

## ESTERIFICAÇÃO HOMOGÊNEA DE ÓLEO DE FRITURA VISANDO A PRODUÇÃO DE BIODIESEL E BIOQUEROSENE DE AVIAÇÃO

Vitória Sampaio Marçal<sup>1</sup>  
Elvia Leal<sup>2</sup>  
Julyanne Rodrigues de Medeiros Pontes<sup>3</sup>  
Ana Cristina Figueiredo de Melo Costa<sup>4</sup>  
Joelda Dantas<sup>5</sup>

### RESUMO

Cada dia mais vem sendo investido esforços na busca de fontes alternativas de energia que visem a redução na dependência de combustíveis fósseis. Neste sentido, biocombustíveis que respeitem a biodiversidade, não interferindo nos ecossistemas naturais vêm agregar valor socioeconômico as comunidades locais. Sendo assim, este trabalho objetiva o reaproveitamento de óleos residuais de frituras como fonte de matéria-prima para a produção de biodiesel e bioquerosene de aviação, a partir de reações de esterificação metílica e etílica, via catálise homogênea básica com o KOH. Neste estudo foi avaliada a deficiência de álcool na razão óleo:álcool, que foi de 4:1, visando a redução de custo na produção do biocombustível. Como resultados, foram obtidos valores de densidade de 0,918; 0,896 e 0,887 g/cm<sup>3</sup>, para as amostras de óleo residual, e dos biodieseis obtidos pela rota etílica e metílica, respectivamente. Os espectros de FTIR/ATR esboçaram bandas características de ésteres insaturados de ácidos graxos e a banda referente à carbonila de éster, como esperado. Resultados de cromatografia gasosa revelaram conversões do óleo residual de fritura de 39,82% e 75,63% para as reações etílica e metílica, respectivamente. Logo, estes resultados se evidenciam promissores para futuros estudos e adequações na redução de custo para a produção de biocombustíveis, como o biodiesel e o bioquerosene de aviação, os quais são formados por frações de ésteres leves e pesados.

**Palavras-chave:** Biocombustível, Óleo residual, Esterificação, Catálise homogênea, Deficiência de álcool.

### INTRODUÇÃO

Em função do acelerado ritmo de vida contemporâneo das sociedades, existe no mundo todo uma crescente busca por praticidade no hábito alimentar das pessoas. Essa praticidade é oferecida pelas redes de *fast food*, que, se por um lado traz positivos benefícios, no entanto, por

---

<sup>1</sup> Graduanda do Curso de Engenharia de Materiais da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, [smarcalv@gmail.com](mailto:smarcalv@gmail.com);

<sup>2</sup> Doutora pelo Curso de Ciências e Engenharia de Materiais da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, [elvialeal@gmail.com](mailto:elvialeal@gmail.com);

<sup>3</sup> Mestranda do Curso de Ciências e Engenharia de Materiais da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, [rodrigues.julyanne13@gmail.com](mailto:rodrigues.julyanne13@gmail.com);

<sup>4</sup> Doutora pelo Curso de Ciências e Engenharia de Materiais da Universidade Federal de São Carlos - UFSCar, [ana.cristina@pq.cnpq.br](mailto:ana.cristina@pq.cnpq.br);

<sup>5</sup> Professora orientadora: Doutora pelo Curso de Ciências e Engenharia de Materiais da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, Pós-doutorado em Energias Alternativas e Renováveis - UFPB, [joelda.dantas@cear.ufpb.br](mailto:joelda.dantas@cear.ufpb.br).

outro lado, implica numa grande quantidade de resíduos gerados e descartados nas redes de esgoto, leitos de rios e mares.

Um dos tipos mais graves de resíduos gerados são os originados do processo de fritura, pois possuem um elevado índice de acidez devido a degradação dos óleos pelo aquecimento sofrido. A fritura é uma operação unitária e se trata do aquecimento de alimentos em óleo ou gordura para alterar a qualidade alimentar e decompor microrganismos, afim de torná-los mais saudáveis e alongar o prazo de validade. Porém, esse processo alimentício também provoca sérias problemáticas que comprometem a saúde pública, tanto por causa do grande consumo de óleos, como por causa da inadequação do descarte no meio ambiente.

Uma alternativa potencial para mitigar esse tipo de poluição ambiental oriunda das residências, restaurantes, lanchonetes e pastelarias, é a coleta seletiva e o tratamento desses resíduos, como também dos resíduos de gordura animal provenientes dos abatedouros, e destiná-los para aplicação como matéria-prima na produção de biocombustível.

De forma geral, no que diz respeito aos biocombustíveis, sabe-se da elevada importância que estes vêm recebendo nas últimas décadas, principalmente pelo fato da urgente necessidade de uma efetiva substituição dos combustíveis fósseis, os quais em função do grande consumo a nível mundial, tem desencadeando gravíssimos índices de degradação ambiental, como as emissões dos gases de efeito estufa, monóxido de carbono e hidrocarbonetos não queimados, responsáveis pela poluição atmosférica e causadores de inúmeras doenças que atingem a população em geral.

O aumento exponencial da necessidade de produzir energia é para atender as demandas crescentes da população, urbanização e desenvolvimento industrial. Esse cenário caminha para uma escassez dos recursos naturais existentes, como é o caso do petróleo, que a principal fonte que abastece a matriz mundial de transporte terrestre e aéreo, por exemplo. Diante disso, há um forte apelo para buscas de soluções cabíveis, em que o enfrentamento com os biocombustíveis se destaca como uma potencial chance de reverter a problemática, sem, contudo, comprometer o atual desenvolvimento tecnológico.

Dentre as alternativas de biocombustíveis, o biodiesel e o bioquerosene estão entre as principais e mais acertadas soluções, pois são produzidos a partir de matérias-primas oriundas de fontes biodegradáveis e sustentáveis da biomassa. O biodiesel para suprir as demandas dos transportes terrestres e o bioquerosene a dos transportes de aviação, sendo que no caso deste último, os autores Sánchez e Planelles (2019) reportaram que de acordo com a Agência Europeia do Meio Ambiente, é responsável por 2,5% das emissões de gases que promovem o

aquecimento global e emite até 20 vezes mais CO<sub>2</sub> por quilômetro e passageiro que um trem. Ainda, conforme Leal et al. (2019) e Dantas et al. (2019a) a produção de bioquerosene a partir de óleo residual de fritura é uma promissora alternativa como biocombustível aeronáutico. Em relação ao biodiesel, este já é uma alternativa fortemente consolidada e a sua comercialização é praticada internacionalmente. Várias pesquisas são desenvolvidas com foco no biodiesel e no seu aprimoramento, por exemplo, cita-se os estudos de Nagavekar et al. (2021); Ghosh et al. (2021); Ni et al. (2020) e Dantas et al. (2017).

Dentro desta abordagem, inúmeras iniciativas são desenvolvidas no sentido de limitar a pegada poluidora dos transportes, e o Brasil, devido as suas dimensões continentais e suas condições edafoclimáticas favoráveis, se destaca como um dos principais países capazes de liderar a corrida por inovação na produção desses biocombustíveis, que podem ser produzidos por diferentes processos químicos; dentre eles estão a transesterificação e a esterificação. Conforme Loures et al. (2018), esses processos citados se destacam por características como simplicidade, baixo custo e eficiência. Em relação a esterificação, reação química utilizado nesse presente trabalho, estudos desenvolvidos por Dantas et al. (2018) comprovam que é uma excelente via para produção de biocombustível, pois permite a utilização com sucesso de matérias-primas de baixa qualidade e de elevada acidez.

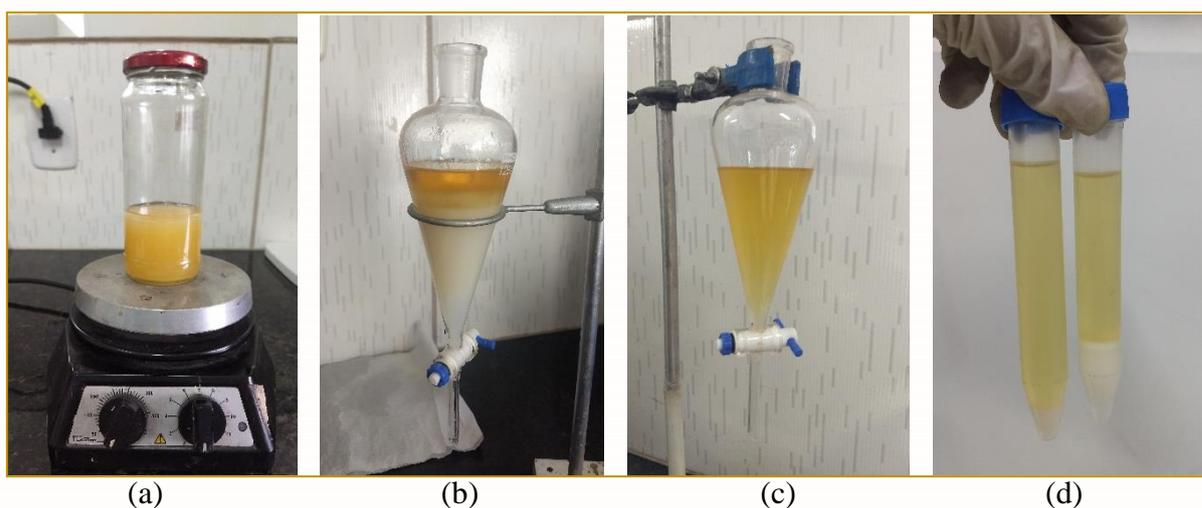
As matérias-primas que podem ser utilizadas na produção de biodiesel são geralmente os óleos vegetais (Silva et al., 2019), os óleos residuais e o sebo animal (Dantas et al., 2019b; Ndiaye et al., 2020). Em relação ao óleo residual de fritura, a reutilização para esse fim promove uma importante agregação de valor, visto que é dado uma destinação nobre ao que, conforme Acevedo et al. (2018), é um resíduo normalmente descartado inapropriadamente, e como consequência tem causado a poluição de efluentes.

Dentro da contextualização realizada, este trabalho traz como contribuição a produção de biocombustível a partir de óleo de fritura residual, considerando os benefícios ambientais associados ao reaproveitamento, como também a redução dos custos de matéria-prima e operacionais da cadeia geral de produção de biodiesel e bioquerosene de aviação. A motivação principal é contribuir na soma das inúmeras iniciativas no âmbito do desenvolvimento tecnológico sustentável, pela agregação de valor aos resíduos.

## **METODOLOGIA**

### ***Condições Reacionais***

Os processos químicos utilizados para a obtenção do biodiesel foram as reações de esterificação do óleo residual de fritura, tanto pela rota metílica quanto pela rota etílica. O óleo residual de fritura foi coletado em uma pastelaria local. Neste estudo, foi analisado a influência da deficiência de álcool em relação ao óleo, para uma razão molar óleo:álcool de 4:1. Para tanto, inicialmente 100mL do óleo de fritura foi colocado em um recipiente e colocado para aquecer a 70°C sobre uma placa aquecedora. Em paralelo, 0,35 g do catalisador homogêneo KOH foi adicionado em uma solução de 25 mL de álcool (metílico e etílico) para sua dissolução. Após dissolução, estas duas soluções foram misturadas e mantidas sob aquecimento a 70°C por um período de 30 minutos e sob agitação magnética. Após reações, os produtos reacionais (éster metílico e etílico, água e glicerol) foram colocados em um funil de decantação para separação das fases e lavagem com água destilada. Finalizada a lavagem, as amostras (biodiesel) foram centrifugadas por 30 minutos a 9000 RPM's, com finalidade de promover uma total separação dos componentes via sedimentação, e assim separar resíduos de água e glicerol remanescentes. Na Figura 1 encontra-se imagens das etapas de produção do biodiesel. Após tudo isso, as amostras foram acondicionadas em tubos âmbar (escuro) dentre da geladeira para conservação em temperatura entre 6 e 10 °C, e posterior envio para as caracterizações.



**Figura 1.** Imagens do processo de produção do biodiesel: (a) reação de esterificação homogênea do óleo de fritura sob temperatura de 70°C e agitação magnética; (b) mistura reacional em processo de lavagem; (c) mistura reacional após processo de lavagem; e (d) produto da reação após separação em centrífuga.

### ***Testes do biodiesel***

Os produtos reacionais foram caracterizados por espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR), utilizando um espectrômetro modelo Vertex 70 da marca

(83) 3322.3222

contato@conapesc.com.br

www.conapesc.com.br

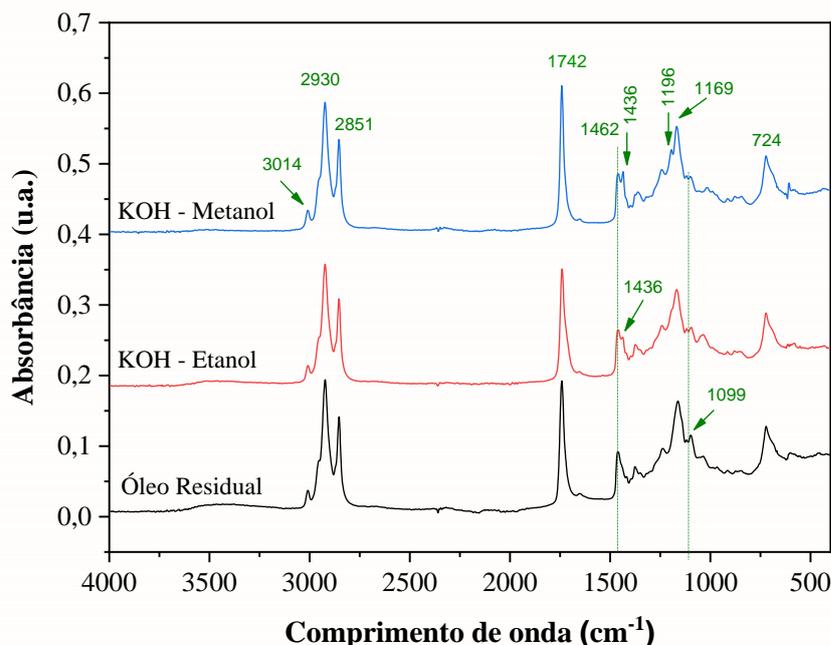
BRUKER, com comprimento de onda variando de 4000 e 400  $\text{cm}^{-1}$ , com resolução de 4  $\text{cm}^{-1}$  e 20 varreduras. Esta técnica foi utilizada para observar as bandas vibracionais características dos ésteres e do óleo.

Uma das especificações quanto a qualidade do biodiesel é quanto a sua massa específica, que deve estar dentro dos padrões estabelecidos pelas normas de legislação vigentes. Portanto, os valores de densidade do biodiesel foram quantificados em um densímetro portátil, modelo DMA 35 Basic da Anton Paar, sob temperatura de 20°C.

Os testes catalíticos para avaliação da conversão do óleo de fritura em biodiesel (ésteres metílicos ou etílicos) foram conduzidos por cromatografia gasosa usando um cromatográfico de marca VARIAN modelo 450c equipado com um detector de ionização de chama em uma coluna capilar curta DB1 da J&W Scientific.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 2 encontram-se os espectros de infravermelho referentes às amostras de óleo residual de fritura e dos biodieseis produzidos pela esterificação metílica e etílica do óleo residual via catálise homogênea com o hidróxido de potássio (KOH).



**Figura 2.** Espectros de FTIR/ATR das amostras de óleo residual e dos biodieseis.

De acordo com os espectros de FTIR observa-se no intervalo de 3030 a 2800  $\text{cm}^{-1}$ , os três espectros apresentaram bandas de absorção semelhantes. A banda localizada em 3014  $\text{cm}^{-1}$

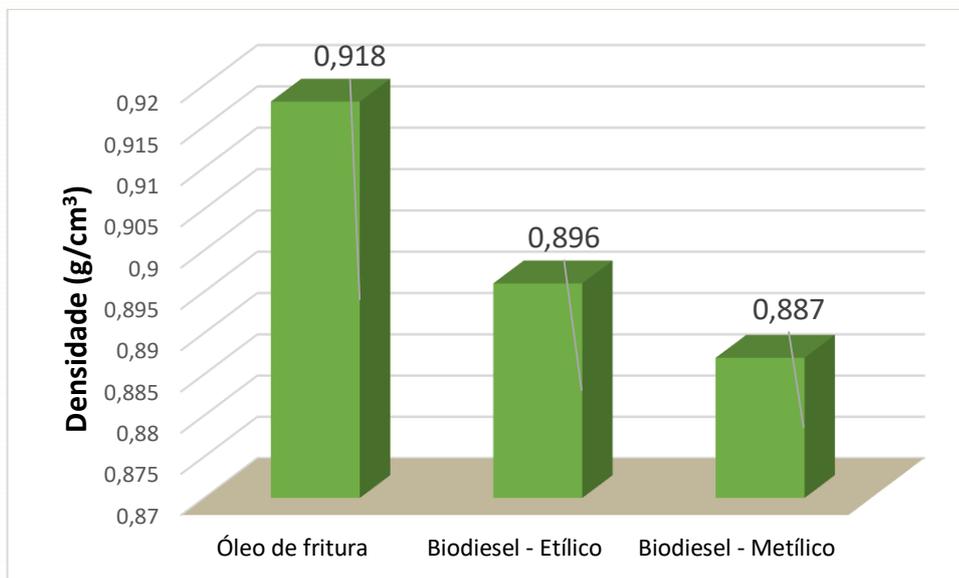
<sup>1</sup> ocorre vibrações de estiramento do grupo CH associado a presença de alcalinos. Em  $2930\text{ cm}^{-1}$  e em  $2851\text{ cm}^{-1}$ , observa-se bandas de absorção mais intensas que podem ser atribuídas ao alongamento assimétrico dos grupos C-H e  $\text{CH}_2$ , respectivamente (Ouanji et al., 2016). Em seguida, nota-se uma banda intensa em  $1742\text{ cm}^{-1}$  referente ao estiramento da carbonila do éster (C=O), que é comum nos espectros do óleo residual de fritura, bem como nos espectros dos ésteres metílicos e etílicos de ácidos graxos (FAME - *Fatty Acids Methyl Esters*).

A região principal do espectro que permite a discriminação química entre o óleo de soja e seu respectivo FAME é a região entre  $1500$  e  $900\text{ cm}^{-1}$ , conhecida como a região da “impressão digital”. A banda localizada em  $1436\text{ cm}^{-1}$  que não aparece no espectro do óleo residual, mas que se intensifica no espectro do produto da esterificação metílica, corresponde às vibrações de estiramento assimétrico do grupo  $-\text{CH}_3$ , característica de espectros de biodiesel. E a banda vizinha, em  $1462\text{ cm}^{-1}$ , que aparece com maior intensidade nos espectros do óleo residual e no do produto da esterificação etílica, é típica do espectro de óleo de soja segundo Soares et al. (2008), ou seja, demonstra a presença de óleo não convertido na reação de esterificação etílica sob as condições adotadas. Outra banda que se sobressai no espectro da esterificação metílica, e não aparece nos espectros do óleo residual e do produto da esterificação etílica, é a localizada em  $1196\text{ cm}^{-1}$  que está associada à deformação axial da ligação C(C=O)-O dos ésteres. Estas bandas vibracionais identificadas nos espectros dos biodieseis em estudo estão de acordo com os resultados encontrados por Lacerda et al. (2019), Faraguna et al. (2019) e Dantas et al. (2019b).

As demais bandas localizadas em  $1169\text{ cm}^{-1}$  têm relação com a deformação axial assimétrica da ligação C-O do éster. Outra região que permite determinar a presença de FAME e de óleo é a localizada entre  $1075$  e  $1000\text{ cm}^{-1}$ , que representa vibrações axiais assimétricas do grupo  $-\text{CH}_2-\text{COOH}$  (Rabelo et al., 2015). As bandas localizadas em torno de  $688\text{ cm}^{-1}$  e  $724\text{ cm}^{-1}$  indicam a existência de  $=\text{C-H}$  ou  $\text{CH}_2$  com flexão de alcenos e sobreposição de vibrações de balanço de metileno (Silvertein et al., 2012).

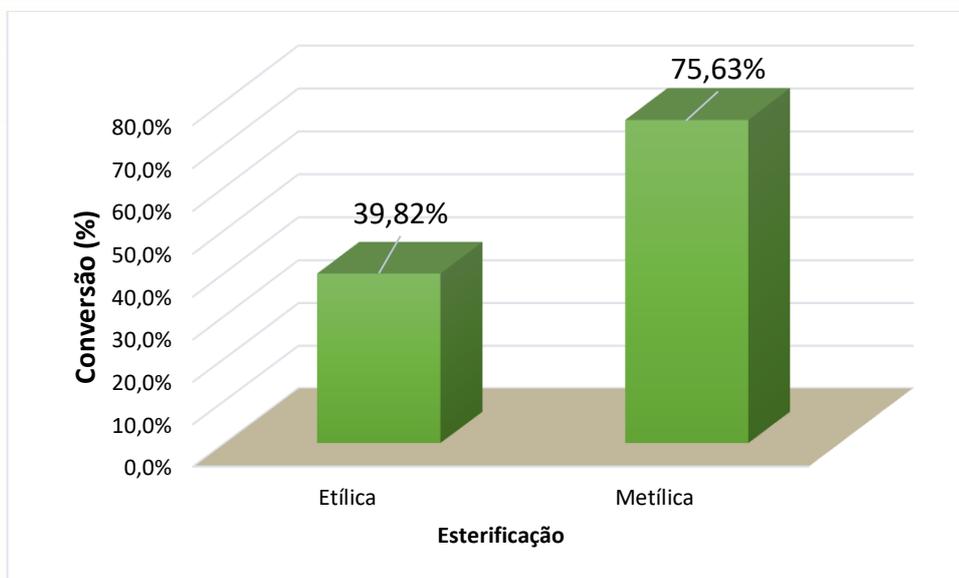
Uma das especificações de qualidade do biodiesel, além da conversão dos triacilglicerídeos em ésteres, é o valor de densidade a  $20^\circ\text{C}$ . Na Figura 3 encontram-se os valores das densidades do óleo residual de fritura e dos biodieseis produzidos. De acordo com os resultados, observa-se que a densidade do óleo residual de fritura foi de  $0,918\text{ g/cm}^3$ , e dos biodieseis produzidos pela esterificação etílica e metílica, foram de  $0,896$  e  $0,887\text{ g/cm}^3$ , correspondendo a reduções de 2,39 e 3,38%, respectivamente. Logo, observa-se que a densidade do óleo residual se assemelha ao de soja refinado sendo de  $0,918\text{ g/cm}^3$ , condizendo

com os valores segundo a ANVISA (1999) que giram entre 0,916 e 0,922% para o óleo de soja. E que as densidades dos biodieseis se encontram dentro da faixa estabelecida pela Resolução da ANP de 25/11/2015 (ANP, 2015) para o biodiesel comercial, que é de 0,890 a 0,900 g/cm<sup>3</sup>, confirmando, portanto a boa qualidade do biodiesel produzido.



**Figura 3.** Densidade experimental das amostras do óleo residual e dos biodieseis.

Na Figura 4 encontram-se os resultados da catálise homogênea com o KOH nas reações de esterificação metílica e etílica de óleos residuais de fritura, fazendo uso de baixo teor de álcool na razão molar óleo:álcool, que foi de 4:1 a 70°C por 30 minutos.



**Figura 4.** Conversão em ésteres das reações de esterificação homogênea pelas rotas etílica e metílica do óleo de fritura.

Os resultados de cromatografia gasosa mostraram conversões de 39,82% e 75,63% para as reações de esterificação etílica e metílica, respectivamente. Pode-se dizer que o álcool metílico favoreceu uma melhor conversão em biodiesel quando comparado ao álcool etílico, mesmo eles sendo avaliados em deficiência na proporção razão óleo:álcool, que foi de 4:1. Portanto, estima-se que em proporções convencionais óleo:álcool de 1:4 ou superior, conversões máximas serão alcançadas. Logo, estes resultados se mostram promissores para futuros estudos e adequações na produção de biocombustíveis com menor consumo de álcool.

O padrão de qualidade do biodiesel no Brasil é estabelecido pela legislação vigente dada pela Resolução ANP nº 51 de 25/11/2015 (ANP, 2015), nos EUA pela ASTM (D6751) e na União Europeia pela norma EN 14214. Estas normas fixam valores de concentração máximos e mínimos de diversas espécies presentes no biodiesel produzido. Por exemplo, o teor de éster mínimo fixado tanto pelo padrão brasileiro quanto pelo padrão europeu é de 96,5% de éster presente no biodiesel.

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O estudo mostra promissores resultados de produção de biodiesel pela esterificação metílica do óleo residual de fritura por meio da catálise homogênea básica com o KOH, mesmo sendo utilizado uma deficiência no teor de álcool, em uma razão óleo:álcool de 4:1, atingindo conversão de até 75,63%. Os espectros de FTIR/ATR confirmaram o melhor resultado para o biodiesel produzido pela rota metílica, com o surgimento de duas bandas características de ésteres insaturados de ácidos graxos e da carbonila de éster, como esperado para amostras de biodiesel. Os resultados de densidade também corroboraram os demais resultados, mostrando uma menor densidade para o biodiesel produzido pela rota metílica, com valor de 0,887 g/cm<sup>3</sup>. Portanto, pode-se dizer que adequações em estudos futuros podem favorecer na busca de melhores condições para a produção de biocombustíveis com um menor consumo de álcool, reduzindo custo. Assim, espera-se com esse trabalho contribuir como mais um direcionamento promissor e viável às pesquisas voltadas a produção de biodiesel e bioquerosene de aviação, desenvolvidos a partir de matérias-primas mais sustentáveis, agregando valor àquilo que representa ser um grave agente de poluição ambiental, como são os óleos e gorduras residuais.

## **REFERÊNCIAS**

ACEVEDO, J. C.; URBINA, N. A.; ACEVEDO, A. Z.; BECERRA, L. C.; ARENAS, E. Analysis of the biodiesel production yield from waste frying oil. **Journal of Physics: Conference Series**, v. 1126, p. 012006, 2018.

ANP. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Brasil. **Resolução nº 51, de 25/11/2015**. Regulamento Técnico ANP, 2015. Disponível em: <<https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=274064>>. Acesso em: 30/07/2019.

ANVISA - **Resolução RDC nº 482, de 23 de setembro de 1999**. Aprovação do Regulamento Técnico para Fixação de Identidade e Qualidade de Óleos e Gorduras Vegetais. Diário Oficial da União; Poder Executivo, de 13 de outubro de 1999. Agência Nacional de Vigilância Sanitária, Brasil. Acesso em 30/07/2019.

ASTM. D6751 - **Standard Specification for Biodiesel Fuel Blend Stock (B100) for Middle Distillate Fuels**. EUA, 2015. Disponível em: <<http://www.astm.org/cgi-bin/resolver.cgi?D6751>>.

DANTAS, J.; LEAL, E.; ARAÚJO, N. O.; PEREIRA, K. R. O.; FERNANDES, P. C. R.; COSTA, A. C. F. M. Síntese de ferrita do tipo  $Ni_{0,5}Zn_{0,5}Fe_2O_4$  e utilização como catalisador em reação de esterificação do óleo de soja para obtenção de biodiesel. **In: Andrade, D. E. Petróleo e Outros Combustíveis**. 1ª edição, Belo Horizonte-MG: Poisson, cap. 25, p. 202-218, 2019.

DANTAS, J.; LEAL, E.; MARÇAL, V.S.; PONTES, J.R.M.; COSTA, A.C.F.M. Uso do catalisador nanomagnético  $Ni_{0,5}Zn_{0,5}Fe_2O_4$  sintetizado em escala piloto com foco na produção de biocombustível aeronáutico. **In: I Congresso da Rede Brasileira de Bioquerosene e Hidrocarbonetos Renováveis para Aviação (RBQAV)**, Natal-RN, 2019.

DANTAS, J.; LEAL, E.; CORNEJO, D. R.; KIMINAMI, R. H. G. A.; COSTA, A. C. F. M. Biodiesel production evaluating the use and reuse of magnetic nanocatalysts  $Ni_{0,5}Zn_{0,5}Fe_2O_4$  synthesized in pilot-scale. **Arabian Journal of Chemistry**, *In press*, 2018.

DANTAS, J.; LEAL, E.; MAPOSSA, A. B.; CORNEJO, D. R.; COSTA, A. C. F. M. Magnetic nanocatalysts of  $Ni_{0,5}Zn_{0,5}Fe_2O_4$  doped with Cu and performance evaluation in transesterification reaction for biodiesel production. **Fuel**, v. 191, p. 463-471, 2017.

FARAGUNA, F.; RACAR, M.; JUKIĆ, A. Test method for determination of diferente biodiesel (fatty acid alkyl esters) content in diesel fuel using FTIR-ATR. **Renewable Energy**, v. 133, p. 1231-1235, 2019.

GHOSH, P. K.; GHOSH, P.; GHOSH, P. K.; GHOSH, N. Intervention of Supercritical Fluids as Reaction Media and Chromatography Tool. **Reference Module in Food Science**, 2021.

LACERDA, J. G. P.; CANDEIA, R. A.; SALES, L. L. M.; ARAÚJO, A. S.; CUNHA, A. F. P.; WANDERLEY, A. F.; CAMPOS, A. F. Characterization of biodiesel from frying oil obtained by hydro-esterification using vermiculite as heterogeneous catalyst. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, p. 1-8, 2019.

LEAL, E.; DANTAS, J.; MARÇAL, V.S.; NASCIMENTO, A.C.; PONTES, J.R.M.; COSTA, A.C.F.M. Avaliação do teor de catalisador KOH na esterificação metílica de óleos residuais de

fritura visando a produção de bioquerosene. **In:** I Congresso da Rede Brasileira de Bioquerosene e Hidrocarbonetos Renováveis para Aviação (RBQAV), Natal-RN, 2019.

LOURES, C. C.; AMARAL, M. S.; RÓS, P. C.; ZORN, S. M.; CASTRO, H. F.; SILVA, M. B. Simultaneous esterification and transesterification of microbial oil from *Chlorella minutissima* by acid catalysis route: A comparison between homogeneous and heterogeneous catalysts. **Fuel**, v. 211, p. 261-268, 2018.

NAGAVEKAR, N.; DUBEY, K.; SHARMA, A.; SINGHAL, R. S. Supercritical extraction of valued components from animals parts. **Reference Module in Food Science**, 2021.

NDIAYE, M.; ARHALIASS, A.; LEGRAND, J.; ROELEN, G.; KERIHUEL, A. Reuse of waste animal fat in biodiesel: Biorefining heavily-degraded contaminant-rich waste animal fat and formulation as diesel fuel additive. **Renewable Energy**, v. 145, p. 1073-1079, 2020.

NI, Z-H.; LI, F-S.; WANG, H.; WANG, S.; GAO, S-Y.; ZHOU, L. Antioxidative performance and oil-soluble properties of conventional antioxidants in rubber seed oil biodiesel. **Renewable Energy**, v. 145, p. 93-98, 2020.

OUANJI, F.; NACHID, M.; KACIMI, M.; LIOTTA, L.F.; PULEO, F.; ZIYAD, M. Small scale biodiesel synthesis from waste frying oil and crude metanol in Morocco. **Chinese Journal of Chemical Engineering**, v. 24, n. 9, p. 1178-1185, 2016.

RABELO, S. N.; FERAZ, V. P.; OLIVEIRA, L. S.; FRANCA, A. S. FTIR Analysis for quantification of fatty acid methyl esters in biodiesel produced by microwave-assisted transesterification. **International Journal of Environmental Science and Development**, v. 6, n. 12, p. 964-969, 2015.

SÁNCHEZ, A.; PLANELLES, M. A fumaça ruim que ameaça a aviação e envergonha os passageiros. **El País, Ciência**, 2019. Disponível em <https://brasil.elpais.com>. Acesso em 31/julho/2019.

SILVA C. A.; CONEJERO, M. A.; RIBEIRO, E. C. B.; BATALHA, M. O. Competitiveness analysis of “social soybeans” in biodiesel production in Brazil. **Renewable Energy**, v. 133, p. 1147-1157, 2019.

SILVERSTEIN, R. M.; WEBSTER, F. X.; KIEMLE, D. J. **Identificação Espectrométrica de Compostos Orgânicos**. 7ª Ed. Tradução de Ricardo Bicca de Alencastro, Rio de Janeiro: LTC; 2012.

SOARES, I. P.; REZENDE, T. F.; SILVA, R. C.; CASTRO, E. V. R.; FORTE, I. C. P. Multivariate calibration by variable selection for blends of raw soybean oil/biodiesel from different sources using Fourier Transform Infrared spectroscopy (FTIR) spectra data. **Energy Fuels**, v. 22, p.2079-2083, 2008.