



REVISTA BRASILEIRA DE ENERGIAS RENOVÁVEIS

REMOÇÃO DE COR DA GLICERINA BRUTA POR ADSORÇÃO EM CARVÃO ATIVADO VEGETAL¹

Janaína Fernandes Medeiros², Jéssica Violin Berni², Alexandre Diório², Allan Cayke Bergamaschi Saraiva², Maria Carolina Sérgi Gomes³, Nehemias Curvelo Pereira²

¹Apresentado no 6º Simpósio de Biotecnologia na Agroindústria: 08 e 09 de junho de 2017 na UFPR; *Setor Palotina*;

²Universidade Estadual de Maringá (UEM), Departamento de Engenharia Química, janainafmedeiros1@hotmail.com, jessica.v.b@hotmail.com, diorio.alexandre@gmail.com, acbsaraiva@gmail.com, nehemiascp@yahoo.com.br

³Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Engenharia Química. mcarolinasergigomes@gmail.com

Resumo

O biodiesel possui destaque na matriz energética nacional, mas a sua utilização em larga escala gera glicerina de forma demasiada, provocando um problema, caso não seja encontrado um destino para o mesmo. Portanto, para consumir este excedente de glicerina bruta é muito importante o desenvolvimento de tecnologias alternativas e ao mesmo tempo inovadoras, para a purificação e formação de produtos com maior valor agregado, que promovam o aproveitamento e comercialização deste subproduto. Neste sentido, o objetivo deste trabalho foi o estudo da remoção de cor da glicerina bruta, proveniente do processo de produção de biodiesel, por meio de adsorção em carvão ativado. Primeiramente, foi realizada a caracterização da glicerina bruta, por meio das análises de teor de glicerol, teor de umidade, pH, massa específica, índice de acidez e viscosidade cinemática. No processo de adsorção, foram realizados testes de velocidade de agitação (50, 100, 150, 200 e 235 rpm), efeito do tempo de adsorção (1, 5, 10, 20, 30, 60, 90, 120, 180, 240 e 300 min) e efeito das diferentes concentrações de carvão ativado (5, 10, 30, 50, 70, 100, 150 e 200 g L⁻¹) nas temperaturas de

25, 40 e 60 °C. Os resultados obtidos indicaram que a maior remoção de cor (100%) foi obtida com 200 rpm, 300 min, 60 °C e 150 g L⁻¹ de carvão ativado. Portanto, nas condições avaliadas, o carvão ativado vegetal apresentou potencial para a remoção de cor da glicerina bruta.

Palavras-chave: adsorvente, glicerol, purificação.

COLOR REMOVAL FROM CRUDE GLYCERIN USING ADSORPTION IN VEGETABLE ACTIVATED CARBON

Abstract

Biodiesel has an important role in the national energy matrix, but its use in large scale produces too much glycerin, which has no use or destination enough and may cause a problem in near future. As an alternative to consume this crude glycerin surplus, it is very important to develop alternative and innovative technologies for the purification and synthesis of higher value-added products that promote the utilization and commercialization of this by-product. In this sense, this work aim to study crude glycerin color removal by adsorption by using activated carbon. Firstly, a characterization of the crude glycerin was carried out, through the analysis of glycerol content, moisture content, pH, specific mass, acidity index and kinematic viscosity. In adsorption, tests were carried out analyzing the effect of agitation speed (50, 100, 150, 200 and 235 rpm), adsorption time (1, 5, 10, 20, 30, 60, 90, 120, 180, 240 and 300 min) and the influence of the different concentrations of activated carbon (5, 10, 30, 50, 70, 100, 150 and 200 g L⁻¹) at temperatures of 25, 40 and 60 °C. The results indicated that the highest color removal (100%) was obtained with 200 rpm, 300 min, 60 °C and 150 g L⁻¹ of activated carbon. Therefore, in the evaluated conditions, the vegetal activated charcoal presented potential for the color removal of the crude glycerin.

Keywords: adsorbent, glycerol, purification.

Introdução

O glicerol está presente em todos os óleos e gorduras de origem animal e vegetal em sua forma combinada, ou seja, ligado a ácidos graxos, para formar a molécula de triacilglicerol (KNOTHE, 2005; APOLINÁRIO et al., 2012). Este pode ser obtido dos óleos e gorduras, por meio da produção de sabão, de ácidos graxos, de ésteres e principalmente, de biodiesel por meio da reação de transesterificação (MOTA et al., 2009; TAN et al., 2013). Sendo assim, é um subproduto da produção de biodiesel, que está contido na fase glicerol em conjunto com outros materiais formados durante o processo (HÁJEK e SKOPAL, 2010).

Devido ao aumento da produção de biodiesel, de acordo com Costa (2010), cresce um fator preocupante, o destino do glicerol excedente. Para cada tonelada de biodiesel produzido são gerados cerca de 100 kg de glicerol, provocando efeitos adversos à economia do biodiesel. Neste contexto, teme-se que o excesso de glicerol produzido possa provocar um elevado nível de poluição, pela possibilidade de ser descartado de maneira indevida no ambiente.

Glicerol ou propano-1,2,3-triol é um composto orgânico pertencente à função álcool sendo, à temperatura ambiente (25 °C), líquido, higroscópico, inodoro, viscoso e de sabor adocicado, solúvel em água e álcool e insolúvel em éter e clorofórmio. O termo glicerina refere-se à solução de glicerol, pois após a reação de transesterificação, alguns resíduos do processo acabam misturados ao glicerol (KNOTHE, 2005; CHUN-HUI et al., 2008).

O grande obstáculo da utilização da glicerina é a sua pureza, pois após a reação de transesterificação alguns resíduos do processo acabam misturados ao glicerol. O produto obtido consiste numa mistura de glicerol, álcool (metanol ou etanol), água, sais inorgânicos provenientes dos catalisadores (hidróxido de potássio ou sódio), mono, di e triglicerídeos que não reagiram completamente, ácidos graxos livres, ésteres metílicos ou etílicos e outras substâncias (ZHOU et al., 2008).

Segundo Neto e Rossi (2000), se o processo de recuperação e aproveitamento dos subprodutos da produção de biodiesel (glicerina, álcool e catalisador) for otimizado, estes agregarão valor ao processo produtivo, potencializando o uso do biodiesel no mercado.

Geralmente, os processos de purificação da glicerina são compostos de três etapas. A primeira etapa envolve a remoção de substâncias não glicerol (ácidos graxos livres, ésteres, catalisador, sais), que podem ser removidos por meio da precipitação, durante a neutralização. A próxima etapa consiste em concentrar a solução por evaporação, em que o álcool (etanol ou

metanol, da produção de biodiesel) é removido da glicerina. A etapa final é a purificação e refinação, podendo ser obtido o grau desejado, com uma combinação dos métodos de destilação a vácuo, troca iônica, separação por membrana e adsorção (ARDI et al., 2015).

Nas diversas aplicações da glicerina, a pureza é de fundamental importância nos processos de síntese destes derivados, requerendo-se, teores entre 80 a 95% e, em torno de 99,5%, no caso da chamada glicerina técnica e na aplicada na indústria farmacêutica (SALVADOR et al., 2006). Portanto, dentre as técnicas presentes para purificação de glicerina, destaca-se a adsorção que, segundo Gomide (1983), se trata da operação de transferência de massa do tipo sólido-fluido na qual se explora a habilidade de certos sólidos em concentrar, na sua superfície determinados solutos.

Adsorção em carvão ativado é usada, principalmente, como uma etapa final para purificar o glicerol, reduzindo sua cor, removendo alguns ácidos graxos e outros componentes (ARDI et al., 2015). Segundo Mota et al. (2012), a adsorção desponta como uma técnica promissora para a remoção dos contaminantes presentes na glicerina, devido ao seu baixo custo, simplicidade de projeto e operação e também, devido à seletividade de alguns adsorventes. Segundo Tan et al. (2013) a utilização de adsorventes como o carvão ativado e de resinas de troca iônica proporcionam a obtenção de uma glicerina com alto grau de pureza.

Mota et al. (2012), estudaram a utilização de adsorventes para a purificação da glicerina bruta oriunda da produção de biodiesel. Foram avaliados três tipos de adsorventes (carvão ativado, sílica gel e alumina), nas mesmas condições de concentração (0,1 a 2 g), temperatura (40 a 80 °C) e tempo (0, 5, 10, 20, 30, 45 e 60 min). Os melhores resultados foram para carvão ativado (2%), à 40 °C por 60 minutos, apresentando um teor de glicerol de 95,46%. Segundo Tan et al. (2013) a utilização de adsorventes como o carvão ativado e de resinas de troca iônica proporcionam a obtenção de glicerina com alto grau de pureza.

Manosak et al. (2011), estudaram a purificação de glicerina por meio da acidificação, extração com solvente polar e adsorção em carvão ativado. Foi avaliado o efeito da variação do tipo de ácido, do pH utilizado, do tipo de solvente polar, da razão de glicerol:solvente e da adsorção com diferentes proporções de carvão ativado para glicerina (40-200 g L⁻¹). A maior pureza da glicerina (95,74%, em massa) foi obtida com o sequencial: acidificação para pH 2,5 com H₃PO₄ e separação de fases, seguido por extração com C₃H₇OH na razão solvente:glicerina bruta de 2:1 (v/v). Na adsorção o aumento da quantidade de carvão ativado teve um efeito

significativo na remoção de cor do glicerol. Uma redução de cor de 99,7% foi obtida com a concentração mais alta de carvão ativado (200 g L^{-1}).

Lopes et al. (2014) estudaram a purificação de glicerina obtida em um processo de transesterificação alcalina metálica de óleos residuais de soja e óleos de origem animal. A glicerina residual obtida do biodiesel foi submetida a processos de pré-purificação por meio de lavagem com solvente, acidificação e neutralização, seguida de purificação com carvão ativado e resinas catiônicas e aniônicas. Após a purificação, o melhor resultado obtido apresentou um teor de glicerol de $94,19 \pm 1,46 \%$, proveniente de óleo de soja residual.

Portanto, os trabalhos desenvolvidos por Lopes et al. (2014), Manosak et al. (2011), Mota et al. (2012), comprovam que a adsorção pode ser utilizada para a remoção de cor da glicerina. Entretanto, nenhum deles apresenta um estudo do efeito da velocidade de agitação, tempo, temperatura e concentração de adsorvente na adsorção da glicerina bruta. Outro diferencial do presente trabalho consiste na adsorção direta na glicerina bruta, ou seja, sem tratamento prévio.

Tendo a adsorção como uma possível forma de produzir uma glicerina de melhor qualidade, o objetivo deste trabalho foi realizar o estudo da remoção de cor da glicerina bruta, por meio do processo de adsorção, avaliando a remoção de cor após os estudos de velocidade de agitação, efeito do tempo, temperatura e concentração de adsorvente.

Material e Métodos

Material

A glicerina PA bidestilada, utilizada como um parâmetro de pureza neste trabalho, foi adquirida da empresa Induslab (Londrina, Paraná, Brasil) da marca Dinâmica. A glicerina bruta foi doada pela indústria Bsbios (Marialva, Paraná, Brasil), sendo proveniente do processo de produção de biodiesel com óleo de soja (70%) e gordura animal (30%). Esta foi pré-tratada na empresa por meio de acidificação, neutralização e secagem.

Nos ensaios de adsorção foi utilizado como adsorvente um carvão ativado de origem vegetal (pinus), doado pela empresa ALPHACARBO (Guarapuava, Paraná, Brasil).

Caracterização das glicerinas: bruta, PA e adsorvida.

As glicerinas bruta, pura (PA) e adsorvida foram caracterizadas a partir das análises de pH, teor de glicerol, teor de umidade, massa específica, índice de acidez e viscosidade cinemática.

Para a análise do teor de glicerol, foi necessário deixar as amostras em estufa a 100 °C por 24 h, para eliminação da umidade, visto que a glicerina é higroscópica. Para a determinação do teor de glicerol foi utilizado o método do periodato de sódio (COCKS e VAN REDE, 1966). Neste o glicerol na presença de periodato é oxidado a ácido fórmico que é equivalente ao glicerol existente na amostra, podendo ser determinado por titulação ácido-base, utilizando um indicador e/ou medidor de pH para detectar o ponto final da titulação (NAVIGLIO, 2007).

O índice de acidez foi realizado segundo o método apresentado pelo Instituto Adolfo Lutz (2008), a massa específica foi aferida em um densímetro digital da marca Anton Paar modelo DMA 5000 na temperatura de 30 °C, do Departamento de Física da Universidade Estadual de Maringá, o teor de umidade foi obtido no equipamento Karl Fischer da marca Analyser, modelo Umidade Controle KF-1000, a determinação da viscosidade dinâmica foi realizada em um reômetro digital da marca Brookfield modelo DV-III com *spindle* SC4-27 e velocidades rotacionais entre 10 e 220 rpm nas temperaturas de 25, 40 e 60 °C.

Ensaio de adsorção para remoção de cor da glicerina bruta

Foram avaliados os efeitos da velocidade de agitação, do tempo, temperatura e da concentração de adsorvente para remoção de cor da glicerina bruta por meio da adsorção em carvão ativado vegetal. Os ensaios de adsorção foram realizados em frascos Erlenmeyer devidamente fechados contendo glicerina bruta e o adsorvente. Os mesmos foram colocados em um *shaker* e agitados em velocidade, tempo e temperatura pré-determinados. Em seguida, os adsorventes foram removidos por meio de filtração a vácuo utilizando uma membrana de 0,45 µm. A cor remanescente na glicerina foi determinada por espectrofotômetro UV-Vis (Thermo Scientific, Genesys 10 UV Scanning) no comprimento de onda (λ_{\max}) de 397 nm utilizando uma curva de calibração. Todos os ensaios foram realizados em triplicata para confirmar a reprodutibilidade dos resultados, e a média foi utilizada para expressar cada ponto.

Velocidade de agitação: foram preparados Erlenmeyers contendo 50 mL de glicerina bruta e 2,5 g de adsorvente que permaneceram em *shaker* por um período de 1 h. A velocidade

de agitação foi variada em 50, 100, 150, 200 e 235 rpm (FERREIRA, 2009; VIESSER, 2010; MANOSAK et al., 2011; MOTA et al., 2012).

Cinética de adsorção: o efeito do tempo foi avaliado utilizando a concentração de carvão ativado de 1,5 g e 2,5 g. Os Erlenmeyers contendo 50 mL de glicerina e o adsorvente foram colocados em um *shaker* por um período total de 5 h, sendo que, cada frasco, foi retirado em intervalos de tempo pré-determinados de 1, 5, 10, 20, 30, 60, 90, 120, 180, 240 e 300 min (MANOSAK et al., 2011; MOTA et al., 2012).

Efeito da concentração do adsorvente em cada temperatura: o efeito da concentração do adsorvente foi realizado utilizando 0,25; 0,5; 1,5; 2,5; 3,5; 5; 7,5 e 10 g do adsorvente em 50 mL de glicerina bruta, resultando em concentrações de 5, 10, 30, 50, 70, 100, 150 e 200 g L⁻¹. Os Erlenmeyers contendo estas misturas foram agitados à 200 rpm durante 90 min. Esses ensaios foram realizados na temperatura de 25, 40 e 60 °C (FERREIRA, 2009; VIESSER, 2010; MANOSAK et al., 2011; MOTA et al., 2012).

Resultados e Discussão

Para o estudo do processo de adsorção em batelada foram avaliadas: a velocidade de agitação, temperatura, tempo e concentração de adsorvente, visando a maior remoção de cor à glicerina bruta.

Ensaio de adsorção para remoção de cor da glicerina bruta

Primeiramente foi avaliada a influência da velocidade de agitação do sistema na adsorção da glicerina bruta pelo carvão ativado. As velocidades de agitação testadas foram de 50, 100, 150, 200 e 235 rpm, mantendo-se as demais condições experimentais fixadas. Os resultados obtidos estão apresentados na Figura 1.

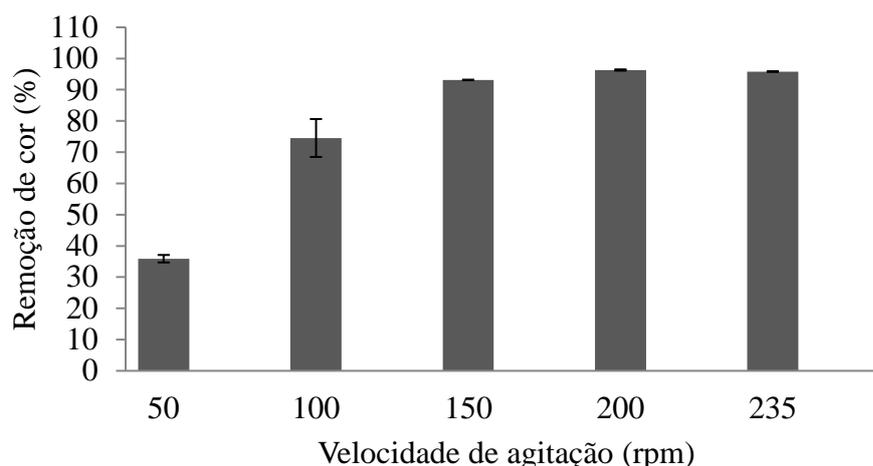


Figura 1: Efeito da velocidade de agitação na adsorção para remoção de cor da glicerina bruta.

Pode-se observar que houve um aumento na remoção de cor com a elevação da velocidade de agitação. Isto se deve à diminuição da resistência à transferência de massa no filme externo com o aumento da velocidade de agitação do fluido (MARIN et al., 2014). Na Figura 2, pode-se verificar a remoção de cor das amostras, à medida que a velocidade de agitação aumenta. Percebe-se também que até 200 rpm houve um aumento da remoção, porém a partir dessa velocidade ocorreu uma estabilização.

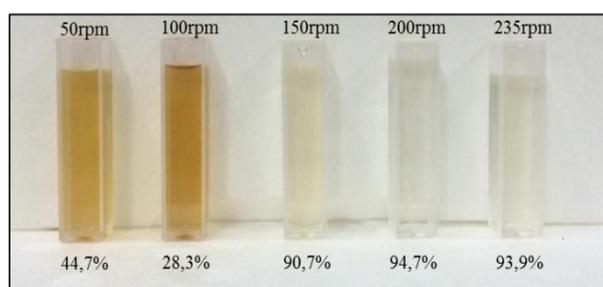


Figura 2: Imagens das amostras obtidas após os ensaios de adsorção com o aumento da velocidade de agitação.

Na rotação de 200 rpm, foi obtida a maior remoção de cor, desta maneira, fixou-se essa velocidade nos ensaios posteriores. Este resultado está de acordo com o encontrado por Manosak et al. (2011), que também utilizaram a rotação de 200 rpm no processo de adsorção em batelada para a remoção de cor da glicerina utilizando um carvão ativado comercial.

Após a determinação da melhor velocidade de agitação, realizaram-se os ensaios para verificar o efeito do tempo na adsorção para remoção de cor da glicerina bruta. Os experimentos ocorreram por um período de 5 h e também com 24 h, na temperatura de 25 °C. Na Figura 3, é apresentada a remoção de cor da glicerina em função do tempo, utilizando carvão ativado na concentração de 30 e 50 g L⁻¹.

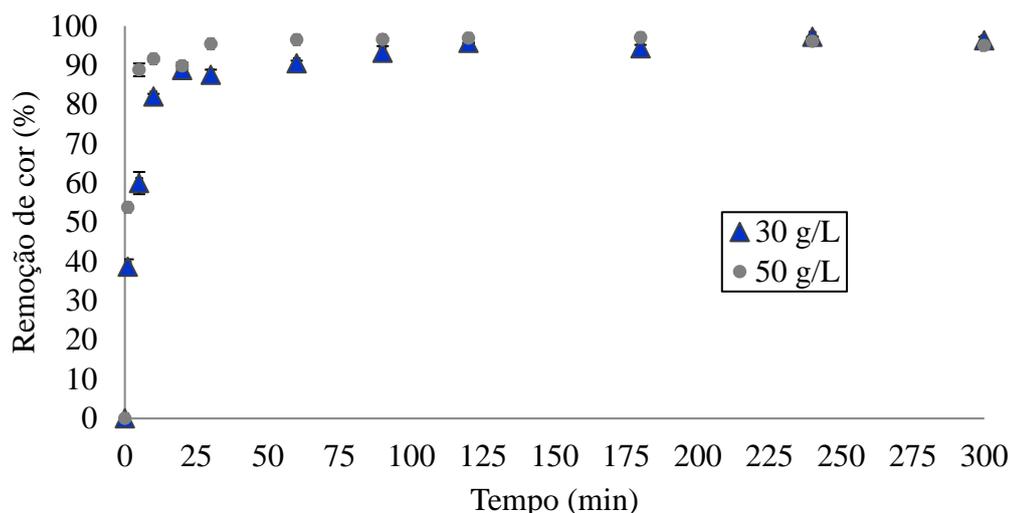


Figura 3: Cinética de adsorção.

Verifica-se que a remoção de cor aumenta rapidamente até um período de 30 min, atingindo o equilíbrio em 60 min de agitação e mantendo-o até 300 min para a concentração de 50 g L⁻¹ (3,9%), com uma remoção de cor total de $95,1 \pm 0,3\%$. Já para a concentração de 30 g L⁻¹ (2,4%) o equilíbrio foi atingido em 120 min, ou seja, o dobro do tempo, com uma remoção de cor total de $96,5 \pm 0,9\%$. Portanto, com uma menor concentração de adsorvente (30 g L⁻¹) o equilíbrio é atingido com um tempo maior.

A remoção de cor atingiu $95,7 \pm 0,5\%$, na concentração de 50 g L⁻¹, com duração de 24 h, comprovando, dessa forma, que com 60 min o equilíbrio já tinha sido atingido.

Na Figura 4, é apresentado o aspecto visual dos experimentos realizados para avaliar o efeito do tempo de adsorção, demonstrando que realmente a remoção de cor da glicerina ocorreu.

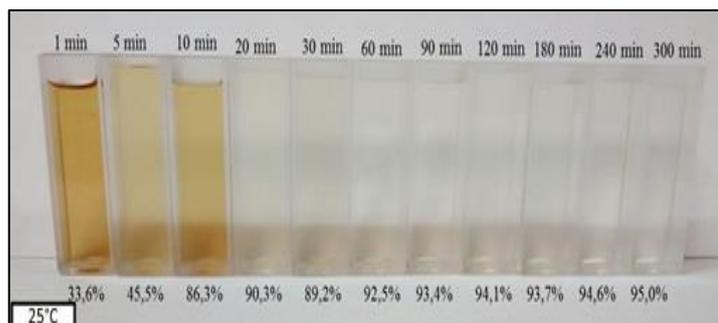


Figura 4: Imagens das amostras obtidas nos ensaios do efeito do tempo (50 g L^{-1}).

Após a determinação do tempo de equilíbrio da adsorção, realizaram-se experimentos para determinação do efeito da temperatura e da concentração de carvão ativado (Figura 5).

As condições experimentais foram as mesmas utilizadas no teste cinético, entretanto, variaram-se as concentrações de adsorvente (entre 5 e 200 g L^{-1}) e a temperatura do ensaio de adsorção em 25 , 40 e $60 \text{ }^\circ\text{C}$.

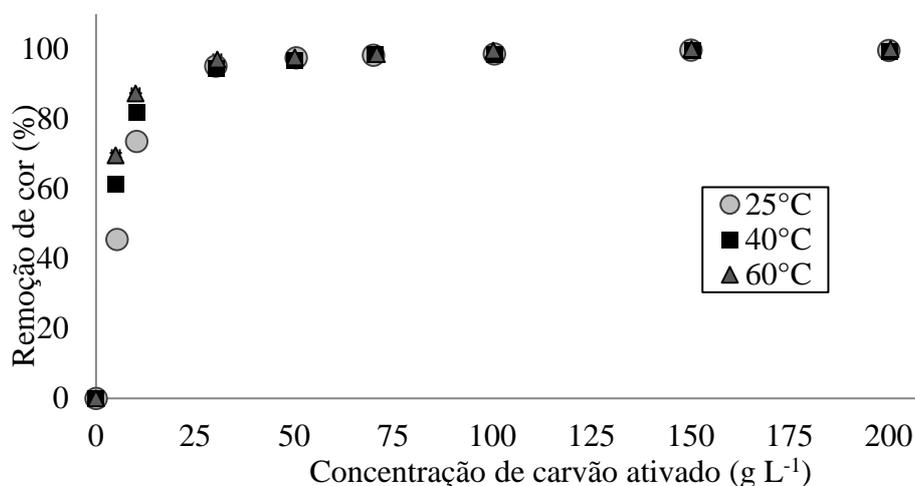


Figura 5: Efeito da temperatura e da concentração de carvão ativado na adsorção.

Observa-se que a partir da concentração de 30 g L^{-1} , para todas as temperaturas avaliadas, não há mais variação na remoção de cor da glicerina.

A remoção de cor da glicerina bruta foi levemente afetada pela temperatura apenas com pequenas concentrações de adsorvente, 5 e 10 g L^{-1} . Nessas concentrações, ocorre um aumento da remoção de cor com a elevação da temperatura, de modo que na temperatura de $60 \text{ }^\circ\text{C}$, uma maior remoção de cor foi obtida. Esse comportamento indica a que a elevação da

temperatura provavelmente afetou a mobilidade das impurezas, levando ao aumento na taxa de difusão das moléculas de adsorvato no seio da solução, devido à redução da viscosidade da solução (WANG & ZHU, 2007).

Na Tabela 1, são apresentados os dados da viscosidade da glicerina bruta com a variação da temperatura. Percebe-se que o aumento da temperatura leva a uma redução na viscosidade, o que aumenta a fluidez da glicerina e, portanto, facilita a adsorção (POHNDORF et al., 2016).

Tabela 1: Viscosidade dinâmica da glicerina bruta em diferentes temperaturas.

Temperatura (°C)	Viscosidade dinâmica (cP)
25	275,82 ± 7,05
40	101,38 ± 1,74
60	37,07 ± 1,06

Já para as concentrações de adsorvente maiores, 30 a 200 g L⁻¹, o aumento da temperatura da solução não influenciou na remoção de cor da glicerina, pois nas temperaturas de 25, 40 e 60 °C foram obtidos remoções de cor máximas (200 g L⁻¹) de 99,8, 99,3, e 100%, respectivamente.

Em todas as temperaturas estudadas, a porcentagem de remoção de cor pelo adsorvente foi acima de 90%, para as concentrações de adsorvente de 30 a 200 g L⁻¹, em todas as temperaturas analisadas. Entretanto, a maior remoção de cor (100%) encontra-se na concentração de 200 g L⁻¹, que está de acordo com o resultado encontrado por Manosak et al. (2011).

Na Figura 6, pode-se verificar o aspecto visual das amostras com a remoção de cor da glicerina, utilizando diferentes concentrações de adsorvente nas temperaturas de 25, 40 e 60 °C.



Figura 6: Imagens das amostras obtidas nos ensaios do efeito da concentração de carvão ativado nas temperaturas de a) 25 °C; b) 40 °C; c) 60 °C.

De acordo com os resultados apresentados, uma remoção de cor acima de 90%, pode ser obtida na temperatura de 25 °C, com uma concentração de adsorvente a partir de 30 g L⁻¹, durante 90 min, com agitação de 200 rpm. Entretanto, caso seja necessário uma remoção de cor de 100%, a adsorção deve ser realizada na temperatura de 60 °C, com uma concentração de 200 g L⁻¹.

Caracterização da glicerina bruta, PA e adsorvida.

Na Tabela 2, são apresentados os resultados obtidos da caracterização das glicerinhas bruta, PA e adsorvida (200 rpm, 90 min, 60 °C e 200 g L⁻¹).

Tabela 2: Caracterização da glicerina bruta, pura (PA) e adsorvida.

	Glicerina PA	Glicerina bruta	Glicerina adsorvida
Viscosidade dinâmica (cP)	691,26 ± 16,47	275,82 ± 7,05	-
Teor de glicerol (%)	95,1 ± 0,4	78,9 ± 0,6	78,62 ± 0,39
Acidez (mgKOH/g)	0,01 ± 0,00	0,31 ± 0,05	1,99 ± 0,03
Umidade (%)	1,32 ± 0,02	9,96 ± 0,08	-
pH	3,98 ± 0,06	6,37 ± 0,20	4,68 ± 0,10
Remoção de cor (%)	100,00	0,00	100,00

É possível perceber que o teor de glicerol não foi alterado com o processo de adsorção. Já a remoção de cor foi de 100%, portanto, percebe-se que as impurezas que proporcionam cor à glicerina bruta, estão em tão pouca quantidade que o teor de glicerol não aumenta. Desta forma, o processo de adsorção não purifica a glicerina, apenas remove sua cor, sendo necessário um processo em conjunto (acidificação, extração, ultrafiltração, etc), para atingir maiores níveis de pureza.

A diminuição do pH indica a probabilidade de eliminação de impurezas, como por exemplo, ácidos graxos livres e resquícios de catalisador.

Portanto, conclui-se que o processo de adsorção é uma ótima alternativa para a remoção de cor da glicerina bruta, pois é um método com um tempo relativamente pequeno e com uma quantidade razoável de adsorvente.

Conclusões

Os ensaios de adsorção, mostraram que a maior porcentagem de remoção de cor da glicerina bruta foi obtida em uma velocidade de agitação de 200 rpm.

O tempo necessário para o sistema entrar em equilíbrio foi 60 e 120 min, nas concentrações de adsorvente de 30 e 50 g L⁻¹, respectivamente.

A variação da temperatura mostrou que a remoção de cor é afetada somente com pequenas concentrações de adsorvente, 5 e 10 g L⁻¹, devido o aumento da temperatura causar uma redução na viscosidade, o que aumenta a fluidez da glicerina.

Uma remoção de cor acima de 90%, pode ser obtida na temperatura de 25 °C, com uma concentração de adsorvente a partir de 30 g L⁻¹, durante 90 min, com agitação de 200 rpm. Entretanto, caso seja necessário uma remoção de cor de 100%, a adsorção deve ser realizada na temperatura de 60 °C, com uma concentração de 200 g L⁻¹. Para obter uma remoção de cor maior que 90%, é necessária uma concentração de adsorvente a partir de 30 g L⁻¹.

Quanto à caracterização da amostra, o carvão ativado vegetal, mostrou ser eficaz na remoção de 100% da cor da glicerina bruta.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq – Brasil, deixamos nosso sincero agradecimento. Agradecemos também a empresa BSBIOS pela doação de glicerina e a empresa ALPHACARBO pela doação do carvão ativado vegetal.

Referências

APOLINÁRIO, F. D. B.; PEREIRA, G. F.; FERREIRA, J. P. Biodiesel e Alternativas para utilização da glicerina resultante do processo de produção de biodiesel. **Bolsista de Valor: Revista de divulgação do Projeto Universidade Petrobras e IF Fluminense**, v. 2, p. 141-146, 2012.

ARDI, M. S.; AROUA, M. K.; AWANIS HASHIM, N. Progress, prospect and challenges in glycerol purification process: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 42, p. 1164-1173, 2015.

CHEN, H.; ZHANG, T.; DOU, B.; DUPONT, V.; WILLIAMS, P.; GHADIRI, M.; DING, Y. Thermodynamic analyses of adsorption-enhanced steam reforming of glycerol for hydrogen production. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 34, p. 7208-7222, 2009.

CHUN-HUI, C. Z.; BELTRAMINI, J. N.; FAN, Y.; LU, M. Q. Chemoselective Catalytic Conversion of Glycerol as a Biorenewable Source to Valuable Commodity Chemicals. **Chemical Society Reviews**, v. 37, p. 527-549, 2008.

COCKS, L. V.; VAN REDE, C. **Laboratory handbook for oils and fats analysis**. 1° ed., Londres: Academy Press, 1966.

COSTA, J. B. **Produção biotecnológica de hidrogênio, etanol e outros produtos a partir do glicerol da reação de formação de biodiesel**. 2010. 68p. Dissertação (mestrado em química). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Farroupilha, 2010.

FERREIRA, M. O. **Purificação da glicerina bruta obtida a partir da transesterificação do óleo de algodão**. 2009. 106p. Dissertação (mestrado em engenharia química). Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2009.

GOMIDE, R. **Operações Unitárias** – vol. 4: 1. ed. São Paulo: R. Gomide, 1983.

HÁJEK, M.; SKOPAL, F. Treatment of glycerol phase formed by biodiesel production. **Bioresource Technology**, v. 101, p. 3242-3245, 2010.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. São Paulo: 2008.

KNOTHE, G. Dependence of biodiesel fuel properties on the structure of fatty acid alkyl esters. **Fuel Processing Technology**, v. 86, p. 1059-1070, 2005.

LOPES, A. P.; CANESIN, E. A.; SUZUKI, R. M.; TONIN, L. T. D.; PALIOTO, G. F.; SEIXAS, F. L. Purificação de Glicerina Residual Obtida na Produção de Biodiesel a Partir de Óleos Residuais. **Revista Virtual Química**, v. 6, p. 1564-1582, 2014.

MANOSAK, R.; LIMPATTAYANATE, S.; HUNSOM, M. Sequential-refining of crude glycerol derived from waste used-oil methyl ester plant via a combined process of chemical and adsorption. **Fuel Processing Technology**, v. 92, p. 92-99, 2011.

MARIN, P., BORBA, C.E., MÓDENES, A.N., ESPINOZA-QUIÑONES, F.R., OLIVEIRA, S.P.D., KROUMOV, A.D. Determination of the mass transfer limiting step of dye adsorption onto commercial adsorbent by using mathematical models. **Environmental Technology**, v. 35, n.18, 2014.

MOTA, C. J. A.; SILVA, C. X. A.; GONÇALVES, V. L. C. Gliceroquímica: novos produtos e processos a partir da glicerina de produção de biodiesel. **Química Nova**, v. 32, p. 639-648, 2009.

MOTA, R. M., ALMEIDA, C. G. R.; AMAZONAS, C. S. A.; RAMOS, A. L. D. Seleção de adsorvente para a purificação da glicerina oriunda da produção de biodiesel. In: 5º Congresso da Rede Brasileira de Tecnologia de Biodiesel e 8º Congresso Brasileiro de Plantas oleaginosas, Óleos, Gorduras e Biodiesel. Salvador-BA, **Anais**, 2012.

NAVIGLIO, D.; ROMANO, R.; PIZZOLONGO, F.; SANTINI, A.; VITO, A.; SCHIAVO, L.; NOTA, G.; MUSSO, S. S. Rapid determination of esterified glycerol and glycerides in triglyceride fats and oils by means of periodate method after transesterification. **Food Chemistry**, v. 102, p. 399-405, 2007.

NETO, P. R. C.; ROSSI, L. F. Produção de biocombustível alternativo ao óleo diesel através da transesterificação de óleo soja usado em frituras. **Química Nova**, v. 2, p. 531-537, 2000.

POHNDORF, R. S.; CADAVAL, T. R. S.; PINTO, L. A. A. Kinetics and thermodynamics adsorption of carotenoids and chlorophylls in rice bran oil bleaching. **Journal of Food Engineering**, v. 185, p. 9-16, 2016.

POSADA-DUQUE, J. A.; CARDONA-ALZATE, C. A. Análisis de la refinación de glicerina obtenida como coproducto en la producción de biodiésel. **Ing. Univ. Bogotá**, v. 14, n. 1, p. 9-27, 2010.

SALVADOR, A.F., MACHADO, A.S., SANTOS, E.P. **Purificação da Glicerina Bruta Vegetal**. Biodiesel: o novo combustível do país. SENAI-CETIND, p. 20-23, 2006.

TAN, H. W.; ABDUL AZIZ, A. R.; AROUA, M. K. Glycerol production and its applications as a raw material: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 27, p. 118-127, 2013.

VIESSER, R. V. **Purificação da glicerina obtida a partir da transesterificação do óleo de girassol semi-refinado**. 2010. Curitiba: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2010. (Trabalho de Conclusão de Curso).

WANG, S., ZHU, Z.H. Effects of acidic treatment of activated carbons on dye adsorption. **Dyes and Pigments**, n. 75, p. 306-314, 2007.

ZHOU, C. H.; BELTRAMINI, J. N.; FAN, Y. X.; LU, G. Q. Chemoselective catalytic conversion of glycerol as a biorenewable source to valuable commodity chemicals. **Chemical Society Reviews**, v. 37, p. 527-549, 2008.