

Eixo Temático ET-07-002 - Tratamento de Efluentes Sanitários e Industriais

TRATAMENTO DAS ÁGUAS RESIDUAIS DA PRODUÇÃO DE BIODIESEL POR ELETROFLOCULAÇÃO UTILIZANDO SISTEMA FOTOVOLTAICO COM ELETRODOS OBTIDOS A PARTIR DE REUSO DE LATINHAS DE ALUMÍNIO

Samara Pereira Vieira¹, Fabiano Almeida Nascimento², Sizenando José de Andrade Júnior³, Fábio de Melo Resende⁴, Luiz Antônio Pimentel Cavalcanti⁵

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia, *Campus* Paulo Afonso-BA. E-mail: samara.maia@hotmail.com; ²Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia, *Campus* Paulo Afonso-BA. E-mail: fabianoalmeidaeng@gmail.com; ³Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia, *Campus* Paulo Afonso-BA. E-mail: sizenando.andrade@ifba.edu.br; ⁴Universidade Federal da Paraíba, Departamento de Tecnologia Sucroalcooleira, João Pessoa-PB. E-mail: fabiomresende@ig.com.br; ⁵Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia, *Campus* Paulo Afonso-BA. E-mail: luiz.cavalcanti@ifba.edu.br.

RESUMO

Perante o paralelo entre o agravamento da crise hídrica que circunda o país e o cenário de poluição dos recursos aquíferos, as técnicas de purificação empregadas aos efluentes, antes do seu retorno ao ciclo hidrológico, vem se tornando cada vez mais necessárias, no intuito de minimizar os impactos ao meio ambiente e aumentar a disponibilidade de recursos hídricos. Nesse sentido, o presente trabalho propõe um estudo voltado a análise do processo de tratamento das águas residuais provenientes da etapa de lavagem do biodiesel visto que este processo introduz agentes contaminantes que, se não tratados, implicariam no impedimento ao lançamento direto nos corpos d'água de acordo com as normas regidas pela Resolução da CONAMA nº 430/2011. Para o processo de purificação, a água residual do biodiesel foi submetida a um processo de eletrofloculação, a partir de um reator eletroquímico cujos eletrodos foram construídos a partir do reuso de resíduos sólidos obtidos de latinhas de alumínio construindo-se uma geometria retangular de 3 cm de largura e 9 cm de comprimento. Durante o processo, os eletrodos foram firmados em um béquer de 0,5 litros e ligados a uma fonte geradora com intensidade de corrente de contínua 1,0A e 12 V de tensão, alimentado por um sistema fotovoltaico. O processo de tratamento obteve uma duração média de 10 minutos. Ao fim do processo a amostra foi filtrada e submetida aos estudos de parâmetros como cor aparente, turbidez, DQO, DBO, óleos e graxas. Quando comparado com os valores obtidos antes da eletrofloculação foi verificado uma atenuação dos valores de turbidez (97%), cor aparente (100%), DQO (85%), DBO5 (87%) e óleos e graxas (84%).

Palavras-chave: Biodiesel; Águas residuais; Eletrofloculação.

INTRODUÇÃO

As mudanças nos padrões de consumo nas últimas décadas acarretaram em um forte aumento na demanda dos recursos naturais, principalmente com relação água. Com isso surge a necessidade de tratar os efluentes antes do seu lançamento para os esgotos no intuito de mitigar os impactos ao meio ambiente (CENI, et al., 2015). Nesse sentido, o descarte das águas residuais provenientes da purificação do biodiesel é um ponto crítico do processo de produção, pois, requer uma atenção especial aos meios de tratamento que são empregados ao seu efluente excedente por possuir agentes contaminantes que impedem o seu despejo direto, sem uma prévia purificação conforme as normas ambientais (AQUINO et al., 2011).

Geralmente para o processo da purificação dos efluentes líquidos são empregados métodos físicos, químicos e biológicos. Sendo que, no físico ocorre a transição dos resíduos para uma nova fase, podendo ser feita por meio de: filtração, sedimentação, decantação, flotação ou centrifugação de resíduos (BRITO et al., 2012). Já os processos químicos são feitos a partir da reação do poluente com algum tipo de substância que, a depender do poluente, irá se converter em uma nova substância menos prejudicial ao meio ambiente. E por fim, no biológico, são utilizadas oxidações por meio de bactérias podendo ocorrer em condições aeróbicas ou anaeróbicas (CENI et al., 2015).

Em meio as dificuldades encontradas para realizar a purificação da água residual do biodiesel, vem sendo intensificada as buscas por novas tecnologias. Segundo Cerqueira (2011), nesse contexto, a eletrofloculação surge com uma técnica promissora, devido a sua eficácia e por possibilitar de reuso da água.

A eletrofloculação é uma técnica de purificação eficiente que ocorre basicamente em três etapas sucessivas: eletrocoagulação, eletrofloculação e por fim, flotação das impurezas, e devido a essa sua simplicidade operacional se torna um grande fomento para o tratamento de efluentes. Entretanto, o seu alto custo com energia provoca um anseio ao seu uso contínuo (AQUINO, et al., 2011). Perante a esse gargalo, a utilização de um sistema fotovoltaico no intuito de promover a diminuição de custos surge como uma alternativa viável e capaz de ser utilizada amplamente no tratamento de água via eletrofloculação (BORBA, 2010).

Geralmente, na eletrofloculação são utilizados eletrodos de alumínio ou ferro que proporciona um ambiente físico/químico permitindo a inabilitação do poluente pela oxidação eletrolítica e sua coagulação, adsorção, precipitação e flutuação, sucessivamente (BRITO et al., 2012). A substituição desses eletrodos pelo alumínio oriundo de latinhas recicladas gera a diminuição dos resíduos sólidos que segundo a PNRS (Política Nacional de Resíduos Sólidos) tem crescido muito nos últimos anos devido ao descarte inadequado dos resíduos.

No presente trabalho foi produzido o biodiesel a partir de óleo de soja por meio de transesterificação alcalina na comparência de KOH/CH₃OH, em que sua água de lavagem excedente foi tratada via eletrofloculação com eletrodos de alumínio construídos a partir da reciclagem de latinhas de alumínio, sendo o sistema alimentado por uma central fotovoltaica. Após o tratamento, a água purificada foi submetida a uma avaliação de parâmetros como PH, turbidez, DBO, DQO, cor aparente, óleos e graxas. A fim de verificar se está de acordo com as normas ambientais regidas pela Resolução CONAMA nº 430/2011.

OBJETIVO

Promover melhoramento das técnicas de tratamento dos efluentes provenientes da lavagem do biodiesel por meio de eletrofloculação, utilizando eletrodos construídos a partir de latinhas de alumínio, e como fonte alimentadora de energia uma central fotovoltaica. Tornando a operação menos custosa e diminuindo o descarte dos resíduos sólidos e líquidos a fim de minimizar os impactos ambientais.

METODOLOGIA

A célula eletrolítica para o processo foi montada em recipiente de vidro, empregando como eletrodos construídos a partir de resíduos de latinhas de alumínio cortadas e lixadas para retirar a tinta com dimensões de 9 cm de comprimento e 3 cm de largura. Uma fonte alimentadora (B&K Precision, modelo: 1900) foi usada para a geração da corrente contínua no processo ligada a um sistema fotovoltaico. Os compostos químicos como metanol, hidróxido de sódio e ácido clorídrico com 99% de pureza foram obtidos junto a VETEC (NASCIMENTO et al., 2015).

Produção do biodiesel

O biodiesel metílico de soja (B100-S) foi produzido através da reação de transesterificação alcalina em presença de NaOH, com razão molar óleo:metanol de 1:6. O processamento foi desenvolvido em reator de vidro (*Marconi*, modelo: MA502/5/C, volume útil: 1 L) com controle de temperatura e agitação mecânica (impelidor do tipo pás), nas condições operacionais: 50 °C, 1 atm, 300 rpm e tempo reacional de 1 h. Em seguida, procedeu-se a separação da glicerina da mistura reacional via decantação. A fase mais leve da mistura contendo o B100, o catalisador e o excesso de metanol, passou pela etapa de purificação que constou de evaporação do metanol com auxílio de um evaporador rotativo (IKA, modelo RV10) com condensador vertical, seguida de uma lavagem ácida com solução de ácido clorídrico 0,5 M. Lavagens posteriores foram realizadas com água destilada. As águas residuais resultantes do processo de purificação supracitado foram colhidas em recipientes adequados e submetidas ao tratamento de eletrofloculação (CAVALCANTI, 2013).

Sistema fotovoltaico e dispositivo de eletrofloculação

O sistema fotovoltaico utilizado para alimentar a fonte de corrente contínua é apresentado na Figura 1a (NASCIMENTO et al., 2015). Foi construído para servir como uma central de recargas para celulares, tablets, notebooks, além de servir como local de integração para os estudantes e servidores do Instituto Federal da Bahia (IFBA). Sua construção básica conta com a seguinte estrutura: a) Inversor de Frequência: Inversor de Onda Modificada Hayonik, 400 Watts 12V/127V; b) Controlador de Carga CMTP02 12V e 10A; c) Placa Solar: Golden Genesis PV-110E - 110Wp; d) Bateria: Tudor estacionária 45Ah.

O tratamento da água de lavagem neste processo foi realizado em reator eletroquímico operado em batelada (béquer de vidro, volume útil: 0,5 L) constituído de dois eletrodos de alumínio construídos a partir da reutilização de latinhas recicláveis de refrigerante com 9 cm de comprimento e 3 cm de largura. Os eletrodos foram fixados no reator, nos quais foram fixados fios de cobre ligados à fonte de corrente contínua (1,0 A) alimentada por um sistema fotovoltaico, conforme o esquema apresentado na Figura

1b. Foi adicionada ao reator 0,2 L da solução a ser tratada, previamente caracterizada quanto as variáveis investigadas (pH, turbidez, DBO₅, DQO, cor aparente, óleos e graxas) proveniente da água de lavagem obtida da produção do biodiesel. Na sequência, o sistema foi operado durante 10 min e posteriormente filtrado e as variáveis físicas e químicas reavaliadas.



Figura 1. a) Protótipo sistema fotovoltaico; b) Montagem do reator eletroquímico para eletrofloculação da água de lavagem do biodiesel:

Determinação do pH

Os valores de pH das soluções bruta e pós-tratamento das águas de lavagem do biodiesel foram medidos via pHmetro digital (Quimis, modelo: Q400AS) a 25 °C.

Determinação da turbidez

As medidas de turbidez foram realizadas via método nefelométrico (EATON et al., 2005) em turbidímetro de bancada (Turbidímetro multiprocessado DLM 2000B, Del Lab®).

Determinação das DBO₅ e DQO

As análises de DQO foram realizadas via método colorimétrico (Standard Methods 5220 D) com bloco digestor do tipo TE-021 DryBlock Digestor (TECNAL). A DQO nas amostras foi quantificada por espectrofotometria (Spectrophotometer SP1105, Bel Photonics), tomando-se como branco um padrão água destilada (BioClass). As análises de DBO₅ recorreram ao método definido no Standard Methods 5210 B (EATON et al., 2005), com determinação quantitativa posterior das amostras em um oxímetro (Digimed, modelo DM-4D).

Determinação da cor aparente

As medidas de cor aparente das águas de lavagem foram realizadas por leituras de absorbância, medidas em espectrofotômetro de UV (Spectrophotometer SP2000UV, Bel Photonics) calibrado com filtro de 460 nm (EATON et al., 2005).

Determinação de óleos e graxas

Para a determinação do teor de óleos e graxas utilizou-se o método gravimétrico por meio de extração líquido-líquido. As amostras foram acidificadas com ácido sulfúrico, a fim preservá-las, bem como favorecer a hidrólise ácida no meio. Em um

funil de separação, contendo a amostra acidificada, foram colocados 100 ml de éter de petróleo, seguindo uma agitação por cinco minutos. Após a separação das fases, o solvente foi levado para uma coluna de carbonato de cálcio, a fim de retirar todo resíduo aquoso. Em seguida, o solvente foi transferido para uma capsula de porcelana previamente preparada a peso constante e levado a uma estufa de secagem e esterilização da Fanem de modelo 320 – SE a 70°C para evaporação de todo o solvente até permanecer a fase oleosa. Em seguida a capsula de porcelana foi levada ao dessecador por 30 minutos e após o resfriamento foram pesadas. A massa de óleos e graxas foi calculada por diferença de pesagem das capsulas antes e após o procedimento de extração (CORDEIRO et al., 2015).

RESULTADOS E DICUSSÕES

Na Tabela 1, são apresentados os resultados dos parâmetros de caracterização das águas (pH, turbidez, DBO₅, DQO, cor aparente, óleos e graxas) correspondente a lavagem ácida, e a lavagem com água destilada do processo de purificação do biodiesel e após o tratamento por meio da eletrofloculação.

Tabela 1. Características físico-químicas dos efluentes bruto e tratado via eletrofloculação.

Água	pH	Turbidez (NTU)	Cor aparente (UC)	DQO (mg/L)	DBO ₅ (mg/L)	Óleos e Graxas
Destilada	6	0,80	-	-	-	-
Lavagem ácida (Efluente bruto)	3,4	70,1	0,306	43.900,23	39.600,14	287
1ª lavagem (efluente bruto)	5,2	18,4	0,079	1.844,73	1.256,98	112
Eletrofloculação (pós-lavagem ácida)	6,44	0,79	0,004	5.660,32	2.376,44	39
Eletrofloculação (pós-primeira lavagem)	6,56	0,55	0,003	332,05	242,60	21
Resolução CONAMA nº 430/2011	5 a 9	Até 40	Nível natural do corpo receptor	-	Remoção mínima de 60%	50

Observando os resultados obtidos na Tabela 1, constatou-se que os valores de todos os parâmetros avaliados para a água oriunda da lavagem ácida, na purificação do biodiesel produzido, está situado fora das especificações exigidas pela legislação. De modo similar a água residual referente ao efluente de 1ª lavagem, onde o único parâmetros que obedece as especificações é o pH. Destaca-se também o teor de óleos e graxas, que diminuiu na sequência da lavagem ácida durante a primeira lavagem, contudo apresentou ainda valor elevado, fora do exigido para descarte em corpos hídricos. A cor aparente da água após lavagem, em comparação com o padrão de água

destilada, encontrou-se dentro das especificações exigidas pela legislação para descarte (Resolução CONAMA nº 430/2011), bem como a DQO e a DBO₅.

Na sequência, a aplicação da eletrofloculação no tratamento do efluente gerado após a lavagem ácida, pode ser observado a atenuação do teor de óleos e graxas, tornando-as de acordo com as normas de descarte. Na aplicação da eletrofloculação após 1º lavagem do biodiesel, nota-se que os valores se enquadram nas condições estabelecidas pela legislação de descarte. O pH da água de lavagem se situou próximo da neutralidade, conforme as especificações indicadas, bem como foi possível verificar uma redução significativa na turbidez (97%), DQO (85%) DBO₅ (87%), óleos e graxas (84%). Na Figura 2 pode ser observada de forma comparativa as águas de lavagem antes de depois do tratamento via eletrofloculação.

Os pontos diferenciais no tratamento via eletrofloculação no presente trabalho é o uso de um sistema fotovoltaico alimentado a fonte de corrente contínua, e o uso do alumínio oriundos de latinhas recicláveis para a construção dos eletrodos usados no processo. Tornando o tratamento atrativo, visto que é usado uma fonte de energia alternativa que propõe a diminuição de custos no processo, e também pelo fato de estar contribuindo com meio ambiente ao diminuir a quantidade de resíduos sólidos a partir da reciclagem das latinhas de alumínio.

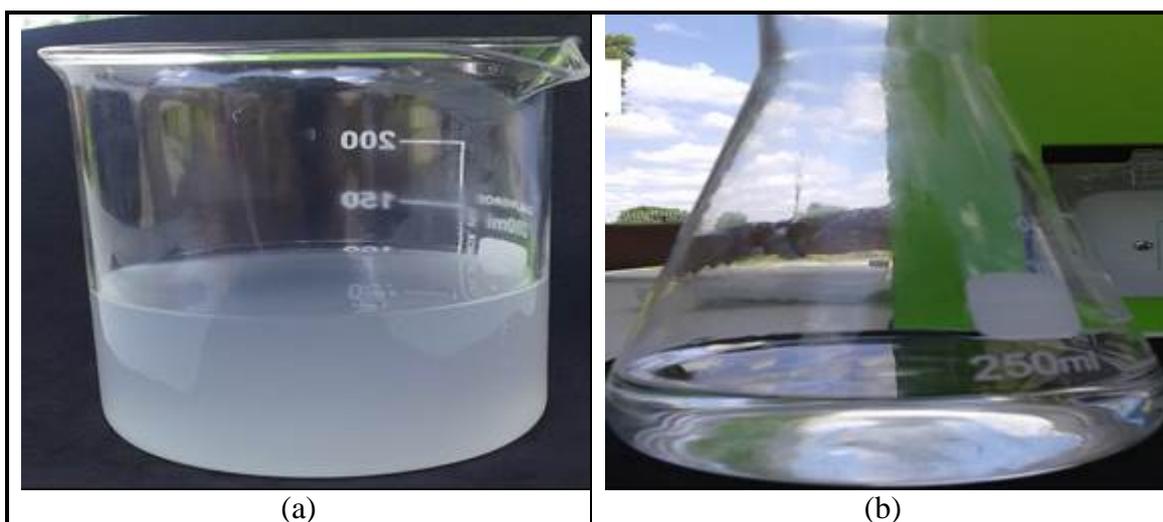


Figura 2. Águas de lavagem ácida antes e depois do tratamento via eletrofloculação.

CONCLUSÃO

A utilização do sistema fotovoltaico como fonte geradora de energia para a aplicação da eletrofloculação, se mostrou eficiente para o tratamento das águas excedentes da produção de biodiesel, visto que torna o processo mais econômico além de ser uma fonte alternativa de energia que causa menos impactos ambientais, assim como o uso das latinhas de alumínio como eletrodos que possibilita a reciclagem das latinhas, minimizando o descarte inadequado de resíduos sólidos no meio ambiente.

Diante da concretização com sucesso do experimento, configura-se que o processo pode ser amplificado podendo ser feito um *scale up*. Demonstrando que a utilização de uma fonte alternativa de energia e a reciclagem pode ser aplicada para redução dos custos no processo de tratamento, sem comprometer a eficiência do mesmo.

REFERÊNCIAS

AQUINO, S. N.; MAGRI, T. C.; SILVA, G. M.; ANDRADE, A. R. Tratamento de corante por eletrofloculação: um experimento para Cursos de Graduação em Química. **Quím. Nova**, v. 34, n. 8, p. 1464-1471. 2011.

BORBA, F. H.; MANENTI, D. R.; MÓDENES, A. N.; MORA, N. N. D.; ESPINOZA-QUINONES, F. R.; PALÁCIO, S. M.; YASSUE, P. H.; NASCIMENTO, R. Avaliação da eficiência da técnica de eletrofloculação no tratamento de efluentes de indústrias de subprodutos avícolas. **Estudos Tecnológicos em Engenharia**, v. 6, n. 1, p. 36-47, 2010.

BRITO, F. J. FERREIRA, O. V. L. SILVA, J. P. Tratamento de Água de Purificação do Biodiesel Utilizando Eletrofloculação. **Quím. Nova**, v. 35, n. 4, p. 728-732. p. 2012.

CAVALCANTI, L. A. P. **Reologia e melhoramento das propriedades de escoamento a frio de biodiesel e suas misturas BX**. Recife: Universidade Federal de Pernambuco, 2013. (Tese de Doutorado).

CENI, G.; MORES, R.; PRECZWSKI, J. D.; ADAM, V. D.; BOPSIN, M. H.; BENAZZI, T. L.; DALLAGO, R. M.; STEFFENS, J. Eletrofloculação, empregando eletrodos de ferro, para tratamento de efluentes líquidos de laticínios. Anais do XI Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica, Campinas, 2015. Disponível em: <<http://pdf.blucher.com.br/chemicalengineeringproceedings/cobeqic2015/229-32914-262200.pdf>>. Acesso em: 11 ago. 2015.

CERQUEIRA, A. A.; MARQUES, M. R. C.; RUSSO, C. Avaliação do processo eletrolítico em corrente alternada no tratamento de água de produção. **Quím. Nova**, v. 34, n.1, p. 59-63, 2011.

CORDEIRO, R. B.; ALEXANDRE, J. I. S.; SILVA, J. P. F.; SALES, D. C. S.; CAVALCANTI, L. A. P. Purificação e reutilização de águas residuárias da produção de biodiesel por meio da eletrofloculação. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 2, n. 2, p. 51-58, 2015. Disponível em: <<http://revista.ecogestaobrasil.net/v2n2/v02n02a05.html>>. Acesso em: 25 ago. 2015.

EATON, A. D.; CLESCERI, L. S.; RICE, E. W.; GREENBERG, A. E.; FRANSON, M. A. H. (Ed.). **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 21. ed. Washington, D.C.: American Public Health Association, 2005.

NASCIMENTO, F. A.; VIEIRA, S. A.; ANDRADE JÚNIOR, S. J.; CAVALCANTI, L. A. P. Integração de um sistema fotovoltaico isolado e de coleta seletiva de resíduos em um quiosque multifuncional. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 2, n. 2, p. 43-50, 2015. Disponível em: <<http://revista.ecogestaobrasil.net/v2n2/v02n02a04.html>>. Acesso em: 09 set. 2015.