

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

DEPARTAMENTO DE QUÍMICA

CURSO DE BACHARELADO EM QUÍMICA

LYANA NOVAKOSKI BELLÉ

**OBTENÇÃO DE BIODIESEL A PARTIR DE ÓLEO DE AMENDOIM
REFINADO, POR TRANSESTERIFICAÇÃO METÍLICA EM MEIO
BÁSICO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PATO BRANCO

2016

LYANA NOVAKOSKI BELLÉ

**OBTENÇÃO DE BIODIESEL A PARTIR DE ÓLEO DE AMENDOIM
REFINADO, POR TRANSESTERIFICAÇÃO METÍLICA EM MEIO
BÁSICO**

Trabalho de conclusão de curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso, do Curso de Bacharelado em Química do Departamento de Química – DAQUI – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Campus Pato Branco, como requisito parcial para obtenção do título de Químico.

Orientador: Prof. Me. Pedro Paulo Pereira

PATO BRANCO

2016

TERMO DE APROVAÇÃO

O trabalho de diplomação intitulado “Obtenção de biodiesel a partir de óleo de amendoim refinado, por transesterificação metílica em meio básico” foi considerado APROVADO de acordo com a ata da banca examinadora N° 10.1.2016-B de 2016.

Fizeram parte da banca os professores.

Leandro Zatta

Marcos Bertani Gazola

Pedro Paulo Pereira

AGRADECIMENTOS

Infelizmente não conseguirei nesta página agradecer todas as pessoas que me ajudaram nesta importante fase da minha vida. Desta forma, peço desculpas a todos que de alguma forma me ajudaram, porém não foram citados, mas estes podem ter certeza que meu agradecimento virá de alguma outra forma.

Em primeiro lugar agradeço imensamente a Deus, por sempre estar presente em todos os momentos, me orientando, me acalmando e me provando diariamente que sempre posso contar com Ele. É a minha força em todas as situações.

Agradeço imensamente a minha família, e principalmente aos meus pais Leonir Antônio Bellé e Marli Novakoski, e ao meu irmão Éder Novakoski Bellé. Sempre que precisei, eles foram o meu refúgio e nunca deixaram de me apoiar, incentivar e nunca me permitiram desistir. A vocês, meu eterno agradecimento por estarem sempre ao meu lado.

Este trabalho não seria possível sem o auxílio e orientação de meu orientador, Pedro Paulo Pereira. A ele, meu sincero agradecimento pela paciência, pelos ensinamentos, pelo tempo à mim dedicado e por estar sempre à disposição para me ajudar no que precisasse.

Não poderia deixar de agradecer também aos professores Leandro Zatta e Marcos Bertani Gazola, pelo tempo dedicado à correção deste trabalho, bem como o auxílio nas dúvidas que me surgiam.

Algumas pessoas tiveram papel fundamental neste trabalho por dedicarem seu tempo para me auxiliar no que eu precisasse sem medir esforços pra isso. Não poderia esquecer estes que fizeram todo o possível pra me ajudar. À Anna Elisa Novakoski Sosnoski e Pedro Muniz que disponibilizaram os óleos de amendoim para este trabalho, mesmo com as adversidades. Ao Rafael Novakoski Arruda e Angelita Simioni que me adotaram em sua casa por tanto tempo para que meus estudos e este trabalho se tornassem menos cansativos.

Estas pesquisas e análises só puderam ser realizadas com a disponibilidade e auxílio dos Laboratórios de Química da UTFPR e do LAQUA – Laboratório de Qualidade Agroindustrial, onde as responsáveis técnicas Edenes Maria Schrol Loss e Roberta Roncatti me auxiliaram da melhor forma possível. A todos os citados e não citados, muito obrigado. Sem vocês, isto não seria possível.

RESUMO

BELLÉ, Lyana Novakoski. Obtenção de biodiesel a partir de óleo de amendoim refinado, por transesterificação metílica em meio básico. 2016. 50 f. Trabalho de conclusão de curso - Curso de Bacharelado em Química, Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Pato Branco, 2016.

Este trabalho tem como abordagem a obtenção de biodiesel de óleo de amendoim por transesterificação metílica em presença de catalisadores básicos, bem como tentativas de obtenção de biodiesel por rota etílica. Neste trabalho também é analisada a obtenção de biodiesel com variações de tipo e quantidade de catalisadores, quantidade de catalisadores, temperatura e tempo. No produto obtido e no óleo utilizado foram realizadas análises para determinar se os mesmos estão em condições adequadas para uso, bem como para verificar se o biodiesel obtido está dentro dos padrões exigidos pela ANP 255, EN14214 e ASTM D6751. Traz como resultado as condições específicas para obter o biodiesel de melhor rendimento e qualidade para este tipo de óleo.

Palavras-chave: Biodiesel metílico. Transesterificação metílica. Obtenção de biodiesel. Biodiesel de óleo de amendoim.

ABSTRACT

BELLÉ, Lyana Novakoski. Obtaining biodiesel from refined groundnut oil by transesterification methyl in basic medium. 2016. 50 f. Trabalho de conclusão de curso - Curso de Bacharelado em Química, Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Pato Branco, 2016.

This work presents as an approach the obtainment of peanut oil biodiesel by methyl transesterification in the presence of basic catalysts, in addition to attempts to obtain biodiesel by ethyl route. This work also analyzes the obtainment by catalysts variations, amount of catalyst, temperature and time. In biodiesel obtained and used oil, analysis are performed to determine if they are in proper conditions for use as well as to determine whether the obtained biodiesel is within the standards required by ANP 255, EN 14214 and ASTM D6751. As a result we found the specific conditions to obtain biodiesel best yield and quality for this type of oil.

Keywords: Methyl biodiesel. Methyl transesterification. Obtaining biodiesel. Biodiesel penaut oil.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
1.1	DEMILITAÇÃO	10
1.2	HIPÓTESES	10
1.3	OBJETIVOS	11
1.3.1	Objetivo geral	11
1.3.2	Objetivos específicos	11
2	REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO	12
2.1	HISTÓRIA DO BIODIESEL	12
2.2	OBTENÇÃO DO BIODIESEL	13
2.3	APLICAÇÕES DO BIODIESEL	16
2.4	MATÉRIA PRIMA – AMENDOIM	17
2.5	PADRÕES DE QUALIDADE - ANÁLISES	18
3	MATERIAIS E MÉTODOS	23
3.1	PROCESSO DE OBTENÇÃO DO BIODIESEL	23
3.2	ANÁLISES PARA O ÓLEO DE AMENDOIM E BIODIESEL	24
3.2.1	Densidade a 20°C	24
3.2.2	Umidade	25
3.2.3	Índice de Acidez	26
3.2.4	Índice de saponificação	26
3.3	ANÁLISES PARA O BIODIESEL	27
3.3.1	Aspecto	27
3.3.2	Resíduo de carbono	28
3.3.3	Viscosidade cinemática a 40°C	28
3.3.4	Ponto de fulgor	30
4	CRONOGRAMA	31
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	32
5.1	ROTA ETÍLICA	32
5.2	ROTA METÍLICA	32
5.3	ANÁLISES DO ÓLEO DE AMENDOIM	35
5.3.1	Densidade a 25°C	35
5.3.2	Umidade	35
5.3.3	Índice de acidez	36

5.3.4 Índice de saponificação	37
5.3.5. Comparação com a literatura	37
5.4 ANÁLISES DO BIODIESEL.....	38
5.4.1 Aspecto	38
5.4.2 Densidade a 20°C	38
5.4.3 Índice de acidez	39
5.4.4 Umidade	40
5.4.5 Índice de saponificação	40
5.4.6 Ponto de fulgor	41
5.4.7 Viscosidade	41
5.4.8 Resíduo de carbono	42
5.5 COMPARAÇÕES DO BIODIESEL OBTIDO COM A NORMA AMERICANA (ASTM D6751), EUROPÉIA (EM 14214) E BRASILEIRA (ANP 255).	42
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	44
REFERÊNCIAS.....	45
ANEXO 1.....	49

1 INTRODUÇÃO

Devido ao aumento na demanda energética mundial, no valor do barril do petróleo e na consciência dos danos ambientais causados pela queima de combustíveis fósseis, tem-se aumentado o interesse em combustíveis a partir de recursos renováveis e com redução de emissão de poluentes. O uso em larga escala da energia proveniente de biomassa é apontado como grande opção que poderia contribuir para o desenvolvimento sustentável nas áreas ambiental, social e econômica. (LÔBO; FERREIRA; CRUZ, 2009).

Desta forma, o biodiesel surge como opção de biomassa para produção de energia por demonstrar uma série de vantagens em relação ao diesel de petróleo. O biodiesel é proveniente de fontes renováveis, não apresenta toxicidade, suas emissões atmosféricas são de melhor qualidade, apresenta maior viscosidade assim proporcionando mais lubrificidade resultando na redução no desgaste das partes móveis do motor. Outra vantagem é que seu desempenho no motor é praticamente o mesmo em relação ao torque e a potência quando utilizado diesel de petróleo.

O biodiesel pode ser obtido por diferentes processos, como craqueamento, esterificação ou transesterificação, esta última tendo a glicerina como subproduto. A transesterificação é o método estimulado pelo Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel no Brasil, consistindo na reação química de triacilgliceróis com álcoois (metanol ou etanol) na presença de um catalisador (SILVA; FREITAS, 2008). O metanol é mais utilizado por ser mais reativo, implicando em menor temperatura e tempo de reação, enquanto que o etanol é menos tóxico, mais barato e renovável.

A maior parte do biodiesel produzido atualmente no mundo utiliza a soja como matéria prima, porém todos os óleos vegetais contendo triglicerídeos saponificáveis podem ser convertidos em biodiesel (54° CONGRESSO BRASILEIRO DE QUÍMICA, 2014).

O amendoim é uma oleaginosa cultivada em várias regiões do mundo, podendo ser uma matéria prima promissora para a fabricação de biodiesel, pois a partir da soja pode-se extrair 20% de óleo para fabricação de biodiesel, enquanto do amendoim, pode-se obter 50% para a mesma finalidade (O ESTADO DE SÃO

PAULO, 2010). Atualmente, sua produção mundial é pequena, mas tem aumentado consideravelmente devido a alta demanda do setor produtivo e da expansão e transformação tecnológica para a produção de biodiesel (EMBRAPA, 2015).

Este trabalho visa obter biodiesel a partir de óleo de amendoim pelo processo de transesterificação metílica na presença de catalisadores básicos (NaOH e KOH), e verificar a qualidade e eficiência deste biocombustível com diversas análises.

1.1 DEMILITAÇÃO

Este projeto restringe-se a obtenção de biodiesel a partir de óleo de amendoim já refinado em Itápolis - SP, por transesterificação metílica em presença de catalisadores básicos variando a temperatura, tempo, razão molar, tipo de catalisador e quantidade de catalisador com posterior determinação de qualidade por análises variadas.

1.2 HIPÓTESES

Com este estudo, espera-se obter biodiesel a partir de óleo de amendoim pela rota metílica, identificar a quantidade de catalisador e qual apresenta melhor eficiência. Espera-se também verificar a temperatura ideal para que a transesterificação obtenha maior rendimento, bem como saber o tempo ideal para que esta ocorra. Com esses resultados, espera-se que os parâmetros de qualidade analisados deste biodiesel estejam dentro dos padrões e normas atuais.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo geral

Tem-se como objetivo central obter biodiesel a partir de óleo de amendoim refinado, por transesterificação metílica e etílica com catalisadores básicos e verificar parâmetros de qualidade deste biodiesel através de métodos analíticos.

1.3.2 Objetivos específicos

- Verificar qual o álcool mais adequado para transesterificação;
- Obter biodiesel a partir de óleo de amendoim refinado, por transesterificação metílica e etílica com catalisadores básicos;
- Analisar o índice de saponificação, densidade, umidade e índice de acidez do óleo de amendoim;
- Determinar qualitativamente e quantitativamente o catalisador, o tempo e a temperatura que produzam um biodiesel com maior rendimento e qualidade;
- Analisar o índice de saponificação, umidade, aspecto, resíduo de carbono, viscosidade cinemática a 40°C e índice de acidez do biodiesel por métodos analíticos;
- Analisar o ponto de fulgor do biodiesel obtido.

2 REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

2.1 HISTÓRIA DO BIODIESEL

O motor diesel tem sido escolhido para aplicações pesadas na agricultura, na construção civil, na indústria e no transporte rodoviário por mais de 50 anos. A durabilidade, capacidade de fornecer alto torque e consumo eficiente do combustível foram os fatores mais determinantes para sua aplicação (GERPEN, 2005a).

Rudolf Diesel, o inventor da máquina que veio a receber seu nome, teve grande interesse em um combustível para operar em seus motores de origem renovável.

Diesel atestou no último capítulo de seu livro intitulado “Combustíveis líquidos”, o uso de óleos vegetais:

Para completar, é importante que, nos idos de 1900, óleos vegetais já vinham sendo utilizados em máquinas diesel com sucesso. Durante a Exposição de Paris de 1900, a companhia francesa Otto demonstrou o funcionamento de um pequeno motor diesel com óleo de amendoim. Essa experiência foi tão bem sucedida que apenas alguns dos presentes perceberam as circunstâncias em que a experiência havia sido conduzida. O motor, que havia sido construído para consumir petróleo, operou com óleos vegetais sem qualquer modificação. Também foi observado que o consumo de óleo vegetal resultou em um aproveitamento de calor literalmente idêntico ao do petróleo (Diesel, 1912 apud KNOTHE, 2005, p. 6).

O inventor se empolgou com a descoberta e previu que, embora nos anos seguintes isso provavelmente não significasse uma substituição do petróleo, no futuro os óleos orgânicos poderiam ser muito importantes. Os óleos vegetais, logo se perceberia, deixavam depósitos de carbono no motor que exigiam manutenção muito mais frequente e acabavam diminuindo o tempo de uso da máquina (BIODIESELBR, 2015a).

Só houve avanços na perspectiva da utilização de combustíveis derivados de produtos orgânicos a partir do momento em que se percebeu que “a remoção da glicerina da molécula original de óleo vegetal gerava um combustível muito mais apropriado para os motores do tipo diesel” (ENCARNAÇÃO, 2008 apud BIODIESELBR, 2015a). Isso ocorreu quando o belga George Chavanne, da

Universidade de Bruxelas, descobriu o processo de transesterificação, a reação que permite a obtenção do biodiesel moderno. A descoberta de Chavanne foi patenteada na Bélgica em 1937, e logo ganhou aplicação prática. No ano seguinte, o biodiesel obtido com a reação foi usado para movimentar os ônibus de uma linha entre as cidades de Bruxelas e Louvain (BIODIESELBR, 2015a).

Após a crise do petróleo, em 1973, buscou-se uma alternativa para o diesel de petróleo que teve uma redução em sua produção mundial e um aumento no preço do barril, e conseqüentemente, fazendo com que surgissem novas pesquisas sobre combustíveis alternativos. Nos últimos anos, a contínua elevação do preço do barril de petróleo, as questões ambientais associadas à queima de combustíveis fósseis e a demanda energética mundial impulsionaram a busca por um combustível alternativo. O biodiesel é apontado como uma grande opção, pois é um exemplo de biomassa para produção de energia que apresenta uma série de vantagens em relação ao diesel de petróleo.

Atualmente, o biodiesel responde por uma fração muito pequena do consumo de combustível. No entanto, na medida em que a localização e prospecção do petróleo se tornam mais dispendiosas, e que aumentam as preocupações com questões ambientais sobre as emissões de motores movidos a óleo diesel e com o aquecimento global, o “biodiesel” provavelmente emergirá como uma alternativa em potencial para a substituição do óleo diesel (GERPEN, 2005a).

2.2 OBTENÇÃO DO BIODIESEL

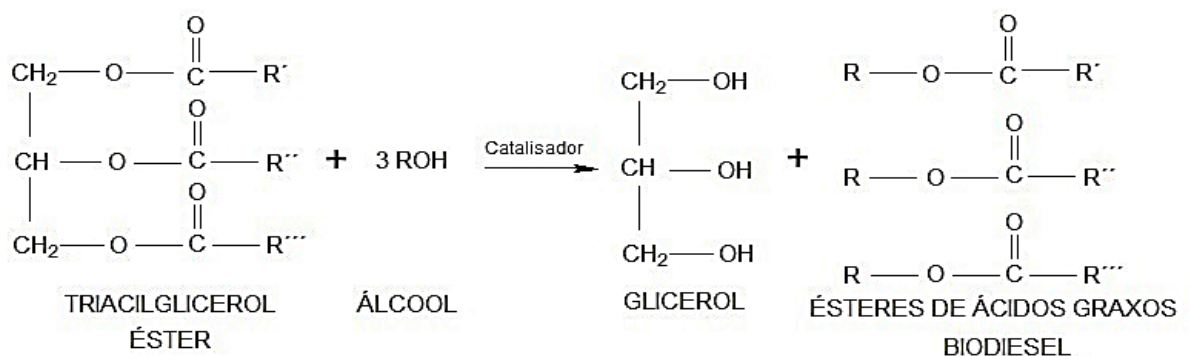
O biodiesel é obtido a partir de uma reação entre óleos vegetais e um álcool. Os óleos vegetais são constituídos predominantemente de substâncias conhecidas como triglicerídeos (também chamadas de triacilgliceróis ou triacilglicerídeos), que são ésteres formados a partir de ácidos carboxílicos de cadeia longa (ácidos graxos) e glicerol (STREITWIESER, et al., 1992 apud RINALDI, et al., 2007).

Os óleos vegetais apresentam várias vantagens para uso como combustível, contudo, o uso direto de óleos vegetais como combustível para motores é

problemático devido a sua alta viscosidade, maior densidade e baixa volatilidade. (PINTO et al., 2005 apud RINALDI, et al., 2007) que geram vários problemas como combustão incompleta, formação de depósitos de carbono nos sistemas de injeção, comprometimento da durabilidade do motor (TASHTOUSH, et al., 2003 apud RINALDI, et al., 2007) e emissão de acroleína (substância altamente tóxica e cancerígena) formada pela decomposição térmica do glicerol (SCHWAB et al., 1988 apud RINALDI, et al., 2007).

Quatro métodos têm sido investigados para reduzir a alta viscosidade de óleos vegetais e, assim, permitir o seu uso em motores diesel sem problemas operacionais: uso de misturas binárias com petrodiesel, pirólise, microemulsificação (ou mistura co-solvente) e transesterificação. Apenas a transesterificação origina produto comumente denominado biodiesel, isto é, ésteres alquílicos de óleos e gorduras (GERPEN; KNOTHE, 2005).

O biodiesel é então obtido através da transesterificação, uma reação orgânica na qual um éster é transformado em outro através da troca dos grupos alcóxidos, dos triglicerídeos de óleos e gorduras de origem vegetal ou animal com um mono-álcool de cadeia curta, tipicamente metanol ou etanol, com presença ou não de um catalisador, produzindo uma mistura de ésteres alquílicos de ácidos graxos e glicerol, como visto na **Erro! Fonte de referência não encontrada.** (RINALDI et al., 2007).



R', R'', R''': CADEIA CARBONICA DE ÁCIDO GRAXO

R: GRUPO ALQUIL DO ÁLCOOL

Figura 1- Reação de transesterificação

Fonte: http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/trans1_000g339v5zp02wx5ok0r2ma0n0ew5trv.png

A princípio, a transesterificação é uma reação reversível. Entretanto, o glicerol formado é praticamente imiscível no biodiesel, reduzindo fortemente a extensão da reação reversa (GERPEN; KNOTHE, 2005). O glicerol é usado em quase toda indústria, sendo o maior consumo na área de medicamentos e produtos de higiene bucal. (APPLEBY, 2005). Por ser insolúvel no biodiesel, sua remoção pode ser facilmente obtida por decantação ou centrifugação. Pequena porção de glicerina livre pode permanecer dispersa como gotículas suspensas ou como uma pequena fração que é capaz de se dissolver no biodiesel. Álcoois, como metanol e o etanol, assim como catalisadores alcalinos, são removidos quando o glicerol é separado do biodiesel (GERPEN; KNOTHE, 2005).

Em relação à escolha do álcool a ser empregado, a opção preferencial para o Brasil deve ser o etanol, que é produzido localmente em larga escala, consideravelmente menos tóxico, é renovável e produz biodiesel com maior número de cetano e lubricidade. Uma grande desvantagem do etanol está no fato deste promover uma maior dispersão da glicerina no biodiesel, dificultando a sua separação. Para a obtenção de maiores rendimentos na reação de transesterificação costuma-se utilizar excesso de álcool e remoção da glicerina (LÔBO; FERREIRA; CRUZ, 2009).

O metanol é amplamente aplicado na indústria de biodiesel por ser mais reativo, simplificando o processo por ter separação espontânea da glicerina dos ésteres metílicos e alta conversão dos triacilglicerídeos em ésteres. Além disso, tem um custo menor e é utilizado em pequeno excesso no processo, implicando em menor temperatura e tempo de reação (BRANDÃO et al., 2006).

A transesterificação pode ser realizada por catálise ácida ou básica. No entanto, em catálise homogênea, catalisadores alcalinos (KOH e NaOH) proporcionam processos muito mais rápidos que catalisadores ácidos (GERPEN; KNOTHE, 2005), são mais eficientes, promovendo altos rendimentos.

A vantagem do hidróxido de potássio é relacionada ao fato de que o efluente do processo pode apresentar algum valor econômico como fertilizantes, devido ao seu conteúdo em potássio (HAAS; FOGLIA, 2005).

A desvantagem, quando bases como o NaOH ou KOH são utilizadas na alcoólise, apesar de que este processo proporcione altos rendimentos em

monoésteres alquílicos, sob condições ideais de reação, as etapas subsequentes de purificação são bastante onerosas em função dos monoésteres e, principalmente, da glicerina obtida como coproduto no processo, apresentarem contaminação com sais, acilglicerois, sabões, entre outros (CORDEIRO et al., 2011).

2.3 APLICAÇÕES DO BIODIESEL

Além de combustível substituto do diesel mineral em motores diesel, o biodiesel pode ser usado como combustível puro para a geração de energia elétrica, em turbinas a gás para gerar eletricidade, em sistema de aquecimento de ambientes ou como combustível para caldeiras industriais. (HOWELL; JOBE, 2005).

Como combustível em motores, além de ser totalmente compatível com o diesel de petróleo em praticamente todas as suas propriedades, o biodiesel ainda apresenta várias vantagens adicionais em comparação com este combustível fóssil. Testes de toxicidade demonstram que o biodiesel é consideravelmente menos tóxico que o combustível diesel (PERTERSON; MÜLLER, 2005).

É derivado de matérias-primas renováveis de ocorrência natural, reduzindo assim nossa atual dependência sobre os derivados de petróleo e preservando as suas últimas reservas. É biodegradável. Gera redução nas principais emissões presentes nos gases de exaustão (com exceção dos óxidos de nitrogênio). Possui um alto ponto de fulgor (271°C), o que lhe confere manuseio e armazenamento mais seguros. Apresenta excelente lubricidade (KNOTHE, 2005a) que é a “qualidade que evita o desgaste quando duas partes metálicas em movimento entram em contato entre si” (LEPERA, 2000 apud SHUMACHER, 2005).

Alguns problemas inerentes ao biodiesel estão relacionados ao seu alto custo. O alto custo da produção de biodiesel pode também ser (parcialmente) compensado pelo uso de matérias-primas de menor valor agregado, o que tem motivado a investigação de tecnologias para a utilização de óleos de descarte (KNOTHE, 2005a).

O biodiesel em motores pode ser utilizado puro ou em diversas proporções. O biodiesel é miscível com o diesel de petróleo em qualquer proporção (KNOTHE, 2005a). Mundialmente passou-se a adotar uma nomenclatura bastante apropriada para identificar a concentração do Biodiesel na mistura. É o Biodiesel BXX, onde XX é a percentagem em volume do Biodiesel à mistura. Por exemplo, o B2 e B100 são combustíveis com uma concentração de 2% e 100% de Biodiesel, respectivamente (BIODIESELBR, 2015b).

2.4 MATÉRIA PRIMA – AMENDOIM

O Brasil tem potencial para ser líder mundial na produção de biodiesel. Nenhum outro país é tão apropriado para diferentes culturas de oleaginosas como o nosso País. O clima favorável, a vocação agrícola e a disponibilidade de cerca de 100 milhões de hectares virgens de terras boas para a agricultura (dados do IBGE) o credenciam a ser o maior fornecedor mundial do biodiesel (PEREIRA, 2006).

O biodiesel pode ser produzido de uma grande variedade de matérias-primas. Estas matérias-primas incluem a maioria dos óleos vegetais (por exemplo, óleo de soja, palma, amendoim, coco) e gorduras de origem animal (usualmente sebo), bem como óleos de descarte (por exemplo, óleo usado em frituras). A escolha da matéria-prima para a produção de biodiesel depende largamente de fatores geográficos (KNOTHE, 2005a). A matéria graxa mais abundante naquela localização é geralmente a mais utilizada (HAAS; FOGLIA, 2005). Das mais de 350 plantas oleaginosas conhecidas, aquelas que têm o maior potencial de produção são os óleos de girassol, açafrão, soja, sementes de algodão, semente de colza, canola, milho e amendoim (PETERSON, 2005).

A soja, única oleaginosa de grande disponibilidade no Brasil, com quase 60 milhões de toneladas colhidas anualmente, oferece apenas 20% de óleo ao ser processada (BARBOSA et al., 2008). Do amendoim, algumas variedades produzem até 50% de óleo para a mesma finalidade. Para alguns pesquisadores o amendoim tem potencial para desbancar a soja (O ESTADO DE SÃO PAULO, 2010).

O amendoim é uma planta originária da América do Sul. No Brasil, é uma das principais oleaginosas cultivadas, e no mundo é considerada uma das mais importantes culturas, ao lado da soja e do feijão. Suas sementes são ricas em óleo (50%) e proteína (25% a 30%). Contêm também carboidratos, sais minerais e as vitaminas A e B, além da E que auxilia na sua conservação. Atualmente, sua produção mundial é pequena, mas tem sofrido um considerável aumento devido à alta demanda do setor produtivo e da expansão e transformação tecnológica para a produção de biodiesel (EMBRAPA, 2015).

O agrônomo da Coordenadoria de Assistência Técnica Integral (CATI), Dilson Cáceres, especialista em oleaginosas, diz que "quando o mercado deixar de focar o volume de produção e se voltar para a qualidade, o óleo de amendoim poderá ser uma das principais fontes de biodiesel". Ainda falta um longo caminho até que o amendoim alcance este status. Primeiro porque as áreas de cultivo são pequenas e limita-se praticamente a São Paulo, que concentra 90% das lavouras da oleaginosa, cultivada em regime de rotação com a cana-de-açúcar. Segundo, porque a maior parte da produção é destinada ao setor de confeitaria, o que diminui ainda mais o volume de matéria-prima destinado ao óleo, que atualmente também é empregado para fins culinários (O ESTADO DE SÃO PAULO, 2010).

Em todo o mundo, as matérias-primas graxas mais típicas para a produção de biodiesel são os óleos vegetais refinados (HAAS; FOGLIA, 2005), isto porque antes do processo de produção do biodiesel, o óleo ou gordura deverá passar por um pré-tratamento denominado degomagem (MORAIS et al., 2001 apud LOBÔ, FERREIRA; CRUZ, 2009), para remoção de grande parte dos fosfolípidios. Neste procedimento são removidas também outras impurezas como ceras, substâncias coloidais e íons metálicos, através da lavagem do óleo aquecido com água. A transesterificação de óleo vegetais brutos, ou seja, sem o tratamento prévio de degomagem, resultará na redução do rendimento da reação (GERPEN, 2005b).

2.5 PADRÕES DE QUALIDADE - ANÁLISES

Para garantir a qualidade do biodiesel é necessário estabelecer padrões de qualidade, objetivando fixar teores limites dos contaminantes que não venham prejudicar a qualidade das emissões da queima, bem como o desempenho, a integridade do motor e a segurança no transporte e manuseio. Devem ser monitoradas também possíveis degradações do produto durante o processo de estocagem (LÔBO; FERREIRA; CRUZ, 2009).

Geralmente, a qualidade do combustível pode ser influenciada por vários fatores, incluindo a qualidade da matéria-prima, o processamento de produção, o emprego de outros materiais no processo e parâmetros posteriores a produção. Quando as especificações são atendidas, o biodiesel pode ser utilizado na maioria dos motores modernos, sem neles exigir qualquer modificação, sem oferecer qualquer comprometimento da durabilidade e confiabilidade do motor (GERPEN; KNOTHE, 2005).

Atualmente o padrão de qualidade americano, elaborado pela ASTM (American Society of Testing and Materials), através da norma ASTM D6751, e o estabelecido na União Européia através da norma EN 14214 do Comitê Europeu de Normalização (Comitê Européen de Normalisation - CEN) figuram como os mais conhecidos e são geralmente usados como referência ou base para outros padrões (KNOTHE, 2005b).

A análise do aspecto do biodiesel é uma análise preliminar, onde se procura verificar a presença de impurezas que possam ser identificadas visualmente, como materiais em suspensão, sedimentos ou mesmo turvação na amostra de biodiesel, que pode ser decorrente da presença de água (LÔBO; FERREIRA; CRUZ, 2009). A água em suspensão representa um problema porque pode contribuir a corrosão de acessórios cujo ajuste depende o bom funcionamento do motor. Sedimentos podem corresponder a materiais em suspensão, como ferrugem ou partículas de sujeira, ou ainda podem se originar da oxidação do combustível mediante a formação de compostos insolúveis (GERPEN; KNOTHE, 2005). Na ausência destes contaminantes, o biodiesel é classificado como límpido e isento de impurezas (LÔBO; FERREIRA; CRUZ, 2009).

A tendência de formação de depósitos nas câmaras de combustão pode ser avaliada através da determinação dos resíduos de carbono. Além dos sabões e dos

glicerídeos residuais, contribuem para os valores de resíduo de carbono a água livre, os ácidos graxos livres, o resíduo de catalisadores e os insaponificáveis oriundos da matéria prima (LÔBO; FERREIRA; CRUZ, 2009).

Uma análise de grande importância é o ponto de fulgor que representa a temperatura mínima onde é observada a liberação de vapores de um líquido, em quantidade suficiente para formar uma mistura inflamável com o ar. Para o biodiesel, os valores de ponto de fulgor são, consideravelmente, mais elevados que os valores encontrados para o diesel mineral. Este comportamento torna o ponto de fulgor um parâmetro muito importante quanto à segurança no armazenamento e no transporte (LÔBO; FERREIRA; CRUZ, 2009).

Algumas propriedades do biodiesel estão relacionadas com as estruturas moleculares dos seus alquil ésteres constituintes (DEMIRBAS, 2008 apud LÔBO, FERREIRA; CRUZ, 2009). Desta forma, parâmetros analíticos foram adotados visando o controle deste feito sobre o desempenho do combustível. Dentre estes estão: a massa específica, a viscosidade cinemática, o índice de iodo e número de cetano (LÔBO; FERREIRA; CRUZ, 2009).

A densidade do biodiesel está diretamente ligada com a estrutura molecular das suas moléculas. Quanto maior o comprimento da cadeia carbônica do alquiléster, maior será a densidade, no entanto, este valor decrescerá quanto maior for o número de insaturações presentes na molécula. A presença de impurezas também poderá influenciar na densidade do biodiesel como, por exemplo, o álcool ou substâncias adulterantes (LÔBO; FERREIRA; CRUZ, 2009).

A maior razão para que os óleos vegetais devam ser convertidos em alquil ésteres é a viscosidade cinemática que, no biodiesel, é muito mais próxima daquela do diesel do petróleo. A alta viscosidade de matérias graxas não transesterificadas conduz a sérios problemas operacionais nos motores diesel, tais como a ocorrência de depósitos em várias partes do motor (KNOTHE, 2005a).

A viscosidade é a medida da resistência da vazão de um líquido associada à fricção ou atrito interno de uma parte do fluido que escoar sobre outra (KNOTHE, 2005c). A viscosidade do biodiesel aumenta com o comprimento da cadeia carbônica, grau de saturação (KNOTHE, 2005b), presença de sabões residuais e glicerídeos não reagidos (mono-, di- e triglicerídeos). Isso tem influência no processo

de queima na câmara de combustão do motor, ocasiona heterogeneidade na combustão do biodiesel gerando a deposição de resíduos nas partes internas do motor, entupimento do filtro de combustível e formação de depósitos em partes do motor como pistões, válvulas e bicos injetores (BOWMAN; HILLIGOSS; RASMUSSEN, 2006 apud LÔBO; FERREIRA; CRUZ, 2009). Estes contaminantes podem, portanto, ser monitorados indiretamente através da determinação da viscosidade cinemática a 40°C (LÔBO; FERREIRA; CRUZ, 2009).

Deve-se também verificar o teor de umidade, pois este indica a presença de água no biodiesel e no óleo. A água, além de promover a hidrólise do biodiesel resultando em ácidos graxos livres, também está associada à proliferação de microrganismos, corrosão em tanques de estocagem com deposição de sedimentos. Como o biodiesel apresenta certo grau de hidroskopicidade, o teor de água deverá ser monitorado durante o armazenamento (LÔBO; FERREIRA; CRUZ, 2009).

O monitoramento da acidez no biodiesel é de grande importância durante a estocagem, na qual a alteração dos valores neste período pode significar a presença de água (LÔBO; FERREIRA; CRUZ, 2009). O índice de acidez é a análise utilizada para esse monitoramento, e este índice informa o número de miligramas de uma base necessários para neutralizar os ácidos livres de um grama de gordura. É uma variável intimamente relacionada com a natureza e a qualidade da matéria-prima, com a qualidade e o grau de pureza da gordura, com o processamento e principalmente, com as condições de conservação da gordura (MORETTO; FETT, 1998).

Por fim, o índice de saponificação é o número de miligramas de base necessários para saponificar um grama de gordura (MORETTO; FETT, 1998), representando uma indicação da quantidade relativa de ácidos graxos de alto e baixo peso molecular (TOFANINI, 2004). Quanto menor for o peso molecular do ácido graxo, tanto maior será o índice de saponificação (MORETTO; FETT, 1998).

Desta forma, este trabalho tem como objetivo central obter biodiesel a partir de óleo de amendoim refinado, por transesterificação metílica e etílica com catalisadores básicos e verificar parâmetros de qualidade deste biodiesel através de métodos analíticos, bem como: verificar qual o álcool mais adequado para transesterificação, analisar o índice de saponificação, densidade, umidade e índice

de acidez do óleo de amendoim; determinar qualitativamente e quantitativamente o catalisador, o tempo e a temperatura que produzam um biodiesel com maior rendimento e qualidade; analisar o índice de saponificação, umidade, aspecto, resíduo de carbono, viscosidade cinemática a 40°C e índice de acidez do biodiesel por métodos analíticos; e, por fim, analisar o ponto de fulgor do biodiesel obtido.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 PROCESSO DE OBTENÇÃO DO BIODIESEL

A produção de biodiesel de óleo de amendoim por catálise alcalina foi realizada a temperatura de 50°C e 20°C, com uma massa de aproximadamente 100g de óleo, variações entre 1-2% de KOH e NaOH (catalisadores), variações na razão molar de 1:9 e 1:12 óleo:álcool, no tempo (30 minutos, 1 e 2 horas) e variações de rota metílica e etílica. Os cálculos desenvolvidos estão dispostos no anexo 1.

Primeiramente foi realizada a mistura do álcool com o catalisador em uma chapa de aquecimento até completa homogeneização e temperatura determinada, enquanto que o óleo foi disposto em outra chapa de aquecimento até atingir a temperatura escolhida (figura 1 (a)). Em seguida, a mistura do álcool com catalisador foi adicionada ao óleo sob agitação magnética em tempos variados (30min, 1 e 2 horas) (figura 1 (b)). Após este tempo (figura 1 (c)), transferiu-se a mistura para um funil de decantação, permanecendo em repouso por 24 horas até completa separação da fase com alto teor de glicerina (fase inferior) e da fase contendo ésteres metílicos/etílicos (fase superior) (figura 1 (d)).



(a)

(b)

(c)

(d)

Figura 1 - Processo de obtenção do biodiesel (a) Óleo em aquecimento na chapa de aquecimento. (b) Solução de álcool com catalisador sendo misturado ao óleo. (c) Mistura para obtenção do biodiesel. (d) Funil de separação com biodiesel e glicerina.

Fonte: A autoria própria.

Posteriormente, a fase superior do funil de decantação foi removida, e o produto final transferido para um frasco de vidro envolto com papel alumínio, sendo mantido ao abrigo da luz e em temperatura ambiente para posterior análise.

3.2 ANÁLISES PARA O ÓLEO DE AMENDOIM E BIODIESEL

3.2.1 Densidade a 20°C

Esta análise seguiu o método: 011/IV do livro Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008).

Contudo, previamente à análise de densidade, o picnômetro com capacidade para 50 mL utilizado foi calibrado. Isto é, para se conhecer o volume real do picnômetro, o mesmo foi pesado vazio. Após, o picnômetro foi completamente preenchido com água destilada, aguardando, em seguida, que a temperatura atingisse 20°C, procedendo novamente com a pesagem. A diferença de peso entre o picnômetro cheio e o picnômetro vazio, permite a determinação da massa contida no picnômetro e, através da densidade da água calcula-se o volume real do mesmo picnômetro. Para tanto, aplicou-se a equação 1.

$$V_p = \frac{\Delta m}{d} \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

Δm = Diferença de massa do picnômetro vazio e cheio.

d = densidade da água

Após processo de calibração, a água foi removida, determinando-se novamente a massa do picnômetro vazio. Em seguida, o mesmo foi preenchido com óleo de amendoim, aguardando a estabilização da temperatura em 20 °C, para posterior pesagem.

A densidade do óleo de amendoim utilizado foi, então, calculada de acordo com a equação 2.

$$d = \frac{m}{v} \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

d= densidade a 20°C.

m= massa de óleo em kg.

v= volume real do picnômetro em m³.

3.2.2 Umidade

Esta análise seguiu o método: 012/IV do livro Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008).

Duas placas de Petri foram limpas e dispostas em uma estufa a aproximadamente 90°C por 2 horas. Em seguida, as placas foram colocadas em um dessecador até atingirem temperatura ambiente, para posterior pesagem. Posteriormente, foi pesada de 8 a 9 g da amostra em cada placa, previamente tarada, sendo, então, aquecidas a 95°C durante 3 horas. Após resfriamento em dessecador até a temperatura ambiente, a massa do conjunto foi novamente determinada. Esta operação de aquecimento e resfriamento foi reproduzida até obtenção de peso constante. Para o cálculo de umidade foi utilizada a equação 3.

$$U = \frac{100 \times N}{P} \quad \text{Equação 3}$$

Onde:

N= número de gramas de umidade (perda de massa em gramas).

P= número de gramas da amostra.

3.2.3 Índice de Acidez

O índice de acidez do óleo foi determinado pelo método 325/IV do livro Normas analíticas do instituto Adolfo Lutz (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008).

Inicialmente, foram pesados 2 g da amostra em frasco Erlenmeyer de 125 mL, adicionando-se, em seguida, 25 mL de solução de éter etílico:álcool etílico (2:1) neutra e duas gotas do indicador fenolftaleína 1% m/v. A mistura passou, então, pelo processo de titulação com solução de hidróxido de sódio 0,1 M até o aparecimento da coloração rósea, a qual deveria persistir por 30 segundos. Paralelamente, foi realizado um ensaio em branco, anotando-se o volume gasto da solução de KOH em cada situação.

O cálculo foi realizado em função do volume de KOH gasto na titulação. Os resultados foram obtidos utilizando a fórmula descrita na equação 4.

$$IA = \frac{Vg \times f \times 5,61}{m} \quad \text{Equação 4}$$

Onde:

IA: índice de acidez em mg_{KOH}/g_{óleo}

Vg: volume gasto da solução titulante

f: fator de correção da solução titulante

5,61: normalidade da solução titulante vezes equivalente-grama da base

m: massa da amostra em gramas

3.2.4 Índice de saponificação

O método: 328/IV do livro Normas analíticas do instituto Adolfo Lutz foi utilizado na determinação do índice de saponificação do óleo (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008).

Inicialmente, foi pesada aproximadamente 4,5g da amostra, de tal modo que sua titulação corresponda de 45 a 55% da titulação do branco. Após, adicionou-se 50 mL de solução alcoólica de KOH a 4% m/v. Ainda, foi preparado um branco para procedimento analítico simultaneamente com a amostra. As soluções foram conectadas a um condensador de refluxo, deixando-as ferver suavemente até a completa saponificação da amostra (aproximadamente uma hora). Em seguida, o condensador foi desconectado e, 1 mL do indicador fenolftaleína foi adicionado, procedendo-se com a titulação das amostras, utilizando solução de ácido clorídrico 0,5 M até o desaparecimento da cor rósea. O cálculo para o índice de saponificação é baseado no volume gasto de titulante, conforme a equação 5.

$$I.S. = \frac{28,06 \times f \times (b - a)}{p} \quad \text{Equação 5}$$

Onde:

f= fator de correção de HCl 0,5 M

b= volume gasto na titulação do branco

a= volume gasto na titulação da amostra

p= número de gramas da amostra

3.3 ANÁLISES PARA O BIODIESEL

3.3.1 Aspecto

O aspecto foi analisado pelo método descrito no artigo Biodiesel: Parâmetros de qualidade e métodos analíticos, de acordo com a norma brasileira ANP 07/2008 (LÔBO; FERREIRA; CRUZ, 2009).

A análise, realizada visualmente, procurou observar a presença de impurezas como materiais em suspensão, sedimentos ou turvação da amostra.

3.3.2 Resíduo de carbono

Esta análise seguiu o método ASTM 4530 (SILVA, 2011).

Inicialmente o cadinho de porcelana foi aquecido em uma mufla a 550°C, por no mínimo 1 hora.

Após resfriamento do equipamento (temperatura ambiente), o cadinho foi transferido para um dessecador utilizando uma garra metálica, e após 1 hora no dessecador, o mesmo foi pesado e a massa inicial determinada. Posteriormente, cerca de 50g da amostra foi adicionada ao cadinho, o que retornou à mufla para novo aquecimento a 550°C, mantendo-o até a carbonização de todo o material. Após a carbonização, a mufla foi desligada para resfriamento (até atingir temperatura ambiente). O cadinho foi transferido para um dessecador, permanecendo por mais uma hora, sendo, em seguida, pesado para obtenção da massa final. O cálculo da porcentagem foi realizado considerando a massa de biodiesel inicial como 100%.

3.3.3 Viscosidade cinemática a 40°C

Nesta análise, foi utilizado um viscosímetro Brookfield Modelo LVF-NDJ-4A para determinar a viscosidade do biodiesel. A amostra de biodiesel foi transferida

para um béquer de 500 mL, onde foi aquecido em uma chapa de aquecimento com agitação até atingir a temperatura de 40°C. Em seguida, foi selecionado o spindler adequado e selecionada a rotação desejada. O Spindler foi introduzido na amostra até a marca do nível indicado, cuidando para não tocar nas paredes e no fundo do recipiente. O viscosímetro foi ligado, e aguardou-se 60 segundos. Em seguida, o pino de trava foi apertado e a leitura feita. As figuras 3 (a) e (b) ilustram essa análise.



(a)

(b)

Figura 3 – Análise da viscosidade cinemática a 40°C (a) Viscosímetro com a amostra (b) Visor de leitura da viscosidade.

Fonte: Autoria própria.

Para o cálculo da viscosidade, utilizou-se os dados da tabela 1. Considerando a rotação em que foi executado o teste, o número do spindler e o modelo do equipamento, multiplica-se a média dos valores obtidos pelo fator encontrado na tabela 1.

Tabela 1 – Tabela para cálculo da viscosidade.

SPINDLER	1	2	3	4
RPM	Multiplicador	Multiplicador	Multiplicador	Multiplicador
6,0	10	50	200	1000
12,0	5	25	100	500
30,0	2	10	40	200
60,0	1	5	20	100

Fonte: Autoria própria.

3.3.4 Ponto de fulgor

O ponto de fulgor foi determinado utilizando o método descrito no livro Tecnologia de óleos e gorduras vegetais na indústria de alimentos (MORETTO, FETT, 1998).

Inicialmente, em uma cápsula de latão foi colocado aproximadamente 100g de amostra (Figura 4 – (a)). Após, com um termômetro disposto no centro da cápsula, a mesma foi aquecida em bico de bunsen de 5-6°C por minuto. Uma chama foi passada acima da cápsula num movimento paralelo ao plano da borda com duração de um segundo, para verificação em qual temperatura uma faísca aparece em qualquer ponto da superfície da amostra (Figura 4 (b)). Esta temperatura onde a faísca aparece é determinada como ponto de fulgor.



(a)

(b)

Figura 4 – Análise do ponto de fulgor (a) Capsula de latão com amostra (b) Verificação da temperatura com a chama passando em cima da superfície da amostra.

Fonte: Autoria própria.

4 CRONOGRAMA

Tabela 2 – Cronograma com descrição das precisões de atividades de TCC para o ano de 2015.

Atividades	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
Escolha do tema	X				
Desenvolvimento do projeto	X	X	X	X	
Apresentação do projeto			X		
Entrega do projeto				X	
Análises do óleo			X		
Produção de Biodiesel				X	X
Análises do Biodiesel				X	X

Fonte: Autoria própria.

Tabela 3 – Cronograma com descrição das precisões de atividades de TCC para o ano de 2016.

Atividades	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maior	Junho
Produção de Biodiesel	X					
Análises do Biodiesel	X	X	X			
Análise de dados			X	X		
Finalização do projeto				X	X	
Entrega do trabalho final						X
Defesa						X

Fonte: Autoria própria.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 ROTA ETÍLICA

Utilizando etanol, não foi possível obter biodiesel satisfatório, pois a glicerina não separou do biodiesel. Através dos dados apresentados na tabela 4, verifica-se que alterações no tempo, temperatura, tipo e quantidade de catalisador, razão molar, não fornecem resultados aceitáveis.

Tabela 4 – Resultados das tentativas de obtenção de biodiesel de amendoim por rota etílica.

Razão molar	Tempo	Temperatura	Quantidade de catalisador	Catalisador	Observação
1:9	30 min	50°C	1%	KOH	Não transesterificou
1:12	2 h	50°C	2%	KOH	Não foi visível a separação
1:12	2 h	70°C	2%	KOH	Não transesterificou
1:12	2 h	70°C	2%	NaOH	Saponificou

Fonte: Autoria própria.

5.2 ROTA METÍLICA

Utilizando a rota metílica, foi possível observar que este foi mais reativo em comparação ao etanol por apresentar melhor separação de fases após a

decantação, bem como rendimentos maiores e reações de transesterificação aparentemente completas. Desta forma, o metanol foi classificado como o álcool melhor empregado para obtenção de biodiesel para este trabalho.

Foi observado também neste trabalho que o NaOH saponifica com mais facilidade, enquanto o KOH saponificou em apenas alguns casos, como em temperaturas mais altas. Uma explicação possível deve-se a diferença no diâmetro do cátion, ou seja, o sódio é menor que o potássio (número de camadas), então enquanto o potássio, por ser maior, age como catalisador, o sódio por ser menor ataca a carboxila do ácido e, ao invés de entrar o radical do álcool, o sódio neutraliza e saponifica o ácido. Esta explicação pode ser aceita, pois quanto menor o cátion mais facilmente ele entra na molécula do derivado do óleo, a tendência em receber elétrons da carboxila é maior no sódio (menos eletropositivo que o potássio). Sendo assim, o KOH foi classificado neste trabalho como o catalisador de maior eficiência.

A temperatura alta inicialmente utilizada favorecia a saponificação, pois o álcali agia como reagente ao invés de catalisar, desta forma, foi necessário diminuir a temperatura e observou-se que a temperatura ambiente (20°C) era melhor empregada. Esta propriedade observada favoreceu muito, pois como houve considerável queda do consumo de energia, o custo envolvido no processo diminuirá significativamente. Neste custo, pode-se incluir também o baixo tempo de reação. Após a transesterificação, um tempo maior pode fazer com que a glicerina e o álcool formem emulsão devido à agitação e o tempo exagerado, dificultando assim sua separação. Foi observado também que o tempo mínimo de reação para que ocorra a transesterificação é de 1 hora, pois com meia hora, não ocorria a transesterificação, ficando somente o óleo e o álcool separados.

Lavagens em biodiesel são normalmente empregadas para eliminação de resíduos como catalisadores, glicerina e álcool dispersos. Verificou-se que durante as tentativas de lavagem do biodiesel, houve geração de emulsões e o biodiesel não pode ser aproveitado. Foram realizadas varias tentativas com água quente e água acidificada (0,5% HCl) e todas resultaram em emulsões. O emprego de água acidificada tem o objetivo de neutralizar qualquer porção de catalisador residual e quebrar qualquer quantidade de sabão que tenha se formado durante a reação, evitando assim, que o biodiesel fique básico e forme sais de ácidos graxos. Essa reação pode ser explicada pelo índice de acidez, que é uma importante

característica da gordura, pois em meio básico, os ácidos graxos formam sais de ácidos graxos (sabão) que são responsáveis pela formação de emulsão durante esta purificação gerando uma redução no rendimento da reação. Neste caso, todo o biodiesel emulsionou, não sendo possível a remoção de possíveis impurezas, nem do excesso do álcool que tem grande influencia, também, no ponto de fulgor, fazendo com o que o biodiesel tenha um ponto de fulgor mais baixo.

Os resultados obtidos estão expostos na tabela 5.

Tabela 5 – Resultados do biodiesel de óleo de amendoim obtido por rota metílica.

Razão Molar	Tempo	Temperatura	Quantidade de catalisador (%)	Catalisador	Rendimento (%)	Observação
1:9	30 min	50°C	1	KOH	-	Não reagiu
1:9	1h	50°C	1	KOH	47,8	
1:9	1h	50°C	2	KOH	54,9	
1:9	2h	50°C	1	KOH	66,6	
1:9	2h	50°C	2	KOH	-	Saponificou
1:9	1h	20°C	1	KOH	65,1	
1:9	1h	20°C	2	KOH	68,2	
1:9	2h	20°C	1	KOH	69,3	
1:9	2h	20°C	2	KOH	66,2	
1:12	1h	50°C	1	KOH	60	
1:12	1h	50°C	2	KOH	47,4	
1:12	2h	50°C	1	KOH	56,6	
1:12	2h	50°C	2	KOH	48,9	
1:12	1h	20°C	1	KOH	68	
1:12	1h	20°C	2	KOH	64,5	Não reagiu
1:12	2h	20°C	1	KOH	64,7	
1:12	2h	20°C	2	KOH	62,3	Não reagiu
1:12	30 min	50°C	2	NaOH	-	Saponificou
1:12	35 min	50°C	1	NaOH	-	Saponificou
1:12	30 min	20°C	1	NaOH	-	Saponificou
1:15	30 min	70-80°C	1	NaOH	-	Saponificou

Fonte: Aatoria própria.

Apesar de apresentar maior rendimento (69,3%), o biodiesel feito nas condições de razão molar 1:9, 1% de KOH, 20°C e 2 horas, não apresentou boa separação das fases. Sendo assim, o biodiesel obtido com razão molar 1:9, 2% de KOH, 20°C e 1 hora apresentou o segundo melhor rendimento (68,2%), ótima separação de fases, não sendo observada uma possível saponificação. Apresentou aspecto límpido, conforme pode ser observado na figura 2 (d). Este biodiesel ficou classificado como o mais adequado.

5.3 ANÁLISES DO ÓLEO DE AMENDOIM

5.3.1 Densidade a 25°C

O método utilizado foi detalhado anteriormente na sessão 3.2.1. Para o volume real do picnômetro, foi subtraída a massa do picnômetro vazio (35,4320g) pela massa do picnômetro cheio de água (98,1297g) que resultou na massa de 62,6977g, sendo posteriormente dividida pela densidade da água (1 g/mL) gerando o volume de 62,6977 mL.

O picnômetro cheio de óleo foi pesado, verificando-se a massa de 93,4055 g. Logo, subtraindo as massas do picnômetro vazio e cheio, obteve-se a massa de óleo:

$$35,4320 \text{ g} - 93,4055 \text{ g} = 57,9735 \text{ g de óleo}$$

A densidade foi então obtida utilizando a equação 2:

$$d = \frac{m}{v} = \frac{0,0579 \text{ kg}}{6,2697 \times 10^{-5} \text{ m}^3} = 913,4788 \text{ kg/m}^3$$

5.3.2 Umidade

Para a determinação da umidade, foi utilizado o método descrito na seção 3.2.2. As placas foram inicialmente pesadas limpas, em seguida foi pesado o óleo, e por fim, foi somada e obtida a massa total. Após aquecimento, resfriamento e peso constante, foram pesadas as placas e em seguida subtraído esse valor da massa total para determinação da quantidade de massa perdida. Os resultados obtidos estão na tabela 6.

Tabela 6 – Resultados da análise de umidade para o óleo de amendoim.

	Massa da placa	Massa do óleo	Massa total	Peso constante	Massa de umidade	Umidade
Placa 1	22,9614g	8,7072g	31,6686g	31,6665g	0,0021g	0,02%
Placa 2	20,9058g	8,7947g	29,7005g	29,6983g	0,0022g	0,02%
Média	21,9336g	8,7509g	30,6845g	30,6824g	0,0021g	0,02%

Fonte: Autoria própria

$$U = \frac{100 \times N}{P} = \frac{100 \times 0,0021g}{8,7509g} = 0,02\%$$

5.3.3 Índice de acidez

Para a determinação da umidade, foi utilizado o método descrito na seção 3.2.3.

A análise foi realizada em triplicata, sendo os resultados demonstrados na tabela 6.

Tabela 6 – Resultados das análises do índice de acidez do óleo de amendoim.

	Massa da amostra	Volume gasto	Índice de acidez
Amostra 1	2,016g	0,1 mL	0,278 mg _{KOH} /g _{óleo}
Amostra 2	2,008g	0,1 mL	0,279 mg _{KOH} /g _{óleo}
Amostra 3	2,000g	0,1 mL	0,280 mg _{KOH} /g _{óleo}

Fonte: Autoria própria.

Para determinação do índice de acidez, foi utilizado a média do volume gasto, a média da massa de amostra, e o fator de correção 1. Desta forma, aplicando os valores obtidos na equação 4, obtém-se o índice de acidez de 0,279 mg_{KOH}/g_{óleo}.

$$IA = \frac{Vg \times f \times 5,61}{m} = \frac{0,1 \text{ mL} \times 1 \times 5,61}{2,008g} = 0,279 \text{ mg}_{KOH}/g_{\text{óleo}}$$

5.3.4 Índice de saponificação

Para a determinação do índice de saponificação, foi utilizado o método descrito na seção 3.2.4. A análise foi realizada em duplicata. Na tabela 7 é possível observar os resultados obtidos.

Tabela 7 – Resultados do índice de saponificação do óleo de amendoim.

	Massa da amostra	Volume gasto	Índice de saponificação
Amostra 1	4,525g	31,5 mL	187,89 mg _{KOH} /g _{óleo}
Amostra 2	4,525g	31,8 mL	186,03 mg _{KOH} /g _{óleo}

Fonte: Autoria própria.

O volume gasto na titulação do branco foi de 61,8 mL e o fator de correção de 1. Desta forma, utilizando as médias dos índices obtidos e a equação 5, obtém-se o índice de saponificação de 186,96.

$$I.S. = \frac{28,06 \times f \times (b - a)}{p} = \frac{28,06 \times 1 \times (61,8\text{mL} - 31,65\text{mL})}{4,525\text{g}}$$

$$= 186,96 \text{ mg}_{\text{KOH}} / \text{g}_{\text{óleo}}$$

5.3.5. Comparação com a literatura

Comparando os resultados obtidos com a literatura (INTERÓLEOS, 2015), foi possível concluir que o óleo de amendoim utilizado neste estudo está dentro dos padrões de qualidade, estando assim apto para ser utilizado para obtenção de biodiesel, conforme demonstrado na tabela 8.

Tabela 8 – Comparação das análises do óleo de amendoim com a literatura.

	Literatura	Resultado
Umidade (%)	0,1 máx	0,02
Índice de saponificação (mg_{KOH}/g_{óleo})	187 - 196	186,96
Índice de acidez (mg_{KOH}/g_{óleo})	0,3 máx	0,27
Densidade a 25°C (kg/m³)	911 - 914	913,48

Fonte: Autoria própria.

5.4 ANÁLISES DO BIODIESEL

5.4.1 Aspecto

Nesta análise preliminar, não foi identificada a presença de impurezas, materiais em suspensão, sedimentos ou mesmo turvação na amostra. Sendo assim, o biodiesel foi classificado como límpido e ausente de impurezas.

5.4.2 Densidade a 20°C

O método utilizado foi detalhado anteriormente na sessão 3.2.1. Para o volume real do picnômetro, foi subtraída a massa do picnômetro vazio (35,4343 g) pela massa do picnômetro cheio de água (98,5270 g) que resultou na massa de

63,0927 g, sendo posteriormente dividida pela densidade da água (1 g/mL) resultando no volume de 63,0927 mL.

O picnômetro cheio de biodiesel foi pesado, verificando-se a massa de 90,8430 g. Logo, subtraindo as massas do picnômetro vazio e cheio, obtém-se a massa do biodiesel:

$$35,4343 \text{ g} - 90,8430 \text{ g} = 55,4087 \text{ g}$$

A densidade foi determinada através da equação 2:

$$d = \frac{m}{v} = \frac{0,0554 \text{ kg}}{6,3092 \times 10^{-5} \text{ m}^3} = 878,07 \text{ kg/m}^3$$

5.4.3 Índice de acidez

Para a determinação do índice de acidez, foi utilizado o método descrito na seção 3.2.3.

A análise foi realizada em triplicata, sendo expressos os resultados na tabela 9.

Tabela 9 – Resultados do índice de acidez do biodiesel.

	Massa da amostra (g)	Volume gasto (mL)	Índice de acidez (mg _{KOH} /g _{óleo})
Amostra 1	2,002	0,1	0,2802
Amostra 2	2,009	0,1	0,2792
Amostra 3	2,013	0,1	0,2786

Fonte: Autoria própria.

Para determinação do índice de acidez, foi utilizado o volume médio de KOH gasto, a média da massa de amostra, e o fator de correção 1. Desta forma, aplicando os valores obtidos na equação 4, verifica-se o índice de acidez de 0,2793 mg_{KOH}/g_{óleo}.

$$IA = \frac{Vg \times f \times 5,61}{m} = \frac{0,1 \text{ mL} \times 1 \times 5,61}{2,008 \text{ g}} = 0,2793 \frac{\text{mg}_{\text{KOH}}}{\text{g}_{\text{óleo}}}$$

5.4.4 Umidade

Para a determinação da umidade, foi utilizado o método descrito na seção 3.2.2. As placas foram inicialmente pesadas limpas, em seguida foi pesado o biodiesel, e por fim, foi somada e obtida a massa total. Após aquecimento, resfriamento e peso constante, foram pesadas as placas e em seguida subtraído esse valor da massa total para determinação da quantidade de massa perdida. Os resultados obtidos estão na tabela 10.

Tabela 10 – Resultados da umidade para o biodiesel.

	Massa inicial	Massa do óleo	Massa total	Peso constante	Número de umidade	Umidade
Placa 1	48,1921g	5,0585g	53,2506g	53,2524g	0,0018g	0,03%
Placa 2	47,3397g	5,8585g	53,1982g	53,2002g	0,0020g	0,03%
Placa 3	47,8722g	5,4632g	53,3354g	53,3373g	0,0019g	0,03%
Média	47,8013g	5,4600g	53,2614g	53,2633g	0,0019g	0,03%

Fonte: Autoria própria.

$$U = \frac{100 \times N}{P} = \frac{100 \times 0,0019g}{5,4600g} = 0,03\%$$

5.4.5 Índice de saponificação

Para a determinação do índice de saponificação, foi utilizado o método descrito na seção 3.2.4. A análise foi realizada em duplicata. Na tabela 11 estão dispostos os resultados obtidos.

Tabela 11 – Resultados do índice de saponificação do biodiesel.

	Massa da amostra	Volume gasto	Índice de saponificação
Amostra 1	4,5331 g	31,9 MI	161,56 mgKOH/g _{óleo}

Amostra 2	4,5376 g	31,9 mL	161,39 mg _{KOH} /g _{óleo}
------------------	----------	---------	---

Fonte: Autorial própria.

O volume gasto na titulação do branco foi de 58 mL e o fator de correção de 1. Desta forma, utilizando as médias dos índices obtidos e a equação 5, determina-se o índice de saponificação de 161,49 mg_{KOH}/g_{óleo}.

$$I.S. = \frac{28,06 \times f \times (b - a)}{p} = \frac{28,06 \times 1 \times (58\text{mL} - 31,9\text{mL})}{4,535\text{g}}$$

$$= 161,49 \text{ mg}_{\text{KOH}} / \text{g}_{\text{óleo}}$$

5.4.6 Ponto de fulgor

Nesta análise, foi utilizado o método descrito na seção 3.3.8., observando-se a temperatura na qual uma faísca aparece em qualquer ponto da superfície da amostra, que, neste caso, foi de 147°C, caracterizando o ponto de fulgor.

5.4.7 Viscosidade

Para a determinação da viscosidade cinemática a 40°C, foi utilizado o método descrito na seção 3.3.7. O splinder utilizado foi o 1, pois é o mais indicado para análises em líquidos menos viscosos. As rotações utilizadas foram de 30 e 60 RPM. As análises foram feitas em triplicata, e em todas foi utilizado o tempo de 60 segundos. Para as rotações de 30 RPM, foram encontrados os valor de 2,0 , 1,7 e 1,9, resultando no valor médio de 1,9. Para as rotações de 60, foram encontrados os valores de 3,7, 3,8 e 3,7, tendo assim uma média de 3,7 mm²/s.

O cálculo da viscosidade foi realizado da seguinte maneira:

Valor médio a 30 rpm x 2 = Viscosidade A = 3,8 mm²/s

Valor médio a 60 rpm x 1 = Viscosidade B = 3,8 mm²/s

Logo, a viscosidade determinada foi de 3,8 mm²/s

5.4.8 Resíduo de carbono

Esta análise seguiu o método descrito na seção 3.3.6. O peso do cadinho após o aquecimento na mufla foi de 52,6171 g e o de biodiesel foi de 50,0284 g. Após a completa carbonização do material, a massa do cadinho mais a massa dos resíduos resultaram em 52,6361 g. Desta forma, diminuindo a massa do cadinho pela massa do cadinho com os resíduos, obtém-se 0,019 g de resíduo. Considerando a massa de biodiesel inicial como 100%, tem-se 0,038% de resíduo de carbono.

5.5 COMPARAÇÕES DO BIODIESEL OBTIDO COM A NORMA AMERICANA (ASTM D6751), EUROPÉIA (EM 14214) E BRASILEIRA (ANP 255).

Tabela 12 - Comparação do biodiesel obtido com as normas brasileira (ANP 255), europeia (EN 14214) e americana (ASTM D6751).

	ASTM D6751	EN 14214	ANP 255	RESULTADO
Densidade a 20°C (kg/m³)	860-890	860-900	860 – 890	878,07
Índice de saponificação (mg_{KOH}/g_{óleo})	-	-	-	161,49
Umidade (%)	0,050 máx	0,050 máx	0,050 máx	0,03
Índice de acidez (mg_{KOH}/g_{óleo})	0,80 máx	0,50 máx	0,8 máx	0,3
Aspecto	Límpido e isento de impurezas	Límpido e isento de impurezas	Límpido e isento de impurezas	Límpido e isento de impurezas
Resíduo de carbono (%)	0,050 máx	0,030 máx	0,050 máx	0,038%
Viscosidade cinemática a 40°C (mm²/s)	1,9 - 6	3,5 – 5	2,5 – 5,5	3,8
Ponto de fulgor (°C)	130 mínimo	120 mínimo	100 mínimo	147

Fonte: Autoria própria

Conforme pode ser observado na tabela 12, o biodiesel está de acordo com as normas brasileira (ANP 255), americana (ASTM D6751) e europeia (EM 14214), visto que todos os resultados obtidos estão entre os limites permitidos. As variações destes resultados, para mais ou para menos, podem ser atribuídas as características do óleo que somente podem ser descobertas com análises específicas, como uma análise de cromatografia a gás, identificando a composição exata do óleo para posterior estudo das influências que podem ter na obtenção do biodiesel. As condições climáticas do momento da obtenção do biodiesel também podem influenciar, como variações de temperatura no momento da transesterificação, podendo desta forma, favorecer uma saponificação com o aumento da temperatura.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho foram alcançados quase todos os objetivos estipulados, com exceção da obtenção de biodiesel etílico que não foi possível, pois o mesmo não separava bem a glicerina do biodiesel sem o auxílio de rota evaporador. Essa separação era dificultada pelo tamanho da cadeia, que por ser maior, é menos reativa. Para melhorar a qualidade e a separação, seria necessário um excesso de álcool ainda maior, o que não seria tão vantajoso por encarecer o processo. Desta forma, o metanol, por ser mais reativo e não necessitar de uma quantidade grande de álcool (razão molar 1:9 foi suficiente), foi determinado como o melhor empregado para obtenção de biodiesel para o óleo de amendoim.

A temperatura ambiente foi a melhor empregada e esta propriedade observada favoreceu muito, pois como houve considerável queda do consumo de energia, o custo envolvido no processo diminuirá significativamente. Neste custo, pode-se incluir também o baixo tempo de reação. Após a transesterificação, um tempo maior pode fazer com que a glicerina e o álcool formem emulsão devido à agitação e o tempo exagerado, dificultando assim sua separação. Logo, o tempo de reação também foi satisfatório.

Por fim, os demais resultados foram extremamente satisfatórios pois o biodiesel obtido pela transesterificação metílica de óleo de amendoim nas condições determinadas neste trabalho, está dentro dos padrões determinados pela ANP 255, EN 14214 e ASTM D6751 em todas as análises realizadas. Para que possa ser utilizado em motores a diesel, seria necessário realizar todas as demais análises exigidas pelos órgãos reguladores, como número de cetanos, índice de iodo, glicerina livre, entre outras, que são de extrema importância para garantia de um biocombustível de qualidade.

REFERÊNCIAS

APPLEBY, D. B. **Manual do Biodiesel**. 1 ed. São Paulo - SP. Editora Edgard Blucher Ltda. Cap. 11, p. 302. 2005.

BARBOSA, R. L. et al. Desempenho comparativo de um motor de ciclo diesel utilizando diesel e misturas de biodiesel. **Ciencia e Agrotecnologia**, Lavras - Minas Gerasis, 09/2008, v. 32, n. 5, p. 1588–1593. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-70542008000500035>. Acesso em 27 abr. 2016, 17:00.

BARROS, T. D.; JARDINE, J. G. **Amendoim - EMBRAPA**. Disponível em: <<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/agroenergia/arvore/CONT000fbl23vn002wx5eo0sawqe3ex35v9p.html>>. Acesso em: 22 out. 2015, 18:00.

BiodieselBR. Disponível em: <<http://www.biodieselbr.com/biodiesel/historia/biodiesel-historia.htm>>. Acesso em: 24 out. 2015a.

BiodieselBR. Disponível em: <<http://www.biodieselbr.com/biodiesel/definicao/o-que-e-biodiesel.htm>>. Acesso em: 23 out. 2015b.

BOWMAN, M.; HILLIGOSS, D.; RASMUSSEN, S. **Hidrocabon Processing**, 2006, pg 103.

BRANDÃO, K. S. R. et al. Produção de Biodiesel por Transesterificação do Óleo de Soja com Misturas de Metanol-Étanol. **Analysis**, João Pessoa - PB, v. 1, p. 141–146, 2006. Disponível em: <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Transesterifica%25E7%25E3o+1_000g76oadw902wx5ok0wtedt36958h0l.pdf>. Acesso em 27 ab. 2016, 18:00.

CORDEIRO, C. S. et al. Catalisadores heterogêneos para a produção de monoésteres graxos (biodiesel). **Química Nova**, Curitiba - Paraná, 07/01/2011, v. 34, n. 3, p. 477–486. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010040422011000300021>. Acesso em 27 abr. 2016, 17:15.

COSTA, L. Amendoim: excelente potencial para biodiesel. **O estado de São Paulo**. 03 mar. 2010. Disponível em: <<http://www.estadao.com.br/noticias/geral,amendoim-excelente-potencial-para-biodiesel,518749>>. Acesso em: 22 out. 2015.

DEMIRBAS, A. **Fuel**, 2008, pg. 87.

DIESEL, R. **The Diesel Oil-Engine e Its Industrial Importance Particularly for Great Britain**, Proc. Inst. Mech. Eng.:179-280 (1912).

ENCARNAÇÃO, A. P. G. **Geração de Biodiesel pelos Processos de Transesterificação e Hidroesterificação, uma Avaliação Econômica**. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2008, Dissertação (Mestrado em

Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio de Janeiro. Orientador: Donato Alexandre Gomes Aranda.

GERPEN, J. VAN. **Manual do Biodiesel**. 1 ed. São Paulo - SP. Editora Edgard Blucher Ltda. Cap. 3, p. 19-28. 2005a.

GERPEN, J. VAN. **Manual do Biodiesel**. 1 ed. São Paulo - SP. Editora Edgard Blucher Ltda. Cap. 3, p. 27. 2005b.

GERPEN, J. VAN; KNOTHE, G. **Manual do Biodiesel**. 1 ed. São Paulo - SP. Editora Edgard Blucher Ltda. Cap. 4, p. 29-45. 2005.

HAAS, M. J.; FOGLIA, T. A. **Manual do Biodiesel**. 1 ed. São Paulo - SP. Editora Edgard Blucher Ltda. Cap. 4, p. 46-66. 2005.

HOWELL, S.; JOBE, J. **Manual do Biodiesel**. 1 ed. São Paulo - SP. Editora Edgard Blucher Ltda. Cap. 8, p. 203-215. 2005.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz. v. 1: Métodos Químicos e Físicos para Análise de Alimentos**, 1. ed. digital, São Paulo: IMESP, 2008. p. 97, 98, 595, 596, 600, 601. Disponível em: <<http://wp.ufpel.edu.br/nutricaoobromatologia/files/2013/07/NormasADOLFOLUTZ.pdf>>. Acesso em 27 ab. 2016, 19:15.

INTERÓLEOS. **Óleo de amendoim refinado**. Ribeirão Preto - SP, 2015. Disponível em: <<http://www.interoleos.com.br/oleo-de-amendoim-refinado-tipo-1-e-2/>>. Acesso em 18 jun. 2016, 00:17.

KNOTHE, G. **Manual do Biodiesel**. 1 ed. São Paulo - SP. Editora Edgard Blucher Ltda. Cap. 1, p. 1-3. 2005a.

KNOTHE, G. **Manual do Biodiesel**. 1 ed. São Paulo - SP. Editora Edgard Blucher Ltda. Cap. 6, p. 86. 2005b

KNOTHE, G. **Manual do Biodiesel**. 1 ed. São Paulo - SP. Editora Edgard Blucher Ltda. Cap. 6.2, p. 89-90. 2005c.

KNOTHE, G. **Manual do Biodiesel**. 1 ed. São Paulo - SP. Editora Edgard Blucher Ltda. Cap. 6.1, p. 83-88. 2005d.

LEPERA, M. Low-Sulfur and Diesel Fuel Lubricity - The Continuing Saga. **LePera and Associates. Fuel line**, p. 18–19, 2000.

LÔBO, I.; FERREIRA, S.; CRUZ, R. Biodiesel: parâmetros de qualidade e métodos analíticos. **Química Nova**, Salvador - Bahia, 14/07/2009, v. 32, n. 6, p. 1596–1608. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422009000600044>. Acesso em 27 abr. 2016, 17:32.

MORAIS, M. M. et al. **Revista Instituto Adolfo Lutz**. Disponível em: <www.sbrt.ibict.br>. Acesso em: 1 jan. 2007.

MORETTO, E.; FETT, R. **Tecnologia de óleos e gorduras vegetais**. São Paulo - SP. Ed. Varela. 1998.

PEREIRA, R. J. **Biodiesel: Biodiesel**. Secretaria da Educação, p. 27, nov. 2006.

PERTERSON, C. L.; MÜLLER, G. **Manual do Biodiesel**. 1 ed. São Paulo - SP. Editora Edgard Blucher Ltda. Cap. 6.6, p. 159-176. 2005.

PETERSON, C. L. **Manual do Biodiesel**. 1 ed. São Paulo - SP. Editora Edgard Blucher Ltda. Cap. 8.5, p. 256. 2005.

PINTO, A. C. et al. **J. Braz. Chem. Soc.** p. 16, 1313, 2005.

RINALDI, R. et al. Síntese de biodiesel: Uma proposta contextualizada de experimento para laboratório de química geral. **Química Nova**, Campinas - São Paulo, v. 30, n. 5, 27/04/2007, p. 1374–1380. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422007000500054>. Acesso em 27 abr. 2016, 17:43.

ROBERTO, RODRIGUES, RUGGIERO, ARRUDA, B. Obtenção de biodiesel metílico a partir o óleo de amendoim utilizando planejamento fatorial fracionário. **54º Congresso Brasileiro de Química**. Natal - Rio Grande do Norte, novembro de 2014. Disponível em: <<http://www.abq.org.br/cbq/2014/trabalhos/1/4719-13718.html>>. Acesso em: 16 set. 2015, 17:20.

SCHUMACHER, Leo. **Manual do Biodiesel**. 1 ed. São Paulo - SP. Editora Edgard Blucher Ltda. Cap. 6.5, p. 150. 2005.

SCHWAB, A. W. et al. **J. Am. Oil Chem. Soc.** 1988, 65, 1781.

SILVA, P. R. F. DA; FREITAS, T. F. S. DE. Biodiesel: o ônus e o bônus de produzir combustível. **Ciência Rural**, Santa Maria - Rio Grande do Sul, 05-06/2008, v. 38, n. 3, p. 843–851. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782008000300044>. Acesso em 27 abr. 2016, 16:00.

SILVA, T. A. R. **Biodiesel de óleo residual: produção através da transesterificação por metanólise e etanólise básica, caracterização físico-química e otimização das condições reacionais**. Tese de doutorado, Universidade federal de Uberlândia, Uberlândia, Minas Gerais. Dezembro de 2011.

STREITWIESER, A.; HEATHCOCK, C. H.; KOSOWER, E. M. **Introduction to Organic Chemistry**. 4th ed. Macmillan: New York: 1992.

TASHTOUSH, G.; AL-WIDYAN, M. I.; AL-SHYOUKH, A. O. **Appl. Therm. Eng.** 2003, 23, 285.

TOFANINI, Aldo José; **Controle de qualidade de óleos comestíveis**. 2004, 40. Estágio Supervisionado - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis,

junho de 2004. Disponível em: < <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/105061> >. Acesso em 24 ab. 2016, 17:10.

ANEXO 1

Cálculo da razão molar:

Para que ocorra a transesterificação, é necessário o excesso de álcool para que haja o deslocamento no sentido do produto desejado. Para o cálculo da quantidade de álcool a ser utilizada para a razão molar adequada, foi utilizado o índice de saponificação do óleo de amendoim que representa o número de miligramas de KOH necessário para saponificar 1g de gordura. Sendo assim, utilizando a razão molar 1:3 (1 mol de triglicerídeo e 3 mols de KOH):

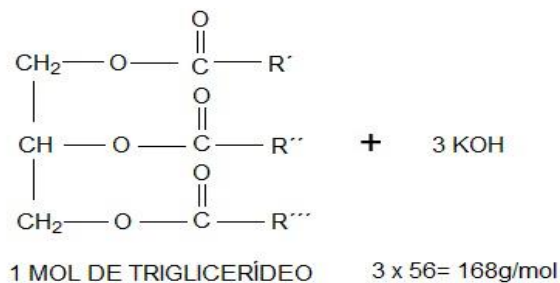


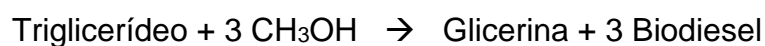
Figura 5 – Reação do triglicerídeo com o KOH.

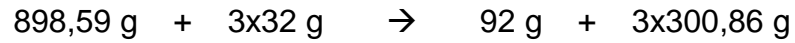
Fonte: Autoria própria.

Multiplicando a massa molar do KOH por três, teremos que são necessários 168 g/mol para neutralizar (quebrar a molécula para formar a reação) a amostra (óleo de amendoim). Visto que o índice de saponificação corresponde a 186,96mg de KOH para 1 g amostra, foi determinada a quantidade de óleo de amendoim para 168g de KOH.

$$\begin{array}{r}
 186,96 \text{ mg} \text{ ————— } 1 \text{ g de óleo} \\
 168000 \text{ mg} \text{ ————— } x \\
 x = 898,59 \text{ g de amostra}
 \end{array}$$

Portanto, são necessárias 898,59g de óleo para que ocorra a reação. Desta forma, utilizando a estequiometria 1:3, obtem-se a massa do biodiesel somando as massas do triglicerídeo e do metanol, em seguida subtraindo a massa da glicerina, e por fim, dividindo por 3, o que corresponde a:





Neste trabalho foi utilizado 100g de óleo para cada variação, logo:

$$\begin{array}{ccc} 898,59\text{g} & \text{———} & 96 \text{ g de metanol} \\ 100\text{g} & \text{———} & y \\ y = & & 10,68 \text{ g de metanol} \end{array}$$

Como $d=m/v$, o volume de metanol utilizado será:

$$V=m/d = 10,68 \text{ g} / 0,8 \text{ g/ml} = 13,35 \text{ mL}$$

Na prática, foram utilizadas as proporções 1:9, 1:12 e 1:15, sendo assim:

$$1:9 : 40,05 \text{ mL de álcool}$$

$$1:12 : 53,4 \text{ mL de álcool}$$

$$1:15 : 66,75 \text{ mL de álcool}$$

Para o cálculo do rendimento foi somada a massa de óleo, do catalisador e do álcool e considerada como 100% e calculada a porcentagem de massa do biodiesel obtida e pesada após a transesterificação.