

## PRODUÇÃO DE BIODIESEL A PARTIR DE CATALISADORES HETEROGÊNEOS DOPADOS COM TRIÓXIDO DE ALUMÍNIO

Ruth Nóbrega Queiroz <sup>1</sup>  
Joyce Salviano Barros de Figueiredo <sup>2</sup>  
Bruno Taveira da Silva Alves <sup>3</sup>  
Bianca Viana de Sousa Barbosa <sup>4</sup>

### RESUMO

Mudanças ambientais e socioeconômicas, bem como o aumento da demanda energética, tem impulsionado o desenvolvimento de fontes energéticas renováveis, diante disso, o biodiesel apresenta-se como uma alternativa aos combustíveis fósseis, por ser renovável, biodegradável e não-tóxico. A produção de biodiesel por meio da catálise heterogênea surge da tentativa de superar as limitações apresentadas pelo processo industrial. A SBA-15 tem sido utilizada como suporte catalítico para o desenvolvimento de catalisadores heterogêneos. A incorporação do trióxido de alumínio à estrutura da SBA-15 permite aumentar a atividade catalítica, bem como melhorar desempenho na reação de transesterificação. Este trabalho visa avaliar o potencial catalítico da SBA-15 dopada com alumínio estrutural na reação de transesterificação metílica do óleo de soja. O catalisador  $Al_2O_3$ -SBA-15 foi sintetizado pelo método de síntese direta com a seguinte composição molar: 1  $SiO_2$ : 0,017  $P_{123}$ : 0,054  $Al_2O_3$ : 4,961 HCl: 35,428 ETOH. O catalisador foi caracterizado por meio da análise termogravimétrica, difratometria de raios-X e microscopia eletrônica de varredura. As propriedades estruturais indicaram a obtenção de uma estrutura mesoporosa com ordenamento hexagonal, característico da SBA-15. O catalisador foi aplicado na reação de transesterificação, com percentuais de catalisador de 3% e 5%, razão óleo/álcool de 1:20, à 150 °C e tempos reacionais de 2 e 4h. Os óleos obtidos foram avaliados por meio das técnicas de cromatografia gasosa, densidade e índice de acidez. O melhor resultado foi obtido pela reação com tempo de 4h e percentual de 3%.

**Palavras-chave:** Biocombustíveis, Reação de transesterificação, Catálise heterogênea, SBA-15.

### INTRODUÇÃO

O aumento do consumo energético, aliado com o possível fim dos recursos fósseis, traz à tona a necessidade de se utilizar fontes de geração de energia limpa. Diante disto, o uso de fontes renováveis, bem como, a diversificação da matriz energética nacional passaram a ganhar cada vez mais destaques no campo da ciência e tecnologia (OLIVEIRA *et al.*, 2018).

<sup>1</sup>Graduanda do Curso de Engenharia Química da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, [ruth.queiroz14@hotmail.com](mailto:ruth.queiroz14@hotmail.com);

<sup>2</sup>Graduanda do Curso de Engenharia Química da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, [joyce.barros24@hotmail.com](mailto:joyce.barros24@hotmail.com);

<sup>3</sup>Doutorando do Curso de Engenharia Química da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, [brunotdsa@gmail.com](mailto:brunotdsa@gmail.com);

<sup>4</sup>Professora orientadora: Doutora, Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, [biancavianaeg@gmail.com](mailto:biancavianaeg@gmail.com).

O biodiesel tem se destacado no cenário atual por ser um combustível limpo, produzido através da reação de um óleo vegetal ou gordura animal com monoálcool (metanol ou etanol) na presença de um catalisador (SUAREZ *et al.*, 2007). Por ser não tóxico e mais ecológico que o diesel comum, quando misturado ao mesmo, o biodiesel melhora a eficiência mecânica de motores, além de contribuir para a redução das emissões dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), que é o principal causador da chuva ácida (SURESH *et al.*, 2018).

Industrialmente, principal rota de obtenção do biodiesel, no Brasil e no mundo, se dá por meio da reação de transesterificação de triglicerídeos a partir da utilização de um catalisador homogêneo, geralmente uma base forte como o hidróxido de sódio (NaOH). No entanto, esse processo de produção requer o emprego de etapas onerosas de separação e purificação, o que acaba aumentando o custo total de produção do biodiesel. À vista disso, o uso de catalisadores heterogêneos para a produção de biodiesel têm se apresentado como uma alternativa para aumentar a autossustentabilidade do processo (TREMILIOSI, 2009).

A peneira molecular SBA-15, têm sido utilizadas como suporte catalítico para o desenvolvimento de catalisadores heterogêneos, por apresentar em sua estrutura mesoporos com arranjos hexagonais uniformes e paredes espessas da ordem de 3,1 – 6,4 nm, o que proporcionam uma maior estabilidade térmica e hidrotérmica quando comparada com sílica mesoporosa MCM-41 (ZHAO *et al.*, 1998).

No entanto, a SBA-15 é uma sílica amorfa que não possui sítios catalíticos ativos, o que faz com que a mesma apresente baixa atividade catalítica, dessa forma, faz-se necessário a incorporação de heteroátomos a sua estrutura (TAGUCHI e SCHUTH, 2005). Sílicas mesoporosas dopadas com trióxido de alumínio (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) têm sido muito aplicadas na catálise ácida, pois as mesmas exibem forte acidez de Brønsted, além de contribuir para o aumento do tamanho de poro e a elevação da estabilidade térmica e hidrotérmica (KOEKKOEK *et al.*, 2012).

Neste contexto, este trabalho tem como objetivo avaliar o potencial catalítico da peneira molecular SBA-15 dopada com trióxido de alumínio estrutural na reação de transesterificação metílica do óleo de soja.

## **METODOLOGIA**

### **Síntese direta do catalisador Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SBA-15**

A síntese do catalisador Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SBA-15 foi realizada por meio da adaptação da metodologia descrita por Li *et al.* (2016) e Zhao *et al.* (1998). A amostra Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SBA-15

preparada, apresenta a seguinte composição molar: 1 SiO<sub>2</sub>: 0,017 P<sub>123</sub>: 0,054 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: 4,961 HCl: 35,428 ETOH.

Inicialmente, foi preparada a solução 1, a qual, dissolveu-se o P<sub>123</sub> em uma solução de HCl (1,6M), sobre agitação contínua à 35 °C, até a completa dissolução do P<sub>123</sub>. Em seguida, gotejou-se o TEOS ao meio reacional sobre agitação contínua à 35 °C até obter uma mistura homogênea. Paralelamente, foi preparada a solução 2, a qual, dissolveu-se o precursor metálico do alumínio ((Al(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>.9H<sub>2</sub>O) em etanol e em uma solução de HCl (1,6M), sobre agitação magnética à 35 °C, até a completa dissolução do precursor metálico do alumínio.

Após essa etapa, as soluções 1 e 2 foram misturadas e submetidas à agitação em um rotoevaporador por 24 horas à 40 °C. O material obtido foi transferido para cadinhos de teflon e inserido em autoclaves de aço inoxidável, os quais foram levados à estufa por 48 horas à 100 °C. Em seguida, o material foi resfriado até a temperatura ambiente, lavado com água deionizada até atingir pH=7 e seco em estufa à 100 °C. Após a síntese, o material obtido foi calcinado sob fluxo de ar, da temperatura ambiente até 550 °C com taxa de aquecimento de 5 °C.min<sup>-1</sup> e com fluxo de 150 mL.g.cat<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup> permanecendo nestas condições por 6 horas.

### **Caracterização dos catalisadores**

Análise termogravimétrica (TG/DrTG): A análise térmica foi realizada utilizando um Thermogravimetric Analyzer TGA-51 Shimadzu acoplado a um computador monitorado pelo Software TA-60 WS Collection Monitor. As amostras foram analisadas na escala de 25 a 1000 °C, a uma taxa de aquecimento de 5 °C.min<sup>-1</sup> e uma taxa de fluxo de ar de 50 mL.min<sup>-1</sup>.

Difratometria de Raios-X: Foi realizada a partir do método de pó, utilizado o equipamento SHIMADZU XRD-6000® com radiação CuK $\alpha$ , operando à uma tensão de 40 kV, uma de corrente 30 mA, tempo por passo de 0,60s e varredura de 2 $\theta$ = 0,5° à 10° e 2 $\theta$ = 1,5° à 60°.

Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV): Essa análise foi realizada utilizando o equipamento SHIMADZU SSX-55, com ampliação de 1000x e 2000x.

### **Avaliação catalítica**

Os catalisadores foram aplicados na reação de transesterificação metílica do óleo de soja, com temperatura de 150 °C, razão óleo/álcool de 1:20, percentual de catalisador na reação de 3% e 5% e tempo reacional de 2 e 4h, como condições reacionais fixas.

Inicialmente, o catalisador, o óleo de soja e o álcool (metanol) foram adicionados ao reator, utilizando as condições operacionais fixas e as descritas na Tabela 2. Após o término da reação, a mistura foi colocada em um funil de decantação, por 24h para que houvesse a

completa separação das fases. Posteriormente, removeu-se a glicerina e o catalisador e iniciou-se as etapas de lavagem do óleo obtido, a qual, primeiramente foi adicionado ao funil de decantação 15 mL de uma solução aquosa de ácido clorídrico à 10%, após 15 min removeu-se a fase aquosa e repetiu-se a lavagem. Este procedimento foi realizado, também, com água deionizada, até que o produto da reação atingisse pH=7. Em seguida, o produto foi submetido, à etapa de secagem com sulfato de magnésio (MgSO<sub>4</sub>), após esta etapa, o mesmo foi centrifugado e em seguida, o óleo obtido foi caracterizado.

### **Caracterização do óleo obtido**

Cromatografia gasosa: Foi realizada com intuito de determinar os percentuais de ésteres metílicos de ácidos graxos nas amostras de biodiesel. Para isso, utilizou o equipamento cromatógrafo a gás, da marca Shimadzu, modelo CG 2010 Plus, acoplado com detector de ionização em chama (FID), injetor split/splitless, autoinjeter AOC-20i e coluna RTX-WAX com dimensão de 30 m de comprimento, 0,32 µm de diâmetro e 0,25 µm de espessura do filme (Restek Corporation).

Massa específica (densidade): Para a determinação da massa específica utilizou-se o equipamento da marca Anton Paar Density Master DMA 4100 M. O resultado de densidade foi feito com precisão de  $5 \times 10^{-5}$  g.cm<sup>-3</sup> a temperatura de 20 °C.

Índice de acidez (IA): Em um erlenmeyer 2 gramas de Biodiesel e adicionou 25 mL de solução de éter etílico e álcool etílico (2:1). Agitou-se a mistura e adicionou-se duas gotas do indicador fenolftaleína. Titulou-se a amostra com NaOH 0,1 M até a mudança de coloração. A partir do volume de KOH gasto na titulação, calculou-se o índice de acidez pela Equação 1:

$$IA = ((V_a - V_b) \cdot C_b \cdot MM_{base}) \cdot P^{-1} \quad (1)$$

Em que: *IA* = índice de acidez (mg de KOH/g de óleo); *V<sub>a</sub>* = volume de KOH gasto na titulação (mL); *V<sub>b</sub>* = volume de KOH gasto na prova em branco (mL); *C<sub>b</sub>* = concentração da base; *MM<sub>base</sub>* = Massa molar da base (g.mol<sup>-1</sup>); *P* = peso da amostra (g).

### **DESENVOLVIMENTO**

O conceito de matriz energética está relacionado a um conjunto de recursos utilizados por um país para o fornecimento da energia necessária para realização de seus processos produtivos, podendo tanto ser utilizada para a geração de energia elétrica, quanto no setor de transportes e industrial (LIMA e GONÇALVES, 2016).

O Brasil tem apresentado um grande potencial para o uso de energias renováveis, devido aos excelentes níveis de irradiação solar, disponibilidade de ventos, com características constantes e unidirecionais, bem como, a capacidade de produção de biomassa (FEITOSA, 2016).

Segundo dados do Balanço Energético Nacional da Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2018), tendo por base o ano de 2017, as fontes renováveis de energia representaram 42,9% da matriz energética nacional. Estima-se que até 2023, as fontes renováveis de energia representem 84% da matriz energética brasileira (OLIVEIRA *et al.*, 2018).

Dentre as fontes de energia renováveis, o uso da biomassa tem se destacado por apresentar um atrativo potencial para o desenvolvimento de biocombustíveis, o que contribui para a consequente redução da dependência por combustíveis fósseis (SANTOS *et al.*, 2017).

As propriedades químicas e físicas do biodiesel estão diretamente associadas a matéria-prima utilizada para a produção do mesmo. Por ser detentor de uma grande extensão territorial, o Brasil apresenta uma ampla diversidade de matérias-primas para a produção de biodiesel, como a soja, o girassol, o milho, o pinhão manso, o caroço de algodão, a canola, entre outros, além das de origem animal como o sebo bovino e as gorduras de frango e de suínos (RAMOS *et al.*, 2017).

De acordo com dados apresentados pelo Boletim Mensal do Biodiesel, divulgados pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), em fevereiro de 2017, 64,84% do biodiesel produzido no Brasil durante o mês de janeiro de 2017 foi proveniente do óleo de soja.

De acordo com Gui *et al.* (2008), as propriedades do biodiesel variam de acordo com a composição dos ácidos graxos da matéria-prima. No entanto, o produto deve apresentar propriedades similares às do diesel de petróleo, podendo assim ser utilizado em motores do ciclo diesel sem que haja a necessidade de grandes ajustes no motor.

A transesterificação de triglicerídeos tem importância estratégica para o setor energético, uma vez que os ésteres metílicos ou etílicos (biodiesel) produzidos estão se tornando um substituto renovável do diesel de petróleo (GARCIA, 2006).

Segundo Suarez *et al.* (2007), devido à reversibilidade das reações envolvidas na transesterificação faz-se necessário o emprego de um excesso de álcool ao meio reacional para deslocar o equilíbrio para o lado dos produtos, promovendo assim um aumento no rendimento em ésteres.

Meneghetti *et al.* (2013) destacam que normalmente a transesterificação é realizada na presença de metanol como agente de alcoólise, pois a reação ocorre com maior eficiência na presença desse álcool. Por outro lado, o uso do etanol, apesar das taxas de reação mais lentas, quando comparadas ao metanol, torna-se atrativo sob o ponto de vista estratégico e ambiental, por apresentar baixa toxicidade, podendo ser produzido a partir de fontes renováveis, como a cana de açúcar.

O uso de catalisadores heterogêneos possibilita a produção de biodiesel de forma mais viável, economicamente, visto que o emprego desses catalisadores permite simplificar os processos de tratamentos dos produtos, facilitando a separação da glicerina, como também, permitindo que os mesmos sejam facilmente removidos do sistema no fim da reação, podendo assim serem reutilizados (TREMILIOSI, 2009).

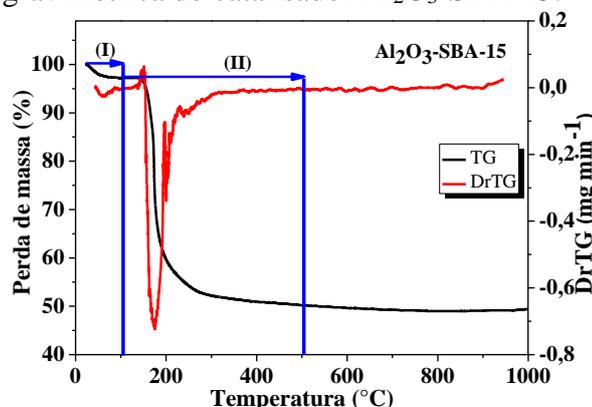
Catalisadores de óxidos metálicos, como por exemplo o óxido de alumínio, possuem em sua estrutura um íon metálico positivo (cátion) que atua como ácido de Lewis e um íon de oxigênio negativo (ânion) que atua como base de Brönsted. Tal característica contribui para melhorar a atividade catalítica dos materiais mesoporosos, que possuem uma estrutura neutra, resultando num aumento das características ácidas do material (GALVÃO, 2012).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Análise termogravimétrica (TG/DrTG)

A Figura 1 apresenta a curva termogravimétrica do catalisador  $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SBA-15}$ , a partir da qual foi possível determinar a temperatura de decomposição do sal precursor do alumínio.

**Figura 1** - Curva termogravimétrica do catalisador  $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SBA-15}$ .



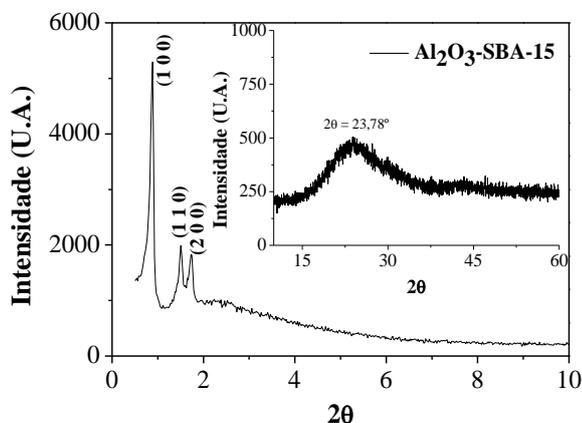
Pela Figura 1, é possível observar que a perda de massa ocorre por meio de dois eventos distintos. No primeiro evento, na faixa de temperatura de 28 à 102°C, ocorre uma

perda de massa de 2,93%, corresponde a perda da água fisissorvida e do etanol presentes na cavidade porosa da peneira molecular. No segundo evento que vai da faixa de 102 à 502°C ocorre uma perda de massa de 46,94%, corresponde a eliminação das moléculas do direcionador estrutural Pluronic P<sub>123</sub>, como também, a decomposição do sal precursor do alumínio (MARINHO, 2016).

### Difratometria de raios-X (DRX)

A Figura 2 apresenta o difratograma do catalisador Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SBA-15.

**Figura 2** - Difratograma de raios-X do catalisador Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SBA-15.



A partir do difratograma de  $2\theta = 0-10^\circ$  da Figura 2, pode-se observar a presença de três picos correspondentes às reflexões características de materiais mesoporosos com estrutura hexagonal ordenada do tipo SBA-15. Observa-se que o catalisador sintetizado apresenta a reflexão principal, referente ao índice de Miller (1 0 0), indicando assim, a obtenção de um material com uma estrutura hexagonal, os picos de menores intensidades são atribuídos às reflexões dos planos (1 1 0) e (2 0 0), descritos por Zhao *et al.* (1998) como picos característicos de uma estrutura com ordenamento bem definido.

A partir do difratograma de  $2\theta = 10-60^\circ$  da Figura 2, observa-se que em  $2\theta = 23,78^\circ$ , o catalisador apresenta uma região parcialmente amorfa característica de materiais de sílica amorfos, do tipo SBA-15. Além disso, não foi possível detectar os picos característicos do óxido de alumínio, sugerindo assim, que os mesmos estão incorporados na estrutura mesoporosa da SBA-15. Cabrera-Munguia *et al.* (2017) obtiveram resultados similares ao deste trabalho ao sintetizarem Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SBA-15 onde verificaram que houve ausência de picos do trióxido de alumínio (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) indicando a incorporação dos átomos de alumínio na

estrutura da SBA-15, substituindo os átomos de Si na rede cristalina da SBA-5. A Tabela 1 mostra os parâmetros cristalográficos do Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SBA-15.

**Tabela 1** - Parâmetros cristalográficos do catalisador Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SBA-15.

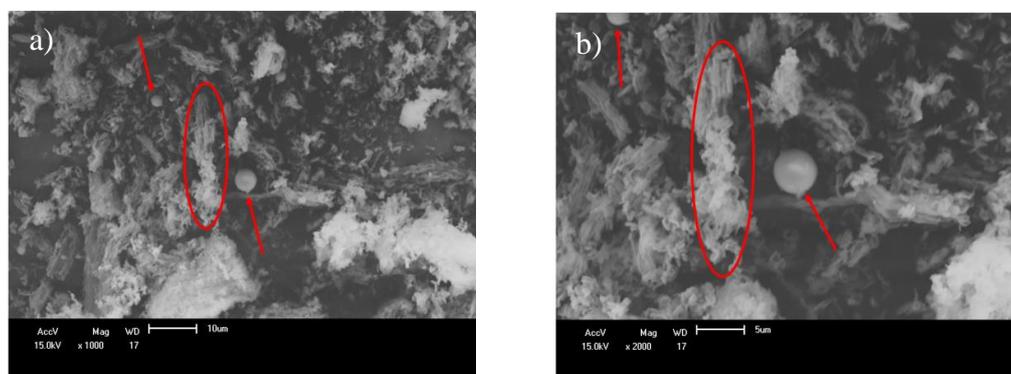
Peneira Molecular	2θ	hkl <sup>a</sup>	d <sub>100</sub> (Å) <sup>b</sup>	a <sub>0</sub> (Å) <sup>c</sup>
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -SBA-15	0,889	(1 0 0)	99,956	115,419

Zhao *et al.* (1998) obtiveram uma distância interplanar  $d_{100} = 95,7 \text{ \AA}$  e um parâmetro de célula unitária ( $a_0$ ) = 110  $\text{\AA}$ . Comparando esses valores com os apresentados na Tabela 1, observa-se que estes são maiores que os obtidos por Zhao *et al.* (1998) o que indica que o alumínio pode estar incorporado no interior das paredes da SBA-15.

### Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

A Figura 3 (a, b) apresenta a micrografia do material mesoporoso Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SBA-15, com ampliação de 1000x e 2000x, respectivamente.

**Figura 3** – Microscopia eletrônica de varredura da Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SBA-15 a) com ampliação de 1000x e b) com ampliação de 2000x.



A partir da micrografia, Figura 3 (a, b), observa-se a presença de partículas de formato esférico (como indicado pelas setas), que caracteriza a estrutura morfológica da SBA-15. Morfologia semelhante foi observada por Queiroz (2017), que em seu trabalho, obteve a peneira molecular SBA-15 utilizando o etanol como co-solvente, sobre agitação por 20 horas e com temperatura de cristalização de 80 °C.

Pela Figura 3 (a, b), observa-se também a presença de fibras, com aspecto de “cordas entrelaçadas”, sendo assim, possível perceber que a alumina modifica a morfologia da peneira molecular SBA-15, como observado por Marinho (2016), que em sua pesquisa, sintetizou as

peneiras moleculares SBA-15 e Al-SBA-15 pelo método hidrotérmico convencional variando a razão Si/Al de 10, 25, 50, 75 e 100.

### Caracterização dos ésteres metílicos

Os resultados de conversão dos triacilglicerídeos em ésteres metílicos, densidade e índice de acidez obtidos para os ensaios com percentual de catalisador de 3% e tempo reacional de 2 e 4h, bem como, os ensaios com percentual de 5% e tempo reacional de 2 e 4h, denominados Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SBA-15 (3%, 2h), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SBA-15 (3%, 4h), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SBA-15 (5%, 2h) e Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SBA-15 (5%, 4h), respectivamente, bem como os valores dos parâmetros estabelecido pela ANP N° 51 de 25/11/2015 são apresentados na Tabela 2.

**Tabela 2** - Resultados das análises de cromatografia gasosa, densidade e índice de acidez.

Catalisador (Percentual de catalisador, tempo de reação)	Conversão (%)	Densidade (Kg · m <sup>-3</sup> )	Índice de Acidez (mgKOH · g <sup>-1</sup> )
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -SBA-15 (3%, 2h)	2,9	913,0	0,0
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -SBA-15 (3%, 4h)	26,5	911,0	0,0
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -SBA-15 (5%, 2h)	3,6	912,5	0,0
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -SBA-15 (5%, 4h)	14,8	911,0	0,0

Resolução ANP N° 51: Conversão de ésteres (%): >96,5; Massa específica (Kg · m<sup>-3</sup>): 850 – 900; Índice de acidez (mgKOH · g<sup>-1</sup>): 0,50.

A partir dos dados apresentados na Tabela 2 pode-se observar que houve a formação de baixas concentrações em ésteres metílicos, que podem ser atribuídas à vários fatores, dentre os quais destacam-se: às condições reacionais adotadas, uma vez que o rendimento da reação de transesterificação pode ser diretamente afetado por tais fatores. A conversão de ésteres metílicos obtidos também pode estar associada a baixa concentração de sítios ácidos no catalisador, o que por sua vez, não foram suficientes para converter os triglicerídeos presentes no óleo de soja em ésteres. Segundo Marinho (2016), a concentração global de sítios ácidos refletem na atividade do catalisador na reação de transesterificação.

A partir da Tabela 2, verificou-se também que os dados de densidade obtidos encontram-se fora das especificações estabelecidas pela ANP, e estão em concordância com as conversões de ésteres metílicos. Lôbo *et al.* (2009) afirma que a densidade do biodiesel está diretamente ligada com a estrutura das suas moléculas. Quanto maior o comprimento da cadeia carbônica do alquiléster, maior será a densidade. Os ensaios apresentaram índice de

acidez igual a zero, indicando que não houve modificação na acidez do óleo de soja, sugerindo que o óleo obtido não apresenta ácidos graxos livres.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos difratogramas de raios-X comprovou-se a obtenção de uma estrutura hexagonal típica da SBA-15 e a incorporação do óxido de alumínio, na estrutura da peneira molecular SBA-15. Por meio das micrografias confirmou-se a obtenção da estrutura morfológica da SBA-15, bem como, observou-se a influência da alumina na morfologia da peneira molecular. O óleo obtido apresentou baixas concentrações de ésteres metílicos. Verificou-se também que os valores de densidade e índice de acidez dos ésteres metílicos encontram-se fora das especificações estabelecidas pela ANP (2015).

## REFERÊNCIAS

ANP- AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. **Boletim mensal do biodiesel (2017)**. Disponível em: <[http://www.anp.gov.br/images/publicacoes/boletinsanp/Boletim\\_Mensal\\_do\\_Biodiesel/2017/Boletim\\_Biodiesel\\_FEVEREIRO\\_2017.pdf](http://www.anp.gov.br/images/publicacoes/boletinsanp/Boletim_Mensal_do_Biodiesel/2017/Boletim_Biodiesel_FEVEREIRO_2017.pdf)>. Acesso em: 08 mai. 2019.

ANP- AGENCIA NACIONAL DE PETROLEO, GAS NATURAL E BIOCOMBUSTIVEIS. **Resolução ANP Nº. 51, de 25 de novembro de 2015**. Disponível em: <<https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=310514>>. Acessado em: 30 de agosto de 2019.

CABRERA-MUNGUÍA, D. A; GONZÁLES, H; GUTIÉRREZ-ALEJANDRE, A. G; RICO, J. L; ACUÑA, R. H; MAYA-YESCAS, R; RÍO, R.E. Heterogeneous acid conversion of a tricaprilyn-palmitic acid mixture over Al-SBA-15 catalysts: Reaction study for biodiesel synthesis. **Catalysis today**, v. 282, p.195 – 203, 2017.

EPE- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balço Energético Nacional (2018)**. Disponível em :[http://epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao303/topico419/BEN2018\\_\\_Int.pdf](http://epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao303/topico419/BEN2018__Int.pdf). Acesso em: 24 abr. 2019.

FEITOSA, A. Energias Renováveis: O imenso potencial Brasileiro! **Revista Exame**, São Paulo, 11 mar. 2016. Disponível em: <https://exame.abril.com.br/negocios/dino/energias-renovaveis-o-imenso-potencial-brasileiro-dino89081876131/>. Acesso em: 24 abr. 2019.

GALVÃO, Luzia Patrícia Fernandes de Carvalho. **Síntese e caracterização de óxidos de zinco e de magnésio suportados em AISBA-15 para a produção de biodiesel**. 2012. Tese (Doutorado em Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2012.

GARCIA, Camila Martins. **Transesterificação de óleos vegetais**. 2006. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006.

GUI, M. M.; LEE, K. T.; BHATIA, S. Feasibility of edible oil vs. non-edible oil vs. waste edible oil as biodiesel feedstock. **Energy**, v. 33, n. 11, p. 1646-1653, 2008.

KOEKKOEK, A. J. J.; ROB VAN VEEN, J. A.; GERTISEN, P. B.; GILTAY, P.; MAGUSIN, P. C. M. M.; HENSEN, E. J. M., Brønsted acidity of Al/SBA-15. **Microporous and Mesoporous Materials**, v.151, p. 34-43, 2012.

LI, M.; LIU, N.; WU, Z.; LI, Y.; LI S.; XU, W.; LUO, Z.; LIU Y.; A facile and novel route for dual-template method synthesis of mesoporous silica material Al-Ce-SBA-15. **Materials Letters**, v. 185, p. 85-88, 2016.

LIMA, L. C. A; GONÇÁLVES, P. R. C. “Desafios do desenvolvimento sustentável: estudo sobre as mudanças na matriz energética brasileira”. 2016. Trabalho de conclusão de curso (Bacharel em Engenharia Química) - Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2016.

LÔBO, I. P.; FERREIRA, S. L. C. Biodiesel: parâmetros de qualidade e métodos analíticos. **Química Nova**, v.32, n. 6, p. 1596-1608, 2009.

MARINHO, Janaína Constantino. **Catalisadores do tipo SBA-15 e Al-SBA-15 usados na reação de Transesterificação do óleo de soja com etanol para produção do biodiesel em reator batelada sem agitação**. 2016. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2016.

MENEGHETTI, S. M. P.; MENEGHETTI, M. R.; BRITO, Y. C. A reação de transesterificação, algumas aplicações e obtenção de biodiesel. **Revista Virtual Química**, v. 5, n. 1, p. 63-73, 2013.

OLIVEIRA, A. P. M.; FUGANHOLI, N. S.; CUNHA, P. H. S.; BARELLI, V. A.; BUNEL, M. P. M.; NOVAZZI, L. F. Análise técnica e econômica de fontes de energia renováveis. **The Journal of Engineering and Exact Sciences**, v. 4, n. 1, p. 1-7, 2018.

QUEIROZ, Ruth Nóbrega. **Estudo do desempenho de catalisadores do tipo CeO<sub>2</sub>/SBA-15 na reação de transesterificação do biodiesel**. In: XIV Congresso De Iniciação Científica Da Universidade Federal De Campina Grande, 2017, Campina Grande, PB. **Anais [...]**. Campina Grande: [s. n.], 2017.

RAMOS, L. P.; KOTHE, V.; OLIVEIRA. M. A. F. C.; WYPYCH, A. S. M.; NAKAGAKI, S.; KRIEGER, N.; WYPYCH, F.; CORDEIRO, C. S. Biodiesel: Matérias-Primas, Tecnologias de Produção e Propriedades Combustíveis. **Revista Virtual de Química**, v. 9, n. 1, p. 1-53, 2017.

SANTOS, G. H. F.; NASCIMENTO, R. S.; ALVES, G. M. Biomassa como energia renovável no Brasil. **Revista UNINGÁ Review**, v. 29, n. 2, p. 06-13, 2017.

SUAREZ, P. A. Z.; MENEGHETTI, S. M. P.; MENEGHETTI, M. R.; Wolf, C. R. Transformação de triglicerídeos em combustíveis, materiais poliméricos e insumos químicos: algumas aplicações da catálise na oleoquímica. **Química Nova**, v. 30, n. 3, p. 667-676, 2007.

SURESH, M.; JAWAHAR, C. P.; RICHARD, A. A review on biodiesel production, combustion, performance, and emission characteristics of non-edible oils in variable

compression ratio diesel engine using biodiesel and its blends. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 92, p. 38-49, 2018.

TAGUCHI, A.; SCHUTH, F. Ordered mesoporous materials in catalysis. **Microporous and Mesoporous Materials**, v. 77, n. 1, p. 1-45, 2005.

TREMILIOSI, Guilherme Carvalho. **Estudo comparativo de catalisadores ácidos para a produção de biodiesel**. 2009. Dissertação (Mestrado em Química) – Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

ZHAO, D.; FENG, J.; HUO, Q.; MELOSH, N.; FREDRICKSON, G.H.; CHMELKA, B.F.; STUCKY, G.D. Triblock copolymer Syntheses of mesoporous silica with periodic 50 to 300 angstrom pores. **Science**, v. 279, n. 5350, p. 548-552, 1998.