

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DAS CINZAS DE BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR NO TRATAMENTO DE ÓLEO RESIDUAL

GABRIELA BONASSA¹, LARA TALITA SCHNEIDER², JOEL GUSTAVO TELEKEN³

¹Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola (PGEAGRI) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, R. Universitária, 1619 – Universitário, 85819-170, Cascavel, Paraná, Brasil. gabrielabonassa@gmail.com.

²Programa de Pós Graduação em Engenharia Química – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, R da Faculdade, 645 – Jardim La Salle, 85903-000, Toledo, Paraná, Brasil. laarats@gmail.com.

³Departamento de Engenharias e Exatas – Universidade Federal do Paraná. R Pioneiro, 2153 - Dallas, 85950-000, Palotina, Paraná, Brasil. joel.teleken@ufpr.br

RESUMO: O objetivo do presente trabalho foi avaliar o potencial das cinzas de bagaço e carvão ativado como materiais adsorventes, no tratamento de óleo proveniente do processo de cocção de alimentos, tendo em vista o aprimoramento da qualidade deste, que durante as múltiplas utilizações e altas temperaturas sofre reações de hidrólise e oxidação. As cinzas e o carvão ativado foram caracterizados e empregados no processo de adsorção em condições controladas de agitação, massa de adsorvente e temperatura, variáveis que influenciam na eficiência do processo, avaliando-se o comportamento da acidez do óleo de fritura e comparando o potencial adsorvente de ambos materiais. Os ensaios foram realizados em triplicata, a 26 °C, 125 rpm e 2,50 g de adsorvente, observando-se que a redução de acidez para o carvão ativado foi de 49% e para as cinzas, de 52%. Estes resultados demonstram o potencial de aplicação das cinzas de bagaço para tal tratamento, tendo em vista a possibilidade de reaproveitamento de um material de caráter residual que é gerado em elevadas quantidades e que possui baixo valor agregado.

Palavras-chaves: biocombustíveis, resíduos agroindustriais, adsorção.

POTENTIAL ASSESSMENT OF SUGARCANE BAGASSE ASH IN RESIDUAL OIL TREATMENT

ABSTRACT: The aim of this study was to evaluate the potential of sugarcane bagasse ash and active carbon as adsorbent materials, in the oil treatment oil of food cooking process, with a view to improve the quality, once hydrolysis and oxidation reaction happens during multiple use and high temperatures. The sugarcane bagasse ash and the active carbon were characterized and submitted to the adsorption process in controlled conditions of agitation, adsorbent mass and temperature, variables that influence during the adsorption, evaluated the behavior of the acidity of the frying oil and comparing the adsorbent potential of both materials. The assays were performed in triplicate, at 26 °C, 125 rpm and 2,50 g of adsorbent, and it was observed that the acidity reduction to the activated carbon was 49 % and the ashes, of 52 %. These results demonstrate the potential of the ashes for such treatment, in view of the reuses possibility of a residual material that is generated in high quantities and has low added value.

Keywords: biofuels, agroindustrial waste, adsorption.

1 INTRODUÇÃO

Concomitantemente ao crescimento populacional, alterações climáticas e instabilidade dos preços do petróleo, torna-se cada vez mais necessário o desenvolvimento de novas fontes de energias renováveis. O

biodiesel, devido a sua natureza renovável e não tóxica, destaca-se como alternativa para atender a atual demanda energética, na substituição total ou parcial do diesel fóssil (CAO; ZHOU; LI, 2016).

O biodiesel é obtido de matérias primas oleosas ou gordurosas, tais como óleos

vegetais, gorduras animais e óleos advindos do processo de cocção de alimentos, juntamente com álcoois de cadeia curta, na presença de catalisadores, comumente ácidos ou básicos. A utilização de óleos residuais minimiza de 60 a 70 % os custos do biodiesel, além de solucionar dilemas quanto ao descarte e disposição final incorreta destes (XIANG; WANG; JIAO, 2016; GUPTA; YADAV; RATHOD, 2015).

No entanto, durante o processo de cocção de alimentos, o óleo é submetido a diversas reações químicas como polimerização, hidrólise e oxidação, devido ao contato com o ar, altas temperaturas, luz e repetidas utilizações, o que induz a formação de compostos como polímeros, hidroperóxidos, aldeídos, cetonas, diglicerídeos e ácidos graxos livres (SHARMA et al., 2012). A presença destes intervém diretamente no rendimento produtivo e qualidade final do biodiesel, uma vez que parte do catalisador passa a ser utilizado para neutralização de ácidos graxos livres e reações secundárias como de hidrólise e oxidação são desencadeadas, interferindo no rendimento do processo. De acordo com Felizardo et al. (2006) tais inconvenientes desta matéria prima podem ser minimizados por meio da aplicação de tratamentos ou purificações anterior a utilização nas reações de transesterificação, para obtenção de um produto que atenda as especificações da ANP.

Entre as diversas formas de pré-tratamento do óleo residual, para diminuição de acidez, peróxidos, umidade e remoção de impurezas, encontram-se processos utilizando filtração a vácuo, água destilada quente, evaporação a vácuo, centrifugação, membranas seletivas, dióxido de carbono supercrítico, injeção de vapores, neutralização e utilização de adsorventes, como carvão ativado, sílica gel e óxido de alumínio (MUCIÑO et al., 2014; KHEANG; SUBARI; KADIR, 2011; ASRI et al., 2015).

A adsorção é um dos métodos físico-químicos mais recomendados em tratamentos de diversos materiais, sendo reconhecido e indicado em metodologias de recuperação e purificação. Geralmente, este processo ocorre

porque átomos na superfície possuem forças atrativas desbalanceadas e tais forças podem ser compensadas pela adsorção de moléculas presentes em uma fase fluida, na fase sólida, minimizando o desequilíbrio. Nesta técnica, pode-se utilizar adsorventes de baixo custo, provenientes de matérias orgânicas, inorgânicas e biológicas, como resíduos agroindustriais (GOMES; PICCIN; GUTTERRES, 2016).

De acordo com Bahurudeen et al. (2015), grandes quantidades de cinzas são obtidas anualmente como subproduto da combustão do bagaço de cana-de-açúcar, na cogeração de energia, estas apresentam estrutura porosa, rudimentar e com impurezas, possuindo em sua composição potássio, magnésio e cálcio, na forma de metais alcalinos e elevados teores de sílica na forma de dióxido de silício, além de óxidos e grupos silanóis. Tais características proporcionam vantagens técnicas e ambientais para aplicação deste resíduo em processos de separação, catálise e adsorção. (EMBONG et al., 2016; HARIHARAN; SIVAKUMAR, 2013).

Baseado nisto, o objetivo do presente trabalho foi avaliar a aplicação das cinzas de bagaço de cana no tratamento de óleo proveniente do processo de cocção de alimentos, visando avaliar a capacidade de redução de ácidos graxos livres presentes no óleo. Os testes utilizando as cinzas de bagaço foram comparados com o carvão ativado, material comercial igualmente testado, a fim de comprovar a capacidade das mesmas no aprimoramento da qualidade do óleo residual.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O processo de purificação do óleo residual com a utilização do carvão ativado e cinzas de bagaço contemplaram o pré-tratamento e caracterização dos materiais adsorventes, coleta do óleo, etapa de tratamento e determinação do índice de acidez.

2.1 Pré-tratamento e caracterização dos materiais adsorventes

As cinzas do bagaço de cana-de-açúcar foram coletadas na fornalha da caldeira alimentada a biomassa do LBP (Laboratório de Produção de Biocombustíveis, UFPR Setor Palotina), posteriormente passaram por secagem em estufa a 110 °C durante 24 horas e peneiras granulométricas de 212 µm para seleção de partículas, de acordo com o realizado por Elinwa e Mahmood (2002).

Para o carvão ativado P.A. (padrão analítico), o pré-tratamento foi realizado consoante ao descrito por El-Wakil, El-Maaty e Awad (2014), secando-o em estufa a 110 °C durante 24 horas e armazenando-o em dessecador até a utilização nos testes de adsorção.

Os materiais foram caracterizados por fisissorção de nitrogênio para análise textural, em equipamento Nova2000e (Marca Quantachrome), na temperatura do nitrogênio líquido (-196 °C), determinando a área específica BET (Brunauer-Emmett-Teller), volume, diâmetro e tamanho de poros. Para análise, a amostra de carvão ativado foi submetida à pré-tratamento de 250 °C por 7 horas e as cinzas de bagaço de cana a 250 °C por 8 horas, ambas sob vácuo (GUEDIDI et al., 2014; MATSUBARA; LALA; ROSOLEN, 2010).

2.2 Óleo residual

O óleo residual advindo da cocção de alimentos utilizado nos testes de adsorção foi coletado em diferentes estabelecimentos comerciais do município de Palotina (PR), posteriormente homogeneizou-se o mesmo, armazenando-o em garrafas PET sob refrigeração até a utilização. A acidez inicial da matéria-prima era de aproximadamente 5 mg KOH.g⁻¹óleo.

2.3 Adsorção

Os experimentos de cinética de adsorção dos ácidos graxos livres foram

realizados em triplicatas em sistema batelada em frascos Erlenmeyer de 125 mL, os quais foram dispostos em Shaker (Modelo SL 222, Marca Solab) com controle de temperatura e agitação orbital para que o óleo tivesse contato adequado com os adsorventes. Adicionou-se 33 g de óleo residual e 7,5% (2,50 gramas) de adsorvente (cinzas de bagaço de cana e carvão ativado) em cada Erlenmeyer. Asri et al. (2015), testaram diferentes massas de adsorvente no tratamento de óleo, sendo a melhor concentração encontrada de 7,5 %.

As condições temperatura e velocidade de agitação também foram mantidas constantes, a 125 rpm (CAPARRÓS et al., 2012) e 26 °C (MANUALE et al., 2013), variando somente o tempo de contato óleo/adsorvente (0, 5, 10, 15, 20, 40, 80, 120, 180, 220, 300 e 360 minutos), a fim de se obter as cinéticas de adsorção e determinar o intervalo necessário para estabilização da redução do índice de acidez do óleo residual.

Para determinação do índice de acidez, seguiu-se a metodologia do Instituto Adolfo Lutz (1985), titulando-se o óleo tratado com hidróxido de sódio (0,01 M) e em relação ao volume gasto, a partir da Equação 1, calculou-se a acidez.

Fundamentado no valor obtido, calculou-se a porcentagem de redução do Índice de Acidez (Equação 2), tomando como base o índice de acidez dos óleos tratados nos diferentes tempos e o índice de acidez da amostra sem utilização de adsorvente (branco).

$$IA = \frac{V \times C_{NaOH} \times M}{m} \quad (1)$$

Onde: IA = Índice de acidez (mg NaOH.g⁻¹); V = Volume de NaOH gasto na titulação (mL); C = Concentração da solução de NaOH (mol.L⁻¹); M = Massa molar do NaOH (g.mol⁻¹); m = Massa de óleo (g).

$$\%R = \frac{IA_{inicial} - IA_{final}}{IA_{final}} \times 100 \quad (2)$$

Onde: %R = Porcentagem de redução; IA inicial = Índice de acidez da amostra sem tratamento (branco) (mg KOH.g⁻¹); IA final = Índice de acidez da amostra após tratamento (mg KOH.g⁻¹).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1, encontram-se os valores de área específica, volume de poros e diâmetro de poros do carvão ativado e cinzas de bagaço de cana, obtidos a partir do método BET.

Tabela 1. Propriedades texturais do carvão ativado e cinzas de bagaço de cana

	S_{BET} (m ² .g ⁻¹)	Vp (cm ³ .g ⁻¹) (BJH)	Øp (nm) (BJH)
Carvão ativado	1728,5	1,145	0,132
Cinzas de bagaço	73,323	1,404	0,382

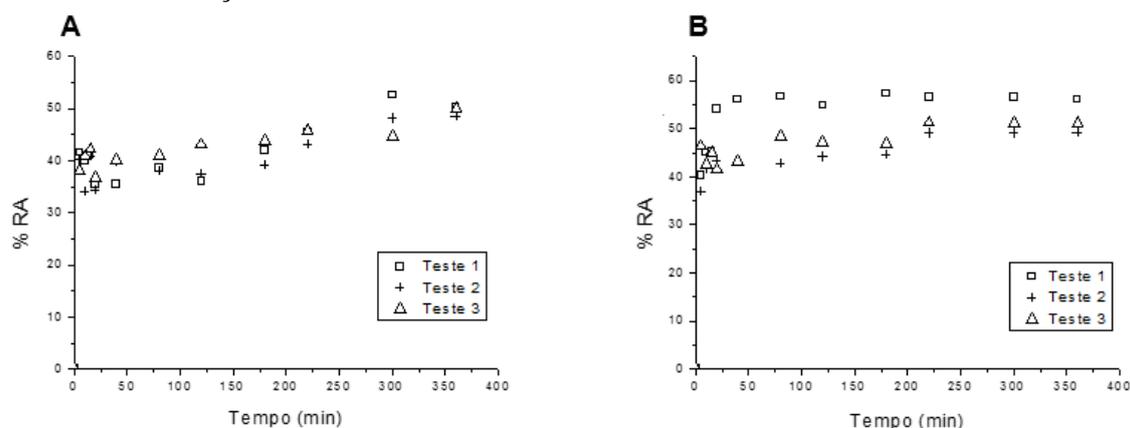
A área superficial específica do carvão ativado foi de 1728,5 m².g⁻¹, valor próximo ao encontrado Zhi e Liu (2016) (1707 m².g⁻¹). Para as cinzas de bagaço de cana, S_{BET} obtida foi de 73,323 m².g⁻¹, adjacente ao obtido por Sakdaronnarong et al. (2016) de 70,7 m².g⁻¹. Em relação ao volume de poros, o carvão ativado possui 1,145 cm³.g⁻¹, enquadrando-se no citado por Pezoti et al. (2016) (1,260 cm³.g⁻¹), enquanto que as cinzas de bagaço possuem valor superior, de 1,404 cm³.g⁻¹, correlato ao detectado por Nazriati et al. (2014) (1,75 cm³.g⁻¹).

De acordo com a Tabela 1, o diâmetro de poros obtido para o carvão ativado é de 0,132 nm e das cinzas de 0,382 nm. A IUPAC (União Internacional de Química Pura e Aplicada) caracteriza os materiais quanto a tal característica em três grupos, com base nisto o carvão ativado pertence à classe dos microporosos, que possuem diâmetro inferior a 2nm, podendo então ocorrer adsorção de moléculas com tamanhos seletivos a tal diâmetro. Os carvões ativados geralmente são microporosos, segundo Brum et al. (2008), direcionando a uma alta capacidade de

adsorção de moléculas pequenas como gases e solventes. Porém, também devem possuir macro e mesoporos, para adsorção de moléculas grandes, como óleo residual.

Para as cinzas provenientes de caldeira, não afirma-se que também enquadram-se em tal classe, por possuírem superfície irregular devido ao seu processo de obtenção e não serem sintetizadas em condições controladas de queima, de acordo com Mohee et al. (2015) tal material caracteriza-se por possuir porcentagens de mesoporos, macroporos e microporos.

Na Figura 1, observam-se os gráficos de cinética dos processos de tratamento do óleo residual, empregando os materiais adsorventes. De acordo com Coelho et al. (2014), a cinética de adsorção é um representativo da velocidade com que as moléculas são adsorvidas no material sólido, a qual depende de características do adsorbato e adsorvente, bem como de condições operacionais fornecidas ao processo, como agitação, temperatura, concentração de adsorvente e tamanho de poros.

Figura 1. Redução de acidez do óleo residual utilizando: (A) carvão ativado; (B) cinzas de bagaço de cana-de-açúcar

Utilizando o carvão ativado como adsorvente, o tempo necessário para estabilização do processo foi de 360 minutos, proporcionando reduções de ácidos graxos livres de 49% (Figura 1A), enquanto as cinzas de bagaço proporcionaram diminuição de acidez bastante semelhante, 52%, porém,

demandando menor tempo (220 minutos) para consolidar tal valor (Figura 1B). Na Tabela 3, encontram-se as médias das triplicatas dos resultados do processo de adsorção para tratamento do óleo proveniente da cocção de alimentos.

Tabela 2. Tempo e redução do índice de acidez dos ensaios de adsorção utilizando carvão ativado e cinzas de bagaço de cana

Carvão ativado		Cinzas de bagaço de cana-de-açúcar	
Tempo (min)	Redução IA (%)	Tempo (min)	Redução IA (%)
360	49	220	52

A redução de acidez utilizando ambos os materiais adsorventes foram próximas, porém com grande diferencial no tempo necessário para estabilização dos processos, o que proporciona para as cinzas gastos energéticos menos onerosos para condução do processo.

Segundo Tsoncheva et al. (2015), o carvão ativado possui sítios quimicamente ativos ácidos, básicos ou neutros, os quais associam-se a uma elevada concentração de elétrons desemparelhados, portanto a taxa de adsorção e redução de acidez utilizando este material, observada nos experimentos realizados, é elevada devido aos sítios ativos vazios presentes em sua superfície. Além disso, o óleo é um fluido apolar e frente aos sítios do carvão, também apolares, é possível a interação entre as moléculas e adsorção das mesmas na superfície do sólido (YIN; AROUA; DAUD, 2007).

Iam e Makul (2015) e Srivastava et al. (2006) caracterizam as cinzas do bagaço de cana como abrasivas, alcalinas e de coloração cinza, sendo que seu potencial em processos de adsorção, advém da presença de carbono, dióxido de silício, óxidos de alumínio, cálcio e potássio, além de propriedades físicas como porosidade, distribuição de partículas, área superficial e natureza básica, tais quais tornam este um bom material para aplicação em neutralizações e tratamentos de efluentes ácidos, como óleo residual, uma vez que possui sítios ativos com cargas negativas.

4 CONCLUSÕES

As cinzas de bagaço de cana-de-açúcar demonstraram-se eficientes no tratamento do óleo residual em relação à redução da acidez, quando comparadas ao carvão ativado (49 e 52 %, respectivamente).

A utilização das mesmas é vantajosa do ponto de vista ambiental e econômico, haja vista a contribuição para o gerenciamento do grande volume em que são produzidas nas usinas sucroalcooleiras e baixo custo.

5 AGRADECIMENTOS

Os autores são gratos a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelas bolsas de estudos e auxílio financeiro.

6 REFERÊNCIAS

BAHURUDEEN, A.; KANRAK, D.; DEY, V. G.; SANTHANAM, M. Performance evaluation of sugarcane bagasse ash blended cement in concrete. **Cement and Concrete Composites**, United Kingdom, v. 59, p. 77-88, 2015.

BRUM, S. S.; BIANCHI, M. L.; SILVA, V. L.; GONÇALVES, M.; GUERREIRO, M. C.; OLIVEIRA, L. C. A. Preparação e caracterização de carvão ativado produzido a partir de resíduos do beneficiamento do café. **Química Nova**, Brasil, v. 31, n. 5, p. 1048-1052, 2008.

CAO, Y.; ZHOU, H.; LI, J. Preparation of a supported acidic ionic liquid on silica-gel and its application to the synthesis of biodiesel from waste cooking oil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, United States, v. 58, p. 871-875, 2016.

CAPARRÓS, C.; LANT, N.; SMETS, J.; PAULO-CAVACO, A. Effects of adsorption properties and mechanical agitation of two detergent cellulases towards cotton cellulose. **Biocatalysis and Biotransformation**, United Kingdom, v. 30, n. 2, p. 1-12, 2012.

COELHO, G. F.; GONÇALVES JUNIOR, A. C.; SOUSA, R.F. B.; SCHWANTES, D.; MIOLA, A. J.; DOMINGUES, C. V. R. Uso de técnicas de adsorção utilizando resíduos agroindustriais na remoção de contaminantes em águas. **Journal of Agronomic Sciences**, Canadá, v. 3, p. 291-317, 2014.

EMBONG, R.; SHAFIG, N.; KUSBIANTORO, A.; NURUDDIN, M. F. Effectiveness of low-concentration acid and solar drying as pre-treatment features for producing pozzolanic sugarcane bagasse ash. **Journal of Cleaner Production**, Netherlands, v. 112, n. 1, p. 953-962, 2016.

ELINWA, A. U.; MAHMOOD, Y. A. Ash from timber waste as cement replacement material. **Cement and Concrete Composites**, United Kingdom, v. 24, n. 2, p. 219-222, 2002.

EL-WAKIL, A. M.; EL-MAATY, A.; AWAD, F. S. Removal of Lead from Aqueous Solution on Activated Carbon and Modified Activated Carbon Prepared from Dried Water Hyacinth Plant. **Journal of Analytical & Bioanalytical Techniques**, Iran, v. 5, n. 2, p. 1-14, 2014.

FELIZARDO, P.; CORREIA, J. N.; RAPOSO, I.; MENDES, J. F. Production of biodiesel from waste frying oils. **Waste Management**, United Kingdom, v. 26, p. 487-494, 2006.

GOMES, C. S.; PICCIN, J. S.; GUTTERRES, M. Optimizing adsorption parameters in tannery-dye-containing effluent treatment with leather shaving waste. **Process Safety and Environmental Protection**, United Kingdom, v. 99, p. 98-106, 2016.

GUEDIDI, H.; REINERT, L.; SONEDA, Y.; BELLAKHAL, N.; DUCLAUX, L. Adsorption of ibuprofen from aqueous solution on chemically surface-modified activated carbon cloths. **Arabian Journal of Chemistry**, Saudi Arabia, v. 10, n.2, p. S3584-S3594, 2014.

GUPTA, A. R.; YADAV, S. V.; RATHOD, V. K. Enhancement in biodiesel production using waste cooking oil and calcium diglyceroxide as a heterogeneous catalyst in presence of ultrasound. **Fuel**, Netherlands, v. 158, p. 800-806, 2015.

HARIHARAN, V.; SIVAKUMAR, G. Studies On Synthesized Nanosilica Obtained From Bagasse Ash. **International Journal of ChemTech Research**, India v. 5, n. 3, p. 1263-1266, 2013.

IAM, G. S.; MAKUL, N. Utilization of coal- and biomass-fired ash in the production of self-consolidating concrete: a literature review. **Journal of Cleaner Production**, Netherlands, v. 100, p. 59-76, 2015.

KHEANG, L. S.; SUBARI, F.; KADIR, S. A. S. A. Pre-treatment of palm olein-derived used frying oil as a feedstock for non-food applications. **Journal of Oil Palm Research**, Malaysia, v. 23, p. 1185-1192, 2011.

MANUALE, G. C. T.; BADANO, J. M.; VERA, C. R.; YORI, J. C. Adjustment of the Biodiesel Free Fatty Acids Content by Means of Adsorption. **Energy Fuels**, United States, v. 27, p. 6763-6772, 2013.

MATSUBARA, E. Y.; LALA, S. M.; ROSOLEN, J. M. Lithium storage into carbonaceous materials obtained from sugarcane bagasse. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, Brasil, v. 21, n. 10, p. 1877-1884, 2010.

MOHEE, R.; BOOJHAWON, A.; SEWHOO, B.; RUNGASAMY, S.; SOMAROO, G. D.; MUDHOO, A. Assessing the potential of coal ash and bagasse ash as inorganic amendments during composting of municipal solid wastes. **Journal of Environmental Management**, United States, v. 159, p. 209-217, 2015.

MUCIÑO, G. G.; ROMERO, R.; RAMÍREZ, A.; MARTÍNEZ, S. L.; JIMÉNEZ-BAEZA, R.; NATIVIDAD, R. Biodiesel production from used cooking oil and sea sand as heterogeneous catalyst. **Fuel**, Netherlands, n. 138, p. 143-148, 2014.

NAZRIATI, N.; SETVAWAN, H.; AFFANDI, S.; YUWANA, M.; WINARDJ, S. Using bagasse ash as a silica source when preparing silica aerogels via ambient pressure drying. **Journal of Non-Crystalline Solids**, Netherlands, v. 400, p. 6-11, 2014.

PEZOTI, O.; CAZETTA, A. L.; BEDIN, K. C.; SOUZA, L. S.; MARTINS, A. C.; SILVA, T. L.; SANTOS JÚNIOR, O. O. S.; VISENTAINER, J. V.; ALMEIDA, V. C. NaOH-activated carbon of high surface area produced from guava seeds as a high-efficiency adsorbent for amoxicillin removal: Kinetic, isotherm and thermodynamic studies. **Chemical Engineering Journal**, Netherlands, v. 288, p. 778-788, 2016.

SAKDARONNARONG, C.; SAENGSAWANG, A.; SIRIYUTTA, A.; JONGLERTJUNYA, W.; NASONGKLA, N.; LAOSIRIPOJANA, N. An integrated system for fractionation and hydrolysis of sugarcane bagasse using heterogeneous catalysts in aqueous biphasic system. **Chemical Engineering Journal**, Netherlands, v. 285, p. 144-156, 2016.

SHARMA, Y. C.; AGRAWAL, S.; SINGH, B.; FRÓMETA, A. E. N. Synthesis of economically viable biodiesel from waste frying oils (WFO). **The Canadian Journal of Chemical Engineering**, Canadá, v. 90, n. 2, p. 483-488, 2012.

SRIVASTAVA, V. C.; SWAMY, M. M.; MALL, I. D.; PRASAD, B.; MISHRA, I. M. Adsorptive removal of phenol by bagasse fly ash and activated carbon: Equilibrium, kinetics and thermodynamics. **Colloids and Surfaces A**, Netherlands, v. 272, n. 1/2, p. 89-104, 2006.

TSONCHEVA, T.; VELINOV, N.; IVANOVA, R.; TSYNTSARSKI, B.; SPASSOVA, I.; PANEVA, D.; ISSA, G.; KOYACHEVA, D.; GENOVA, I.; MITOV, I.; PETROV, N. Formation of catalytic active sites in iron modified activated carbons from agriculture residues. **Microporous and Mesoporous Materials**, Netherlands, v. 217, p. 87-95, 2015.

XIANG, Y.; WANG, L.; JIAO, Y. Ultrasound strengthened biodiesel production from waste cooking oil using modified coal fly ash as catalyst. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, United Kingdom, v. 4, n. 1, p. 818-824, 2016.

YIN, C. Y.; AROUA, M. K.; DAUD, W. M. A. W. Review of modifications of activated carbon for enhancing contaminant uptakes from aqueous solutions. **Separation and Purification Technology**, United Kingdom, v. 52, n. 3, p. 403-415, 2007.

ZHI, Y.; LIU, J. Surface modification of activated carbon for enhanced adsorption of perfluoroalkyl acids from aqueous solutions. **Chemosphere**, United Kingdom, v. 144, p. 1224-232, 2016.