



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

ERNANE BRUNO OSÓRIO

BIODIESEL DE ÓLEO DE SOJA E DE SEBO DE PORCO:
CARACTERIZAÇÃO E AVALIAÇÃO DAS BLENDS

FORTALEZA
2017

ERNANE BRUNO OSÓRIO

BIODIESEL DE ÓLEO DE SOJA E DE SEBO DE PORCO: CARACTERIZAÇÃO E
AVALIAÇÃO DAS BLENDS

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia
Mecânica do Departamento de Engenharia
Mecânica da Universidade Federal do Ceará,
como requisito parcial para obtenção do
título de Engenheiro Mecânico.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Maria Alexsandra de
Sousa Rios

FORTALEZA
2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

O92b Osório, Ernane Bruno.
Biodiesel de óleo de soja e de sebo de porco: caracterização e avaliação das blendas / Ernane Bruno Osório. –
2017.
43 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia,
Curso de Engenharia Mecânica, Fortaleza, 2017.
Orientação: Profa. Dra. Maria Alexsandra de Sousa Rios.

1. Sebo de porco. 2. Óleo de soja. 3. Blenda. 4. Estabilidade oxidativa. I. Título.

CDD 620.1

ERNANE BRUNO OSÓRIO

BIODIESEL DE ÓLEO DE SOJA E DE SEBO DE PORCO: CARACTERIZAÇÃO E
AVALIAÇÃO DAS BLENDS

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia
Mecânica do Departamento de Engenharia
Mecânica da Universidade Federal do Ceará,
como requisito parcial para obtenção do
título de Engenheiro Mecânico.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Maria Alexandra de
Sousa Rios

Aprovada em: ____/____/____.

BANCA EXAMINADORA

Prof^a. Dr^a. Maria Alexandra de Sousa Rios (Orientadora)

Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof^a. Dr^a. Rosana Maria Alves Saboya

Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof^a. Dr^a Ada Amélia Sanders Lopes

Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, que é a base para tudo acontecer em nossas vidas. Sem ele, nada disso seria possível.

Aos meus pais, Fernando de Sousa Osório e Regina Lúcia Lima Osório, pelo apoio que sempre me deram durante todos os dias da minha vida.

A minha irmã, Maria Neuza Lima Osório, que está sempre do meu lado, compartilhando comigo todos os momentos de alegria e de dificuldade que a vida nos impõe.

À professora Dra. Maria Alexandra de Sousa Rios pela confiança, sendo sempre muito cordial e paciente.

À Rosali Marques, estagiária do laboratório, pelo empenho e dedicação, por todo o auxílio prestado na execução dos experimentos e por tornar meu tempo no laboratório mais agradável.

Aos meus amigos do curso de Engenharia Mecânica, Caio Torres, Carlos Eduardo, Filipe de Deus, Guthierre Castro, Hugo Daniel, Jeová Parente, Júnior Gomes, Lucas Carlos, Marcelo Albuquerque, Mário Alves, Nicolas Souza, Rafael Pompeu, Rafael Vasconcelos, Rodrigo Lima, Rodrigo Teixeira, Samuel Ximenes, Victor Bruno e Vilnardo Alves.

“O insucesso é apenas uma oportunidade para recomeçar com mais inteligência. “

(Henry Ford)

RESUMO

O Brasil é conhecido por ter um dos setores agropecuários mais desenvolvidos do mundo. A soja, grão mais produzido no País, e a carne suína, responsável por pouco menos de 15% do que é produzido na pecuária brasileira, demonstram grande potencial para se produzir biodiesel. Atualmente, a soja é a matéria-prima mais utilizada para produção deste biocombustível, mas as outras fontes animais e vegetais, tais como: sebo bovino, óleo residual, óleo de peixe e mamona, têm se desenvolvido e crescido a produção nos últimos anos. É fundamental a atuação do Estado no desenvolvimento de pesquisas que tenham como objetivo criar condições para que tenhamos combustíveis cada vez mais limpos e baratos, reduzindo a participação do petróleo na Matriz Energética Nacional. O trabalho apresentado teve como objetivos produzir e caracterizar amostras de biodiesel a partir de sebo de porco e a partir do óleo de soja, além de uma blenda formada por 50% volume-volume de cada uma dessas fontes e testar a conformidade em relação aos parâmetros estabelecidos na Resolução ANP Nº 45, de 25.8.2014. No caso do biodiesel de sebo de porco, por exemplo, foram encontrados valores aceitáveis para os seguintes parâmetros: índice de acidez (0,237mgKOH/g), teor de água (194,8mg/kg), poder calorífico (39,259 MJ/kg) e viscosidade cinemática (5,25 mm²/s), mas com valores não aceitáveis para teor de ésteres (93,43%) e estabilidade oxidativa (0,065 h). No caso do biodiesel a partir de óleo de soja, os valores satisfatórios foram: índice de acidez (0,294 mgKOH/g), poder calorífico (39,719 MJ/kg) e viscosidade cinemática (4,483 mm²/s), mas com valores não aceitáveis para teor de ésteres (95%), teor de água (210,97 mg/kg), e estabilidade oxidativa (2,325 h).

Palavras-chave: Sebo de porco, Óleo de soja, Blenda e Estabilidade Oxidativa.

ABSTRACT

Brazil is known for having one of the most developed agricultural sectors in the world. Soybeans, the most produced grain in the country, and pork, responsible for less than 15% of what is produced in Brazilian livestock, show great potential to produce biodiesel. Currently, soybeans are the most used raw material for this purpose, but other sources, such as beef tallow, residual oil, fish oil and castor oil, have developed and grown in recent years. It is essential that the State act in the development of research aimed at creating the conditions for us to have cleaner, and cheaper fuels, reducing the significance of oil in the National Energy Matrix. The goal of the present work was to produce and characterize samples of biodiesel from pork tallow and soybean oil, in addition to a blend composed of 50% of each of these sources and to test compliance using the parameters of Resolution ANP No. 45, from 8.25.2014. In the case of pork tallow biodiesel, for example, acceptable values were found for the following parameters: acidity index (0,237mgKOH/g), water content (194,8mg/kg), calorific value (39,259 MJ/kg) and Kinematic viscosity (5.25 mm²/s), but non-acceptable values for ester content (93.43%) and oxidative stability (0.065 h). In the case of biodiesel from soybean oil, satisfactory values were: acidity index (0.294 mg KOH/g), calorific value (39.719 MJ/kg) and kinematic viscosity (4.483 mm²/s), but with not acceptable values for ester content (95%), water content (210.97 mg/kg), and oxidative stability (2.325 h).

Keywords: swine tallow, soybean oil, blends and oxidative stability.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Variação da produção de biodiesel mensal 2015 e 2016

Tabela 2 - Caracterizações físico-químicas do biodiesel de sebo de porco, biodiesel de soja e biodiesel da blenda 1:1.

LISTA DAS PRINCIPAIS SIGLAS

ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
ANVISA	Agência Nacional da Vigilância Sanitária
AOCS	American Oil Chemists' Society
ASTM	American Society for Testing and Materials
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
EN	European Standard
LARBIO	Laboratório de Referência em Biocombustíveis
MME	Ministério de Minas e Energia
NUTEC	Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial do Ceará
PETROBRAS	Petróleo Brasileiro S. A.
RANP	Resolução ANP
USDA	United States Department of Agriculture

Sumário

1 INTRODUÇÃO	17
2 OBJETIVOS.....	19
2.1 Objetivo Geral	19
2.2 Objetivos Específicos	19
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	20
3.1 Panorama energético	20
3.1.1 No mundo	20
No Brasil	21
3.2.1 Produção de biodiesel por transesterificação	24
3.3 Matérias-primas	26
3.3.1 Sebo de porco	26
3.3.2 Óleo de Soja	27
Blenda 1:1 de sebo de porco e óleo de soja.....	28
3.4 Ensaios físico-químicos	28
3.4.1 Índice de acidez.....	28
3.4.2 Massa específica	29
3.4.3 Teor de água	29
3.4.4 Estabilidade oxidativa.....	30
3.4.5 Poder calorífico superior	31
3.4.6 Teor de ésteres	31
4 MATERIAIS E MÉTODOS	32
4.1 Materiais / Equipamentos	32
4.2 Reagentes	32
4.3 Matéria-prima	32
4.3.1 Extração do sebo.....	32
4.3.2 Produção de biodiesel	35
4.4 Caracterização do biodiesel	37
4.4.1 Índice de acidez.....	37
4.4.2 Viscosidade cinemática a 40 °C.....	37
4.4.3 Estabilidade Oxidativa	37
4.4.4 Massa específica a 20 °C	38
4.4.5 Poder calorífico superior	38
4.4.6 Teor de água	38
4.4.7 Teor de Ésteres	38
5 RESULTADO E DISCUSSÃO	39

5.1 Caracterizações físico-químicas do biodiesel de sebo de porco e de soja.....	39
5.2 Parâmetros de qualidade do biodiesel produzido	41
5.2.1 Índice de acidez	41
5.2.2 Massa específica a 20 ° C.....	41
5.2.3 Poder calorífico superior.....	41
5.2.4 Teor de água.....	41
5.2.5 Viscosidade cinemática a 40 ° C.....	41
5.2.6 Estabilidade oxidativa	42
5.2.7 Teor de ésteres.....	42
6 CONCLUSÃO	42

1 INTRODUÇÃO

A participação de fontes de energia não renováveis na matriz energética mundial é bastante relevante, tornando-nos, portanto, dependentes do petróleo, recurso não renovável e bastante poluente. Estima-se, segundo dados da Conferência das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, que apenas 13% da matriz energética dos países industrializados é oriunda de recursos renováveis, fazendo-se necessário que se aumente este percentual a fim de reduzir a poluição e os custos que, a longo prazo, por serem finitos, tornar-se-ão mais caros no caso dos não renováveis.

A matriz energética nacional apresenta uma situação um pouco mais confortável no que se refere ao uso de energia limpa, uma vez que por volta de 41% de nossas fontes são renováveis. O Brasil ocupa uma posição de destaque no desenvolvimento e uso de fontes renováveis de energia, devido à sua grande extensão territorial, clima e alternativas variadas, visto que todo território nacional dispõe de condições para o cultivo de oleaginosas (DA CUNHA, 2008). Esse panorama, no entanto, não deve ser motivo para não buscar outros meios.

Levando em conta o exposto, a sociedade busca novas fontes de energia que sejam mais baratas, menos poluentes e renováveis para que sejam reduzidas as consequências do efeito estufa e o aquecimento global.

Várias são as alternativas a serem exploradas, mas abordaremos, neste trabalho, o biodiesel, definido na Lei Nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005, como “biocombustível derivado de biomassa renovável para uso em motores a combustão interna com ignição por compressão ou, conforme regulamento, para geração de outro tipo de energia, que possa substituir parcial ou totalmente um combustível de origem fóssil” (BRASIL, 2009).

Em 23 de março de 2016, a presidente Dilma Rousseff sancionou a Lei Nº 13.263, alteração da lei Nº 13.033, de 24 de setembro de 2014, que trata dos percentuais de biodiesel que deve ser misturado ao diesel comum. De acordo com o texto, o índice de biodiesel no diesel passará dos atuais 7% para 8% até 2017; 9%, até 2018; e 10%, até 2019.

Várias são as possibilidades de se obter biodiesel, dentre as quais abordaremos o óleo de soja e o sebo de porco, além de uma blenda formada por 50% de cada uma das amostras obtidas. Utilizou-se o processo de transesterificação, gerando biodiesel e glicerina. Os biodieseis e a blenda foram, então, caracterizados por meio de alguns parâmetros físico-

químicos, tais como índice de acidez, massa específica, teor de água, poder calorífico superior, estabilidade oxidativa e teor de ésteres.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo geral a obtenção de biodiesel a partir de óleo de soja, sebo de porco e uma blenda formada pela mistura de 50% volume-volume de cada uma das matérias primas citadas, analisando parâmetros físico-químicos das três amostras, visando verificar a conformidade em relação à Resolução ANP N° 45 de 25.8.2014 - DOU 26.8.2014, que regulamenta os parâmetros de qualidade do biodiesel.

2.2 Objetivos Específicos

- Coletar, extrair e purificar o sebo de porco.
- Transesterificar o sebo de porco e o óleo de soja a fim de obter biodiesel.
- Determinar as propriedades físico-químicas das duas amostras obtidas.
- Obter a blenda formada por 50% volume-volume de cada uma das amostras.
- Avaliar e comparar as propriedades físico-químicas das blends em relação aos parâmetros estabelecidos pela Resolução ANP N° 45 de 25.8.2014.

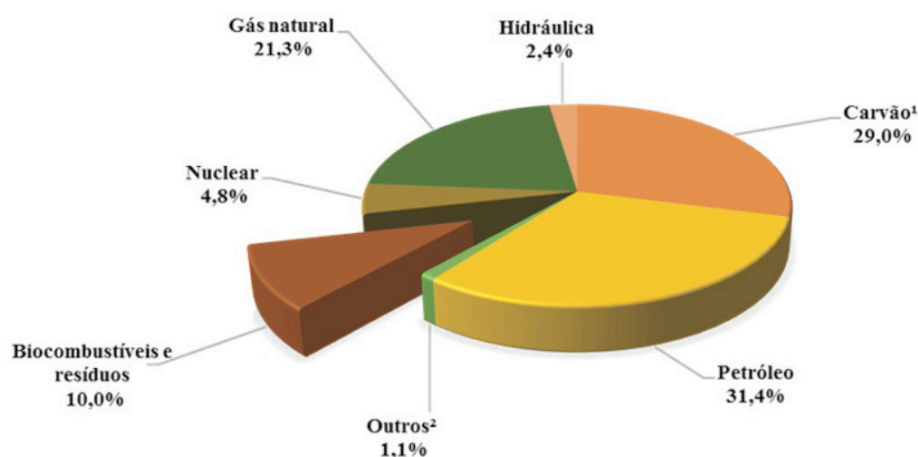
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Panorama energético

3.1.1 No mundo

Atualmente, a matriz energética mundial ainda é composta, principalmente, por fontes não renováveis, como os derivados de petróleo e carvão. As fontes renováveis não representaram mais do que 13,5% na composição do ano de 2012. Segundo o IEA (2014 *apud* SOUZA, 2015), as maiores contribuições para o fornecimento de energia para a matriz energética mundial são dos países da Organization for Economic Co-operation and Development (39,2%), China (21,8%), Ásia (12,3%, excluindo a China), Europa e Eurásia (8,9%). No Gráfico 1 está apresentada a Matriz Energética Mundial do ano de 2012 (SOUZA, 2016).

Figura 1 - Matriz energética mundial, 2012



Fonte: (IEA, 2014 *apud* SOUZA, 2015)

Como se pode observar, os biocombustíveis representavam apenas 10% da matriz energética mundial. Essa realidade, contudo, tende a melhorar com o passar dos anos, uma vez que muitos países têm avançado no sentido de tornarem obrigatórios aumentos gradativos de percentuais de mistura do biodiesel ao diesel tradicional.

No que diz respeito à produção de biodiesel em 2012, em todo o mundo, em média, foram produzidos 431.259 mil barris por dia. Os maiores produtores neste ano foram os Estados Unidos, a Alemanha, a Argentina, o Brasil, a Indonésia, a França, a China, a Tailândia, a Itália e a Polônia (ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION, 2015a, 2015b).

No Brasil

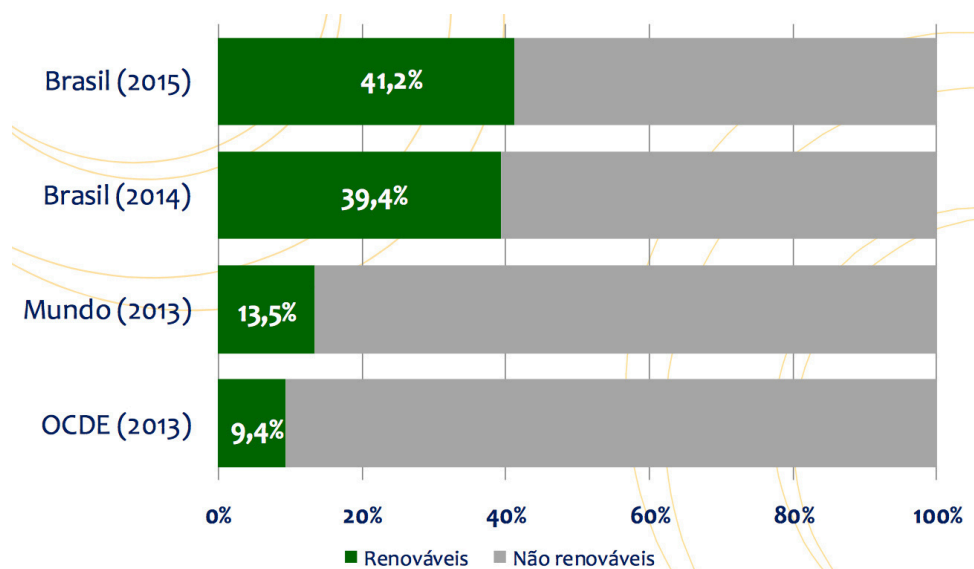
A crise do petróleo, juntamente com a crise do açúcar, impulsionou o Pró-álcool, comandado pelo professor José Walter Bautista Vidal, que era o então secretário de Tecnologia Industrial nos governos de Ernesto Geisel e de José Sarney. Com o auxílio de uma equipe de profundos conhecedores do setor, passaram a adaptar motores para o uso de combustíveis de origem vegetal, alternativos aos derivados do petróleo (GAZZONI, 2007).

No ano de 1980, o professor Expedito Parente, da Universidade Federal do Ceará, obteve a primeira patente de biodiesel (PI – 8007957) e de querosene vegetal de aviação (HOLANDA, 2004), em termos mundiais. Contudo, o governo brasileiro arquivava estudos sobre combustíveis alternativos, enquanto a Comunidade Econômica Europeia investia forte na pesquisa de combustíveis alternativos vegetais, entre eles o Biodiesel de óleo de canola (colza), a matéria prima mais utilizada na Europa. Na Malásia e nos Estados Unidos, foram realizados experimentos bem-sucedidos com palma e soja, respectivamente (GAZZONI, 2007).

No Brasil, a energia produzida origina-se dos recursos da biomassa, das usinas hidrelétricas, e o restante é oriundo de recursos não renováveis, representados pelo petróleo e seus derivados, gás natural, carvão mineral e urânio, que representa a menor parte da geração nacional de energia (VASCONCELOS, 2016).

Abaixo, a figura 2 ilustra a participação das fontes de energia renovável na matriz energética brasileira.

Figura 2 - Participação de energia renovável na matriz energética brasileira



Fonte: EPE, Agência Internacional de Energia. Elaboração.

Na Figura 3, está apresentada a participação, por região brasileira, das matérias-primas utilizadas para produção de biodiesel.

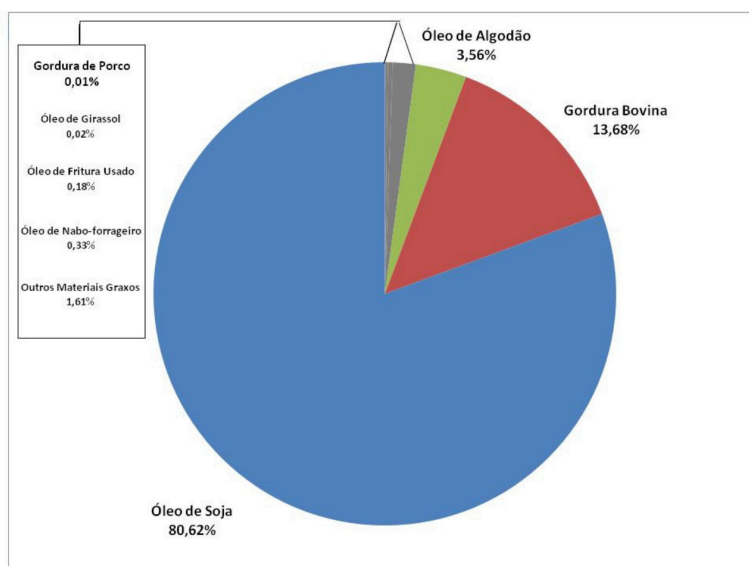
Figura 3 - Percentual das matérias-primas utilizadas na produção de biodiesel, por região do país, em novembro de 2016

Matéria-Prima	Região				
	Norte	Nordeste	Centro-Oeste	Sudeste	Sul
Óleo de Soja	86,59%	51,17%	83,30%	58,30%	74,74%
Gordura Bovina	13,41%	24,35%	6,15%	26,28%	16,27%
Óleo de Algodão		5,92%	3,12%	2,32%	
Outros Materiais Graxos		18,53%	7,00%	10,54%	4,08%
Óleo de Fritura usado		0,03%	0,16%	2,36%	0,95%
Gordura de Porco			0,03%	0,20%	1,79%
Gordura de Frango			0,25%		1,11%
Óleo de Palma / Dendê					
Óleo de Colza/Canola					1,06%

Fonte: Boletim ANP de novembro de 2016.

Na Figura 4, estão apresentados os percentuais de cada uma das matérias-primas utilizadas para produzir o biodiesel, levando-se em conta o mês de outubro de 2010.

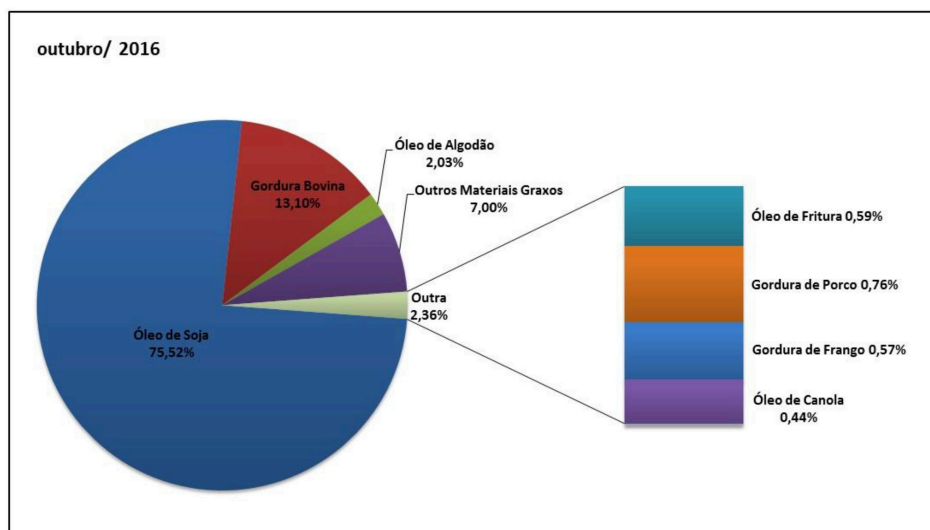
Figura 4 - Participação das diferentes matérias primas na produção de biodiesel em outubro de 2010.



Fonte: Boletim ANP de novembro de 2010.

Na Figura 5, estão apresentadas as matérias primas para a produção de biodiesel, em outubro de 2016.

Figura 5 - Participação das diferentes matérias primas na produção de biodiesel em outubro de 2016



Fonte: Boletim ANP de novembro de 2016

É importante destacarmos, também, o quanto tem evoluído o processo de diversificação das matérias-primas utilizadas, tendo-se notado uma maior participação de fontes outrora pouco relevantes. O óleo de soja tinha uma participação de 80,62% na produção de biodiesel no Brasil, enquanto hoje tem 75,52%. Em relação ao sebo de porco, tem-se um aumento da participação dessa fonte, saindo de 0,01% para 0,76% de todo o biodiesel produzido no País.

Estimava-se que, na próxima década (2021 a 2030), o biodiesel seria a fonte de energia com maior aumento de produção de toda a matriz energética brasileira. A projeção de crescimento era de 9% ao ano, segundo dados da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), referente ao Plano Decenal de Expansão de Energia 2023.

É prudente que analisemos com ressalvas quaisquer projeções em relação ao aumento da produção de biodiesel no Brasil, uma vez que passamos por uma grave crise econômica que tem gerado uma importante recessão. A consequência direta de todo esse processo é a grande queda da demanda de consumo que gera, naturalmente, um declínio na demanda por energia. A fim de ilustrarmos a situação, o reflexo das consequências da crise já pode ser notado em uma queda na produção do biodiesel, como mostrado na Tabela 1.

Tabela 1 - Variação da produção de biodiesel mensal 2015 e 2016

Mês	VARIÇÃO DO ACUMULADO		
	2015	2016	NO ANO – (2016/2015) %
Janeiro	319.546	271.388	-15,1
Fevereiro	303.594	300.065	-8,3
Março	322.692	323.158	-5,4
Abril	324.526	348.485	-2,1
Mai	338.851	328.814	-2,3
Junho	322.185	292.772	-3,5
Julho	341.094	337.435	-3,1
Agosto	344.038	327.183	-3,3
Setembro	330.388	313.309	-3,5
Outubro	359.166	341.024	-3,7
Novembro	324.662		
Dezembro	306.526		
Total	3.937.269	3.183.634	

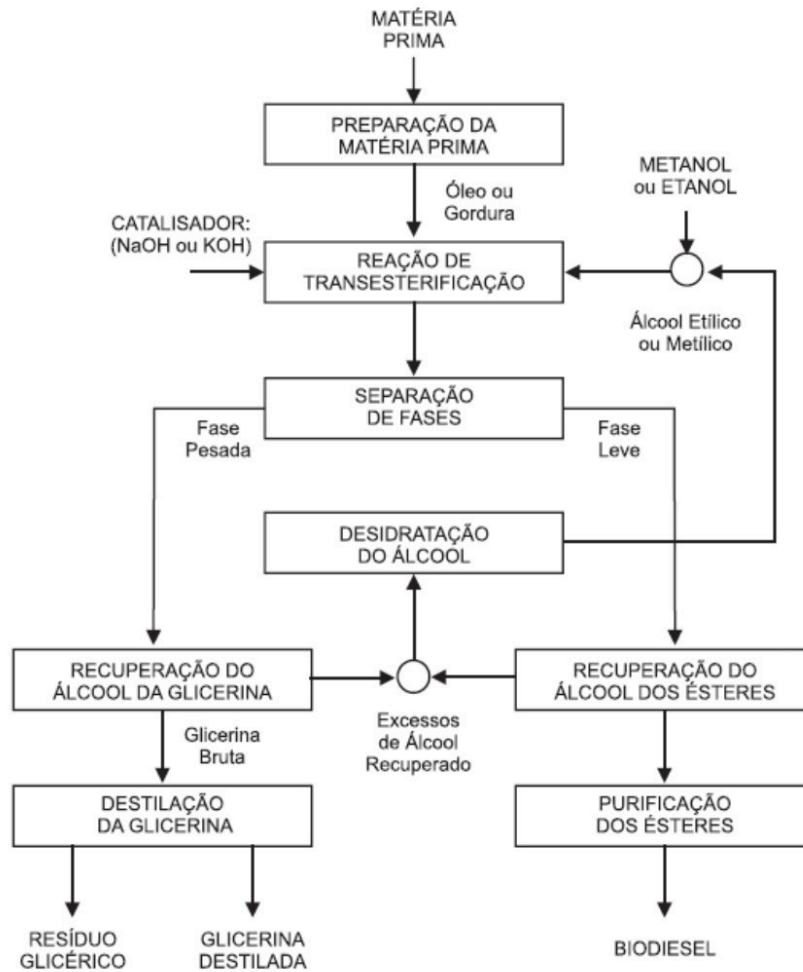
Fonte: Produção Nacional de Biodiesel Puro (B100) – ANP

A redução média da produção de biodiesel, levando em conta os meses de janeiro a outubro, foi de 5,03%, percentual ainda maior que a queda projetada do PIB brasileiro, que é de 3,5% em 2016, de acordo com dados do Banco Central do Brasil.

3.2.1 Produção de biodiesel por transesterificação

A produção de biodiesel por meio da reação de transesterificação envolve as etapas de preparação da matéria-prima, reação, separação de fases, recuperação e desidratação do álcool, e purificação dos ésteres e da glicerina, como pode ser observado no esquema geral apresentado na figura 1 (ENCARNAÇÃO, 2008).

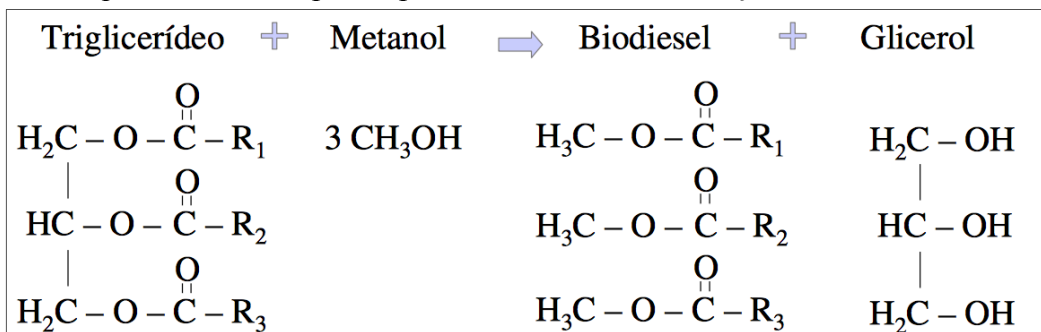
Figura 6 - Esquema do processo de produção de biodiesel por transesterificação



Fonte: PARENTE, 2003

Na reação de transesterificação, o triglicerídeo reage com um álcool simples (metanol ou etanol), formando ésteres (metílico ou etílico), que constituem o biodiesel, e glicerol.

Figura 7 - Esquema reacional para o processo de transesterificação.



Fonte: ENCARNAÇÃO, 2008.

A reação pode ser catalisada por bases (NaOH, KOH, carbonatos ou bases de álcool), ácidos (HCl, e HCl, H₂SO₄ e HSO₃-R-R) ou enzimas (lipases). Os catalisadores mais eficientes para esse propósito são KOH e NaOH. O produto da reação possui duas fases: glicerina, mais pesada, e biodiesel. Ambos estão contaminados com excessos de álcool, água e catalisador. A glicerina e o biodiesel são, então, separados por decantação e/ou por centrifugação. O álcool é recuperado a partir dos produtos formados, biodiesel e glicerina, e é reutilizado no processo. Depois de recuperado, o álcool ainda contém quantidades significativas de água, necessitando ser desidratado por destilação. O biodiesel produzido deve ser lavado e, posteriormente, desumidificado visando retirar contaminantes, tais como catalisador, glicerol, álcool e água que possam ainda estar retidos no produto (ENCARNAÇÃO, 2008).

É importante destacar que a estocagem do biodiesel deve ser cuidadosa, pois há a possibilidade de variação de temperatura e de luminosidade, além da absorção de umidade e consequente oxidação, que são fatores que influenciam na degradação do combustível (RAMALHO e SUAREZ, 2013).

3.3 Matérias-primas

As matérias-primas para a produção de biodiesel são óleos vegetais, gorduras animais, óleos e gorduras residuais. Óleos vegetais e gorduras são, basicamente, compostos de triglicerídeos, ésteres de glicerol e ácidos graxos (BIODIESELBR, 2006).

Como mencionado anteriormente, várias são as matérias-primas que podem ser utilizadas para se ter biodiesel, mas limitaremos nossos estudos em duas delas: sebo de porco e óleo de soja.

3.3.1 Sebo de porco

O biodiesel produzido a partir de sebo de porco ainda tem pouca representatividade no que se refere à participação dessa matéria primeira, em relação ao montante produzido no Brasil. Entretanto, é relevante atentar-se ao fato de que em seis anos, 2010 a 2016, de acordo com dados apresentados no Figura 3, essa participação passou de 0,01% para 0,76%.

Enquanto a utilização de sebo bovino para produção de biodiesel gira em torno de 13% do montante, a oriunda de sebo de porco, como relatado no parágrafo anterior, é de 0,76%, de acordo com o último boletim da ANP (novembro de 2016). Temos, então, mais que 17 vezes mais gordura bovina sendo transformada em biodiesel, do que gordura suína. É compreensível,

contudo, que seja maior a bovina em relação à suína, mas tal diferença é desproporcional em relação ao que é produzido de uma e da outra matéria prima.

Segundo dados da USDA de 2015, United States Department of Agriculture, a carne bovina é responsável por aproximadamente 38,6% de toda a produção pecuária brasileira, enquanto que a carne suína representa apenas 14,5%.

Portanto, é fácil perceber que há um “gap” de produção de biodiesel a partir de gordura de porco, o que abre margem para que se busque aproveitar essa matéria-prima subutilizada, instalando usinas que equilibrem fácil acesso aos abatedouros e às distribuidoras de combustíveis. Ressalte-se ainda que a utilização desses resíduos para a produção de biodiesel contribuirá para reduzir os custos de descarte, além de eliminar a emissão de gases nocivos à saúde, oriundos desse material antes não utilizado totalmente.

3.3.2 Óleo de Soja

De acordo com dados do Ministério da Agricultura de 2016, a soja é a cultura agrícola brasileira que mais cresceu nas últimas três décadas e corresponde a 49% da área plantada em grãos do país. O aumento da produtividade está associado aos avanços tecnológicos, ao manejo e à eficiência dos produtores. O grão é componente essencial na fabricação de rações animais e com uso crescente na alimentação humana encontra-se em franco crescimento.

Cultivada especialmente nas regiões Centro Oeste e Sul do país, a soja se firmou como um dos produtos mais destacados da agricultura nacional e tem grande participação na nossa balança comercial.

O óleo extraído da soja é a principal fonte de matéria-prima para a produção de biodiesel, correspondendo, de acordo com dados do último boletim da ANP (novembro de 2016), a mais de 75% de todo o biodiesel produzido no País.

A soja contém cerca de 20% de lipídeos, sendo a maior parte composta por triacilgliceróis. A composição e distribuição dos ácidos graxos na molécula dos triacilgliceróis é o que determina a qualidade do óleo. Dependendo da concentração de determinados ácidos graxos, a soja poderá ser destinada para diferentes fins. Por exemplo, elevadas concentrações de ácidos graxos linolênico e linoleico podem ser inadequadas para o processamento de alimentos devido a sua menor estabilidade à oxidação.

Blenda 1:1 de sebo de porco e óleo de soja

De acordo com as características das matérias primas, assim como a necessidade de se reduzir a dependência na utilização de óleos alimentares na produção do biodiesel, as blends de biodiesel têm sido pesquisadas com o objetivo de tornar o processo de produção do biocombustível mais viável, utilizando matérias primas alternativas que, na maioria das vezes, apresentam características específicas que inviabilizam ou dificultam o processo ou que, devido a sua constituição, não se adequam aos parâmetros normativos (DE MELO, 2014).

É possível destacarmos a gordura animal, a exemplo da banha suína em estudo, tendo como ponto positivo em relação às fontes vegetais a alta estabilidade oxidativa devido à grande quantidade de ácidos graxos saturados. O ponto fraco seria, contudo, o alto ponto de fusão, diferente das fontes vegetais que apresentam combustível com pontos de fusão mais baixos, já que as cadeias saturadas em fontes vegetais são lineares, tornando maior a superfície de contato intermolecular e, dessa forma, aumentando as forças de Van de Waals (VASCONCELOS, 2016).

O balanceamento de características positivas e negativas das duas matérias primas em estudo, além da proporção de cada uma delas, pode aumentar o aproveitamento do combustível.

3.4 Ensaios físico-químicos

3.4.1 Índice de acidez

O índice de acidez consiste na medida da quantidade de substâncias ácidas no combustível. Esta é uma análise que orienta a escolha das matérias-primas adequadas a serem empregadas na produção de biodiesel, pois um índice de acidez elevado indica um alto teor de ácidos graxos livres, e que tal matéria-prima deve passar por um tratamento prévio a fim de se tornar viável a ser utilizada no processo de transesterificação (GERPEN, 2007; MAHAJAN *et al.*, 2006).

A Resolução ANP N° 45/2015 estabelece uma acidez máxima de 0,5 mg de KOH/g de amostra e recomenda a norma ABNT NBR 14448.

Viscosidade cinemática

A viscosidade cinemática serve para mensurar a resistência ao escoamento. Esta propriedade é considerada uma das mais importantes, uma vez que influencia diretamente na

injeção do combustível no motor, principalmente em baixas temperaturas, que tendem a aumentar a viscosidade que afeta a fluidez do combustível. Desta forma, a viscosidade cinemática é um parâmetro imprescindível para o diagnóstico de conformidade do biodiesel e do diesel derivado do petróleo, sendo utilizado no monitoramento da qualidade durante o armazenamento, uma vez que esta aumenta continuamente com o decréscimo da qualidade do combustível (MENEZES *et al.*, 2006).

A Resolução 45/2014 da ANP recomenda a norma ABNT NBR 10441, monitorada através da determinação da viscosidade cinemática a 40 °C, com limite aceitável entre 3,0 a 6,0 mm²/s.

3.4.2 Massa específica

Quando se relaciona a massa e o volume de uma amostra, obtém-se a massa específica ou a densidade absoluta. A massa específica do biodiesel está diretamente relacionada à estrutura molecular, que depende da composição relativa dos ésteres graxos e também da presença de impurezas na amostra. No entanto, esse valor decrescerá quanto maior for o número de insaturações presentes na molécula, pois menor será a interação entre estas (KNOTHE *et al.*, 2006).

Segundo a ANP, resolução 45/2014, a análise da massa específica do biodiesel é executada de forma semelhante à que ocorre para os derivados de petróleo e uma faixa de valores é fixada entre 850 e 900 kg/m³, como indicada na norma ABNT NBR 14065 (LÔBO, 2009).

3.4.3 Teor de água

A água, além de promover a hidrólise do biodiesel, que resulta em ácidos graxos livres, também está associada à proliferação de microrganismos e corrosão em tanques de estocagem, com deposição de sedimentos. Como o biodiesel apresenta certo grau de higroscopicidade, o teor de água deverá ser monitorado durante o armazenamento (LÔBO, 2009).

A indicação de umidade por Karl Fischer limita-se aos casos em que a amostra analisada não reage com os componentes do reagente Karl Fischer ou com o iodeto de hidrogênio, formado durante a reação com a água (LUTZ, 2004). A Resolução ANP 45/2014 estabelece que o teor de água no biodiesel seja de no máximo 200 mg/kg, e que seja utilizada a norma ASTM D 6304, a qual indica o uso do Titulador Karl Fischer Coulométrico (Figura 8).

Figura 8 - Titulador Karl Fischer Coulométrico



Fonte: próprio autor

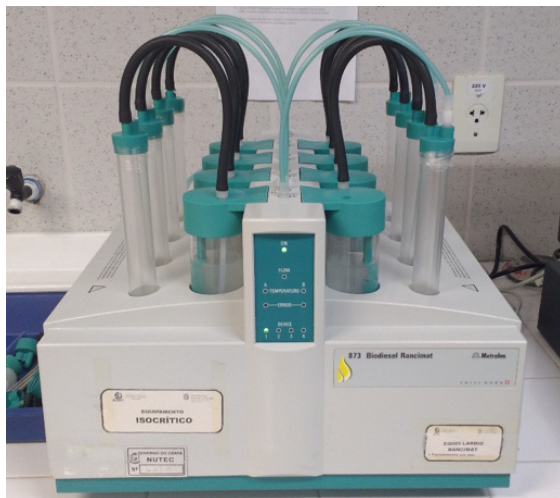
3.4.4 Estabilidade oxidativa

A estabilidade oxidativa do biodiesel está diretamente relacionada com o grau de insaturação dos ésteres presentes, como, também, com a posição das duplas ligações na cadeia carbônica. A quantidade de insaturações presentes no biodiesel varia de acordo com a matéria-prima utilizada. Quanto maior a concentração de insaturações, maior será a probabilidade de ocorrência do processo degradativo, tanto o oxidativo quanto o térmico. Este processo forma produtos insolúveis que podem gerar problemas de formação de depósitos e entupimentos do sistema de injeção de combustível do motor.

A alta temperatura e a exposição ao ar são fatores importantes e que afetam a estabilidade do biodiesel. Entretanto, esta é significativamente afetada quando estes dois fatores estão presentes ao mesmo tempo. A presença de água no biodiesel pode também promover a oxidação (oxidação hidrolítica); no entanto, em menor extensão.

O método Rancimat (Figura 9), a uma temperatura de 110 °C, é aceito como padrão na norma EN 14214 e na Resolução ANP 45/2014 para análise da estabilidade oxidativa do biodiesel (método EN 14112), sendo o período de indução de 8 h, o mínimo exigido (LÔBO, 2009).

Figura 9 - Rancimat



Fonte: próprio autor

3.4.5 Poder calorífico superior

É uma medida termodinâmica que representa a quantidade de calor liberado durante a queima de uma amostra e, em caso de combustíveis para motores, significa a energia ativa para o funcionamento do motor. O poder calorífico do biodiesel é muito próximo do poder calorífico do diesel de petróleo. A diferença média em favor do óleo diesel situa-se na ordem de 5 a 10 %. Entretanto, a do biodiesel é mais completa, tornando-o mais eficiente que o diesel (PARENTE, 2003).

3.4.6 Teor de ésteres

O teor de ésteres é uma propriedade importante devido à indicação do grau de conversão reacional; ou seja, a transformação de triglicerídeos em biodiesel. O baixo teor de ésteres indica um baixo rendimento na reação de transesterificação, o que significa uma grande quantidade de triacilgliceróis, o que pode acarretar dificuldades na combustão e consequente carbonização nos cilindros. (VASCONCELOS, 2016)

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Todos os procedimentos, testes e caracterizações físico-químicas do óleo, da gordura suína, dos biodiesel e da blenda foram realizados no Laboratório de Referência em Biocombustíveis Professor Expedito José de Sá Parente (LARBIO), localizado na Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial do Ceará (NUTEC), localizada no Campus do Pici, Universidade Federal do Ceará.

4.1 Materiais / Equipamentos

Entre os materiais utilizados, destacamos agitador elétrico de haste com hélice, agitador magnético com superfície aquecida, balança de precisão, balão de reação, balão volumétrico, béquer, bureta, cadinho, erlenmeyer, estufa, espátula, funil de separação, pera, pipeta, proveta e termômetro.

4.2 Reagentes

Álcool metílico, álcool etílico, éter etílico, hidróxido de potássio, solução de hidróxido de sódio 0,1M, fenolftaleína, sulfato de sódio anidro, óleo de soja adquirido no comércio de Fortaleza e sebo de porco.

4.3 Matéria-prima

O sebo de porco foi gentilmente cedido pelo proprietário da Fazenda Campos, localizada em Itapipoca-CE. O óleo de soja tradicional, por sua vez, foi comprado em um supermercado de Fortaleza.

4.3.1 Extração do sebo

Ao receber a matéria-prima ainda bruta, constatou-se a necessidade de minimizar as impurezas presentes, tais como carne, como pode ser visto na figura 10 abaixo:

Figura 10- Sebo de porco ainda bruto



Fonte: próprio autor

Foram realizados três procedimentos experimentais no sentido de reduzir as impurezas. O primeiro deles consistiu em tirar impurezas visíveis a olho nu. O segundo foi aquecer a 55-60 °C, como orientado, e filtrar, utilizando uma peneira (Figuras 11a e 11b).

Figura 11 – Aquecimento/agitação da matéria-prima bruta



Fonte: próprio autor

Figura 12 - Matéria-prima filtrada

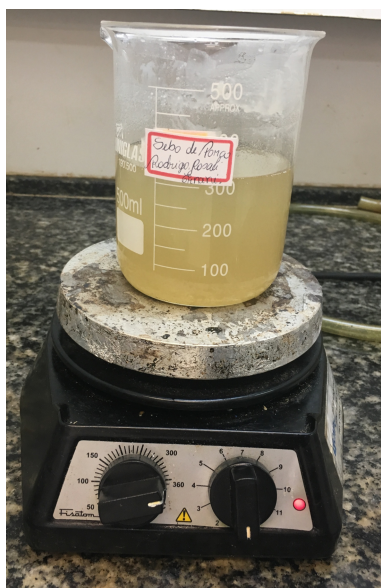


Fonte: Próprio autor

O último dos três processos de retirada das impurezas foi aquecimento/decantação a fim de retirar as últimas partes sólidas visíveis.

Abaixo, a Figura 8 ilustra parte do processo:

Figura 13 - Aquecimento/decantação do sebo porco



Fonte: próprio autor

Por último, as partículas sólidas (pedaços de carne) do sebo foram retiradas, além de mais uma filtragem a vácuo, utilizando filtro de papel (Figura 9).

Figura 14 - Partículas sólidas pós filtragem



Fonte: próprio autor

4.3.2 Produção de biodiesel

A partir dos 310g de gordura, obteve-se 188,03 g de óleo de sebo de porco. Utilizou-se álcool metílico no processo de transesterificação. Calculou-se as quantidades de hidróxido de potássio (KOH) e álcool metílico (CH_3OH) a serem utilizadas. Submeteu-se a solução a uma temperatura de 60 °C por, aproximadamente, 1 h.

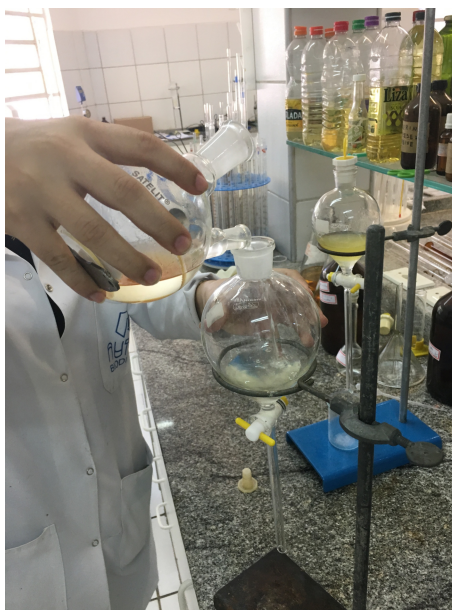
Foi utilizado um balão volumétrico de 3 entradas, como mostrado na Figura 10. Em seguida, foi realizada a decantação no funil apropriado, a fim de se obter a separação do biodiesel e da glicerina, como ilustra a Figura 15.

Figura 15- Aparato experimental para o processo de transesterificação



Fonte: Próprio autor

Figura 16 - Balão de decantação



Fonte: Próprio autor

Obteve-se o biodiesel “puro” após a decantação, mas ainda com alguns resíduos e álcool não-reagente. A partir daí, foram executadas 4 lavagens com água destilada a 80 °C, em que a massa de água destilada era de, aproximadamente, 10% da massa do biodiesel obtido. A

fim de se retirar a máxima quantidade de água remanescente do processo de lavagem, executou-se uma secagem a 105 °C por 30 min, utilizando-se um agitador magnético com aquecimento.

4.4 Caracterização do biodiesel

4.4.1 Índice de acidez

A partir do disposto na NBR 14448, calculamos o índice de acidez. Para que fosse realizada a análise, pesou-se 2 g da amostra em erlenmeyer de 250 mL. Adicionou-se 25 mL de solução 2:1 éter-álcool neutralizado e, em seguida, adicionaram-se duas gotas de fenolftaleína e titulou-se a amostra com uma solução de NaOH 0,1 M, até que a solução ficasse rosa por, pelo menos, 30 s. O cálculo do índice de acidez (IA) (mg KOH/g) foi realizado utilizando a Equação (1):

$$IA(\text{mgKOH} / \text{g}) = \frac{V \cdot f \cdot M \cdot 56,1}{m} \quad (1)$$

Em que V é o volume consumido na titulação, M é a molaridade da solução de NaOH, f é o fator da solução do NaOH e m é a massa da amostra. Massa molar de KOH = 56,1 g/mol.

4.4.2 Viscosidade cinemática a 40 °C

Utilizou-se um viscosímetro da marca PETROTEST com capilar Cannon Fenske e de constante do capilar igual a 0,01598 (mm²/s²). A viscosidade cinemática foi calculada utilizando a Equação (2).

$$v = C \cdot t \quad (2)$$

Em que v é a viscosidade cinemática em mm²/s, C é a constante do tubo capilar em mm²/s² e t é o tempo em s.

4.4.3 Estabilidade Oxidativa

A fim de se determinar a estabilidade oxidativa e o período de indução dos biodieseis, utilizou-se um equipamento Rancimat, da marca METROHM e modelo Rancimat 873, norma Europeia (EN14112). Na execução da metodologia, pesou-se uma massa de 3 g de amostra em um tubo de ensaio. A amostra foi exposta a uma temperatura de 110 °C, sob um fluxo de ar de 10 L/h. Sob esta condição, a formação de compostos oxidados foi intensificada e os gases levados para uma célula contendo água Milli-Q, cuja condutividade foi monitorada. O término da análise se dá quando um súbito aumento da condutividade é observado, correspondendo a estabilidade oxidativa da amostra.

4.4.4 Massa específica a 20 °C

A massa específica a 20 °C foi determinada em um densímetro digital ANTON PAAR, modelo DMA 4500.

4.4.5 Poder calorífico superior

A fim de se determinar o poder calorífico superior, utilizou-se uma bomba calorimétrica da marca IKA, modelo C-200. Trabalhou-se com 0,5 g de amostra. A análise consiste no aquecimento da resistência que atua como centelha no fio de ignição que, em contato com a amostra pressurizada com O₂, entra em combustão. O poder calorífico superior é diretamente proporcional à temperatura do banho termostático que envolve o vaso de reação e é calculado pela diferença da mesma antes e após a combustão. O término do teste é detectado pela súbita elevação da temperatura do banho, período em que o calor gerado pela queima é transferido por meio de condução da parede do vaso para a água.

4.4.6 Teor de água

O teste foi realizado em um Titulador Karl-Fischer coulométrico. A corrente elétrica libera o iodo por meio do iodeto contido no reagente Karl Fisher, por eletrólise. As moléculas de iodo liberadas consomem as moléculas de água. O método não necessita de um fator, tornando o teste apto a detectar umidade na ordem de mg/kg, com precisão de $\pm 0,03\%$. A quantidade máxima aceitável de água em biodiesel é de 200 mg/kg. Na análise, foi utilizado 0,2 g de amostra.

4.4.7 Teor de Ésteres

Foi utilizado um Cromatógrafo a gás, GC-FID, da marca VARIAN, modelo 450-GC, equipado com uma coluna CP-Wax 52 CB (30 m x 0,32 mm x 0,25 μ m). A temperatura do injetor e detector foi mantida em 250 °C e a programação de temperatura de aquecimento do forno se desenvolveu da seguinte maneira: iniciou-se a 60 °C, mantendo-se, nesta temperatura, por 2 minutos. Em seguida, aumenta-se a uma taxa de 10 °C.min⁻¹ até 200 °C, com um aumento posterior de 5 °C.min⁻¹ até alcançar 240 °C, a qual se manteve por 7 minutos. A solução do padrão interno, nonadecanoato de metila 10 mg.mL⁻¹, foi preparada pesando-se 100 mg de nonadecanoato de metila em um balão volumétrico de 10 mL e, em seguida, foi diluído até a marcação correspondente com heptano. Na sequência, foram pesados aproximadamente 51 mg da amostra em um frasco de vidro de 2 mL, com tampa, e adicionou-se 1 mL da solução padrão. A mistura foi homogeneizada por 2 minutos. Uma alíquota de 1

microlitro desta mistura foi injetada no CG-FID. Após a injeção, todas as áreas dos picos cromatográficos foram consideradas para o cálculo e o resultado expresso em percentual de ésteres totais.

5 RESULTADO E DISCUSSÃO

Os resultados das caracterizações físico-químicas das amostras de biodiesel de sebo suíno, biodiesel de soja e de sua blenda serão apresentadas e discutidas na presente seção.

5.1 Caracterizações físico-químicas do biodiesel de sebo de porco e de soja.

Após os processos de transesterificação, obteve-se o biodiesel de sebo suíno e o biodiesel de soja. As amostras foram, então, separadas das partes que não interessavam, tais como glicerina, resíduos de álcool, sabão e catalisador. Feita a separação, formou-se a blenda, misturando biodiesel suíno e biodiesel de soja, na proporção 50% de cada mistura volume-volume. Os resultados das análises estão dispostos na Tabela 2.

Tabela 2 - Caracterizações físico-químicas do biodiesel de sebo de porco, biodiesel de soja e biodiesel da blenda 1:1

Índice de acidez (mgKOH/g) - RESULTADOS		
Biodiesel de Sebo	Biodiesel de Soja	Blenda 1:1
0,273	0,293	0,253
0,273	0,295	0,262
-	0,293	-
Média		
0,273	0,294	0,257
Limite máximo: 0,5 mgKOH/g - RANP 45/2014		
Massa específica (g/cm ³) - RESULTADOS		
Biodiesel de Sebo	Biodiesel de Soja	Blenda 1:1
0,874	0,889	0,878
0,874	0,888	0,878
Média		
0,874	0,889	0,878
Limite: 0,850 g/cm ³ a 0,900 g/cm ³ - RANP 45/2014		

Teor de água (mg/kg) - RESULTADOS		
Biodiesel de Sebo	Biodiesel de Soja	Blenda 1:1
199,6	195,5	386,7
190	218,8	255,1
-	218,6	226,4
Média		
194,8	210,97	289,4
Limite: 200 mg/kg - RANP 45/2014		
Teor de ésteres (%massa) - RESULTADOS		
Biodiesel de Sebo		93,43
Biodiesel de Soja		95,0
Limite mínimo: 96,5 % massa - RANP 45/2014		
Viscosidade cinemática (mm ² /s) - RESULTADOS		
Biodiesel de Sebo	Biodiesel de Soja	Blenda 1:1
5,25	4,416	4,816
5,25	4,45	4,81
5,25	4,483	4,806
Média		
5,25	4,449	4,81
Limite: 3,0 a 6,0 (mm²/s) - RANP 45/2014		
Poder calorífico (MJ/Kg) - RESULTADOS		
Biodiesel de Sebo	Biodiesel de Soja	Blenda 1:1
39,073	39,674	39,82
39,446	39,765	39,729
Média		
39,259	39,719	39,775
Diesel Puro: 42,2866 MJ/kg		
Estabilidade oxidativa (horas) - RESULTADOS		
Biodiesel de Sebo	Biodiesel de Soja	Blenda 1:1
0,07	2,44	2,3
0,06	2,21	2,28
Média		

0,065	2,325	2,29
Limite mínimo: 8 horas - RANP 45/2014		

Fonte: próprio autor.

5.2 Parâmetros de qualidade do biodiesel produzido

5.2.1 *Índice de acidez*

Em relação ao índice de acidez, tivemos resultados condizentes com os parâmetros estabelecidos na Resolução da ANP número 45, de 2014, uma vez que o máximo permitido é de 0,5 mgKOH/g e os resultados obtidos tiveram média 0,237 mgKOH/g no caso do biodiesel de sebo de porco, 0,294 mgKOH/g no caso do biodiesel de óleo de soja e, por último, 0,258 mgKOH/g na blenda 1:1.

5.2.2 *Massa específica a 20 °C*

A Resolução Nº 45/2014 fixa uma faixa de valores de massa específica a 20 °C entre 850 kg/m³ a 900 kg/m³ (0,850 g/cm³ a 0,900 g/cm³). Nesta resolução, além dos métodos indicados pela norma europeia, são estabelecidos os métodos ASTM D1298 e NBR 7148 (hidrômetros de vidro) e os métodos ASTM D4052 e NBR 14065 (densímetros digitais).

Os valores de massa específica para os biodieseis e sua blenda apresentaram-se dentro da faixa aceitável (0,850 g/cm³ a 0,900 g/cm³), uma vez que obtivemos 0,874 g/cm³ para o biodiesel de sebo de porco, 0,889 g/cm³ para o biodiesel de soja e, por último, 0,878 g/cm³ para a blenda 1:1.

5.2.3 *Poder calorífico superior*

O poder calorífico superior dos biodieseis e de sua blenda ficaram em 39,359 MJ/kg para o biodiesel de sebo de porco, 39,719 MJ/kg para o biodiesel de óleo de soja e 39,775 MJ/kg para a blenda 1.1. Em comparação com o poder calorífico do diesel (42,2866 MJ/kg).

5.2.4 *Teor de água*

Em relação ao teor de água, não obtivemos valores dentro do limite esperado no biodiesel de óleo de soja e na blenda, mas o biodiesel de sebo de porco atendeu aos requisitos da Resolução 45/2014. No caso do biodiesel de sebo de porco, obtivemos o valor de 194,8 mg/kg. Em relação ao biodiesel de óleo de soja e à blenda, obtivemos, respectivamente, 210,97 mg/kg e 289,4 mg/kg.

5.2.5 *Viscosidade cinemática a 40 °C*

Em relação à viscosidade cinemática, os resultados foram satisfatórios para as três amostras, uma vez que os resultados foram 5,25 mm²/s para o biodiesel de sebo de porco, 4,449

mm²/s para o biodiesel de óleo de soja e, por último, 4,81 mm²/s para a blenda 1:1. Todos, portanto, em conformidade com a Resolução ANP 45/2014.

5.2.6 Estabilidade oxidativa

Os resultados obtidos em relação à estabilidade oxidativa não foram os desejados. Os valores obtidos ficaram muito aquém do desejado nos três casos. Portanto, não houve alcance das conformidades no caso desse parâmetro. A Resolução ANP 45/2014 determina um mínimo de 8 horas para a estabilidade oxidativa. Obtivemos 0,065 h para o biodiesel de sebo de porco, 2,32 h para o biodiesel de óleo de soja e 2,29 h para a blenda estudada.

5.2.7 Teor de ésteres

Nenhuma das duas amostras obtiveram resultados iguais ou superiores ao estabelecido pela RANP 45/2014, uma vez que para o biodiesel de sebo de porco, obtivemos 93,43% e no caso do biodiesel de soja o resultado foi de 96%, muito próximo, mas aquém do mínimo requisitado.

6 CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos é possível afirmar que há um grande potencial para produção de biodiesel, tanto a partir da gordura suína- sobretudo pela relação produção de porcos/produção de biodiesel a partir do sebo de porco, quanto a partir do óleo de soja, que já é de larga escala no Brasil. A blenda nos traz a oportunidade de minimizar características

negativas de uma fonte em relação a outra e balancear parâmetros para tentar enquadrar nos limites exigidos pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis.

É importante ressaltar que a utilização de mais de um componente para se fazer uma blenda, além do objetivo citado no parágrafo anterior, é usada para balancear as relações de disponibilidade sazonal ou regional de uma ou outra fonte, levando em conta sempre a relação custo/qualidade para se fazer o mais barato biodiesel possível com a melhor qualidade possível.

Dentre os resultados obtidos, o que mais chama atenção é a estabilidade oxidativa encontrada, principalmente para o biodiesel de sebo de porco, uma vez que 0,065 h é um tempo muito aquém do que a norma exige. Várias são as hipóteses para esse resultado, tais como impurezas na gordura utilizada que possam ter permanecido mesmo após todos os processos utilizados e tempo de aquecimento/agitação para extração do sebo.

REFERÊNCIAS

ANP. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e biocombustíveis. **Boletim mensal de biodiesel**. Dezembro de 2016. Disponível em

http://www.anp.gov.br/wwwanp/images/publicacoes/boletins-anp/Boletim_Mensal_do_Biodiesel/Boletim_Biodiesel_NOVEMBRO_2016_FVP.pdf

ANP. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e biocombustíveis. **Boletim mensal de biodiesel**. Novembro de 2010. Disponível em <http://www.anp.gov.br/wwwanp/publicacoes/boletins-anp/2386-boletim-mensal-do-biodiesel>

CAMARGOS, Rodrigo Ribeiro Da Silva. **Avaliação da viabilidade de se produzir biodiesel através da transesterificação de óleo de grãos de café defeituosos**. 2005. 105 f. Dissertação (Mestre) - Curso de Engenharia Química., Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005.

CONCEIÇÃO, M.M.; Candeia, R. A.; Silva, F. C.; Bezerra, A. F.; Fernandes JR., V. J.; Souza, A. G.; **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 2005, 11, 964.

DA CUNHA, M. E. **Caracterização de biodiesel produzido com misturas binárias de sebo bovino, óleo de frango e óleo de soja**. 2008, 78f. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Federal de Porto Alegre, Porto Alegre, RS, 2008.

DE FARIA, Victor Bruno. **Blendas de biodiesel de óleo de babaçu, óleo de mamona e óleo de peixe: produção e caracterização**. 2016. 52 páginas. Trabalho de conclusão de curso. Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Ceará. Fortaleza-CE, 2016.

DE FREITAS, Osmar Nunes. **Estudo de diversas misturas de biodiesel de óleo de soja e de sebo bovino**. 2015. 111 páginas. Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Campo Grande, MS.

ECYCLE (2014). <http://www.ecycle.com.br/component/content/article/63/2409-dioxido-de-enxofre-e-um-dos-poluentes-do-ar-mais-perigosos.html>. Acesso em: dezembro de 2016.

Especificações Técnicas: Óleo De Soja. Disponível em: http://www.campestre.com.br/especificacao_soja.shtml. Acesso em: dezembro de 2016.

LÔBO, Ivon Pinheiro (2009) **BIODIESEL: PARÂMETROS DE QUALIDADE E MÉTODOS ANALÍTICOS**. <http://www.scielo.br/pdf/qn/v32n6/44.pdf> Acesso em: dezembro de 2016.

MINISTERIO DE MINAS E ENERGIA (MME) (2014). **Programa nacional de produção e o uso de biodiesel**. Homepage. Disponível em <http://www.pronaf.gov.br>, Acesso em: dezembro de 2016.

PARENTE, Expedito de Sá, 2003. **Biodiesel: uma aventura tecnológica num país engraçado**. Tecbio, Fortaleza, CE.

PÊGO, Franscieli; Reginato, T.; **Síntese de biodiesel a partir de gordura suína: definição da rota de obtenção e parâmetros do processo**. UTFPR, Medianeira, PR. Disponível em http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/471/1/MD_COGEA_2011_2_18.pdf Acesso em: dezembro de 2016.

VASCONCELOS, Filipe de Deus. **Biodiesel de óleo de soja e sebo bovino: caracterização e avaliação das blends.** 2016. 54 páginas. Trabalho de conclusão de curso. Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Ceará. Fortaleza-CE, 2016.

VENTURA, Carla Sofia Santos. **Biodiesel Obtido de Gordura Animal: Caracterização e Utilização como Combustível.** 2010. 143 páginas. Dissertação do MIEM. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Porto.