



PRODUÇÃO DE BIODIESEL A PARTIR DA MISTURA DE SEBO BOVINO COM ÓLEO VEGETAL

Brunela Bonatto Milli¹, Danielly Cristina Gripa², George Simonelli³, Moysés Ost Damm Martins⁴

1. Graduada em Engenharia Química pela Faculdade de Aracruz (brunelabonatto@hotmail.com), Aracruz – Brasil.
2. Mestranda em Engenharia Metalúrgica e de Materiais do Instituto Federal Espírito Santo (daniellycristinagripa@yahoo.com), Vitória – Brasil.
3. Mestrando em Engenharia Metalúrgica e de Materiais do Instituto Federal Espírito Santo (ggsimonelli@gmail.com), Vitória – Brasil.
4. Doutorando em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal do Espírito Santo (moysesost@fsjb.edu.br), Vitória – Brasil.

Data de recebimento: 02/05/2011 - Data de aprovação: 31/05/2011

RESUMO

O biodiesel é um combustível obtido a partir da transesterificação de óleos vegetais ou gorduras animais. Neste trabalho, o biodiesel foi obtido por meio da transesterificação da mistura de sebo bovino com óleo de canola, e sebo bovino com óleo de algodão, em diferentes proporções. A reação aconteceu usando um álcool (metanol) na presença de um catalisador básico (KOH) na temperatura de 60°C por 30 minutos. O biodiesel foi caracterizado pelo índice de acidez, massa específica a 20°C, viscosidade cinemática a 40°C, ponto de entupimento de filtro a frio e espectroscopia de absorção na região do infravermelho. As análises físico-químicas demonstraram que as misturas 30:70 (sebo/óleo de algodão), 40:60 (sebo/óleo de algodão) e 60:40 (sebo/óleo de canola) apresentaram a tendência de serem as melhores, evidenciando que o biodiesel obtido nessas condições pode ser usado como combustível alternativo em substituição ao óleo diesel. Estas amostras foram avaliadas por espectroscopia de absorção na região do infravermelho que identificaram a banda forte da deformação axial do grupo C=O do éster metílico, confirmado a conversão da matéria-prima em biodiesel. O biodiesel de sebo bovino apresenta a mais alta viscosidade cinemática e ponto de entupimento de filtro a frio. Este problema pode ser razoavelmente resolvido pela adição de óleo vegetal na matéria-prima, e tende a diminuir o custo de produção do biodiesel em relação ao feito com óleo vegetal puro.

PALAVRAS-CHAVE: Gordura animal, Óleo de Canola, Óleo de Algodão, Transesterificação, Biocombustível.

STUDY OF THE BIODIESEL PRODUCTION FROM TALLOW VEAL WITH MIXED VEGETABLE OIL

ABSTRACT

Biodiesel is a fuel obtained from the transesterification of vegetable oils or animal fats. In this work biodiesel was obtained by the transesterification of blends of beef

tallow with canola oil, and beef tallow with cotton oil, in variable proportion. The reaction happened using an alcohol (methanol) in the presence of a basic catalyst (KOH) at a temperature of 60°C for 30 minutes. The biodiesel were characterized by acidic index, bulk density to 20°C, kinematic viscosity to 40°C, cold filter plugging point and infra-red (IR). The physicochemical analyses demonstrated that the mixtures 30:70 (beef tallow/cotton oil), 40:60 (beef tallow/cotton oil) and 60:40 (beef tallow/canola oil) had a tendency to be the best, evidenced that biodiesel obtained in these conditions can be used as combustible alternative in substitution to diesel. These samples were analyzed by infra-red (IR) that identified the strong bands of axial deformation C=O of methylic ester, confirming the conversion of the raw material for biodiesel. Beef tallow biodiesel have the higuer kinematic viscosity and cold filter plugging point. This can be reasonable improved by adding vegetable oil in the raw material, and tends to decrease the production cost of biodiesel compared to that made with pure vegetable oil.

KEYWORDS: Animal fat, canola oil, cotton oil, transesterification, biofuel.

1. INTRODUÇÃO

O biodiesel é um combustível renovável e biodegradável com potencial para substituir o óleo diesel de origem fóssil, a partir do cultivo de oleaginosas como dendê, babaçu, palma, pinhão-manso, algodão, e canola, etc. Além dos óleos vegetais, gorduras animais podem ser utilizadas no seu processo de produção (SCHETTINO; PEZZOPANE, 2005).

Motivos de natureza econômica, ambiental, social e estratégica justificam a inserção do biodiesel na matriz energética brasileira. Outro fator motivador diz respeito ao desempenho, pois o biodiesel apresenta propriedades superiores ao diesel fóssil, como maior ponto de fulgor, índice de cetano e poder lubrificante (MARQUES et al., 2008).

Do ponto de vista econômico, o biodiesel se coloca estrategicamente como uma alternativa para diminuir a dependência do diesel importado pelo país. Por outro ângulo, questões ambientais como a redução da poluição do ar associada à diminuição do uso de fontes emissoras de enxofre e outros poluentes, também constitui um aspecto motivador na disseminação deste biocombustível. Socialmente, o biodiesel contribui com a inclusão social gerando emprego e renda (SCHETTINO; PEZZOPANE, 2005).

Segundo notícia do dia 5 de abril de 2010 do site JusBrasil, a Câmara dos Deputados analisa o Projeto de Lei 6942/10, do deputado Wilson Picler, que autoriza o uso do B100 como combustível de carros de passeio e de veículos de carga de pequeno porte (capazes de transportar até três toneladas). O objetivo da proposta é intensificar a preservação ambiental e incentivar a produção agrícola. Até então, o B100 tem sido usado no País, apenas como teste em transportes coletivos de algumas cidades como Curitiba, e misturado ao diesel na proporção de 5%. A proposta vem sendo estudada minuciosamente e acarretará na utilização do biodiesel em escalas maiores que as atuais.

Apesar de todos os aspectos motivadores, segundo KNOTHE (2006), um dos problemas relacionados ao biodiesel é o seu alto custo de produção. Este problema pode ser compensado pelo uso de matérias-primas de menor valor agregado, tal

como o sebo bovino. Outra alternativa compensadora consiste na elaboração de legislações específicas, marcos regulatórios e subsídios na forma de isenção fiscal. No Brasil, é concedida redução nas alíquotas de impostos (PIS/PASEP e COFINS) para os produtores de biodiesel que adquirem matéria-prima da agricultura familiar. Este programa é denominado “Selo Combustível Social”, e proporciona a inclusão social de pequenos agricultores.

Em termos da compensação dos custos pelo uso de matérias-primas mais baratas, de acordo com GARCIA & TOOKUNI (2006), o Brasil tem um dos maiores rebanhos de bovinos do mundo. Com o abate destes animais, grande quantidade de gordura animal é obtida. A mesma apresenta potencial poluidor e não pode ser descartada no meio ambiente, podendo então ser utilizada satisfatoriamente na produção de biodiesel.

Contudo, o biodiesel puro (B100) resultante de sebo bovino apresenta ponto de entupimento de filtro a frio (PEFF), segundo Cunha (2008) igual a 19 °C. Isto se caracteriza como um problema, pois a atual especificação do biodiesel puro estabelece que a máxima temperatura aceita de entupimento de filtro é de 19 °C para os estados das regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste e para a Bahia (Resolução ANP N° 7, de 19/03/2008 – DOU 20/03/2008). Para as demais regiões do país, o valor desta propriedade deve ser fornecido ao comprador para que haja acordo livre entre ambas as partes.

Outro fator preocupante, de acordo com Moraes (2008), resulta do biodiesel de sebo bovino apresentar alta viscosidade, decorrente do alto teor de ácidos graxos saturados presentes no sebo. Isto acarreta em problemas no sistema de injeção dos motores, além de em baixas temperaturas ocorrer a diminuição da fluidez do biodiesel devido o aumento da viscosidade.

Como saída para estas problemáticas, pesquisas indicam claramente a diminuição do PEFF (Ponto de Entupimento de filtro a frio) e da viscosidade quando o biodiesel é produzido a partir de misturas de sebo bovino (material com alto teor de saturação) e óleo vegetal (material com alto teor de insaturação). Segundo dados da dissertação de CUNHA (2008), cerca de 10 °C são diminuídos no PEFF quando as misturas são realizadas.

Tendo em vista todos os aspectos motivadores descritos, pode-se afirmar que o estudo técnico da produção de biodiesel a partir da mistura de sebo bovino com óleo vegetal é extremamente importante no cenário atual. Isto porque, tem-se a perspectiva da redução de custo do processo produtivo do biodiesel, e a possibilidade de serem mitigados os problemas oriundos da utilização do biodiesel de sebo bovino puro em termos das especificações estabelecidas pela ANP.

Em relação a produção de biodiesel, é importante destacar que a transesterificação, também chamada de alcoólise, é a reação que ocorre entre um óleo ou gordura com um álcool em excesso para formar ésteres de ácidos graxos (biodiesel) e glicerol. A mesma é composta por um número consecutivo de reações reversíveis que passo a passo converte triglicerídeos em monoglicerídeos e por último, em glicerol. Neste tipo de reação, catalisadores de caráter ácido ou básico são usados para aumentar a taxa da reação (SINGH, P.; SINGH, D., 2009).

Segundo ROSA (2007), a transesterificação realiza a separação da glicerina do óleo vegetal ou gordura animal durante o processo em que ocorre a transformação destes materiais em biodiesel. A glicerina, que compõe um

determinado percentual da massa do óleo vegetal ou gordura animal, quando removida resulta em um produto mais fino, e de viscosidade reduzida.

Observa-se a seguir a representação esquemática da reação.

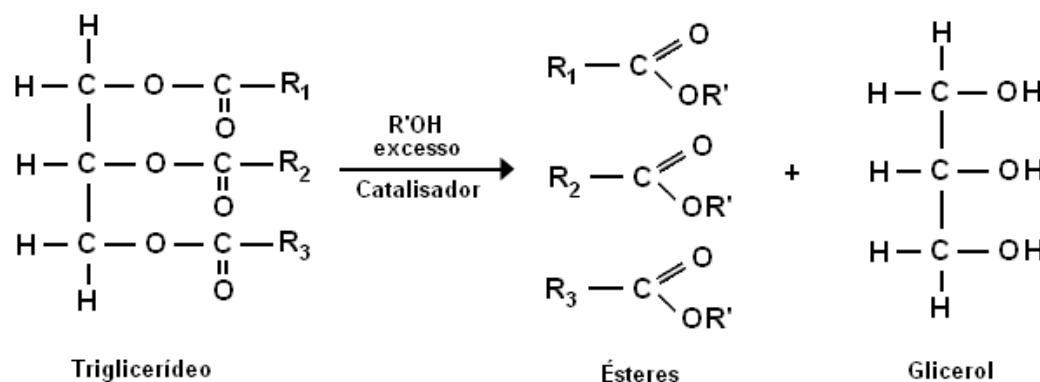


FIGURA 1 – Representação esquemática da reação de transesterificação
Fonte: Rezende (2005).

Por ser a catálise mais usada industrialmente, o mecanismo da catálise alcalina merece destaque. Na Figura 2, são apresentadas as principais etapas da transesterificação alcalina dos triglycerídeos.

A base retira o próton do álcool gerando o alcóxido (base conjugada) e água (ácido conjugado). Por sua vez, o alcóxido age como nucleófilo, ataca o átomo de carbono deficiente em elétrons do grupo carbonila do triacilglicerídeo, propiciando a formação de um intermediário tetraédrico. A ruptura da ligação entre o carbono e o oxigênio do glicerídeo no intermediário tetraédrico conduz ao produto carbonilado (éster) e ao diacilglicerídeo, que é formado após a remoção do átomo de hidrogênio do metanol, obtendo o ânion metóxido e permitindo a continuidade do processo reacional. Os diacilglicerídeos e monoacilglicerídeos são convertidos pelo mesmo mecanismo para a mistura de ésteres e glicerol (GERIS, 2007).

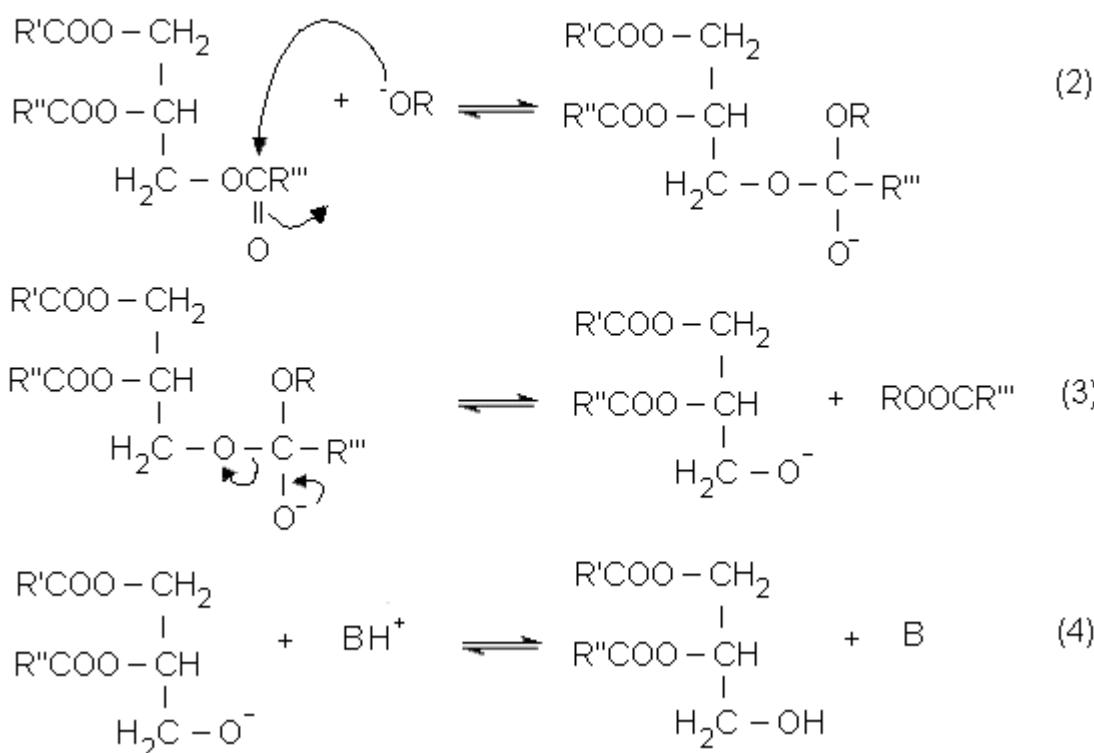


FIGURA 2 – Mecanismo de transesterificação via catálise alcalina
Fonte: Rosa (2007).

2. OBJETIVO

Avaliar o biodiesel produzido com a mistura de sebo bovino com óleo de algodão, e sebo bovino com óleo de canola, a fim de obter um biocombustível de menor custo que os obtidos com os respectivos óleos vegetais puros, e com características melhores que o produzido exclusivamente com sebo bovino.

3. METODOLOGIA

3.1. Materiais e Reagentes

3.1.1. MATERIAIS:

- Becker de 1 litro
- Agitador mecânico
- Banho termostático (marca Quimis)
- Chapa de aquecimento elétrico com agitação magnética (marca Quimis)
- Termômetro (medição até 100°C)
- Proveta de 100 mL
- Funil de decantação
- Balança de precisão (marca Quimis)
- Pipeta de 50 mL

- Estufa (marca Quimis)

3.1.1. REAGENTES:

- Sebo bovino
- Óleo de canola e de algodão
- Metanol anidro (CH_3OH)
- Hidróxido de potássio (KOH)
- Água destilada

3.2. Procedimento para Obtenção de Biodiesel

Os experimentos foram conduzidos nos Laboratórios de Engenharia e de Físico-Química do departamento de Engenharia Química da Faculdade de Aracruz-Espírito Santo, no período de primeiro de junho a três de setembro de 2010.

Em relação às matérias-primas, não foi necessário fazer qualquer pré-tratamento, já que ambas apresentavam condições adequadas para a reação de transesterificação. O sebo bovino, cedido pela Empresa Gran Vitória Fundão - ES, estava isento de umidade e com pH neutro, assim como os óleos vegetais comprados na Empresa Aboissa.

Com as matérias-primas isentas de impurezas iniciou-se a produção de biodiesel, utilizando-se de forma adaptada o procedimento descrito por CUNHA (2008). A Figura 3 representa estruturalmente o sistema de transesterificação empregado.

À esquerda, tem-se o banho termostático usado para aquecer o Becker com o meio reacional, e o posicionamento adotado para o agitador durante a reação.

À direita, observa-se isoladamente o agitador mecânico desenvolvido no próprio centro acadêmico.

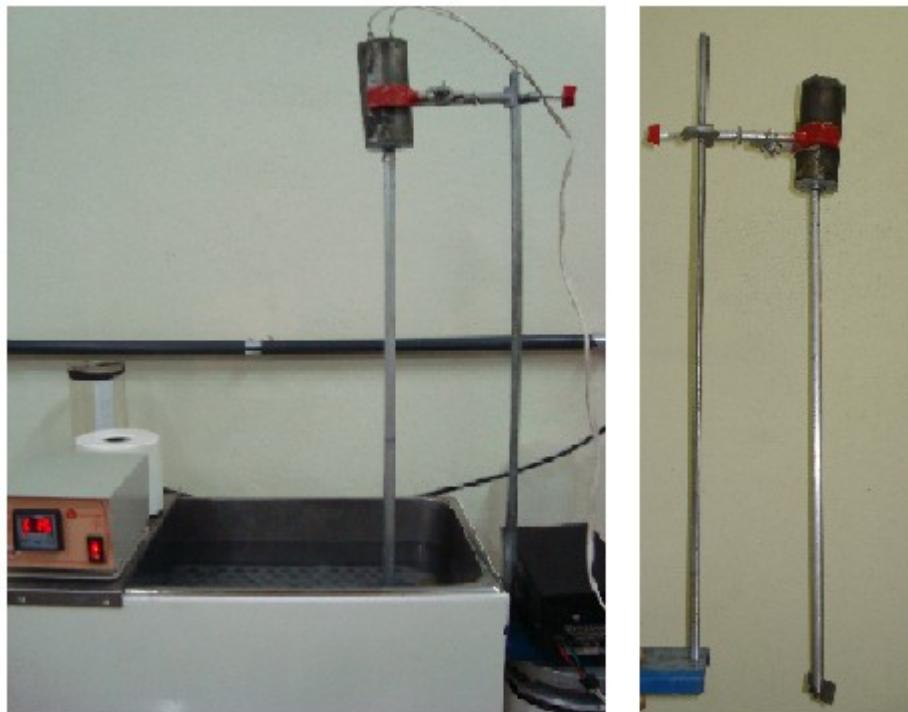


FIGURA 3 – Sistema estrutural para transesterificação

A obtenção de biodiesel consistiu inicialmente em levar 400 gramas de matéria-prima a um becker de um litro. As misturas escolhidas para a produção de biodiesel com óleo de canola foram as seguintes: 15-85, 30-70, 45-55, 60-40 e 75-25 (óleo de canola-sebo bovino). Para a produção de biodiesel com óleo de algodão, as misturas escolhidas foram: 10-90, 20-80, 30-70 e 40-60 (óleo de algodão-sebo bovino).

As proporções escolhidas para o estudo foram realizadas em triplicata, e o sistema de banho termostático foi aquecido até que a água atingisse a temperatura de 60°C. O becker com a mistura de matérias-primas foi colocado em contato com a água a fim de que a temperatura de ambos fosse estabilizada, e o agitador mecânico foi instalado de forma a agitar o meio reacional.

Com a temperatura da matéria-prima estabilizada em 60 °C no banho termostático, foi adicionada 100 mL de álcool metílico anidro contendo 6 g de catalisador (KOH), previamente dissolvidos.

O meio reacional foi mantido por 30 minutos na temperatura de 60°C com agitação constante. Com o fim da reação, a mistura foi colocada em um funil de separação no qual aconteceu a decantação da glicerina por algumas horas.

A glicerina foi retirada, e em seguida iniciou-se o procedimento de lavagem do biodiesel.

3.3. Procedimento para lavagem de Biodiesel

Após a separação das duas fases (biodiesel e glicerina) através da decantação, a glicerina foi retirada, e os ésteres metílicos foram submetidos à lavagem no próprio funil de decantação com água destilada a 90°C, na razão 1:4 de água para biodiesel. Depois da adição de água, foi realizada uma agitação para que fosse promovida uma boa retirada de impurezas (álcool não reagido, catalisador e sabões formados durante a reação) por parte da água.

Na sequência, a água e o biodiesel foram separados por decantação. A água por ser a fase mais densa migrou para o fundo do funil, e o biodiesel permaneceu na parte superior. Após um intervalo de tempo de duas horas (necessário para total separação das duas fases), a água impura foi removida e posteriormente descartada.

O procedimento de lavagem foi realizado três vezes e com a primeira água de lavagem levemente acidificada com ácido clorídrico. Tal procedimento de lavagem foi elaborado com base em adaptações nas informações dos trabalhos de JAHN (2006) e TIMMERMANN (2010).

Terminada a lavagem, o biodiesel foi seco em estufa a 105°C por duas horas, para que toda a água evaporasse. Em seguida, iniciaram-se as análises para controle de qualidade.

3.4. Procedimentos para Realização das Análises

3.4.1. ASPECTO

Segundo a Resolução ANP n° 7 o biodiesel deve apresentar-se límpido e isento de impurezas. Logo, o procedimento adotado consistiu em classificar

visualmente cada biodiesel produzido, por sua limpidez e a presença ou não de impurezas.

3.4.2. ÍNDICE DE ACIDEZ

Para determinação do índice de acidez pesou-se aproximadamente 2,5 g da amostra de biodiesel, adicionou-se 50 mL de uma mistura éter etílico com álcool etílico (2:1) para solubilizar o biodiesel, e acrescentou-se três gotas de fenolftaleína 1%. Em seguida titulou-se a mistura com uma solução de hidróxido de sódio (NaOH) 0,1N previamente padronizada.

O volume gasto de base foi anotado, e calculou-se o índice de acidez conforme a Equação 1.

$$\text{Índice de acidez (mg KOH/g)} = \frac{V \cdot N \cdot f \cdot 56,1}{g} \quad \text{Equação 1}$$

Em que:

V: Volume de NaOH gasto na titulação (mL)

N: Normalidade da solução de NaOH

f: fator de correção da concentração da solução de NaOH

g: massa da amostra de biodiesel em gramas

3.4.3. MASSA ESPECÍFICA A 20°C

Este parâmetro foi analisado por meio de um procedimento similar à picnometria, porém, usando pipetas volumétricas ao invés de picnômetros. Para que o procedimento fosse feito adequadamente foi necessário fazer a calibração das pipetas.

Para isto, foi medida a massa da pipeta vazia juntamente com o pipetador (Pi-pump) (Aparato vazio). Na sequência, introduziu-se água destilada a 20°C na pipeta, e determinou-se a massa do conjunto pipeta com água e pipetador (aparato com água).

Por diferença entre a massa do aparato vazio e a massa do aparato com água, encontrou-se a massa de água admitida na pipeta. Utilizando-se o Handbook de Engenharia Química, encontrou-se a densidade da água a 20°C. Com a massa de água encontrada e a massa específica da água a 20°C, calculou-se o volume exato da pipeta, conforme a Equação 2.

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

Em que:

ρ : massa específica (kg. m^{-3})

m: massa (kg)

v: volume (m^3)

Para determinação da massa específica do biodiesel a 20°C, resfriou-se o combustível em água gelada até que fosse atingida a temperatura da análise, e succionou-se o mesmo para a pipeta. Sequencialmente, o conjunto biodiesel, pipeta e pipetador (aparato com biodiesel) teve sua massa determinada.

Da mesma forma que na calibração, a massa do biodiesel é determinada pela diferença entre a massa do aparato com biodiesel e a massa do aparato vazio. Com a massa de biodiesel e o volume exato da pipeta determinado na calibração, utilizou-se novamente a Equação 2, e determinou-se a massa específica do biodiesel a 20°C.

É de grande importância que para não interferir na pesagem da massa de biodiesel contida na vidraria, a superfície externa da pipeta esteja bem limpa a cada pesagem.

3.4.4. VISCOSIDADE CINEMÁTICA A 40°C

Para analisar este parâmetro usou-se o viscosímetro de Ostwald no banho termostático a 40°C.

Primeiramente foi necessário conhecer a massa específica de cada biodiesel a 40°C. Para esta determinação realizou-se o mesmo procedimento descrito no item 3.4.3, alterando apenas a temperatura de sucção do biodiesel para a pipeta, que ao invés de 20°C foi de 40°C.

Para determinação da viscosidade desconhecida de um líquido necessita-se da viscosidade e da densidade conhecida de uma substância (geralmente a água). Como o tempo de escoamento da água no viscosímetro de Ostwald também deve ser conhecido, colocou-se 10 mL de água no viscosímetro e mediu-se o tempo de escoamento. Em seguida utilizando-se o Handbook de Engenharia Química, encontrou-se a densidade e a viscosidade absoluta da água a 40°C, e por fim, foi introduzida uma amostra de 10 mL de biodiesel no viscosímetro, a fim de que fosse determinado o seu tempo de escoamento.

Utilizando-se então a viscosidade, a densidade e o tempo de escoamento da água, juntamente com a densidade calculada, e o tempo de escoamento do biodiesel, através da Equação 3, calculou-se a viscosidade absoluta a 40°C do biodiesel.

$$\frac{\eta_1}{\eta_2} = \frac{d_1 t_1}{d_2 t_2} \quad \text{Equação 3}$$

Em que:

η_1 : viscosidade absoluta do biodiesel a 40°C ($kg \cdot mm^{-1} \cdot s^{-1}$)

η_2 : viscosidade absoluta da água a 40°C ($kg \cdot mm^{-1} \cdot s^{-1}$)

d_1 : massa específica do biodiesel a 40°C ($kg \cdot mm^{-3}$)

d_2 : massa específica da água 40°C ($kg \cdot mm^{-3}$)

t_1 : tempo de escoamento do biodiesel (s)

t_2 : tempo de escoamento da água (s)

A norma da ANP estabelece que seja determinada a viscosidade cinemática e não a absoluta. Para conversão da mesma utilizou-se a Equação 4.

$$\nu = \frac{\eta_1}{d_1} \quad \text{Equação 4}$$

Em que:

η_1 : viscosidade absoluta do biodiesel a 40°C (kg. mm⁻¹.s⁻¹)

ν : viscosidade cinemática do biodiesel a 40°C (mm².s⁻¹)

d_1 : massa específica do biodiesel a 40°C (kg.mm⁻³)

3.4.5. PONTO DE ENTUPIMENTO DE FILTRO A FRIO

As amostras de biodiesel foram enviadas para o Instituto Nacional de Tecnologia (INT) para que este parâmetro fosse determinado conforme a metodologia ASTM D - 6371.

3.4.6. ESPECTROSCOPIA DE ABSORÇÃO NA REGIÃO DO INFRAVERMELHO

Esta análise foi realizada no laboratório da empresa FIBRIA utilizando-se um espectrofotômetro da marca Thermo Nicolet, modelo Nicolet 6700 FT-IR, acessório Smart Omni – Sample, resolução 4 cm⁻¹ e faixa de varredura de 4000 a 400 cm⁻¹.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base na metodologia adotada, produziu-se o biodiesel de todas as proporções pré-estabelecidas, em triplicata, para as misturas de sebo bovino com óleo de canola e sebo bovino com óleo de algodão.

Na lavagem do biodiesel pôde-se ter uma noção prévia da qualidade do biocombustível obtido. Em tal procedimento, para todos os produtos observou-se uma boa separação entre as fases (água/biodiesel) e a formação de uma camada fina de emulsão, o que caracteriza preliminarmente uma boa qualidade do produto final. Quando a camada de emulsão é grande, indica que o combustível não apresenta qualidade favorável ao uso.

Os dados obtidos nas análises de índice de acidez, massa específica a 20°C e viscosidade cinemática a 40°C foram tratados estatisticamente através do programa *Statistical Package for the Social Sciences* (SPSS – versão 18). Para cada proporção determinou-se a probabilidade de normalidade pelo teste de Shapiro-Wilk (p-valor), a média, o desvio padrão e o coeficiente de variação.

Para validação estatística dos resultados experimentais os seguintes aspectos foram levados em consideração:

- Os parâmetros média e desvio padrão podem ser utilizados confiavelmente para representar os dados experimentais apenas quando a normalidade dos resultados for verificada. Ou seja, quando p-valor é maior que 0,05 (RODRIGUES, IEMMA, 2009).

- O coeficiente de variação dos dados experimentais deve ser menor que 30%. Isto significará que os resultados tendem a ser homogêneos, e que erros grosseiros não ocorreram durante as análises (BAZONI, SAKATE, 2010).

Utilizando o programa *Action*, versão 1.1, realizou-se a análise de variância pelo teste de Bartlett, e a comparação de médias pelo teste de Tukey para todas as proporções de biodiesel de algodão e de canola. O objetivo das análises estatísticas foi o de observar se o aumento da porcentagem de sebo bovino influencia significativamente na mudança do índice de acidez, massa específica a 20°C e viscosidade cinemática a 40°C.

4.1. Índice de Acidez

A ANP estabelece que esta propriedade tem que ser menor ou igual a 0,5 mg KOH.g⁻¹.

O índice de acidez é expresso em termos da quantidade de miligramas de KOH necessárias para neutralizar um grama de biodiesel. Nas tabelas e gráficos a seguir, constatam-se os resultados encontrados nesta análise.

A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos para cada proporção do biodiesel oriundo da mistura de sebo bovino com óleo de canola.

TABELA 1 – ÍNDICE DE ACIDEZ (mg KOH.g⁻¹) PARA O BIODIESEL DE SEBO BOVINO COM ÓLEO DE CANOLA

Proporção (sebo:óleo)	15:30	30:70	45:55	60:40	75:25
1^a Amostra	0,41	0,33	0,26	0,30	0,39
	0,42	0,35	0,27	0,31	0,38
	0,41	0,35	0,29	0,32	0,38
2^a Amostra	0,38	0,29	0,33	0,35	0,34
	0,39	0,31	0,34	0,35	0,35
	0,37	0,32	0,36	0,35	0,33
3^a Amostra	0,43	0,33	0,32	0,37	0,39
	0,44	0,32	0,31	0,37	0,41
	0,45	0,33	0,31	0,39	0,41
P-Valor	0,899	0,775	0,954	0,682	0,472
Média	0,41	0,32	0,31	0,35	0,38
Desvio Padrão	0,03	0,02	0,03	0,03	0,03
Coeficiente de Variação (%)	7,32	6,25	9,68	8,57	7,89

Em seguida, observa-se graficamente o comportamento do índice de acidez do biodiesel de sebo bovino com óleo de canola em função da porcentagem de sebo.

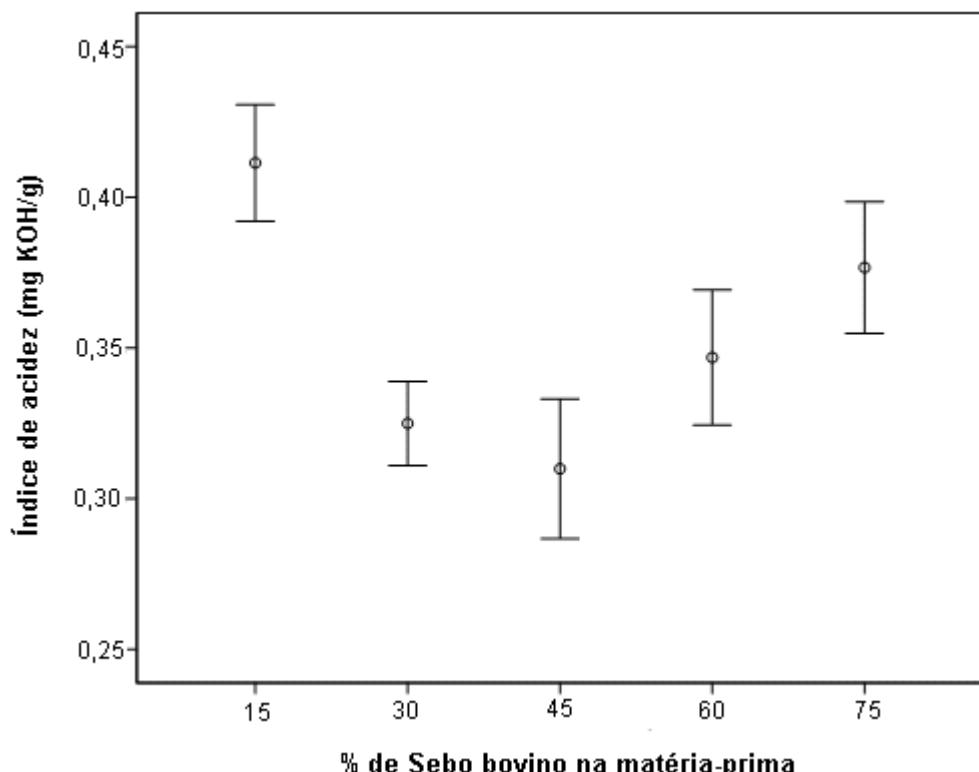


FIGURA 4 – Índice de acidez em função da porcentagem de sebo bovino no óleo de canola.

A Tabela 2 apresenta os resultados para cada proporção do biodiesel produzido com a mistura de sebo bovino e óleo de algodão. O índice de acidez de cada proporção testada está representado na Figura 5.

TABELA 2 – ÍNDICE DE ACIDEZ (mg KOH.g⁻¹) PARA O BIODIESEL DE SEBO BOVINO COM ÓLEO DE ALGODÃO

Proporção (sebo:óleo)	10:90	20:80	30:70	40:60
1^a Amostra	0,31	0,41	0,41	0,3070
	0,36	0,36	0,36	0,3075
	0,36	0,36	0,38	0,3078
2^a Amostra	0,36	0,31	0,31	0,3078
	0,41	0,26	0,36	0,3079
	0,33	0,31	0,37	0,3081
3^a Amostra	0,36	0,41	0,39	0,3097
	0,39	0,41	0,41	0,3090
	0,36	0,41	0,36	0,3085
P-Valor	0,270	0,087	0,364	0,678
Média	0,36	0,36	0,37	0,3081
Desvio Padrão	0,03	0,06	0,03	0,0008
Coeficiente de Variação (%)	8,33	16,67	8,11	0,26

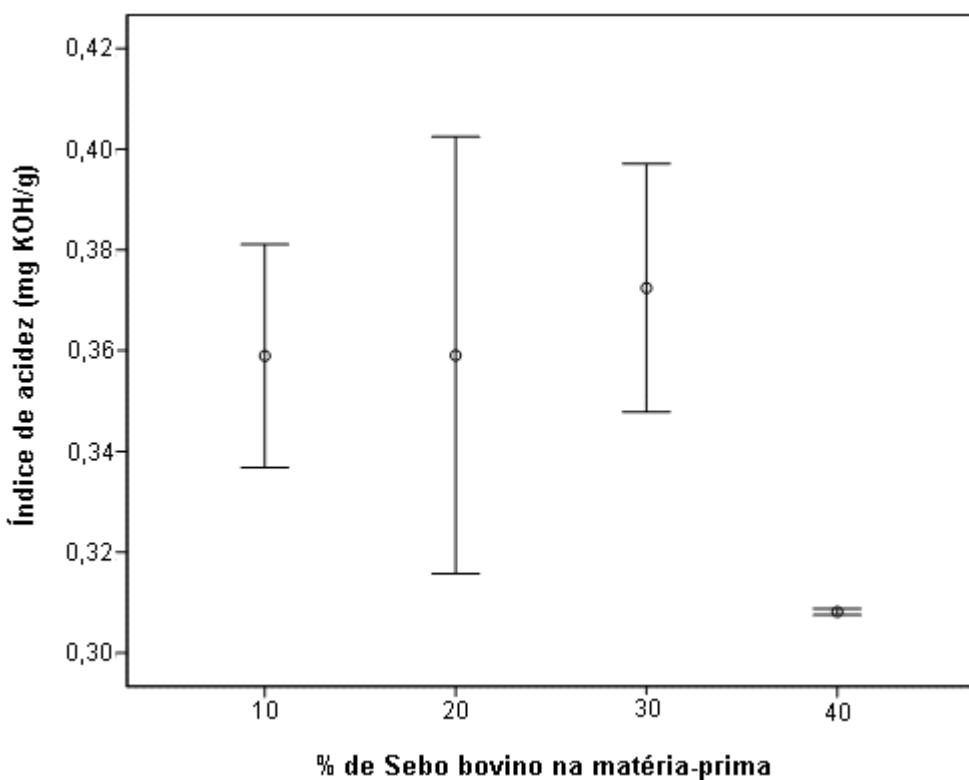


FIGURA 5 – Índice de acidez em função da porcentagem de sebo bovino no óleo de algodão.

Conforme esperado, o índice de acidez para todas as proporções encontram-se abaixo do valor exigido pela ANP. Isto comprova a baixa presença de ácidos graxos livres na matéria-prima, e garante o bom estado de neutralização do óleo vegetal e do sebo bovino empregado na transesterificação. Além disso, este fato assegura que o uso do biodiesel sintetizado não ocasionará significativa corrosão nos motores.

De acordo com as Tabelas 1 e 2, os p-valores e os coeficientes de variação encontrados validam estatisticamente os resultados alcançados para o índice de acidez.

A análise de variância mostrou que o aumento da porcentagem de sebo bovino no óleo de canola não influenciou significativamente no índice de acidez (*p*-valor = 0,67). Já para o caso do biodiesel com óleo de algodão houve considerável influência (*p*-valor = 7,01.10⁻⁷).

Por fim, o teste de Tukey propiciou observar que para o biodiesel com óleo de canola, os pares de porcentagem de sebo bovino (75-15), (45-30), (60-30), (60-45) e (75-60) foram os que apresentaram igualdade de média. Já para o biodiesel com óleo de algodão, os pares (20-10), (30-10) e (30-20) foram os que apresentaram médias iguais a um nível de significância de 5%.

4.2. Massa Específica a 20°C

A ANP estabelece que esta propriedade tem que estar na faixa de 850 a 900 kg.m⁻³.

A Tabela 3 apresenta os resultados referentes a massa específica a 20°C para cada proporção de biodiesel produzido de sebo bovino com óleo de canola.

TABELA 3 – MASSA ESPECÍFICA A 20°C (kg.m⁻³) PARA O BIODIESEL DE SEBO BOVINO COM ÓLEO DE CANOLA

Proporção (sebo:óleo)	15:30	30:70	45:55	60:40	75:25
1^a Amostra	886	887	886	883,3	883
	887	887	885	884,3	882
	886	886	886	883,7	883
2^a Amostra	883	885	884	884,1	885
	883	885	883	883,1	886
	884	885	881	884,9	885
3^a Amostra	885	883	885	884,7	884
	885	883	885	885,3	883
	886	884	885	885,3	884
P-Valor	0,343	0,657	0,070	0,596	0,675
Média	885	885	884	884,3	884
Desvio Padrão	1	1	2	0,8	1
Coeficiente de Variação (%)	0,11	0,11	0,23	0,09	0,11

Na Figura 6, observa-se o comportamento da massa específica a 20°C para cada porcentagem de sebo utilizada.

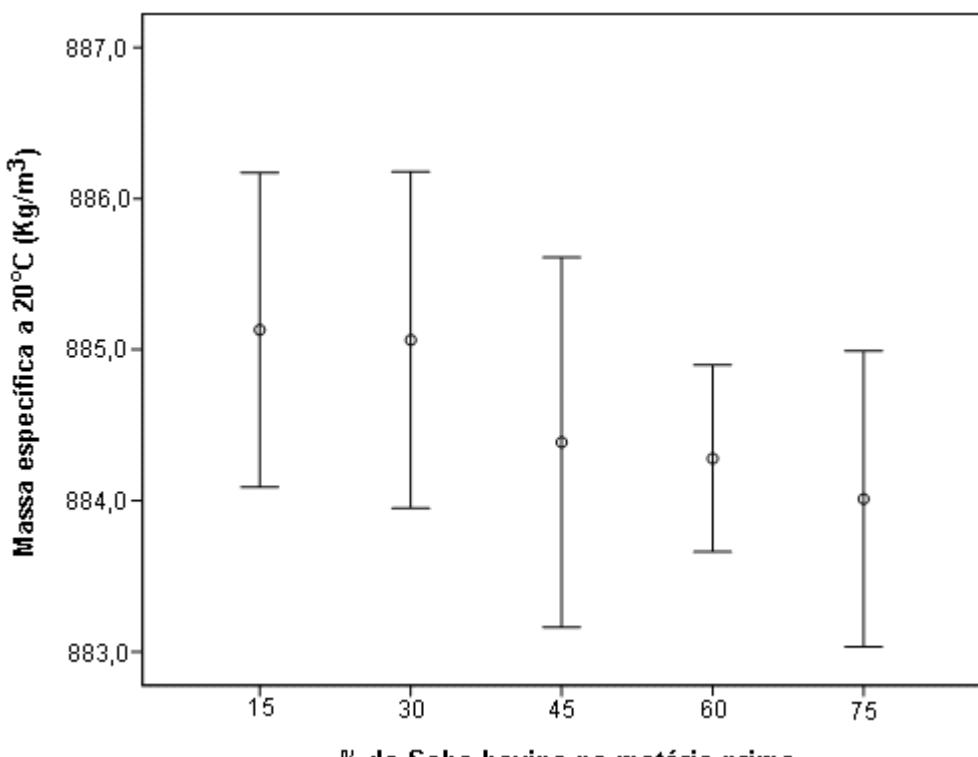


FIGURA 6 – Massa específica a 20°C em função da porcentagem de sebo bovino no óleo de canola.

Os dados referentes à massa específica a 20°C para o biodiesel produzido a partir da mistura de sebo bovino com óleo de algodão estão listados na Tabela 4.

TABELA 4 – MASSA ESPECÍFICA A 20°C (kg.m⁻³) PARA O BIODIESEL DE SEBO BOVINO COM ÓLEO DE ALGODÃO

Proporção (sebo:óleo)	10:90	20:80	30:70	40:60
1 ^a Amostra	884	888	877	877
	883	886	878	877
	885	887	879	877
2 ^a Amostra	886	881	881	879
	886	880	881	879
	889	880	881	878
3 ^a Amostra	891	878	879	879
	888	878	879	879
	892	877	881	881
P-Valor	0,863	0,056	0,167	0,186
Média	887	882	880	878
Desvio Padrão	3	4	2	1
Coeficiente de Variação (%)	0,34	0,45	0,23	0,11

Assim como para o biodiesel de sebo bovino com óleo de canola, a massa específica a 20°C do biodiesel de sebo com óleo de algodão mostrou-se dentro do

limite fixado pela ANP. A Figura 7 mostra o comportamento da massa específica para cada proporção do biodiesel de sebo com óleo de algodão.

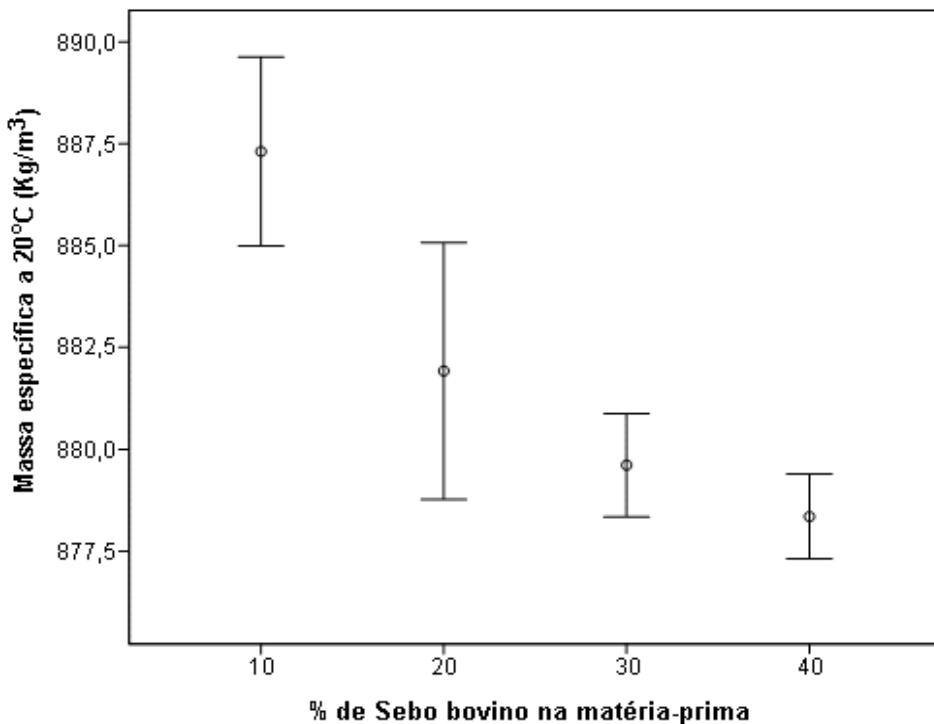


FIGURA 7 – Massa específica a 20°C em função da porcentagem de sebo bovino no óleo de algodão

Conforme esperado, para os diferentes tipos de biodiesel, constatou-se a diminuição da massa específica a 20°C em função do aumento da porcentagem de sebo. Este comportamento era esperado devido a massa específica do biodiesel de sebo bovino ser inferior a do biodiesel de óleo de algodão e óleo de canola. Cunha (2008) encontrou um valor de 875,3 kg.m⁻³ para a massa específica a 20°C do biodiesel de sebo bovino puro. ALBUQUERQUE (2006) determinou como 880 kg.m⁻³ o valor desta propriedade para o biodiesel de óleo de canola. Rakopoulos e colaboradores (apud KRAUSE, 2008) encontraram o valor de 885 kg.m⁻³ para o valor da massa específica a 20°C do biodiesel de algodão.

Conforme as Tabelas 3 e 4, os p-valores e os coeficientes de variação encontrados validam estatisticamente os resultados alcançados para a massa específica a 20°C.

A análise de variância mostrou que o aumento da porcentagem de sebo bovino no óleo de canola não influenciou significativamente na massa específica do biodiesel a 20°C (*p*-valor = 0,47). Já para o caso do biodiesel com óleo de algodão houve considerável influência (*p*-valor = 0).

Por fim, o teste de Tukey propiciou observar que para o biodiesel com óleo de canola, houve igualdade de média entre as massas específicas de todas as amostras de biodiesel produzidas com diferentes porcentagens de sebo bovino. Já para o biodiesel com óleo de algodão, os pares das porcentagens de sebo bovino (30-20), (40-20) e (40-30) foram os que apresentaram médias iguais a um nível de significância de 5%.

4.3. Viscosidade Cinemática a 40°C

A ANP estabelece que esta propriedade tem que estar na faixa de 3,0 a 6,0 $\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$.

A Tabela 5 apresenta os resultados referentes à viscosidade cinemática a 40°C para cada proporção do biodiesel sintetizado com a mistura de sebo bovino e óleo de canola.

TABELA 5 – VISCOSIDADE CINEMÁTICA A 40°C ($\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$) PARA O BIODIESEL DE SEBO BOVINO COM ÓLEO DE CANOLA

Proporção (sebo:óleo)	15:30	30:70	45:55	60:40	75:25
1ª Amostra	4,48	4,4	4,72	4,9	6,67
	4,35	4,4	4,72	4,9	6,46
	4,44	4,5	4,76	4,9	6,56
2ª Amostra	4,42	4,1	4,58	4,9	6,68
	4,36	4,2	4,59	5,3	6,56
	4,40	4,3	4,58	5,0	6,75
3ª Amostra	4,39	4,3	4,68	4,7	6,53
	4,41	4,3	4,68	4,7	6,53
	4,35	4,3	4,68	4,8	6,55
P-Valor	0,632	0,999	0,103	0,449	0,416
Média	4,40	4,3	4,67	4,9	6,59
Desvio Padrão	0,04	0,1	0,07	0,2	0,09
Coeficiente de Variação (%)	0,91	2,33	1,50	4,08	1,37

A Figura 8 ilustra o comportamento da viscosidade cinemática a 40°C para cada proporção.

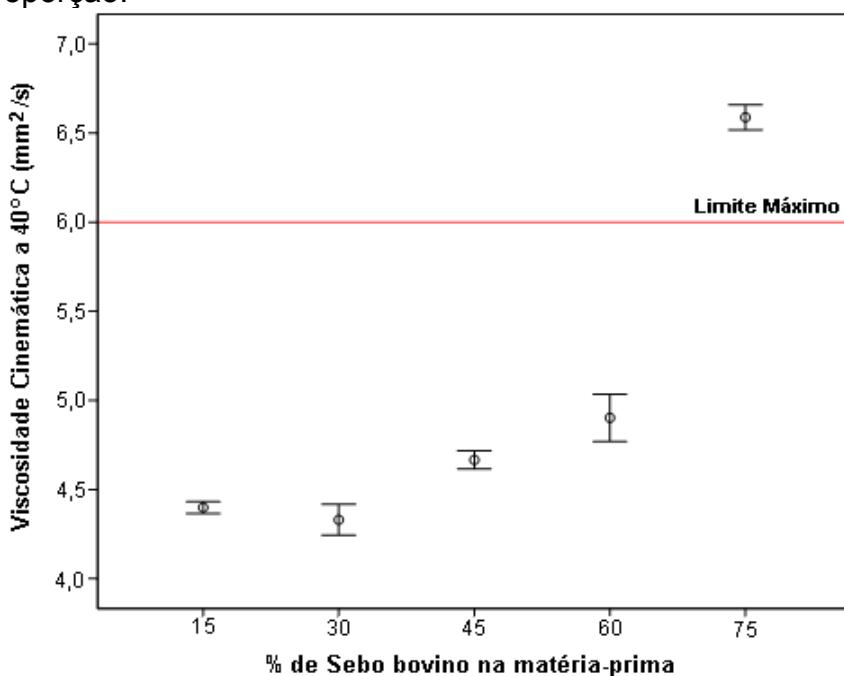


FIGURA 8 – Viscosidade cinemática a 40°C em função da porcentagem de sebo bovino no óleo de canola

Na Figura 8, verifica-se que a viscosidade cinemática aumenta à medida que eleva-se o percentual de sebo bovino na mistura, o que está estreitamente relacionado com o aumento do nível de saturação da matéria-prima. Para a proporção 75:25, o valor da viscosidade cinemática superou o limite máximo fixado pela ANP, o que significa que o biocombustível obtido desta proporção não é adequado para o uso em motores diesel.

A Tabela 6 apresenta os resultados para a viscosidade a 40°C de cada proporção do biodiesel produzido a partir da mistura de sebo bovino com óleo de algodão.

TABELA 6 – VISCOSIDADE CINEMÁTICA A 40°C (mm².s⁻¹) PARA O BIODIESEL DE SEBO BOVINO COM ÓLEO DE ALGODÃO

Proporção (sebo:óleo)	10:90	20:80	30:70	40:60
1^a Amostra	4,18	4,03	4,22	4,2
	4,24	4,10	4,25	4,3
	4,10	4,10	4,26	4,3
2^a Amostra	4,18	4,06	4,14	4,4
	4,16	4,10	4,13	4,4
	4,15	4,06	4,13	4,3
3^a Amostra	4,18	4,27	4,27	4,6
	4,20	4,24	4,31	4,6
	4,26	4,17	4,24	4,6
P-Valor	0,776	0,181	0,105	0,425
Média	4,18	4,13	4,22	4,4
Desvio Padrão	0,05	0,08	0,07	0,2
Coeficiente de Variação (%)	1,2	1,94	1,66	4,55

De acordo com os dados da Tabela 6 plotou-se a Figura 9, apresentada a seguir.

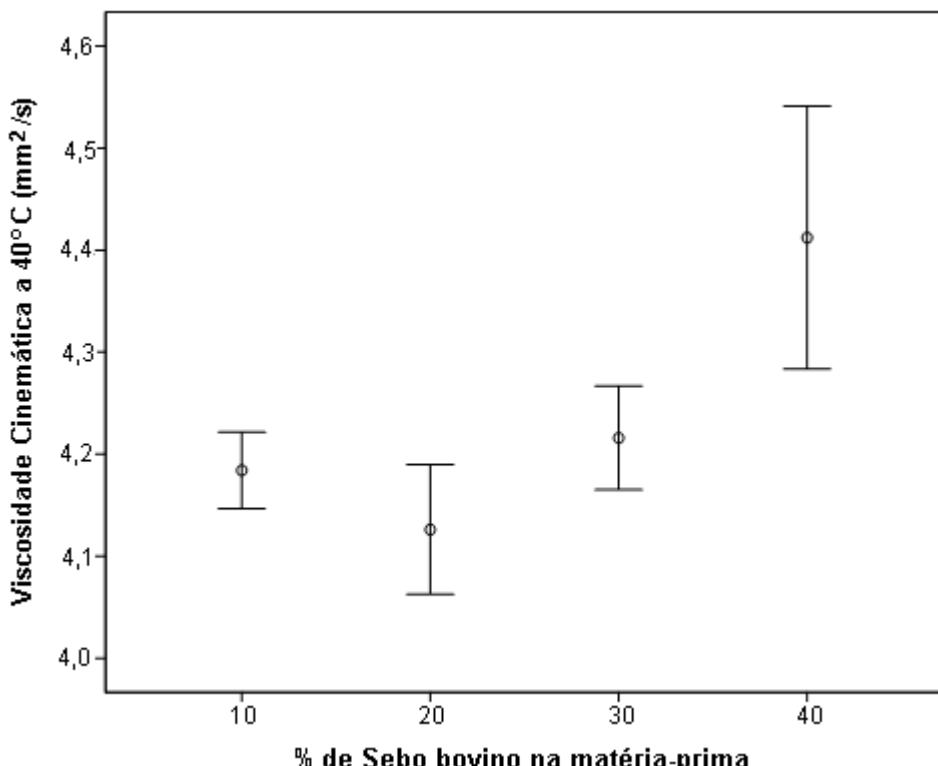


FIGURA 9 – Viscosidade cinemática a 40°C em função da porcentagem de sebo bovino no óleo de algodão

Pela Figura 9, constatou-se o aumento da viscosidade cinemática a 40°C em função da elevação da porcentagem de sebo no óleo de algodão. Este comportamento era esperado devido a viscosidade do biodiesel de sebo bovino ser superior a do biodiesel de óleo de algodão. CUNHA (2008) encontrou o valor de 6,1 $\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ para a viscosidade cinemática a 40°C do biodiesel de sebo bovino puro. Ramadhas e colaboradores (apud KRAUSE, 2008) determinaram como 4,0 $\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ o valor desta propriedade para o biodiesel de óleo de algodão.

Conforme as Tabelas 5 e 6, os p-valores e os coeficientes de variação encontrados validam estatisticamente os resultados alcançados para a viscosidade cinemática a 40°C.

A análise de variância mostrou que o aumento da porcentagem de sebo bovino no óleo de canola influenciou significativamente na viscosidade cinemática a 40°C ($p\text{-valor} = 0$). Adicionalmente, o mesmo foi constatado no caso do biodiesel com óleo de algodão ($p\text{-valor} = 0,01$).

Por fim, o teste de Tukey propiciou observar que para o biodiesel com óleo de canola, o par das porcentagens de sebo bovino (30-15) foi o que apresentou igualdade de média para a viscosidade. Já para o biodiesel com óleo de algodão, os pares (20-10), (30-10) e (30-20) foram os que apresentaram médias iguais a um nível de significância de 5%.

4.4. Aspecto

Para os biocombustíveis produzidos com óleo de canola, verificou-se que as proporções com menos de 75% de sebo bovino possuem um aspecto límpido e

isento de impurezas, conforme exigido pela resolução da ANP. Após 24 horas de repouso, as amostras do biodiesel produzido a partir de 75% de sebo bovino e 25% de óleo de canola apresentaram a precipitação de impurezas. O precipitado formado no biodiesel, segundo KRAUSE (2008), pode ser explicado pela presença de proteínas e fosfolipídios comuns no sebo bovino. As impurezas são gomas e partículas insolúveis originadas no processo de derretimento do sebo na graxaria, e são resultado da fritura das proteínas e fosfolipídios.

Por sua vez, o biodiesel produzido a partir da mistura de sebo bovino com óleo de algodão se enquadrou ao aspecto exigido pela ANP para todas as proporções.

4.5. Ponto de Entupimento de Filtro a Frio (PEFF)

A ANP estabelece 19°C como limite máximo para o PEFF nas regiões sul, sudeste e centro-oeste do país. O valor desta propriedade deve ser anotado para as demais regiões.

Apesar da ANP estabelecer o limite máximo do PEFF em 19°C e deixar como acordo entre comprador e vendedor o valor desta propriedade, Cunha (2008) e GARCIA et. al. (2006) adotam como 10°C o valor máximo do PEFF para que o biodiesel seja usado com segurança. Sendo assim, este aspecto será adotado como critério de escolha da melhor proporção neste trabalho.

As amostras representativas de cada uma das proporções do biodiesel produzido a partir da mistura de sebo bovino com óleo de canola, e sebo bovino com óleo de algodão foram enviadas ao INT para a realização desta análise. Através da Tabela 7, observam-se os resultados experimentais para o biodiesel de sebo bovino com óleo de canola.

**TABELA 7 – PONTO DE ENTUPIMENTO DE FILTRO A FRIO
(°C) PARA O BIODIESEL DE SEBO BOVINO COM
ÓLEO DE CANOLA**

Amostra	15:85	30:70	45:55	60:40	75:25
PEFF (°C)	(-1,0)	5,0	9,0	10,0	14,0

A Tabela 8 apresenta os resultados do PEFF para o biodiesel de sebo bovino com óleo de algodão.

**TABELA 8 – PONTO DE ENTUPIMENTO DE FILTRO
A FRIO (°C) PARA O BIODIESEL DE
SEBO BOVINO COM ÓLEO DE
ALGODÃO**

Amostra	10:90	20:80	30:70	40:60
PEFF (°C)	1,0	3,0	9,0	14,0

Como esperado, o PEFF para ambos os tipos de biodiesel aumenta à medida que se eleva o teor de sebo bovino na matéria-prima. Além disso, esta propriedade encontra-se abaixo do valor determinado para o biodiesel obtido de sebo bovino puro, que segundo CUNHA (2008) é de 19°C.

4.6. Parecer Final e Espectroscopia de Absorção na Região do Infravermelho

A partir do resultado das análises pôde-se escolher as proporções com maior porcentagem de sebo que resultaram em um biodiesel de boa qualidade. Para o biodiesel de sebo bovino com óleo de canola, a proporção 60:40 (sebo:óleo) apresentou o melhor resultado em relação ao objetivo geral desse trabalho. A proporção 75:25 resultou em um biodiesel com aspecto e viscosidade cinemática a 40°C fora das especificações da ANP. Sendo assim, a proporção experimental que admitiu a maior porcentagem de sebo bovino, e ao mesmo tempo aspecto, massa específica a 20°C, índice de acidez e viscosidade cinemática a 40°C adequadas ao uso, foi a 60:40.

Para o biodiesel de sebo bovino com óleo de algodão, a proporção 30:70 (sebo:óleo) apresentou o melhor resultado em relação ao uso do combustível com um nível de segurança para o PEFF. A proporção 40:60 resultou em um biodiesel com PEFF acima do valor adotado para o uso seguro do biodiesel. Porém, encontra-se dentro do limite aceito pela especificação da ANP. Sendo assim, as duas proporções podem ser utilizadas na produção de biodiesel. A massa específica a 20°C, índice de acidez e viscosidade cinemática a 40°C de cada uma das proporções testadas para a mistura de sebo bovino com óleo de algodão obedeceram ao padrão ANP.

Em seguida são apresentados os espectros de absorção na região do infravermelho para as amostras mais representativas das proporções escolhidas. Por meio desta análise foi possível conhecer os diferentes grupos funcionais presentes no biodiesel produzido, e compará-los com outros trabalhos.

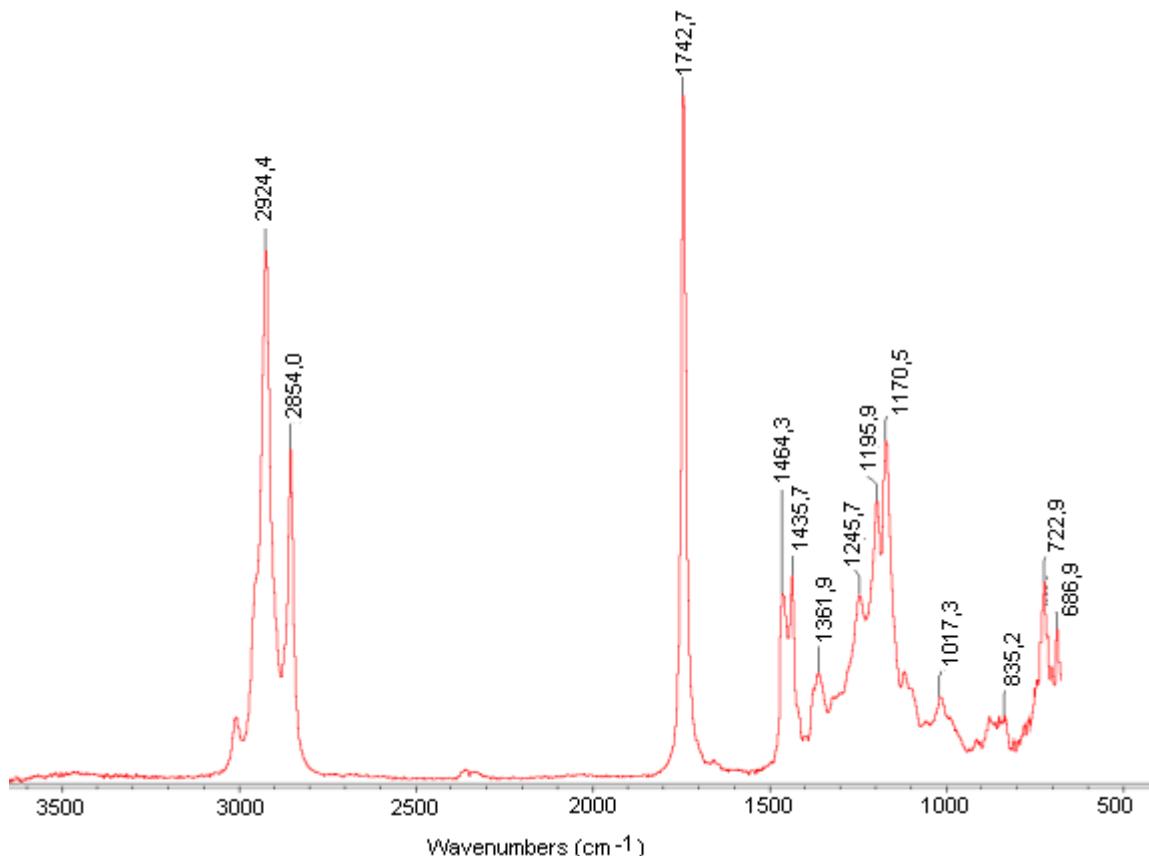


FIGURA 10 – Espectro na região do infravermelho para o biodiesel 30:70 (Sebo:Algodão)

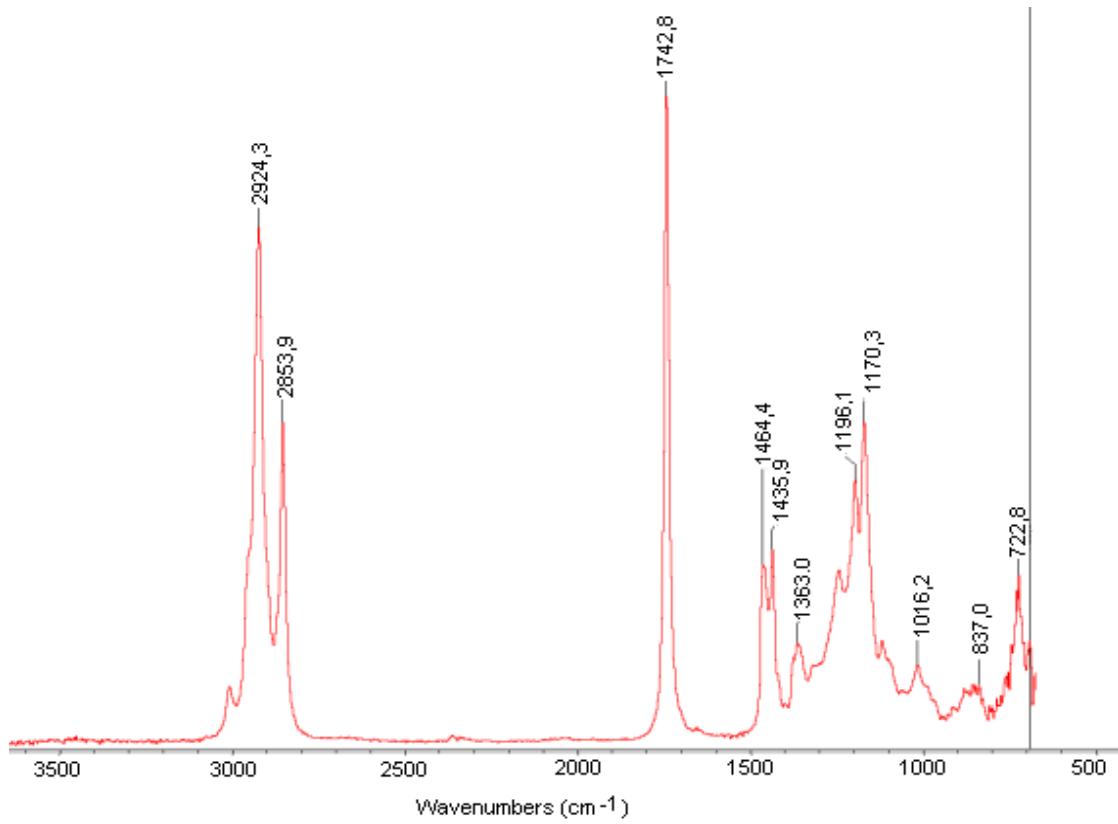


FIGURA 11 – Espectro na região do infravermelho para o biodiesel 40:60 (Sebo:Algodão)

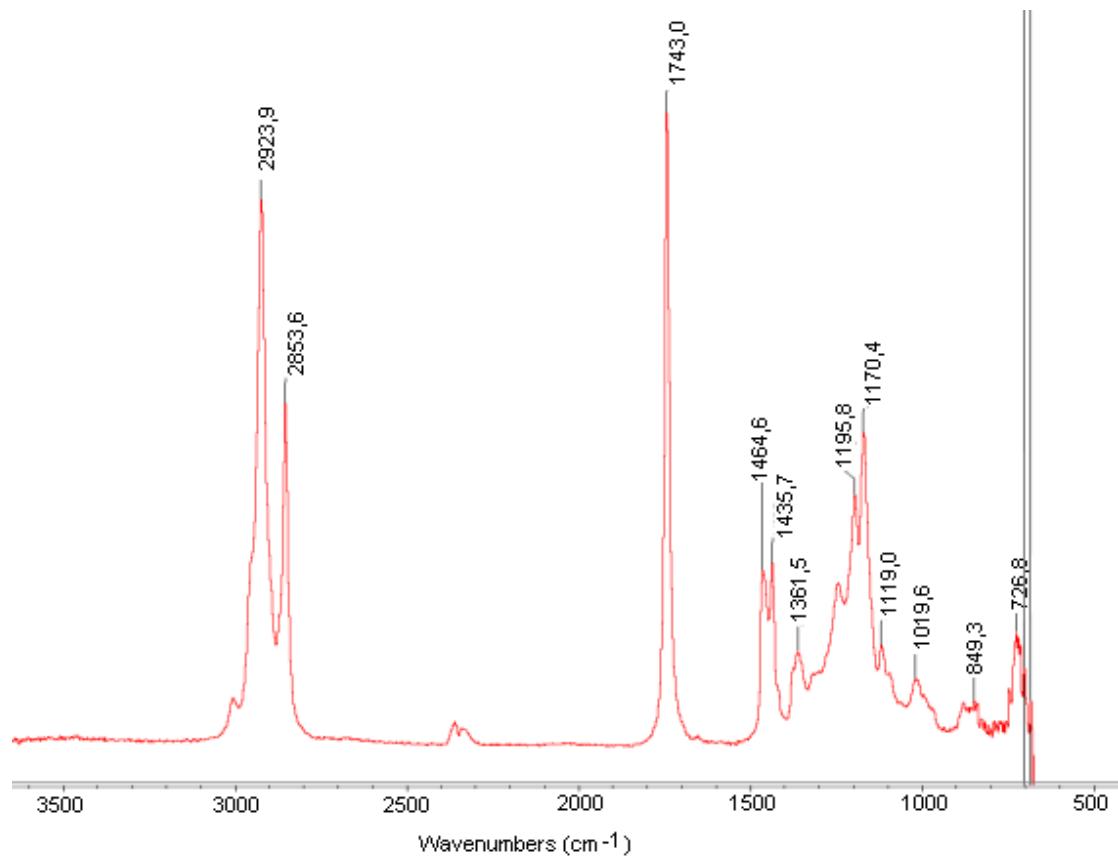


FIGURA 12 – Espectro na região do infravermelho para o biodiesel 60:40 (Sebo:Canola)

Interpretando-se os espectros obtidos observa-se que:

- De acordo com SILVERSTEIN & WEBSTER (2000), a ausência de bandas na região de 3300 a 3600 cm⁻¹ comprova a não ocorrência do grupo O-H no biodiesel. Este é um resultado positivo, uma vez que a presença deste grupo caracterizaria a existência de álcool e ácidos carboxílicos no combustível.

- Os comprimentos de onda nos intervalos de 2853,6 - 2854,0 cm⁻¹, e 2923,9 - 2924,4 cm⁻¹ correspondem respectivamente aos grupos C-H alifático de estiramento simétrico e assimétrico.

- De acordo com CARVALHO (2009) as bandas de intensidade fraca entre 835 e 1126 cm⁻¹ são atribuídas às vibrações de estiramentos assimétricos das ligações C-O e O-C-C, o que consiste em uma característica somente dos ésteres.

- Operacionalmente, segundo MOURA (2008), a ausência de banda em 1700 cm⁻¹ é atribuída à boa conversão da reação de transesterificação. Sendo assim, fica evidenciado que o grupo C=O do ácido carboxílico não sofreu hidrólise. Além disso, segundo Carvalho (2009), a baixa umidade no produto final é percebida pela ausência de banda larga entre 2500 e 3300 cm⁻¹, comprovando assim, a boa secagem do biodiesel.

A Tabela 9 compara os comprimentos de onda obtidos para diferentes grupos funcionais do biodiesel produzido neste e outros trabalhos.

TABELA 9 – COMPRIMENTOS DE ONDA (cm⁻¹) PARA OS PRINCIPAIS GRUPOS FUNCIONAIS PRESENTES NOS ÉSTERES

Grupo funcional	Biodiesel de sebo*	Biodiesel de canola**	Biodiesel de algodão***	Biodiesel de algodão 30:70	Biodiesel de algodão 40:60	Biodiesel de canola 60:40
C=O	1735	1750	1743,5	1742,7	1742,8	1743,0
C-O	1175	1200	1196	1195,9	1196,1	1170,4
(CH ₂) _n	717	800	725	722,9	722,8	726,8

*Moura (2008) **Albuquerque (2006) ***Carvalho (2009)

Com base nestes valores, foi constatado que o biodiesel produzido caracteriza-se realmente como um éster. A verificação dos comprimentos de onda nos intervalos de 1742,7 - 1743,0 cm⁻¹ e 1170,4 - 1196,1 cm⁻¹ comprovaram a deformação axial dos grupos C=O e C-O comumente presente nos ésteres. O grupo (CH₂)_n também foi observado, e seu valor encontra-se de acordo com outros trabalhos.

5. CONCLUSÕES

Neste trabalho, o objetivo de avaliar o biodiesel produzido com a mistura de sebo bovino com óleo de canola, e sebo bovino com óleo de algodão, foi satisfatoriamente atingido. Com os procedimentos realizados obteve-se um biocombustível com características melhores que o produzido com sebo bovino puro.

As misturas de sebo bovino e óleo vegetal em diferentes proporções foram transesterificadas pela rota metílica com catálise alcalina. O processo utilizado para a síntese do biodiesel apresentou-se satisfatório na escala laboratorial.

As análises de aspecto, índice de acidez, massa específica a 20°C, viscosidade cinemática a 40°C, ponto de entupimento de filtro a frio e espectroscopia de absorção na região do infravermelho propiciaram a avaliação do produto final. Por meio das análises físico-químicas, observou-se uma tendência das misturas 30:70 (sebo/óleo de algodão), 40:60 (sebo/óleo de algodão) e 60:40 (sebo/óleo de canola) serem as melhores, evidenciando que o biodiesel obtido nessas condições pode ser usado como combustível alternativo em substituição ao óleo diesel.

Tais amostras que apresentaram melhores características físico-químicas foram avaliadas por espectroscopia de absorção na região do infravermelho, e identificou-se a banda forte da deformação axial do grupo C=O do éster metílico, confirmando a conversão da matéria-prima em biodiesel. Além disso, esta análise comprovou a boa lavagem e secagem do combustível produzido.

6. AGRADECIMENTOS

Agradecemos a empresa Fibria pela realização das análises de espectroscopia de absorção na região do infravermelho, e a Faculdade de Aracruz pela colaboração no decorrer do trabalho.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, G. A. Obtenção e caracterização físico-química do biodiesel de canola (brassica napus). Dissertação de mestrado. João Pessoa, 2006. Disponível em: <<http://www.biodiesel.gov.br/docs/defesageuzacompleto.pdf>>. Acesso em: 15 mar. 2010.

ANP - AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/?id=472>>. Acesso em: 04 jun. 2010.

BAZONI, Reinaldo; SAKATE, Maria Massae. Análise de custos, contabilidade internacional e estatística aplicada. Disponível em: <http://www.anhanguera.com/storage/web_aesa/portal_institucional/bibliotecas/biblioteca_virtual/e_book/AN%C3%81LISE%20DE%20CUSTOS,%20CONTABILIDADE%20INTERNACIONAL%20E%20ESTAT%C3%81STICA%20APLICADA.pdf>. Acesso em: 14 out. 2010.

CARVALHO, R. H. R. Avaliação da eficiência de catalisadores comerciais na obtenção de biodiesel de algodão (Gossipium hisutum L.). Dissertação de mestrado. Natal, RN, 2009. Disponível em: <<ftp://ftp.ufrn.br/pub/biblioteca/ext/bdtd/RicardoHRC.pdf>>. Acesso em: 20 out. 2010.

CUNHA, M. E. Caracterização de biodiesel produzido com misturas binárias de sebo bovino, óleo de frango e óleo de soja. Porto Alegre, mar 2008. Disponível em: <http://www.dominiopublico.gov.br/pesquisa/DetalheObraForm.do?select_action=&co_obra=114401>. Acesso em: 26 mar. 2010.

GARCIA, A. J. M.; TOOKUNI, J. P. M. **Combustível alternativo: Biodiesel de gordura animal**. Monografia de graduação. UTFPR. 2006.

GARCIA, Carolina Castilho et. al. **Influência da concentração do biodiesel metílico de palma no comportamento de misturas biodiesel/diesel**. Artigo científico, 2006. Disponível em: <<http://www.biodiesel.gov.br/docs/congresso2006/Caracterizacao/InfluenciaConcentracao16.pdf>>. Acesso em: 22 out. 2010.

GERIS, Regina et al. **Biodiesel de soja - reação de transesterificação para aulas práticas de química orgânica**. Química Nova, São Paulo, v. 30, n. 5, set./out. 2007. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422007000500053. Acesso em: 20 mar. 2010.

JAHN, S. L. et al. **Produção de biodiesel a partir de sebo bovino**. XXI Congresso de Iniciação Científica e Tecnológica em engenharia. VI Feira de Protótipos. 2006. Disponível em: <<http://200.169.53.89/download/CD%20congressos/2006/CRICTE%202006/trabalhos/622581-egq-01-09-43131.pdf>>. Acesso em: 04 jun. 2010.

JUSBRASIL notícias. **Projeto autoriza o uso de biodiesel puro em carros de passeio**. Disponível em: <<http://www.jusbrasil.com.br/noticias/2141984/projeto-autoriza-o-uso-de-biodiesel-puro-em-carros-de-passeio>>. Acesso em: 08 abr. 2010.

KNOTHE, G., GERPEN, J.V., KRAHL, J. **Manual de biodiesel**. São Paulo: Edgard Blücher, 2006.

KRAUSE, L. C.. **Desenvolvimento do processo de produção de biodiesel de origem animal**. Tese de doutorado. Porto Alegre, 2008. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/14362>>. Acesso em: 17 mar. 2010.

MARQUES, M. V. et. al. **A química, os processos de obtenção e as especificações do biodiesel**. Fev./Mar. 2008. n°33. Disponível em: <http://www.revistaanalytica.com.br/ed_anteriores/33/index.html>. Acesso em: 25 abr. 2010.

MORAES, M. S. A. **Biodiesel de sebo: avaliação de propriedades e testes de consumo em motor a diesel**. Dissertação de mestrado. Porto Alegre, jan. 2008. Disponível em: <http://www.dominiopublico.gov.br/pesquisa/DetalheObraForm.do?select_action=&co_obra=105295>. Acesso em: 27 mar. 2010.

MOURA, K. R. M. **Otimização do processo de produção de biodiesel metílico do sebo bovino aplicando um delineamento composto central rotacional (DCCR) e a avaliação da estabilidade térmica**. Tese de doutorado. João Pessoa, 2008. Disponível em: <http://www.quimica.ufpb.br/posgrad/teses/Tese_Katia_Regina.pdf>. Acesso em: 22 out. 2010.

MOURA, K. R. M. et al. **Otimização da Produção de Biodiesel Metílico de Sebo Bovino Usando a Metodologia de Superfície de Resposta.** Disponível em: <<http://www.biodiesel.gov.br/docs/congresso2007/producao/43.pdf>>. Acesso em 15 dez. 2010.

REZENDE, S. M. et al. **Aplicação de resinas sulfônicas como catalisadores em reações de transesterificação de óleos vegetais.** Polímeros, São Carlos, v. 15, n. 3, jul./set. 2005. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-14282005000300008>. Acesso em: 20 mar. 2010.

RODRIGUES, M. I.; IEMMA, A. F. **Planejamento de experimentos e otimização de processos.** 2. ed. São Paulo: Caso do Espírito Amigo Fraternidade Fé e Amor, 2009.

ROSA, M. S. **Produção de biodiesel a partir de materiais com altos teores de ácidos graxos livres.** Rio de Janeiro, 2007. Disponível em: <<http://www.dominiopublico.gov.br/download/texto/cp045037.pdf>>. Acesso em: 20 mar. 2010.

SCHETTINO, L. F.; PEZZOPANE, J. E. M. **Seminário. Biodiesel: inclusão social e desenvolvimento.** Vitória: MCT/FCAA, UFES, 2005.

SILVERSTEIN, R. M.; WEBSTER, F. X. **Identificação Espectrofotométrica de Compostos Orgânicos.** 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2000.

SINGH, S. P.; SINGH, Dipti. Biodiesel production through the use of different sources and characterization of oils and their esters as the substitute of diesel: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Madhya Pradesh, v. 14, n. 1, p. 200-216, jan., 2010. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6VMY-4WXB2C1-1&_user=10&_coverDate=01%2F31%2F2010&_rdoc=1&_fmt=high&_orig=search&_sort=d&_docanchor=&view=c&_searchStrId=1270523924&_rerunOrigin=google&_acct=C000050221&_version=1&_urlVersion=0&_userid=10&md5=8bb8f15e1005f9c894b05a6a2278326e>. Acesso em: 27 mar. 2010.

TIMMERMANN, J.. **Biofuels: how to make your own clean-burning biofuel, biodiesel from cooking oil, fuel alcohol, renewable energy, glycerine, soap making.** Disponível em:<<http://www.journeytoforever.org/biofuel.html>>. Acesso em: 03 jun. 2010.