

**Universidade de Brasília - UnB
Faculdade UnB Gama - FGA
Curso de Engenharia de Energia**

**PREPARAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE MISTURAS
DE ÓLEO DE SOJA E GORDURAS ANIMAIS PARA A
APLICAÇÃO NA REAÇÃO DE
TRANSESTERIFICAÇÃO**

**Autora: Jéssica de Souza Silva
Orientadora: Patrícia Regina Sobral Braga**

**Brasília, DF
2015**



Jéssica de Souza Silva

**PREPARAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE MISTURAS DE ÓLEO DE SOJA E
GORDURAS ANIMAIS PARA A APLICAÇÃO NA REAÇÃO DE
TRANSESTERIFICAÇÃO**

Monografia submetida ao curso de graduação em Engenharia de Energia da Universidade de Brasília, como requisito para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Energia.

Orientadora: Prof^a Dr^a Patricia Regina Sobral Braga

Co-Orientadora: Dr^a Itânia Pinheiro Soares

**Brasília, DF
2015**

CIP – Catalogação Internacional da Publicação*

De Souza Silva, Jéssica.

Preparação e Caracterização de Misturas de Óleo de Soja e Gorduras Animais para a Aplicação na Reação de Transesterificação

Jéssica de Souza Silva, Brasília: UnB, 2015. 34 p.

Monografia de Graduação, Engenharia de Energia–
Universidade de Brasília

Faculdade do Gama, Brasília, 2015.

Orientação: Prof^a Dr^a Patricia Regina Sobral Braga

1. Óleo de soja. 2. Gordura Animal. 3. Biodiesel I.
Regina Sobral Braga, Patricia. Prof^a Dr^a

CDU Classificação

**PREPARAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE MISTURAS DE ÓLEO DE SOJA E
GORDURAS ANIMAIS PARA A APLICAÇÃO NA REAÇÃO DE
TRANSESTERIFICAÇÃO**

Jéssica de Souza Silva

Monografia submetida como requisito para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Energia da Faculdade UnB Gama - FGA, da Universidade de Brasília, em 04/12/2015 apresentada e aprovada pela banca examinadora abaixo assinada:

Profª Drª Patricia Regina Sobral Braga, UnB/FGA
Orientadora

Profª Drª Itânia Pinheiro Soares, Analista da Embrapa
Co-orientadora

Profª Drª Andréia Alves Costa, UnB/FGA
Membro Convidado

Profª Drª Patricia Pinto Kalil Gonçalves Costa, Analista da Embrapa
Membro Convidado

Brasília, DF
2015

Esse trabalho é dedicado a todos que um dia acreditaram em mim.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus pela vida e por sempre cuidar de mim, pois até aqui me ajudou o Senhor.

Agradeço a minha família, em especial a minha mãe Evanilda, por sempre me apoiar e me dar condições para seguir este caminho e aos meus avós por cuidarem e acreditarem em mim. Ao meu namorado Andrey pela paciência, compreensão e traduções de última hora.

Agradeço aos meus amigos de estágio na Embrapa Agroenergia Rodrigo Cesarino e Ian por me ajudarem durante todo o TCC com os experimentos e ensaios, vocês são demais.

Agradeço a minha chefe Itânia Pinheiro pelos conhecimentos passados e também a analista Patrícia Kalil pela grande ajuda durante a realização deste trabalho.

Um agradecimento especial a minha orientadora Prof^a. Dr^a Patricia Braga, pela paciência, carinho, ensinamentos e dedicação durante todo esse processo, você é a melhor.

E por fim a todo o corpo docente da FGA pelos conhecimentos a mim passado e a todos que de alguma forma me ajudaram até aqui.

*“Consagre ao Senhor tudo o que você faz, e
os seus planos serão bem-sucedidos”
Provérbios 16:3*

RESUMO

O uso da gordura animal como matéria prima para o processo de transesterificação tem se tornado muito importante, uma vez que este potencial resíduo pode poluir e gerar consequências ruins para o meio ambiente. Atualmente, o sebo bovino é a segunda matéria prima mais usada no Brasil após o óleo de soja para a produção de biodiesel. Neste trabalho, foram realizadas misturas de óleo de soja com sebo bovino e suíno em proporções que variaram de 30 a 80% (m/m) da gordura animal. O biodiesel obtido pela reação de transesterificação metílica com catálise homogênea foi caracterizado pelos ensaios de teor de éster, ponto de entupimento de filtro a frio (PEFF), densidade e viscosidade cinemática a 40 °C. Os resultados observados foram comparados com os limites impostos pela resolução ANP 45/2014 que regulamenta sobre a qualidade e comercialização do biodiesel no Brasil. A determinação do teor de éster apresentou resultados fora do estabelecido na resolução. Para o ensaio do ponto de entupimento de filtro a frio pode-se observar que com o aumento da quantidade de gordura animal ocorreu um aumento no PEFF. Todos os valores obtidos para o ensaio de densidade se apresentaram dentro do estabelecido pela ANP 45/2014 entre 850 e 900 Kg/m³. Os resultados observados para a viscosidade cinemática também mostraram se promissores, uma vez que todas as amostras se adequaram ao padrão aceitável de 3 a 6 mm²/s.

Palavras-chave: Óleo de soja. Transesterificação. Biodiesel. Mistura de óleo de soja e gordura animal

ABSTRACT

The use of animal fat as raw material for the transesterification process becomes very important, since this potential waste can pollute and bring bad consequences for the environment. Currently, the beef tallow is the second raw material most used in Brazil, after soybean oil for the production of biodiesel. The aim of this work was to examine mixtures of soybean oil and beef tallow and pork lard in proportions between 30 for 80% (w/w) of animal fat. The biodiesel obtained from transesterification reaction via methylic route and homogeneous catalysis was characterized by ester content, plugging point, density and kinematic viscosity at 40 °C. The results observed for these tests were compared with the limits imposed by resolution ANP 45/2014, that regulate the quality and market of biodiesel in Brazil. The determination of ester content showed results outside the regulation. In the plugging point test was noted that an increase in the amount of animal fat enhanced the plugging point. All values obtained from the density tests were within the established by the ANP, between 850 and 900 Kg/m³. The results obtained for kinematic viscosity are also promising, since all the samples fit within the ones acceptable standards, of 3 to 6 mm²/s.

Keywords: Soybean oil. Transesterification. Biodiesel. Animal fat. Mixtures of soybean: animal fat.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. (a) Molécula de ácido graxo; (b) molécula de triglicerídeo onde R',R''e R''' representam cadeias carbônicas de ácidos graxos.....	3
Figura 2. Matérias-primas utilizadas para a produção de biodiesel no Brasil.....	4
Figura 3. Esquema de uma reação de transesterificação onde R, R', R'' e R''' representam cadeias carbônicas de ácidos graxos	6
Figura 4. Cromatógrafo Gasoso usado para a realização do ensaio de teor de éster.....	12
Figura 5. Equipamento usado para a determinação do PEFF.....	13
Figura 6. Equipamento usado na análise de densidade das amostras de biodiesel.....	13
Figura 7. Equipamento usado para o ensaio de viscosidade cinemática a 40 °C.....	14
Figura 8. Modelo linear do resultado da análise de PEFF para sebo bovino.....	17
Figura 9. Modelo linear do resultado da análise de PEFF para sebo suíno.....	18

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Composição percentual de ésteres metílicos e ácidos graxos encontrados na literatura, modificado da ref 14.....	4
Tabela 2. Análises Físico-Químicas do Biodiesel	7
Tabela 3. Limites para o ensaio do ponto de entupimento de filtro a frio.....	7
Tabela 4. Proporções de gorduras animais utilizadas na reação de transesterificação.....	11
Tabela 5. Resultados do índice de acidez para as matérias primas.....	15
Tabela 6. Resultados do ensaio de teor de éster.....	16
Tabela 7. Resultados da análise de PEFf das amostras de biodiesel realizada em triplicata.....	17
Tabela 8. Resultados da análise de densidade das amostras de biodiesel realizada em triplicata.....	19
Tabela 9. Resultados da análise de viscosidade das amostras de biodiesel realizada em triplicata.....	20

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	VI
RESUMO.....	VIII
LISTA DE FIGURAS.....	X
LISTA DE TABELAS.....	XI
SUMÁRIO.....	XII
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	3
2.1. Biodiesel.....	3
2.2. Gordura Animal.....	3
2.3. Transesterificação.....	5
2.4. Catálise Homogênea.....	6
2.5. Propriedades Físico-Químicas.....	6
3. OBJETIVOS.....	8
4. METODOLOGIA.....	9
4.1. Materiais utilizados.....	9
4.2. Caracterização da Matéria Prima.....	9
4.3. Reações de transesterificação.....	10
4.4. Caracterização do Biodiesel.....	11
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	14
5.1. Resultados da caracterização das matérias primas.....	14
5.1.1. Índice de acidez.....	14
5.2. Resultados da caracterização do biodiesel.....	15
6. CONCLUSÃO.....	21
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	22

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, existe uma grande busca por fontes de energias alternativas as fósseis, pois estas estão cada dia mais escassas. Arelado a este problema, existe a questão ambiental proveniente da queima dos combustíveis, causando mudanças climáticas, tornando cada vez mais necessário o uso de energias limpas.

Com o início da revolução industrial houve a necessidade de busca de combustíveis para sustentar a energia necessária para o funcionamento dessas indústrias. Atualmente, a fonte de energia mais utilizada são os combustíveis fósseis, como gás natural, carvão e derivados do petróleo. Complementando esta, existem as energias hidroelétrica, nuclear e os combustíveis renováveis, que são utilizadas em vários países.

Devido à relação existente entre o desenvolvimento do país, seu crescimento econômico e o consumo de energia, a utilização dos combustíveis fósseis tende apenas a crescer com o passar dos anos. Esse crescimento no consumo de energia e utilização acarreta um aumento na emissão de poluentes para a atmosfera [1].

Em vista desse aumento iminente da emissão de poluentes na atmosfera, foi assinado em 1997 o Protocolo de Kyoto, que foi concebido com o intuito de reduzir o aquecimento global. Para isso, o Protocolo estipulava que os países deveriam reduzir a sua emissão de gases poluentes na atmosfera em uma taxa pré-definida para cada um deles [2].

Com a assinatura do Protocolo de Kyoto e a necessidade de diminuição da emissão de gases poluentes causadores do efeito estufa, ocorreu um aumento na pesquisa por outras fontes que pudessem ser usadas na produção de energia. Dentre as fontes existentes houve um grande aumento no estudo e utilização das biomassas, pois o CO₂ emitido no uso do combustível é teoricamente absorvido pela biomassa durante o seu crescimento [2].

Dentre os biocombustíveis produzidos no país o biodiesel tem um papel bastante relevante. O biodiesel apresenta algumas vantagens em relação ao diesel, como ser obtido a partir de fonte renovável e por contribuir para o ciclo do carbono [3]. Além disso, diminui a dependência do diesel de fonte fóssil, já que o país importa este combustível. Devido a essas vantagens, foi lançado em 2004, no Brasil, o Programa Nacional de Produção de Uso do Biodiesel (PNPB), que entre outros determina a utilização crescente do biodiesel na mistura com diesel. Atualmente, o percentual de biodiesel obrigatório no diesel comercializado é de 7 % v/v [4,5].

No Brasil, a matéria prima mais utilizada na produção de biodiesel é o óleo de soja, tendo atingido um percentual de utilização de 75,57% em março de 2015. A gordura bovina é a segunda matéria prima mais usada no país, devido ao seu baixo custo e disponibilidade. Outras gorduras animais também são utilizadas em menor proporção. A gordura de porco e de frango, representaram no mês de março respectivamente 0,44% e 0,04% para a produção de biodiesel, segundo a Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustível (ANP) [6].

O emprego do sebo bovino na produção de biodiesel se mostra como uma grande vantagem ambiental, pois se promove uma destinação eficiente do produto, oriundo do abate bovino, transformando o potencial dejetado em fonte de energia limpa. Porém, o sebo bovino apresenta um alto teor de cadeias saturadas, o que pode ser um problema, já que devido a este fator ele apresenta um alto ponto de solidificação. Para evitar tal desvantagem, uma solução encontrada é a sua utilização em misturas com óleo de soja, normalmente não superiores a 30% de sebo [4].

O biodiesel obtido com alto teor de ésteres saturados acarreta assim, problemas de fluxo a frio nos motores veiculares movidos a diesel. A regulamentação para os limites de temperatura de solidificação, considerando diversidade climática e variação de temperatura ao longo do ano no país, é tratada na resolução ANP 45/2014 [7]. Por meio da realização do ensaio de ponto de entupimento de filtro a frio, a temperatura nesse ensaio pode variar de 5 a 19 °C, dependendo da região e dos meses do ano [7].

Ao se fazer um estudo prévio sobre as vantagens do uso da gordura animal para a produção do biodiesel, este trabalho teve como objetivo produzir este biocombustível a partir de misturas em proporções pré-determinadas de óleo vegetal com sebo bovino e suíno e então caracterizá-los verificando suas propriedades físico-químicas a partir da resolução ANP 45/2014.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Biodiesel

Atualmente o biodiesel tem ganhado destaque por ser uma alternativa de fonte de energia, no que tange a substituição e também a adição ao combustível fóssil. Pode ser obtido a partir de gorduras animais e óleos vegetais, na qual sua composição é caracterizada por misturas de monoalquil-ésteres que são derivados de ácidos graxos, conforme mostrado na Figura 1 [8].

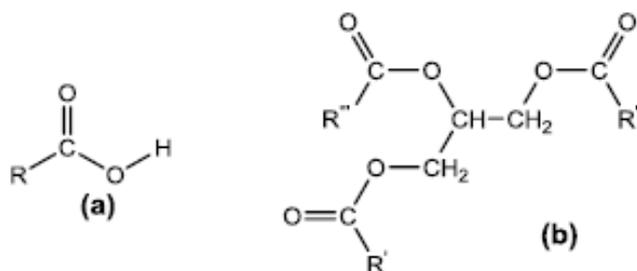


Figura 1. (a) Molécula de ácido graxo onde R representa uma cadeia carbônica de um ácido graxo; (b) molécula de triglicerídeo onde R', R'' e R''' representam cadeias carbônicas de ácidos graxos [8].

Com características físico-químicas muito semelhantes ao do diesel de petróleo, o biodiesel tem a vantagem de ser menos poluente que o diesel, pois é praticamente isento de enxofre, dessa forma o biodiesel produzirá menos gases nocivos. Além disso ele não contém nenhuma das substâncias cancerígenas que são encontrados no diesel [9].

O biodiesel pode ser produzido pela reação de transesterificação de triglicerídeos com álcool. O triglicerídeo é obtido de óleos como o óleo de soja, óleo de girassol e óleo de palma. No entanto, para tentar reduzir seu custo de produção que em parte está relacionado ao preço da matéria prima, é possível utilizar matérias primas de menor qualidade e mais baratas, como óleo residual de fritura usado e gordura animal [10].

2.2. Gordura Animal

Atualmente a gordura bovina, devido ao seu baixo custo e a sua disponibilidade, tem sido cada vez mais utilizada tornando-se a segunda matéria prima mais empregada para a produção de biodiesel no Brasil, como mostrado na Figura 2 [6]. A utilização de sebo para a produção de biodiesel é muito importante ao se pesar a questão ambiental, trazendo grandes vantagens, pois este produto advindo de abate bovino e suíno, antes seria descartado gerando

grandes problemas e poluição ao meio ambiente, e agora apresenta-se com uma destinação eficiente sendo transformado em um fonte de energia limpa [3,11].

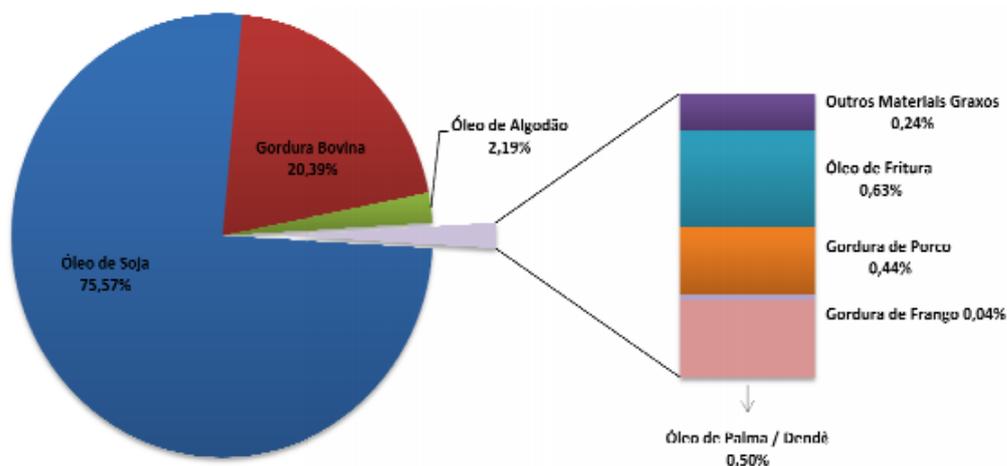


Figura 2. Matérias-primas utilizadas para a produção de biodiesel no Brasil no mês de março de 2015 [6].

O biodiesel produzido a partir de gorduras animais tem composição parecida com aquele proveniente dos óleos vegetais. No entanto, a principal diferença é que o biodiesel à base de gordura animal contém ésteres graxos com maior teor de saturados. Se por um lado o alto teor de saturados é importante para conferir estabilidade oxidativa ao combustível, por outro lado o biodiesel terá alto ponto de solidificação, ocasionando o entupimento dos filtros ou até mesmo ficar tão espesso que não possa ser bombeado do tanque de combustível para o motor [12]. Além do ponto de entupimento de filtro a frio (PEFF), outras propriedades importantes são a viscosidade e a densidade e, normalmente, estas propriedades são mais elevadas do que no diesel convencional [13].

A Tabela 1 mostra a composição de ácidos graxos de biodiesel obtidos a partir de gordura animal e óleo de soja.

Tabela 1. Composição percentual de ésteres metílicos, adaptado da ref [14].

Composição Percentual de Ésteres Metílicos de Ácidos Graxos											
Biodiesel	C14:0	C15:0	C16:1	C16:0	C17:0	C18:3	C18:2	C18:1	C18:0	ΣS	ΣI
Sebo	4,36	1,62	2,23	26,42	1,54	nd	0,86	28,5	34,47	68,41	31,59
Suíno	0,7	nd	5,4	20,9	nd	1,07	20,5	40,9	5,6	38,7	55
Soja	0,1	nd	0,1	10,6-13,2	nd	1,8-7,6	51,5-56,2	22,9-24,4	3,9-4,2	16,5	83

ΣS: Total de saturados ΣI: Total de insaturados

Na Tabela 1 é possível identificar que no biodiesel obtido pelo sebo bovino o somatório de ligações saturadas é maior que a do biodiesel proveniente da gordura suína, que tem um somatório de ligações insaturadas maior. Isso irá refletir nos ensaios de ponto de entupimento, onde as amostras obtidas a partir de sebo bovino irão provavelmente se solidificar a temperaturas mais altas que as de sebo suíno. Isso ocorre porque as ligações saturadas têm relação direta com a solidificação a altas temperaturas do combustível a ser bombeado para o motor. Por outro lado, o biodiesel com maiores ligações insaturadas irá se precipitar apenas em temperaturas mais baixas, podendo assim ser usado em regiões mais frias sem restrições [15].

Outra diferença entre o biodiesel de sebo bovino e o de suíno está relacionada a sua composição e também pode ser observada na Tabela 1. Enquanto o sebo bovino tem uma predominância de éster metílico de ácido esteárico (C18:0) com nenhuma ligação insaturada, o suíno apresenta um maior número de ácidos oléicos (C18:1) com uma ligação insaturada. O sebo bovino por apresentar mais ligações saturadas tem vantagens por apresentar um alto número de cetanos e por ter menores chances à oxidação e polimerização [14].

2.3. Transesterificação

A reação de transesterificação é o método mais utilizado para a produção de biodiesel [16]. A reação ocorre ao se aquecer o óleo e um álcool na presença de um catalisador básico ou ácido [17]. Dentre os álcoois possíveis para a síntese estão o etanol e metanol, sendo o metanol o mais utilizado devido ao seu menor custo e maior reatividade [18].

Como resultado da reação de transesterificação, pode-se obter o biodiesel e a glicerina, que é considerada um subproduto. Após o tratamento e purificação da glicerina ela é utilizada nas indústrias químicas e farmacêuticas para a produção de cremes, pomadas, antibióticos e até mesmo sabonetes, maquiagens, desodorantes, entre outros [16].

As moléculas de triglicerídeos dos óleos vegetais e gorduras animais consistem em três moléculas de ácidos graxos que estão ligados a uma molécula de glicerol (Figura 1b). Estes ácidos graxos se diferenciam pelo comprimento das cadeias de carbono, bem como pelo número, pela orientação e pela posição das ligações duplas nas cadeias.[16]

Ao se utilizar um catalisador básico, como o KOH, a 60°C com razão molar de 6:1 álcool:óleo, a reação ocorre completamente em 1 hora [19]. Como mostrado na Figura 3, a reação de transesterificação deverá ocorrer com o uso de um catalisador para acelerar a reação, sendo utilizados catalisadores homogêneos ácidos ou básicos [20]. Os catalisadores ácidos mais usados são o clorídrico, sulfônico e o sulfúrico. Estes são mais utilizados quando

um alto teor de ácido graxo livre está presente na matéria prima, mais comumente em óleos residuais de frituras. Já os catalisadores básicos, são bases fortes, e as mais usadas são o hidróxido de potássio e o de sódio [16].

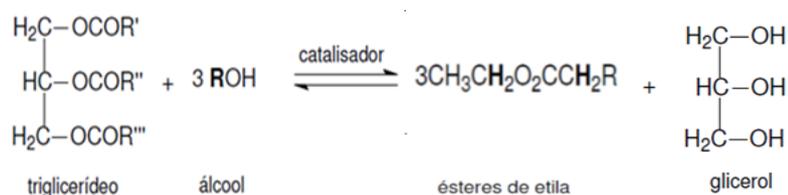


Figura 3. Esquema de uma reação de transesterificação onde R, R', R'' e R''' representam cadeias carbônicas de ácidos graxos.

Alternativamente, catalisadores heterogêneos vêm sendo pesquisados para substituição dos homogêneos. Estes poderiam simplificar o processo de purificação do biodiesel, reduzindo gastos, além de possibilitar sua reutilização em outros ciclos de produção [21].

2.4. Catálise Homogênea

Na catálise homogênea, tanto o catalisador como os reagentes estão na mesma fase. Isso permite que estes componentes tenham uma boa interação, o que se mostra bastante interessante para a reação, pois torna o rendimento melhor. Atualmente, os catalisadores mais usados são os homogêneos básicos, visto que a catálise básica ocorre mais rapidamente que a catálise ácida e também possui o aspecto positivo de os catalisadores básicos serem menos corrosivos que ácidos [21].

Diversos interferentes presentes no meio reacional podem atrapalhar a catálise básica, sendo que os mais conhecidos os ácidos graxos livres e a água [22]. A presença de uma grande quantidade de ácidos graxos livres é prejudicial para a produção de biodiesel por permitir a formação de sabão, e por consequência redução no rendimento da reação. Já a presença de água irá interferir na reação dificultando principalmente a separação do glicerol [23]. Uma alternativa para evitar tais problemas é realizar um pré-tratamento com ácido, usualmente ácido sulfúrico, para esterificar os ácidos graxos livres, embora seja uma etapa mais lenta e que requer temperaturas de reação mais elevadas [24,15].

2.5. Propriedades Físico-Químicas

Para assegurar a qualidade do biodiesel produzido é imprescindível que o mesmo siga as especificações internacionais. No Brasil, os parâmetros de qualidade pré determinados para

garantir a qualidade e a comercialização e desse combustível estão descritos na resolução ANP 45/2014 [7]. Algumas das importantes análises físico-químicas do biodiesel estão descritas na Tabela 2.

Tabela 2. Análises físico-químicas do biodiesel [7].

<i>Ensaio</i>	<i>Método</i>	<i>Limite</i>
Ponto de entupimento de filtro a frio	ABNT NBR 14747:2008	Tabela 3
Teor de éster	EN 14103:2011	96,5 % massa (mínimo)
Densidade	ABNT NBR 14065:2003	850 a 900 kg/m ³
Viscosidade cinemática a 40°C	ABNT NBR 10441:2007	3 a 6 mm ² /s

As propriedades de fluxo devem ser controladas, pois durante o processo de combustão em um motor, o combustível que é injetado na câmara de combustão deve permitir um fluxo perfeito, para que não haja atraso no tempo de injeção e por consequência uma combustão incompleta. Quando o combustível é injetado, ele passa por filtro fino, antes de entrar na bomba. Então, na presença de qualquer impureza, partícula suspensa e/ou formação de cristais a baixas temperaturas, o desempenho da bomba injetora de combustível poderá ser prejudicada, afetando assim todo o processo de combustão do motor [16]. Dessa forma, os valores limites permitidos pelo ensaio estipulados pela resolução ANP 45/2014, estão mostrados na Tabela 3. Para os estados não contemplados na Tabela 3, o ponto de entupimento de filtro a frio permanecerá 19 °C [**Error! Reference source not found.**].

Tabela 3. Limites para o ensaio do ponto de entupimento de filtro a frio [**Error! Reference source not found.**].

<i>Unidades da Federação</i>	<i>Limite Máximo (°C)</i>											
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
SP – MG – MS	14	14	14	14	12	8	8	8	8	8	12	14
GO/DF – MT – ES – RJ	14	14	14	14	14	10	10	10	10	10	14	14
PR – SC – RS	14	14	14	14	10	5	5	5	5	5	10	14

A análise do índice de acidez é um parâmetro necessário para determinar a presença de ácidos graxos livres na matéria prima utilizada. Assim, tanto o óleo de soja como as gorduras animais utilizadas no processo de transesterificação devem estar adequadas para o uso, uma

vez que um elevado nível de ácidos graxos livres pode provocar a formação de sabão na reação em estudo [16].

A análise do teor de éster determina a conversão de triglicerídeos em ésteres metílicos de ácidos graxos correspondentes, após ocorrer a síntese do biodiesel da mistura de gordura animal e de óleo de soja. Esse ensaio permite observar o grau de pureza do biodiesel obtido bem como o quão eficiente o processo de transesterificação ocorreu. Um baixo teor de éster no biodiesel faz com que a combustão do motor seja ineficiente, levando a uma carbonização nos cilindros [25].

A determinação da densidade ou massa específica tem como objetivo mostrar quais matérias primas podem ser utilizadas para a produção de biodiesel, fazendo dessa um tipo de restrição para a reação de transesterificação. Esse ensaio é uma propriedade muito importante, uma vez que terá grande influência na injeção de combustíveis em motores além da sua preparação em uma ignição automática [16,14].

A análise da viscosidade cinemática é realizada a 40 °C e é usada para a determinação da qualidade do biodiesel durante sua armazenagem, uma vez que esta aumenta continuamente com a diminuição da qualidade do combustível [14]. Também é um parâmetro que afeta diretamente o processo de injeção de combustível no motor. À medida que a temperatura abaixa, a viscosidade aumenta, modificando a fluidez do combustível [16]. Assim, óleos puros não são indicados para a produção de combustíveis, tendo em vista que sua viscosidade é superior ao de seus ésteres alquílicos [16].

3. OBJETIVOS

O objetivo principal desse trabalho de conclusão de curso (TCC) foi verificar as propriedades físico-químicas do biodiesel obtido através de misturas de óleo de soja e gorduras animais. Para tanto, as gorduras animais utilizadas foram sebo bovino e suíno.

Os objetivos específicos desse trabalho foram:

- determinar o índice de acidez das matérias primas utilizadas;
- realizar a transesterificação utilizando misturas de óleo de soja e gorduras animais variando as proporções;
- realizar a transesterificação do óleo de soja puro, sebo bovino puro e sebo suíno puro para servirem como padrões;
- determinar os rendimentos do biodiesel obtidos;

- realizar a caracterização do biodiesel obtido, observando as análises de ponto de entupimento de filtro a frio, densidade, teor de éster e viscosidade cinemática a 40 °C.

4. METODOLOGIA

Os materiais utilizados, a caracterização das matérias primas, a reação de transesterificação, o método de obtenção do rendimento da reação catalítica e as principais técnicas de caracterização do biodiesel utilizados neste trabalho estão descritas nessa seção. As etapas informadas a seguir foram realizadas na Embrapa Agroenergia sob a supervisão da pesquisadora Dr^a Itânia Pinheiro Soares, co-orientadora desse trabalho.

As misturas de óleo de soja e gorduras animais foram definidas nas proporções de 70:30; 60:40; 50:50; 40:60; 30:70; 20:80, respectivamente, 100% de óleo de soja, 100% sebo bovino e 100% sebo suíno.

4.1. Materiais utilizados

- Óleo de soja industrializado;
- Sebo bovino adquirido de restaurante;
- Sebo suíno adquirido de restaurante;
- Álcool metílico P.A., Pró Químicos;
- Hidróxido de potássio, KOH 85%, Vetec;
- Ácido cítrico 10%;
- Água destilada.

4.2. Caracterização da Matéria Prima

A análise do índice de acidez foi realizada, a fim de mostrar a quantidade de substâncias ácidas presentes nas amostras de sebo bovino e suíno puros antes da realização da reação de transesterificação. A norma que especifica este ensaio é a AOCS Cd 3d-63.

O índice de acidez é uma análise realizada pela técnica potenciométrica, na qual a amostra ácida é titulada com hidróxido de potássio alcóolico padronizado com solução de ftalato ácido de potássio (KHP). O ponto final é determinado pela observação da inflexão da curva resultante. O resultado também pode ser expresso como porcentagem de ácidos graxos livres (AGL's), onde a massa molar do ácido oleico correspondente será igual ao índice de acidez dividido por 2,81 conforme a norma AOCS Cd 3d-63 [26].

Para calcular o valor do índice de acidez foi utilizada a Equação 1:

$$\text{Índice de Acidez (mgKOH/g)} = \frac{(A - B) \times M \times 56,1}{W} \quad \text{Equação 1}$$

onde:

A = volume em mililitros de solução alcoólica de KOH usados para titular uma amostra até o ponto final na última inflexão;

B = volume de KOH correspondente a titulação do branco, em mililitros;

M = concentração da solução alcoólica de KOH, em mol/litro;

W = massa da amostra, em gramas;

56,1 = massa molar da solução titulante.

4.3. Reações de transesterificação

O processo de síntese do biodiesel ocorreu através da catálise homogênea, utilizando metanol e hidróxido de potássio a 1%, em relação à massa do óleo. A gordura animal (sebo bovino e suíno) foi derretida em banho maria e então pesada, para a sua devida proporção, e misturada ao óleo de soja. A reação durou 1 hora a temperatura de 60 °C com razão molar álcool/óleo 6:1. Após cada reação, a glicerina formada foi retirada após decantação, e então, o biodiesel foi lavado com ácido cítrico 10%. Sucessivas lavagens com água destilada foram realizadas para confirmar a neutralidade do biodiesel. Depois desse processo, o biodiesel foi levado para um rotaevaporador para a retirada de água e metanol excedente. O processo de rotaevaporação ocorreu por 1 h, onde nos 30 minutos iniciais a água de aquecimento estava a 50 °C e no tempo restante a 90 °C.

A reação de transesterificação foi realizada com misturas de óleo de soja e gorduras animais (sebo bovino e suíno) nas proporções mostradas na Tabela 4.

Tabela 4. Proporções de gorduras animais utilizadas na reação de transesterificação.

<i>Amostras</i>	<i>Porcentagem de óleo de soja</i>	<i>Porcentagem de sebo bovino</i>	<i>Porcentagem de sebo suíno</i>
1	100	-	-
2	70	30	-
3	60	40	-
4	50	50	-
5	40	60	-
6	30	70	-
7	20	80	-
8	-	100	-
9	70	-	30
10	60	-	40
11	50	-	50
12	40	-	60
13	30	-	70
14	20	-	80
15	-	-	100

4.4. Caracterização do Biodiesel

Após a reação de transesterificação, a caracterização do biodiesel formado aconteceu por meio da realização de ensaios do teor de éster, do ponto de entupimento de filtro a frio (PEFF), da densidade e da viscosidade cinemática a 40 °C, considerando a regulamentação ANP 45/2014 [7]. Todos ensaios foram realizados no I

4.4.1. Teor de éster

A determinação da conversão de triglicérides em ésteres metílicos de ácidos graxos (FAME) foi determinada através do ensaio do teor de éster seguindo a norma EN 14103:2011. As amostras foram analisadas por cromatografia gasosa (CG), em um cromatógrafo a gás com detector por ionização em chama (CG/FID) e injetor automático CombiPal (Headspace), marca Agilent/ CTC, modelo 7890A/G6500-CTC (Figura 4). A coluna usada para esta análise foi a DB-WAX (30 m x 0,320 mm x 0,25µm) e o padrão utilizado foi o nonadecanoato de metila.



Figura 4. Cromatógrafo Gasoso usado para a realização do ensaio de teor de éster.

O cálculo do teor de éster das amostras foi baseado na Equação 2:

$$C = \frac{\sum(A - A_{EI})}{A_{EI}} \times \frac{W_{EI}}{W} \times 100 \quad \text{Equação 2}$$

onde:

$\sum A$ = soma das áreas dos picos

A_{EI} = área do pico do padrão

W_{EI} = massa, em miligramas, do nonadecanoato de metila usado como padrão interno

W = massa, em miligramas, da amostra

4.4.2. Ponto de entupimento de filtro a frio (PEFF)

Este ensaio foi realizado no analisador de ponto de entupimento automático, marca ISL, modelo FPP 5Gs, onde o comportamento do combustível a baixas temperaturas foi observado, a medida em que ele vai se tornando mais espesso e sofrendo interferência em seu fluxo. Os ensaios foram feitos seguindo a norma ABNT NBR 14747:2008 – Óleo diesel – Determinação do ponto de entupimento de filtro a frio (Figura 5).

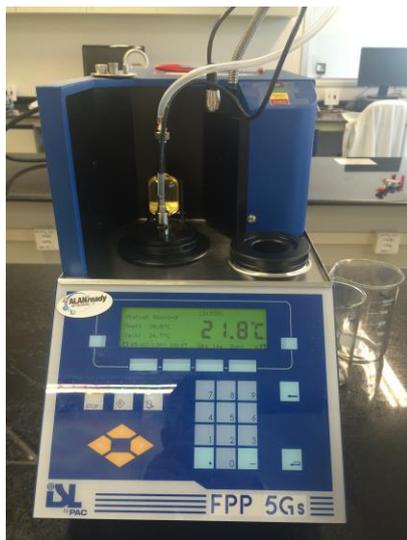


Figura 5. Equipamento usado para a determinação do PEFF.

A análise do ponto de entupimento de filtro a frio (PEFF) foi realizada da seguinte forma: a amostra foi resfriada, em intervalos de 1 °C, a partir da temperatura ambiente de 20°C e o biodiesel foi puxado para uma pipeta através de um filtro sob vácuo até o momento em que o biodiesel congela e não passa mais pelo filtro. Tal análise ocorre a partir da temperatura de 20 °C e após 60 s da amostra na pipeta ou do não retorno para o recipiente de ensaio ocorreu a leitura do PEFF.

4.4.3. Densidade

A densidade das amostras foi determinada de acordo com a norma ABNT NBR 14065. O equipamento usado foi um densímetro digital, marca Rudolph Research Analytical, modelo DDM 2911, conforme mostrado na Figura 6. Através de uma seringa, uma pequena quantidade de amostra foi inserida no equipamento, onde por diferença de massa do tubo, a massa específica foi determinada.



Figura 6. Equipamento usado na análise de densidade das amostras de biodiesel.

4.4.4. Viscosidade cinemática a 40 °C

A viscosidade cinemática a 40 °C foi realizada de acordo com a norma ABNT NBR 10441. Para este ensaio foi utilizado um multiviscosímetro da marca Walter Herzog, modelo HVM 472 (Figura 7).



Figura 7. Equipamento usado para o ensaio de viscosidade cinemática a 40 °C.

A amostra foi inserida no equipamento em frascos de vidro e foi verificado o escoamento de um volume fixo de líquido pelo capilar do viscosímetro anteriormente calibrado. A viscosidade foi calculada através do produto do tempo de escoamento medido pela constante de calibração do viscosímetro para duas determinações aceitáveis.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados apresentados se referem a mistura de óleo de soja e sebo bovino bem como para as amostras de óleo de soja e sebo suíno nas proporções de 70:30; 60:40; 50:50; 40:60; 30:70; 20:80, respectivamente. O índice de acidez das matérias primas puras, os rendimentos de ésteres obtidos após a reação de transesterificação bem como a caracterização das propriedades físico-químicas do biodiesel obtidos estão apresentados nessa seção.

5.1. Resultados da caracterização das matérias primas

5.1.1. Índice de acidez

A matéria prima utilizada para a produção das amostras de biodiesel foram analisadas quanto ao seu índice de acidez, como pode ser visto na Tabela 5.

Tabela 5. Resultados do índice de acidez para as matérias primas.

<i>Amostra</i>	<i>1ª ensaio (mg KOH/g)</i>	<i>2ª ensaio (mg KOH/g)</i>	<i>3ª ensaio (mg KOH/g)</i>	<i>Média dos ensaios (mg KOH/g)</i>	<i>AGL's (%)</i>
sebo bovino	0,963	1,035	1,090	1,029	0,37
sebo suíno	1,584	2,642	1,712	1,979	0,70

Ao se dividir os resultados por 2,81 para obter a porcentagem de ácido graxos livres (AGL's), pode-se observar os resultados de 0,37% e 0,70% para sebo bovino e sebo suíno, respectivamente. O índice de acidez foi dividido por este valor, porque o ácido oleico é o ácido de maior quantidade no óleo de soja. Atualmente, as indústrias de produção de biodiesel que utilizam óleos como matéria prima adotam o valor de 1% para AGL's, evidenciando que as duas amostras possuem potencial para a produção de biodiesel. Outra importante consideração é que baixos valores de AGL's (<0,5%) poderiam evitar a necessidade de tratamento prévio para essas matérias primas [27].

Segundo Ferreira & Pereira [28], as mudanças climáticas estão diretamente ligadas ao índice de acidez do sebo, uma vez que em tempo de chuva a umidade do sebo é maior e em tempos seco sua umidade é menor. Assim quanto maior a umidade da amostra, mais ácida ela se tornará. Este fato pode ser explicado pela forma que as amostras de sebo foram armazenadas, pois as mesmas foram guardadas em armários em contato direto com a umidade. A presença de água nas amostras podem levar a hidroxilação do sebo, aumentando assim o índice de acidez.

Ao se comparar com os dados de Dias & Ferraz [29], o valor para o sebo suíno está acima do valor da banha comercial que é ligeiramente mais elevada (1,3 mg de KOH/g de gordura). Já o valor para o sebo bovino encontra-se mais baixo. Um alto valor do índice de acidez da matéria prima pode influenciar na oxidação do combustível feito a partir dessa gordura, além afetar sua estabilidade térmica ao ser injetado na câmara de combustão de um motor [30].

5.2. Resultados da caracterização do biodiesel

5.2.1. Teor de éster

O ensaio do teor de éster foi realizado para todas as misturas de óleo de soja, sebo bovino e sebo suíno em duplicata, resultando nos valores médios observados na Tabela 6.

Tabela 6. Resultados do ensaio de teor de éster.

<i>Amostra</i>	<i>Porcentagem (óleo de soja:sebo)</i>	<i>Teor de éster médio (%)</i>
1	100% (óleo de soja)	94,3
2	70:30 (sebo bovino)	85,2
3	60:40 (sebo bovino)	82,2
4	50:50 (sebo bovino)	87,4
5	40:60 (sebo bovino)	90,0
6	30:70 (sebo bovino)	91,6
7	20:80 (sebo bovino)	92,9
8	100% (sebo bovino)	89,2
9	70:30 (sebo suíno)	92,8
10	60:40 (sebo suíno)	92,2
11	50:50 (sebo suíno)	89,2
12	40:60 (sebo suíno)	88,2
13	30:70 (sebo suíno)	91,7
14	20:80 (sebo suíno)	85,1
15	100% (sebo suíno)	92,9

Conforme mostrado na Tabela 6, nenhuma das amostras se encaixou dentro do limite determinado pela resolução ANP 45/2014, a qual especifica que o teor de éster observado para o biodiesel deve ser de pelo menos 96,5% [Error! Reference source not found.]. Cunha [16] em seu estudo observou que os teores de ésteres metílicos totais para amostras de mistura de óleo de soja e sebo bovino nas proporções de 60:40 e 40:60 foram de 93,24% e 103,53%, respectivamente. Comparando esses dados com os resultados observados para as amostras 3 e 5, pode-se observar valores inferiores que estão fora dos padrões da ANP. Os resultados para as amostras provenientes das misturas de óleo de soja e sebo suíno demonstraram certa coerência apesar de não atenderem à especificação. Pode-se observar uma linearidade na perda do teor de éster ao aumentar a quantidade de sebo suíno na mistura, exceto para a amostra contendo 30:70 de óleo de soja:sebo suíno (Amostra 13). Estudo realizado por Mata e colaboradores [31] observou em seu B100 de sebo suíno um valor de 85,1%, enquanto a amostra do presente trabalho (Amostra 15) apresentou um valor de 92,9% de teor de éster. Tais diferenças podem estar associadas ao método de transesterificação e ao índice de acidez da matéria prima [31].

5.2.2. Ponto de entupimento de filtro a frio (PEFF)

O ensaio de PEFF foi realizado em triplicata e apresentou os seguintes resultados (Tabela 7).

Tabela 7. Resultados da análise de PEFF das amostras de biodiesel realizada em triplicata.

<i>Amostra</i>	<i>Porcentagem (óleo de soja:sebo)</i>	<i>1º ensaio (°C)</i>	<i>2º ensaio (°C)</i>	<i>3º ensaio (°C)</i>	<i>Média (°C)</i>
1	100% (óleo de soja)	-3	-3	-2	-2,6
2	70:30 (sebo bovino)	6	6	6	6,0
3	60:40 (sebo bovino)	9	9	8	8,6
4	50:50 (sebo bovino)	11	11	11	11,0
5	40:60 (sebo bovino)	12	12	12	12,0
6	30:70 (sebo bovino)	14	13	13	13,3
7	20:80 (sebo bovino)	16	15	16	15,6
8	100% (sebo bovino)	17	17	17	17
9	70:30 (sebo suíno)	-1	-2	-1	-1,3
10	60:40 (sebo suíno)	1	1	1	1
11	50:50 (sebo suíno)	2	2	2	2
12	40:60 (sebo suíno)	3	2	3	2,6
13	30:70 (sebo suíno)	4	4	3	3,6
14	20:80 (sebo suíno)	5	5	6	5,3
15	100% (sebo suíno)	7	7	7	7

Conforme observado na Figura 8, pode-se observar que com o aumento da quantidade de sebo bovino ocorreu um aumento no PEFF, conforme esperado. Tal fato pode ser explicado pela presença de um maior número de ácidos graxos saturados na composição do sebo bovino.

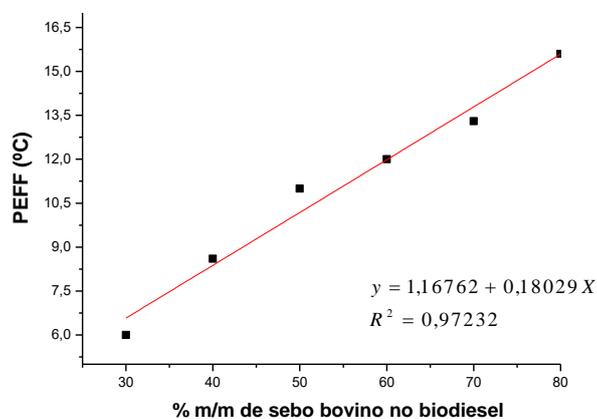


Figura 8. Modelo linear do resultado da análise de PEFF para sebo bovino.

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 7, a amostra 1 (100% óleo de soja) seria apropriada para ser usada em qualquer estado do país independente da época do ano, conforme explicações contidas na Tabela 3. A amostra 2 contendo a mistura com 30% de sebo bovino poderia ser usado em praticamente todas as regiões, com exceção da região sul entre os meses de junho a outubro. Já a amostra 7 com 80% de sebo bovino estaria inviável de ser usada em qualquer região, visto que pela resolução ANP 45/2014 o valor de 15,6 °C seria superior ao valor máximo estabelecido (14 °C) [Error! Reference source not found.].

Segundo Cunha [16], as amostras de óleo de soja:sebo bovino nas proporções 60:40 e 40:60 apresentaram PEFf de 11 °C e 10 °C, respectivamente. Esses valores se aproximaram dos valores observados para as amostras 3 e 4.

Já nas misturas com sebo suíno, praticamente todos os resultados estão dentro dos limites, apenas a amostra 15 contendo 100% de sebo suíno teria alguma restrição quanto ao seu uso, não podendo ser utilizada apenas na região sul no período entre junho a outubro. Todas as outras amostras podem ser utilizadas em qualquer região do ano, em qualquer período. Ao compararmos as amostras de sebo bovino com as de sebo suíno, percebemos que a temperatura de solidificação do sebo suíno é mais baixa que a do bovino. Isso se deve ao fato de o sebo suíno em sua composição ter menor número de ligações saturadas 38,7% que o sebo bovino com 53,30% [14].

A regularidade do PEFf também pode ser observada para as amostras de sebo suíno, a medida que aumenta a quantidade de sebo na amostra, o seu ponto de entupimento também aumenta, devido a maior presença de ácidos graxos saturados conforme Figura 9.

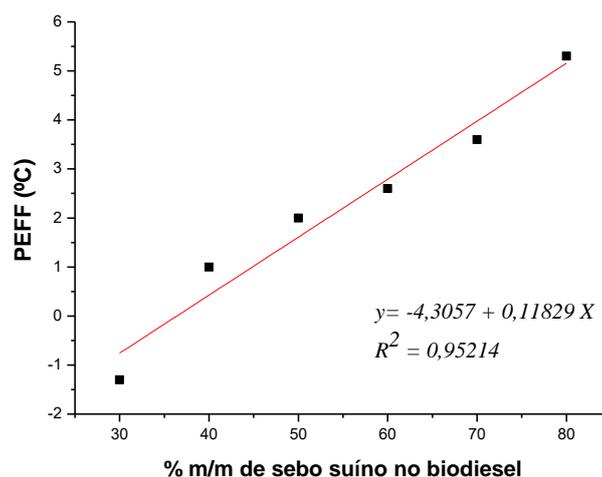


Figura 9. Modelo linear do resultado da análise de PEFf para sebo suíno

No ensaio de PEFf, as amostras contendo sebo suíno apresentaram resultados mais promissores do que as do biodiesel proveniente de sebo bovino. Todas as amostras, em

qualquer proporção de sebo suíno, podem ser usadas em todas as regiões do país, durante todo o ano. Isso porque o sebo suíno contém mais ligações insaturadas que saturadas em sua composição, não sendo observado o mesmo para o sebo bovino.

5.2.3. Densidade

A Tabela 8 mostra a média dos dados obtidos para o ensaio de densidade que também foram realizados em triplicata.

Tabela 8. Resultados da análise de densidade das amostras de biodiesel realizada em triplicata.

<i>Amostra</i>	<i>Porcentagem (óleo de soja:sebo)</i>	<i>1º ensaio (kg/m³)</i>	<i>2º ensaio (kg/m³)</i>	<i>3º ensaio (kg/m³)</i>	<i>Média (kg/m³)</i>
1	100% (óleo de soja)	882,09	882,11	883,12	882,44
2	70:30 (sebo bovino)	878,03	878,04	878,19	878,08
3	60:40 (sebo bovino)	876,70	876,71	876,74	876,71
4	50:50 (sebo bovino)	875,52	875,54	876,07	875,71
5	40:60 (sebo bovino)	874,74	874,75	874,80	874,76
6	30:70 (sebo bovino)	873,53	873,54	874,03	873,70
7	20:80 (sebo bovino)	871,92	871,94	872,02	871,96
8	100% (sebo bovino)	869,41	869,48	869,56	869,48
9	70:30 (sebo suíno)	880,39	880,40	880,40	880,39
10	60:40 (sebo suíno)	878,20	878,25	878,26	878,23
11	50:50 (sebo suíno)	878,08	878,09	878,07	878,08
12	40:60 (sebo suíno)	876,89	876,87	876,87	876,87
13	30:70 (sebo suíno)	874,60	874,61	874,58	874,59
14	20:80 (sebo suíno)	873,98	873,99	873,96	873,97
15	100% (sebo suíno)	874,12	874,11	874,15	874,12

Todas as amostras apresentaram valores dentro do estabelecido pela resolução ANP 45/2014, na qual o valor da densidade deve estar entre 850 e 900 kg/m³ [Error! Reference source not found.]. Estudos têm mostrado que os ésteres metílicos obtidos a partir de óleo de soja possuem densidades em torno de 885 kg/m³, confirmado pelas análises [16,14]. Assim, pode-se inferir que todas as misturas são boas matérias primas para produção de biodiesel.

As amostras de sebo suíno também estão todas dentro do limite estabelecido pela resolução ANP 45/2014. Ao compararmos com o resultado do estudo realizado por Mata e colaboradores [31], pode-se observar uma proximidade dos resultados, uma vez que o dado da

literatura foi de 873,00 kg/m³ e o da amostra 15, também com 100% de sebo suíno foi de 874,24 kg/m³.

5.2.4. Viscosidade cinemática a 40 °C

Os resultados de viscosidade das amostras de biodiesel sintetizadas a partir das misturas de óleo de soja:sebo bovino e óleo de soja:sebo suíno de soja estão próximos aos valores limites estipulados pela resolução ANP 45/2014, na qual os valores estipulados são de 3 a 6 mm²/s (Tabela 9) [**Error! Reference source not found.**]. Os ensaios foram realizados em triplicata.

Tabela 9. Resultados da análise de viscosidade cinemática das amostras de biodiesel.

<i>Amostra</i>	<i>Porcentagem (óleo de soja:sebo)</i>	<i>1º ensaio (mm²/s)</i>	<i>2º ensaio (mm²/s)</i>	<i>3º ensaio (mm²/s)</i>	<i>Média (mm²/s)</i>
1	100% (óleo de soja)	4,1685	4,1658	4,1633	4,1658
2	70:30 (sebo bovino)	4,3318	4,3159	4,3078	4,3159
3	60:40 (sebo bovino)	4,4093	4,4087	4,4093	4,4093
4	50:50 (sebo bovino)	4,4466	4,4375	4,4326	4,4375
5	40:60 (sebo bovino)	4,6183	4,6139	4,6095	4,6139
6	30:70 (sebo bovino)	4,6524	4,6539	4,6579	4,6539
7	20:80 (sebo bovino)	4,7419	4,7186	4,7095	4,7186
8	100% (sebo bovino)	5,0488	5,0397	5,0445	5,0443
9	70:30 (sebo suíno)	4,3070	4,3073	4,3072	4,3071
10	60:40 (sebo suíno)	4,3038	4,3037	4,3038	4,3037
11	50:50 (sebo suíno)	4,4163	4,4164	4,4165	4,4164
12	40:60 (sebo suíno)	4,4499	4,4498	4,4497	4,4498
13	30:70 (sebo suíno)	4,2941	4,2942	4,2944	4,2942
14	20:80 (sebo suíno)	4,3987	4,3988	4,3989	4,3988
15	100% (sebo suíno)	4,4970	4,4978	4,5003	4,4983

Pode-se notar que quanto maior a porcentagem de sebo bovino e suíno nas amostras mais viscosa elas se tornam, em decorrência da maior presença dos ácidos graxos saturados [14].

Comparando os dados obtidos com alguns resultados descritos na literatura [16,14,32], pode-se notar que os valores obtidas para as amostras de biodiesel estão dentro dos padrões aceitáveis. Cunha [16] observou que as viscosidades do óleo de soja puro, da mistura 60:40 e

40:60 de óleo de soja:sebo bovino possuíram valores de densidade de 4,604 mm²/s, 4,697 mm²/s e 5,375 mm²/s, respectivamente. Esses resultados estão bem próximos dos obtidos por nossas respectivas misturas (4,1658 mm²/s; 4,4093 mm²/s e 4,6139 mm²/s). Em outro estudo, Dias & Ferraz [29] observaram um valor de 4,77 mm²/s para o biodiesel B100 de sebo suíno sendo bem próximo da amostra 15, contendo 100% de sebo suíno, que possui um valor de 4,5193 mm²/s.

6. CONCLUSÃO

Este trabalho teve como objetivo a produção de biodiesel a partir de misturas de óleo de soja e gorduras animais para a verificação das suas propriedades físico-químicas, pela resolução ANP 45/2014. Misturas com sebo bovino, sebo suíno e óleo de soja foram produzidas a fim de se determinar a melhor proporção sebo bovino/óleo de soja, sebo suíno/óleo de soja, através de ensaios de teor de éster, ponto de entupimento de filtro a frio, densidade, viscosidade cinemática a 40 °C e índice de acidez das matérias primas. Dessa forma, pode-se concluir através deste trabalho que a mistura de sebo suíno com óleo de soja, nas proporções sugeridas, proporciona a produção de biodiesel de melhor qualidade que o sebo bovino. O combustível obtido por sebo suíno apresentou resultados satisfatórios para quase todos os ensaios, não se enquadrando no limite apenas para o ensaio de teor de éster. Já o biodiesel de sebo bovino não se encaixou nos limites estabelecidos pela resolução ANP 45/2014 para os ensaio de PEF e teor de éster, restringindo assim o seu uso em diversas regiões do país. Vale ressaltar que, apesar de o sebo suíno e bovino serem considerados gorduras animais, onde a característica seria a presença de porcentagens de ácidos graxos saturados maiores, o sebo suíno em sua composição apresenta um somatório de ácidos graxos insaturados maior que saturados, tendo um perfil graxo mais apropriado para a produção de biodiesel.

O presente estudo cumpriu com seus objetivos inicialmente definidos, apesar de ainda haver espaço para mais pesquisas a cerca do tema. É muito importante que se invista no desenvolvimento desse assunto, uma vez que a busca por novas fontes de energias renováveis e a reciclagem se faz necessária no cenário atual. A gordura animal, que antes poderia ser objeto de contaminação de lençóis freáticos, rios, mares e lagos, hoje com novas pesquisas para seu aperfeiçoamento, poderá dar fim a um possível dejetos para a produção de um biocombustível menos poluente.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. SHAY, E. G. **Diesel fuel from vegetable oils: status and opportunities**. Biomass and Bioenergy, vol: 4, 1993, pags 227-242.
2. UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE. **Kyoto Protocol**. Disponível em: <http://unfccc.int/kyoto_protocol/items/2830.php> acessado em junho 2015.
3. GLISIC, S. B.; ORLOVIC, A. M. **Review of biodiesel synthesis from waste oil under elevated pressure and temperature: Phase equilibrium, reaction kinetics, process design and techno-economy study**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol: 31, 2014, pags 708-725.
4. SOARES, I.P; JUNIOR, P. S. **Avaliação de fluxo a frio do biodiesel de óleo de soja e sebo bovino**. Embrapa Agroenergia, Brasília, 2014.
5. Ministério de Minas e Energia. **Boletim mensal dos combustíveis renováveis**. Edição nº 80, 2014.
6. Ministério de Minas e Energia. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). **Boletim Mensal do Biodiesel**. Brasília, 2015.
7. BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). **Resolução ANP Nº 45, de 25.08.2014**
8. AGARWAL, D.; SINHA, S.; AGARWAL, A. K., **Experimental investigation of control of NO_x emissions in biodiesel-fueled compression ignition engine**. Renewable Energy, vol: 31, ed. 14, 2006, pags 2356-2369.
9. GAIO, L. M, **Preparação, caracterização e uso de dolomita mineral como catalisador heterogêneo na produção de biodiesel via reação de transesterificação de óleo de fritura**. Dissertação de Mestrado, Brasília, 2014.
10. BAROI, C.; MAHTO, S.; NIU, C.; DALAI, A. K. **Biofuel production from green seed canola oil using zeolites**. Applied Catalysis A: General, vol: 469, 2014.
11. PIRES, A. **Sebo bovino e o biodiesel**. Brasil Econômico, 2012.
12. MAGALHÃES, F.C, **Blendas sebo/soja para a produção de biodiesel: proposta de um processo batelada homogêneo**. Dissertação de Mestrado, Rio Grande, 2010.
13. TEIXEIRA, S.G; COUTO, M.B. **Characterization Of Beef Tallow Biodiesel And Their Mixtures With Soybean Biodiesel And Mineral Diesel Fuel**. Biomass and Bioenergy, vol 34, 2010, pags 438-441.
14. MORAES, M.S.A. **Biodiesel de sebo: Avaliação de Propriedades e testes de consumo em motor a diesel**. Dissertação de Mestrado, Porto Alegre, 2008.
15. SORIANO JR, N. U.; VENDITTI, R.; ARGUPOULOS, D. S. **Biodiesel synthesis via homogeneous Lewis acid-catalyzed transesterification**. Fuel, vol: 88, ed. 3, 2009, pags 560-565.
16. CUNHA, M. E, **Caracterização de biodiesel produzido com misturas binárias de sebo bovino, óleo de frango e óleo de soja**. Dissertação de Mestrado, Porto Alegre, 2008.
17. SANI, Y.M.; DAUD, W. M. A. W.; ABDUL AZIZ, A. R. **Biodiesel Feedstock and Production Technologies: Successes, Challenges and Prospects, Biodiesel - Feedstocks, Production and Applications**, Prof. Zhen Fang (Ed.). 2012.
18. MA, F.; HANNA, M. A. **Biodiesel production: a review**. Bioresource Technology, vol: 70, 1999, pags 1-15.
19. FREEDMAN, B.; PRYDE, E. H.; MOUNTS, T. L. **Variables affecting the yields of fatty esters from transesterified vegetable oils**. Journal of the American Oil Chemistry Society, v. 61, 1984.

20. COSTA, P. P. K. G. **Catalisadores químicos utilizados na síntese de biodiesel.** Embrapa Agroenergia, Brasília, 2011.
21. LAM, M. K.; LEE, K. T.; MOHAMED, A. R. **Homogeneous, heterogeneous and enzymatic catalysis for transesterification of high free fatty acid oil (waste cooking oil) to biodiesel: a review.** *Biotechnology Advances*, vol: 28, ed. 4, 2010, pags 500-518.
22. GEORGOGIANNI, K. G.; KATSOULIDIS, A. K.; POMONIS, P. J.; MANOS, G.; KONTOMINAS, M. G. **Transesterification of rapeseed oil for the production of biodiesel using homogeneous and heterogeneous catalysis.** *Fuel Processing Technology*, vol: 90, 2009, pags 1016-1022.
23. WRIGHT, H.J.; SEGUR, J.B.; CALRK, H.V.; COBURN, S.K.; LANGDON, E.E.; DUPUIS, R.N. **A report on ester interchange.** *Oil and Soap*, vol: 21, 1944, pags 145-148.
24. GUAN, G.; KUSAKABE, K.; SAKURAI, N.; MORIYAMA, K. **Transesterification of vegetable oil to biodiesel fuel using acid catalysts in the presence of dimethyl ether.** *Fuel*, vol: 88, ed. 1, 2009, pags 81-86.
25. KRAUSE, L. C. **Desenvolvimento do processo de produção de biodiesel de origem animal. Tese de Doutorado, Porto Alegre, 2008.**
26. AOCS Official Method Ca 2e-84: Moisture Karl Fischer Reagent. In: AOCS. 6. ed. **Official methods and recommended practices of the American Oil Chemists' Society.** Champaign: American Oil Chemists' Society, 2009.
27. BORGES, L.D.; MOURA, N.N.; COSTA, A.A.; BRAGA, P.R.S.; DIAS, J.A.; DIAS, S.C.L.; MACEDO, J.L.; GHESTI, G.F. **Investigation Of Biodiesel Production By HUSY And Ce/HUSY Zeolites: Influence Of Structural And Acidity Parameters.** *Applied Catalysis A: General*. Vol:450, 2013, pags 114-119.
28. FERREIRA, L. A; PEREIRA, N, C. **Estudo De Tratamentos Alternativos Para Redução Da Acidez No Sebo Bovino.** COBEQIC. Campinas, 2015.
29. DIAS, J.M; FERRAZ, C.A. **Using Mixtures of Waste Frying Oil and Pork Lard to produce Biodiesel.** *International Journal of Chemical Molecular Nuclear Materials and Metallurgical Engineering* vol:2, nº 8, 2008.
30. TEIXEIRA, G.A.A. **Avaliação do Tempo de Vida Útil de Biodiesel Metílico Obtido a partir da Mistura de Sebo Bovino e Óleos de Soja e Babaçu.** Tese de Doutorado. Paraíba, 2010.
31. MATA, T. M., CARDOSO, N., ONELAS, M., Neves. **Sustainable Production of Biodiesel from Tallow, Lard and Poultry Fat and its Quality Evaluation.** Portugal.
32. RAMADHAS, A. S; JAYARAJ, S. *Fuel*. Vol: 84, 2005, pags 335-340.