminense**, Campos dos Goytacazes, v. 1, p.163-167, 2010.

OLIVEIRA, D. S. et al. Obtenção do Biodiesel através da transesterificação do óleo de Moringa Oleífera Lam. **Holos**, [s. l.], v. 1, n. 29, p.49-61, mar. 2012.

PINTO, Vasco de Lima. **EFEITOS DO ENVELHECIMENTO NA DEGRADAÇÃO TERMOXIDATIVA DO SEBO BOVINO E SEUS BIOCOMBUSTÍVEIS VIA ANÁLISE DE UV – VIS**. 2014. 139 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências Naturais, Faculdade de Ciências Exatas e Naturais, Universidade do Estado do Rio Grande do Norte, Mossoró - RN, 2014. Disponível em: <<http://www.uern.br/controladepaginas/mestrado-dissertacoes-defendidas/arquivos/2212vasco.pdf>>. Acesso em: 04 fev. 2019.

RAMOS, Luiz P. et al. Biodiesel: Raw Materials, Production Technologies and Fuel Properties. **Revista Virtual de Química**, [s.l.], v. 9, n. 1, p.317-369, 2017. Sociedade Brasileira de Química (SBQ). <http://dx.doi.org/10.21577/1984-6835.20170020>.

RIBEIRO, Lair Geraldo Theodoro. A Verdade Científica sobre um Superalimento Funcional Denominado Óleo de Coco. **Brazilian Journal of Surgery And Clinical Research**. [concordia], p. 109-117. 24 abr. 2017. Disponível em: <<http://www.copraalimentos.com.br/wp-content/uploads/2017/07/Artigo-Cient%C3%ADfico-%C3%93leo-de-Coco.pdf>>. Acesso em: 01 fev. 2019.

SANTOS, Ana Filipa Xavier Guimarães. **Catalisadores Heterogêneos para a Produção de Biodiesel: Metanólise do Óleo de Soja sobre Hidrotalcites de Magnésio e Alumínio Modificadas**. 2007. 76 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia do Ambiente, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2007.

SANTOS, Anne Gabriella Dias. **Avaliação da Estabilidade Térmica e oxidativa dos biodieseis de algodão, girassol, dendê e sebo bovino**. 2010. 185 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Química, Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2010.

SANTOS, Anne Gabriella Dias et al. Estudo da estabilidade térmica e oxidativa do biodiesel produzido a partir do sebo bovino. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS, 6., 2011, Florianópolis. **Anais....** Florianópolis: Associação Brasileira de P&d em Petróleo e Gás, 2011. p. 1 - 8. Disponível em: <http://www.portalabpg.org.br/site_portugues/anais/anais6/publicacoes/repositorio/trabalhos/51550530042011293.pdf>. Acesso em: 16 fev. 2019.

SANTOS, R. T. et al. Estudo cinético aplicado na obtenção de biodiesel a partir de matérias-primas de baixa acidez. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CATÁLISE, 14., 2007, Porto de Galinhas. **Anais...** . Porto de Galinhas: Sbcacat, 2007. p. 177 - 177.

SEVERINO, Antônio Joaquim. **Metodologia do Trabalho Científico**. 23. ed. São Paulo: Cortez, 2007. 304 p. 5ª reimpressão.

SILVA NETO, Nivaldo et al. CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E FÍSICO-QUÍMICA DO ÓLEO DE COCO EXTRA VIRGEM (*Cocos nucifera* L.). In: CONGRESSO NORTE-NORDESTE DE QUÍMICA, 5., 2013, Natal - RN. **Anais...** . Natal - RN: UFRN, 2013. p. 1 - 9.

SIQUEIRA, Luiz Alberto; ARAGÃO, Wilson Meneses; TUPINAMBÁ, Evandro Almeida. **A introdução do coqueiro no Brasil. Importância histórica e agrônômica**. 2002. Disponível em: <<http://www.cpatc.embrapa.br>>. Acesso em: 11 fev. 2019.

SILVA, Ana Alexandrina Gama da; BARROS, Alexandre Hugo Cezar. **Potencial climático para produção de coco (*cocos nucifera* L.) nos tabuleiros costeiros da Região Nordeste do Brasil**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 20.; SIMPÓSIO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS E DESERTIFICAÇÃO NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO, 5., 2017, Juazeiro, Petrolina. A agrometeorologia na solução de problemas multiescala: anais. Petrolina: Embrapa Semiárido: Univasf, 2017.

SILVA, Luís Carlos Matos da. **Processo de Produção de Biodiesel e Análise de Parâmetros de Qualidade**. 2014. 102 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Energias Renováveis e Eficiência Energética, Escola Superior de Tecnologia e de Gestão, Instituto Politécnico de Bragança, Bragança, 2014.

SILVA, Pablo Vinícius Soares da. **Estudo da Produção de Biodiesel de Óleo de coco bruto via Catálise Básica**. 2013. 46 f. TCC (Graduação) - Curso de Bacharelado em Ciências e Tecnologia, Departamento de Ciências Exatas, Tecnológicas e Humanas, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Angicos, 2013.

SUAREZ, Paulo A. Z. et al. Biocombustíveis a partir de óleos e gorduras: desafios tecnológicos para viabilizá-los. **Química Nova**, [s.l.], v. 32, n. 3, p.768-775, 2009. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-40422009000300020>.

TDSE: TEXTOS DE DISCUSSÃO DO SETOR ELÉTRICO. Rio de Janeiro: Gesel, n. 19, maio 2010. Disponível em: <http://www.gesel.ie.ufrj.br/app/webroot/files/publications/44_TDSE19.pdf>. Acesso em: 01 nov. 2018.

VICHI, Flávio Maron; MANSOR, Maria Teresa Castilho. **Energia, meio ambiente e economia: o Brasil no contexto mundial**. Química Nova, São Paulo, v. 32, n. 3, p.757-767, 02 abr. 2009.