

PREPARAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE CATALISADOR HETEROGÊNEO SINTETIZADO A PARTIR DA CASCA DO OVO PARA PRODUÇÃO DE BIODIESEL

Rennêr Ribeiro Pinto ¹

Sarah Renally Almeida Pontes Araújo²

Joelda Dantas ³

RESUMO

O aumento da demanda energética mundial, em sua maior parte, oriunda de fontes não-renováveis, tem motivado a busca e desenvolvimento de novas fontes de energias alternativas. Com o intuito de favorecer o custo benefício, foi realizado estudo que consistiu no emprego do óxido de cálcio (CaO), que detém uma alta capacidade catalítica, obtido a partir da calcinação da casca do ovo de galinha. Com base nessa perspectiva sustentável, este trabalho teve como objetivo principal a síntese e caracterização deste material e a sua aplicação como catalisador heterogêneo para produção do biodiesel de algodão, via rota etílica, partindo de planejamento fatorial 2³. O catalisador foi preparado a partir da calcinação em diferentes temperaturas (600, 700, 800 e 900°C) por 2 horas, e caracterizado a partir da Difração de Raios X (DRX) e Espectroscopia na região do Infravermelho (FTIR). Os ésteres obtidos durante a reação de transesterificação foram caracterizados por cromatografia gasosa e FTIR. Em termos de atividade catalítica do CaO, a partir do planejamento fatorial aplicado, chegou-se, para o óleo de algodão, num rendimento máximo de 85,41%, demonstrando promissora aplicação do CaO alternativo para a produção de biodiesel, podendo o processo ainda mais sustentável.

Palavras-chave: Catalisador sustentável, Casca do ovo, Óxido de cálcio, Biodiesel.

INTRODUÇÃO

Com o intenso aumento da demanda energética mundial, o consumo de combustíveis fósseis tem crescido de maneira desproporcional. Hoang et al. (2021) relatam que o drástico aumento do aquecimento global e do consumo de combustíveis fósseis resultaram na destruição do equilíbrio ecológico, redução da qualidade ambiental e do desenvolvimento sustentável. Atrelado a isso, o constante aumento da consciência ecológica tem despertado a atenção de pesquisadores do mundo inteiro para o desenvolvimento de novas tecnologias para a produção de combustíveis (ALVES et al., 2017), e àqueles alternativos ganham cada vez mais destaque

¹ Mestrando pelo Curso de Energias Renováveis da Universidade Federal da Paraíba - UFPB, renner.ribeiro@hotmail.com;

² Graduanda pelo Curso de Engenharia Química da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, sarahrenally@gmail.com;

³ Professora orientadora: Doutora, Energias Renováveis da Universidade Federal da Paraíba - UFPB, joelda.dantas@cear.ufpb.br.

neste cenário mundial, devido aos seus benefícios e contribuições indiscutíveis para a proteção do meio ambiente.

Dentro desta perspectiva e por apresentar diversas características como, poder ser produzido a partir de óleos vegetais, animais e de uma ampla variedade de resíduos, o biodiesel surge como uma alternativa viável (FOROUTAN, MOHAMMADI e RAMAVANDI, 2021; OLKIEWICZ et al., 2016; GOH et al., 2019).

O biodiesel é um combustível renovável obtido a partir de um processo químico denominado transesterificação. Por meio desse processo, os triacilglicerídeos presentes nos óleos e gordura animal reagem com um álcool primário, metanol ou etanol, gerando dois produtos, o éster e o glicerol. O primeiro somente pode ser comercializado como biodiesel após passar por processos de purificação para adequação à especificação da qualidade (ANP, 2019).

O método de transesterificação é o mais utilizado na produção do biodiesel. Esse método utiliza catalisadores que podem ser classificados como homogêneo ou heterogêneo. Contudo, devido a problemas relacionados a separação do produto, sub-produto e reagentes não convertidos para a catálise homogênea, há um enorme interesse da indústria no desenvolvimento de catalisadores heterogêneos.

Catalisadores heterogêneos têm vantagens como separação rápida e fácil da mistura reacional, reconstituição e reutilização, menor corrosão, menor custo e operação mais segura e ecologicamente correta. Dentre os inúmeros catalisadores heterogêneos, o óxido de cálcio (CaO) é bastante investigado na produção de biodiesel. De acordo com Dias et al. (2021) o CaO é relatado como um catalisador barato, ambientalmente benigno e altamente ativo para reações de metanólise de óleo. Estes autores mencionam de outras pesquisas que o cálcio é amplamente abundante na natureza, e os catalisadores de cálcio podem ser preparados a partir de materiais naturais, como calcário e cascas de moluscos e ovos (materiais residuais), que são catalisadores baratos e ambientalmente benignos. Lira (2018), aponta que a busca por novos compostos oriundos de materiais residuais como a casca do ovo tem se mostrado essencial para a promoção da valorização do resíduo produzido, possibilitando a minimização de impactos ambientais.

Diante dos aspectos demonstrados, este trabalho teve por finalidade sintetizar o CaO a partir da calcinação das cascas de ovos de galinha e estudar a sua aplicação como catalisador heterogêneo na produção de biodiesel de óleo de algodão via reação etílica de transesterificação utilizando um planejamento fatorial 2^3 . A expectativa foi a obtenção de um material com atividade catalítica favorável para a produção de biodiesel de algodão, resultando em engenhosa

contribuição ambiental, uma vez que isto abre o leque na soma das pesquisas nesta área, transformando um resíduo em produto de considerado valor agregado.

METODOLOGIA

Foram coletadas cascas de ovos provenientes do consumo residencial. Para garantir a eliminação de impurezas, as cascas foram lavadas cuidadosamente, com auxílio de uma esponja, em água corrente. Na sequência, as cascas foram secas à luz do sol durante 6 horas e logo após maceradas manualmente à fim de facilitar o processo de trituração em equipamento doméstico.

Os autores Castro e Barañano (2018) reportaram que a temperatura de 900°C e o tempo de 2h foram os mais utilizados para obtenção do CaO. Em face comparativa, à amostra obtida foi inserida em cadinhos e calcinada em forno mufla, a partir de quatro diferentes temperaturas, a saber, à 600, 700, 800 e 900°C, por um período fixo de 120 minutos. Partindo da decomposição térmica do carbonato de cálcio, gerando óxido de cálcio e dióxido de carbono.

Após o término da calcinação, a mufla foi desligada, e esperou-se o seu resfriamento até que fosse possível retirar os cadinhos com maior segurança. Logo após, o catalisador foi macerado com auxílio de almofariz e pistilo até que fosse verificado a granulometria de um pó. Em seguida, o pó foi armazenado em um *becker* e mantido em um dessecador durante todo o tempo que antecederesse os experimentos, para evitar reação com a umidade. A caracterização da casca de ovo calcinada foi realizada mediante análises de Difractometria de Raios X (DRX) e Espectroscopia na região do Infravermelho por Transformada de Fourier (FT-IR).

As reações catalíticas basearam-se em um planejamento fatorial 2^3 com 3 (três) fatores variáveis: à razão molar óleo:álcool, percentagem mássica de catalisador em relação ao peso óleo/álcool e a temperatura de reação, afim de se ter uma melhor compreensão do processo. Foram utilizados 20 g de ácido graxo (óleo de algodão) e temperatura média de 90°C.

Os testes catalíticos foram conduzidos em um reator de aço inox, o qual encamisa um copo de borosilicato de volume útil de 100 mL, pressurizado, composto de um duto para entrada de termopar e acoplado a um manômetro glicerinado. O aquecimento e a agitação do sistema foram promovidos por uma placa modelo IKA C-MAG HS 7, e a agitação mediante uma barra magnética de aproximadamente 2,5 cm.

Ao final de cada reação as espécies que compõem a mistura reacional (éster etílico, água e glicerol) foram colocados em um funil de decantação para separação de fase e lavagem com água destilada aquecida. Finalizada a lavagem, as amostras foram centrifugadas por 30 minutos

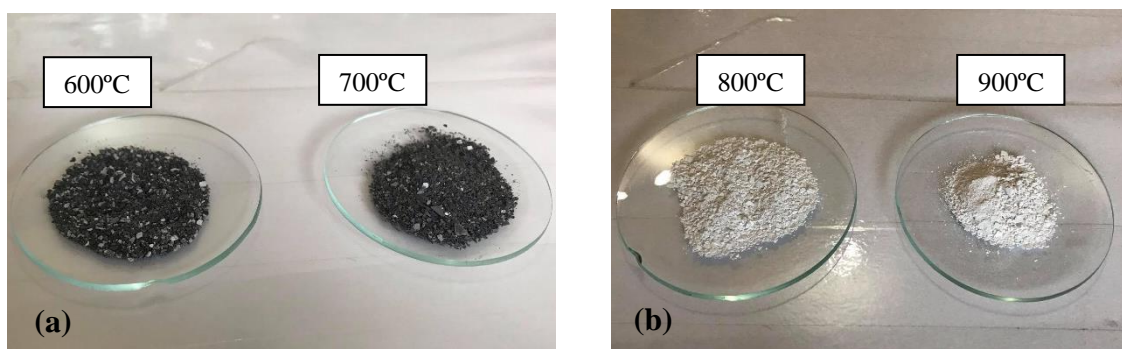
à 9000 RPM's, com a finalidade de promover uma total separação dos componentes via sedimentação, e assim separar resíduos de água, e/ou catalisador remanescentes. As amostras de catalisador separadas foram armazenadas para estudos futuros de reutilização.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A casca de ovo *in natura* apresentou coloração ligeiramente esbranquiçada, após a calcinação foi possível observar a mudança de coloração entre as temperaturas estudadas. As amostras calcinadas à 600°C e à 700°C apresentaram coloração preta, diferentemente das amostras calcinadas nas temperaturas de 800°C e à 900°C, que apresentaram coloração branca.

Com base nesta diferença de coloração, é possível indicar que a reação de decomposição de CaCO_3 em CaO foi incompleta para as amostras calcinadas à 600°C e 700°C e reação completa para as amostras calcinadas em 800°C e à 900°C. Na Figura 1 (a, b) estão ilustrados os materiais (pós) oriundos da calcinação à diferentes temperaturas (600, 700, 800 e 900°C).

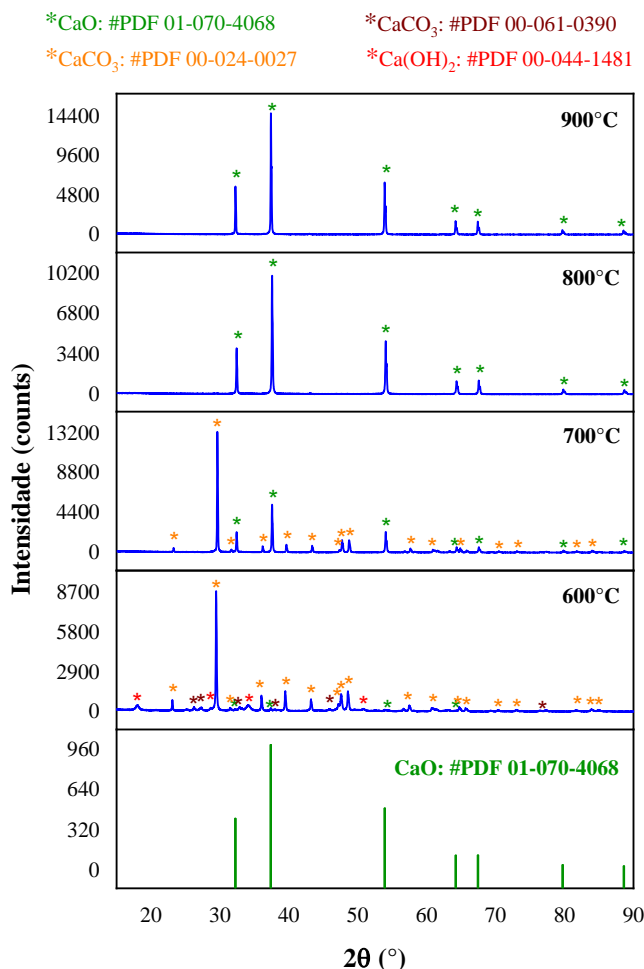
FIGURA 1. PÓS DAS CASCAS DE OVOS DE GALINHA OBTIDOS NAS CALCINAÇÕES.



FONTE: Autores, 2021.

Na Figura 2 estão ilustrados os difratogramas de Raios X dos pós obtidos em diferentes temperaturas de calcinação, onde esta análise estrutural possibilitou a identificação das fases dos elementos mediante padrões provenientes das fichas cristalográficas. De maneira geral, os resultados indicaram que a temperatura de calcinação inferior à 800°C não favoreceu à formação completa e majoritária de CaO , sendo que a amostra consistia principalmente de CaCO_3 . No entanto, os catalisadores ativados à 800°C e 900°C constituíam-se de CaO como única fase principal, o que mostrou o sucesso do método de síntese adotado.

FIGURA 2. DIFRATOGRAMAS DE RAIOS X DOS PÓS DE CASCAS DE OVOS DE GALINHA APÓS TRATAMENTO TÉRMICO EM DIFERENTES TEMPERATURAS.



FONTE: Autores, 2021.

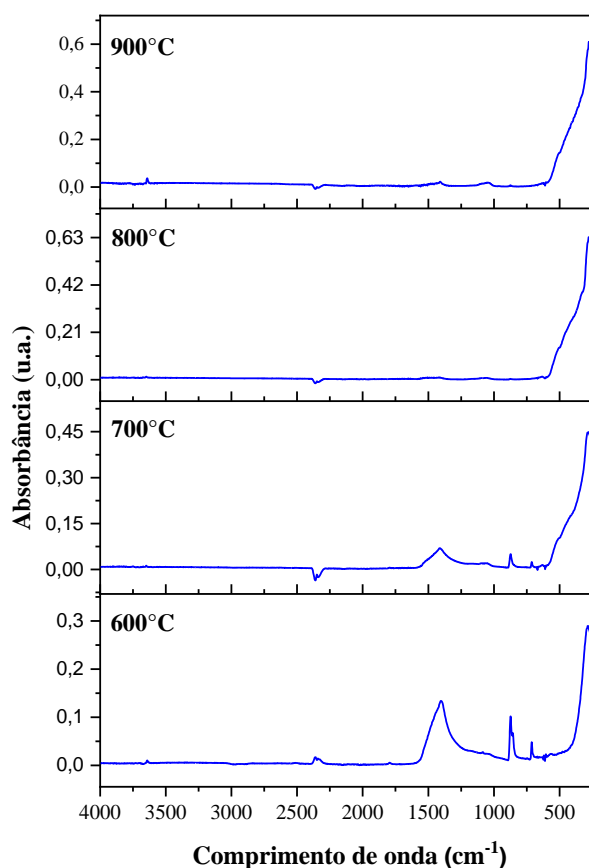
A amostra do pó para teste como catalisador calcinada à 600°C exibiu como pico principal $2\theta = 29,45^\circ$, correspondente ao CaCO₃ de fase cristalina romboédrica (calcita), juntamente com outros polimorfos sendo o ortorrômbico (aragonita) e hexagonal (vaterita), como foi reportado por Panagiotou et al. (2018), e com picos menores para CaO (cúbica) e Ca(OH)₂ (hexagonal). A amostra do pó à 700°C revelou pico principal $2\theta = 29,39^\circ$, também correspondente ao CaCO₃ de fase cristalina romboédrica (calcita), com picos menores de CaO observado em um pico principal $2\theta = 37,36^\circ$, em semelhança com Farooq et al. (2018). Ambas amostras mostraram conversão incompleta de CaCO₃ em CaO.

Durante a realização da análise percebeu-se a rápida hidratação e carbonatação do CaO em contato com o ar atmosférico, sendo esperado que ambos os processos ocorreram durante o armazenamento do catalisador (pós). Devido a isto, se fez necessário um recozimento, por 30 minutos, nas mesmas temperaturas de calcinação para remover a umidade adsorvida e o CO₂.

Resultado que está de acordo com a literatura, reportado por Dias et al. (2021) que observaram a hidratação e carbonatação durante o envelhecimento do catalisador de biodiesel CaO obtido pela calcinação de conchas de vieira.

Na Figura 3 estão ilustrados os espectros vibracionais na região do infravermelho para as amostras de pós obtidas. Foi observado para todas elas, a presença de bandas em torno de 500 cm^{-1} , que por sua vez são características da presença de óxido de cálcio (CaO). As presenças de bandas abaixo de 500 cm^{-1} são correspondentes ao estiramento da ligação metal-oxigênio (CaO) (FACCIO et al., 2015; SANTOS et al., 2019). Este resultado também está de acordo com o relatado por Kirubakaran et al. (2018), Pandit et al. (2017) e Singh et al. (2019).

FIGURA 3. - ESPECTROS NA REGIÃO DO INFRAVERMELHO PARA OS PÓS DE CASCAS DE OVOS DE GALINHA OBTIDOS EM DIFERENTES TEMPERATURAS.



FONTE: Autores, 2021.

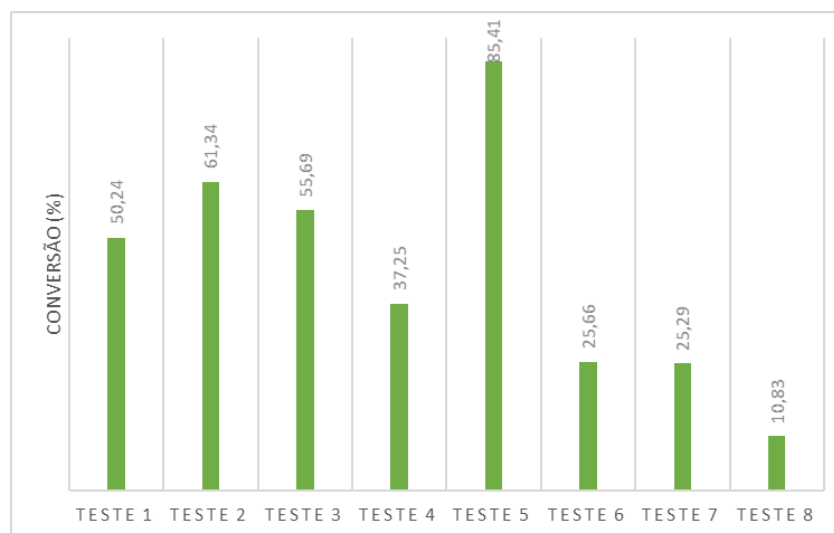
A partir dos espectros de FTIR também foi possível observar a presença de bandas de absorção de energia mais alta em torno de 1500 cm^{-1} e 800 cm^{-1} , para as amostras de 600°C e 700°C , correspondentes ao alongamento assimétrico de C=O para grupo carbonáceo, indicando assim a presença do carbonato de cálcio. Estes resultados obtidos estão em concordância com

a literatura (Kirubakaran et al. 2018; Putra et al. 2018; Singh et al. 2019; Resende et al. 2020 e Goli et al. 2018) e corroboram com a caracterização estrutural obtida por DRX.

Partindo das observações e constatações obtidas experimentalmente durante o desenvolvimento do trabalho, optou-se pela amostra de pó à 900°C (C900) para realização dos testes catalíticos via planejamento experimental, devido a maior estabilidade apresentada por esta amostra em se manter por mais tempo na fase única do CaO desejada.

Analisando os resultados (Figura 4), verificou-se que as conversões alcançadas do óleo de algodão em biodiesel variaram de 10% (Teste 8) até 85% (Teste 5), dependendo das condições praticadas. Observa-se que o CaO quando testado como catalisador heterogêneo apresentou boa atividade catalítica, chegando a conversão máxima de 85,41% quando foi utilizado 5% do pó obtido por calcinação das cascas de ovos de galinha, sendo a razão molar óleo/álcool 1:9, durante 2 horas.

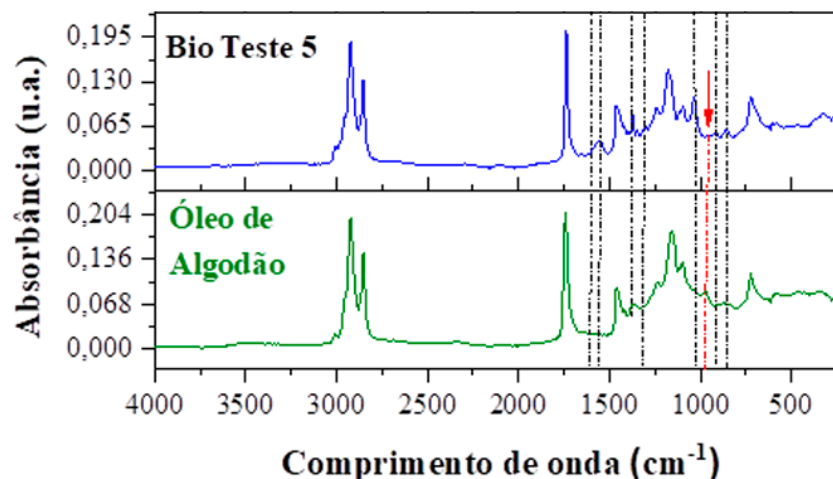
FIGURA 4. CONVERSÕES EM ÉSTERES OBTIDAS NAS ANÁLISES DE CROMATOGRAFIA GASOSA PARA OS TESTES CATALÍTICOS DE 1 A 8 USANDO O CaO ORIUNDO DAS CASCAS DE OVOS DE GALINHA.



FONTE: Autores, 2021.

Por meio da interpretação dos espectros, foi possível verificar as bandas de absorção referentes aos grupos funcionais que auxiliaram na identificação das amostras de óleo de algodão e dos biodieseis que apresentaram melhores conversões. Na Figura 5 está ilustrado o espectro de FTIR do óleo de algodão refinado comparado ao seu respectivo biodiesel obtido, sendo possível observar a intensificação e o surgimento de bandas, as quais são características dos produtos reacionais obtidos (biodiesel).

FIGURA 5. ESPECTROS NA REGIÃO DO INFRAVERMELHO DO ÓLEO DE ALGODÃO E O MELHOR BIODIESEL OBTIDO (% CONVERSÃO) USANDO O CaO ORIUNDO DAS CASCAS DE OVOS DE GALINHA.



FONTE: Autores, 2021.

Os espectros do óleo e dos biodieseis de algodão apresentaram estruturas similares as obtidas no estudo de Stossberg (2018). As bandas localizadas na região de $1500-900\text{ cm}^{-1}$, são características da região conhecida como “impressão digital” do espectro, que discrimina o biodiesel de sua fonte (LASKAR et al., 2018).

As absorções com fortes intensidades em 2800 cm^{-1} a 3000 cm^{-1} que estão presentes no óleo de algodão e nos biodieseis, podem estar relacionadas ao estiramento assimétrico de grupos como o CH_2 e CH_3 (STOSSBER, 2018). Outras bandas destacadas estão na região em torno de 1750 cm^{-1} são atribuídas às vibrações do grupo carbonila $\text{C}=\text{O}$ (CASTRO, 2017; SANTOS, 2016; STOSSBER, 2018). As absorções entre 1000 cm^{-1} e 1600 cm^{-1} ilustram o processo de transesterificação, e as bandas em torno de 1400 cm^{-1} e 1180 cm^{-1} são características da deformação de $\text{O}-\text{CH}_2$ e $\text{O}-\text{CH}_3$ (STOSSBER, 2018). A absorção na região de 983 cm^{-1} descreve a deformação das ligações insaturadas ($\text{HC}=\text{CH}$) (CASTRO, 2017).

Observou-se pico de absorbância obtido em aproximadamente 1200 cm^{-1} , que esteve ausente no espectro do óleo de algodão, sendo atribuído ao alongamento de $\text{O}-\text{CH}_3$, confirmando a formação do biodiesel (LASKAR et al., 2018). Foi observada a presença de banda na frequência de 724 cm^{-1} , tal banda está relacionada com as vibrações de flexão dos grupos $-\text{HC}=\text{CH}-(\text{cis})$, que é uma banda característica de ácidos graxos insaturados de cadeia longa (LEITE et al., 2019).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento do CaO oriundo da casca de ovo de galinha foi obtido com sucesso através da calcinação em diferentes temperaturas utilizando forno mufla. Por meio da caracterização da difração de raios X verificou-se que a partir da temperatura de 800°C ocorre a completa transformação de carbonato de cálcio em óxido de cálcio.

O planejamento experimental permitiu estudar a influência das variáveis na reação de transesterificação, possibilitando avaliar o sistema de maneira multivariada, levando a identificação das variáveis que influenciaram significativamente o sistema experimental.

A atividade catalítica do catalisador à 900°C foi verificada por meio da reação de transesterificação etílica do óleo de algodão, sendo que dentro dos 8 ensaios realizados o melhor resultado alcançou uma conversão em ésteres de 85,41% nas condições de 5% de catalisador, razão molar óleo/álcool 1:9 por 2 horas.

Conclui-se que foi possível obter CaO da casca de ovo de galinha, revelando-se uma fonte potencial de catalisador heterogêneo sustentável para produção de biodiesel, e assim agregando valor a um resíduo pouco valorizado, que geralmente é descartado em aterro sanitário.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (ANP). Resolução ANP nº 51, de 25 de novembro de 2015. Disponível em: < <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=310514>>. Acessado em: 18 de Janeiro de 2021.

ALVES, B. T. S.; ALBUQUERQUE, J. S.; QUEIROZ, R. N.; SOUSA, B. V.; ALVES, J. J. N.; BRITO, A. L. F. (2017). Síntese direta do catalisador CeO₂-SBA-15 para reação de transesterificação do óleo de soja. *In: IX Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás, 2017, Maceió. 9º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás, 2017.*

CASTRO, L. D. S.; BARAÑANO, A. G. (2018). Aplicação do CaO oriundo da casca de ovo de galinha para a produção de biodiesel: uma revisão. *Revista Eletrônica Perspectivas da Ciência e Tecnologia - ISSN: 1984-5693, 10, 182.*

CASTRO, K. S. (2017). Produção de biodiesel a partir do óleo de girassol através da transesterificação por rota metálica, utilizando KI/Zeólita Natural. 2017. 75 f.: il. Monografia (graduação) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Ciências Exatas da Terra, Instituto de Química. Natal, RN, 2017.

DIAS, A. P. S.; RAMOS, M. (2021). On the storage stability of CaO biodiesel catalyst. Hydration and carbonation poisoning. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, v. 9, n.1, 104917.

FACCIO, M. T.; KAIC, F.; PEREIRA, D.; FEDERAL, U.; GRANDE, C.; FEDERAL, U.; GRANDE, R.; MEC, E.; TRIBOL, E.; OS, R. (2015). Síntese e caracterização de citrato de níquel pelo método polimerizante. v. 4, n. 1, 24-39.

FAROOQ, M., RAMLI, A., NAEEM, A., MAHMOOD, T., AHMAD, S., HUMAYUN, M., & ISLAM, M. G. U. (2018). Biodiesel production from date seed oil (*Phoenix dactylifera* L.) via egg shell derived heterogeneous catalyst. *Chemical Engineering Research and Design*, 132, 644–651.

FOROUTAN, R., MOHAMMADI, R., ESMAEILI, H., MIRZAEI BEKTASHI, F., & TAMJIDI, S. (2020). Transesterification of waste edible oils to biodiesel using calcium oxide@magnesium oxide nanocatalyst. *Waste Management*, 105, 373–383.

GOH, B. H. H.; ONG, H. C.; CHEAH, M. Y.; CHEN, W. H.; YU, K. L.; MAHLIA, T. M. I. Sustainability of direct biodiesel synthesis from microalgae biomass: A critical review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 107, p. 59-74, 2019.

GOLI, J. e SAHU, O. (2018). Development of heterogeneous alkali catalyst from waste chicken eggshell for biodiesel production. *Renewable Energy*, 128, 142–154.

HOANG A. T.; MEISAM TABATABAEI; MORTAZA AGHBASHLO; ANTONIO PAOLO CARLUCCI; AYKUT I. ÖLÇER; ANH TUAN LE; ABBAS GHASSEMI. (2021). Rice bran oil-based biodiesel as a promising renewable fuel alternative to petrodiesel: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Volume 135, 2021, 110204.

KIRUBAKARAN, K., & ARUL MOZHI SELVAN, V. (2018). Eggshell as heterogeneous catalyst for synthesis of biodiesel from high free fatty acid chicken fat and its working characteristics on a CI engine. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 6(4), 4490–4503.

LASKAR, I. B., RAJKUMARI, K., GUPTA, R., CHATTERJEE, S., PAUL, B., & ROKHUM, L. (2018). Waste snail shell derived heterogeneous catalyst for biodiesel production by the transesterification of soybean oil. *RSC Advances*, v. 8, n. 36, 20131-, 20142.

LEITE, A. I. N.; PEREIRA, C. G.; ANDRADE, J.; VICENTINI, N. M.; BELL, M. J. V.; ANJOS, V. (2019). FTIR-ATR spectroscopy as a tool for the rapid detection of adulterations in butter cheeses. *LWT - Food Science and Technology*, v. 109, p. 63-69, 2019.

LIRA, A. S. DE. (2018). Estudo da cinética e do equilíbrio da adsorção de corante Têxtil sobre a farinha de casca de ovos. 54f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) - Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2018.

OLKIEWICZ, M.; TORRES, C. M.; JIMÉNEZ, L.; FONT, J.; BENGOA, C. Scale-up and economic analysis of biodiesel production from municipal primary sewage sludge. *Bioresource technology*, v. 214, p. 122-131, 2016.

PANAGIOTOU, E., KAFA, N., KOUTSOKERAS, L., KOUIS, P., NIKOLAOU, P., CONSTANTINIDES, G., & VYRIDES, I. (2018). Turning calcined waste egg shells and wastewater to Brushite: Phosphorus adsorption from aqua media and anaerobic sludge leach water. *Journal of Cleaner Production*, 178, 419–428.

PANDIT, P. R., & FULEKAR, M. H. (2017). Egg shell waste as heterogeneous nanocatalyst for biodiesel production: Optimized by response surface methodology. *Journal of Environmental Management*, 198, 319–329.

PUTRA, M. D., IRAWAN, C., UDIANTORO, RISTIANINGSIH, Y., & NATA, I. F. (2018). A cleaner process for biodiesel production from waste cooking oil using waste materials as a heterogeneous catalyst and its kinetic study. *Journal of Cleaner Production*, 195, 1249– 1258.

RESENDE, I. T. F. DE, ANDRADE, V. C. V., CORIOLANO, D. L., OLIVEIRA, A. C. DE M., GONÇALVES, D. P., YERGA, R. M. N., FIERRO, J. L. G., BILAL, M., BHARAGAVA, R. N., ROMANHOLO FERREIRA, L. F., ALSINA, O. L. S. DE, FIGUEIREDO, R. T. (2020). Use of a solar low-cost open-source controlled plant for WCOEE synthesis based on eggshell catalyst. *Bioresource Technology Reports*, 11 2019, 100430.

SANTOS, J., SANTOS, M. S., PACHECO, E. A., SIMONNE, T., SANTOS, M., OLIVEIRA, A., SOUZA, D., FRANCISCO, C. (2019). Oxidação do azul de metileno empregando óxido de ferro suportado em carvão produzido a partir da pirólise lenta da casca da pachira aquatica aubl. 3, 3–6.

SANTOS, M. F. V. (2016). Produção de biodiesel por Transesterificação Utilizando Catalisador Heterogêneo (KOH/Al₂O₃). 2016. 95f. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

SINGH, T. S., & VERMA, T. N. (2019). Taguchi design approach for extraction of methyl ester from waste cooking oil using synthesized CaO as heterogeneous catalyst: Response surface methodology optimization. *Energy Conversion and Management*, v. 182, p. 383-397, 2018.

STOSSBERG, MISSON MARQUES. (2018). Produção de biodiesel a partir da reação de transesterificação por rota metálica utilizando óxido bimetálico (Ca/Nb). 2019. 74 f.: il. Monografia (graduação) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Ciências Exatas da Terra, Instituto de Química, Curso de Química Bacharelado. Natal, RN, 2018.