

## CONSTRUÇÃO DO PROTÓTIPO DE ELETROFLOCULAÇÃO A FLUXO CONTÍNUO ALIMENTADO POR ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA PURIFICAÇÃO DE EFLUENTES

VIEIRA, S.P; CORDEIRO, B.C; SARMENTO, S.M; CAVALCANTI, L.A.P

Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia da Bahia- IFBA, samara.maia@hotmail.com. Departamento de Engenharia Química UFPE, ramon\_gratz@hotmail.com. Departamento de Engenharia Química UFPE, sarmento@ufpe.br. Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia da Bahia- IFBA, luizufpe@yahoo.com.br.

**Resumo:** A produção de efluentes nos mais variados setores industriais vêm favorecendo a degradação ambiental, especialmente quando não tratados e dispostos no solo ou mananciais hídricos, por essa razão, o principal objetivo desse trabalho foi dimensionar e construir um protótipo de eletrofloculação sob fluxo contínuo alimentado por energia solar fotovoltaica para o tratamento de efluentes de forma que enquadre o mesmo as normas estabelecidas pela Resolução nº430/2011 do CONAMA. Os parâmetros usados para o dimensionamento do reator foram a condutividade, distância entre os eletrodos, controle de vazão do reator e duração de tempo reacional baseados tanto em trabalhos já realizados bem como em trabalhos de otimização de eletrofloculação encontrados na literatura científica. Afim de constatar a eficiência do reator de eletrofloculação a fluxo contínuo para purificação de águas residuais foi realizado teste com o efluente residual têxtil separando o mesmo em duas partes para que pudesse ser feita a comparação do efluente antes e após o tratamento. Por meio das análises obtidas foi possível verificar redução significativa de DQO (83%) DBO5 (54%) e cor aparente (84%). Os resultados obtidos constataram que o efluente se enquadrou nas normas estabelecidas pelo CONAMA, dessa forma possibilitando que o mesmo possa ser utilizado em diversas aplicações como a produção de perclorato de ferro, lavagem de pisos, descarte nos corpos hídricos entre outras aplicações.

**Palavras-chave:** Tratamento de efluentes, Eletrofloculação a Fluxo Contínuo, Energia Solar Fotovoltaica.

### Introdução

A eletrofloculação, tem o propósito de tratar efluentes complexos, com mistura de diferentes substâncias de maneira eficiente, econômica e sustentável, o que viabiliza seu uso no tratamento de efluentes de indústria têxtil. A utilização dessa técnica para o tratamento de águas residuais pode ser considerada uma tecnologia de instrumentação e operação simples, que envolve a utilização de um par de placas metálicas de sacrifício, comumente de alumínio ou ferro, e a aplicação de corrente elétrica, que através de reações eletroquímicas gera coagulantes *in situ*. (FLECK et al., 2013).

Contudo, segundo Singh (2012) o consumo de energia elétrica pode ser dispendioso em algumas regiões do país para aplicação no tratamento de águas residuais através da eletrofloculação, fazendo com que o processo se torne inviável economicamente. No entanto o uso de sistema fotovoltaico como fonte para geração de corrente elétrica para o processo pode ser utilizado para o tratamento de diversos tipos de

(83) 3322.3222

contato@conepetro.com.br

[www.conepetro.com.br](http://www.conepetro.com.br)

efluentes com os mesmos resultados daqueles obtidos pelo uso da energia elétrica da rede, porém com baixo custo além de se tratar de um tipo de energia limpa e renovável.

Partindo desses princípios Vieira et al. (2015) realizou a aplicação da técnica da eletrofloculação com o uso da energia solar fotovoltaica para tratar águas de lavagem do biodiesel, visto que, o biodiesel é um biocombustível usualmente obtido por meio da transesterificação alcalina homogênea, na qual recorre à etapa de purificação com separação da glicerina produzida. Nesse sentido, na água de lavagem resultante da etapa de purificação do biodiesel é contida uma grande quantidade de resíduos, que requer um tratamento antes do seu reuso ou descarte (BRITO, FERREIRA e SILVA, 2012).

Nas análises do efluente residual da água de lavagem do biodiesel realizadas pós eletrofloculação com eletrodos de ferro Vieira Oliveira e Cavalcanti (2017) constataram que os valores obtidos foram enquadrados nas condições estabelecidas pela Resolução do CONAMA nº 430/2011. 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%).

Contudo, mesmo com os bons resultados encontrados o efluente tratado não poderia ser reinserido na cadeia produtiva de biodiesel isso pelo fato do efluente tratado ainda conter um teor de ferro ou alumínio (a depender do eletrodo utilizado) residual alto. A presença de tais metais acelera as reações de autooxidação do biodiesel (KNOHTE *et al.*, 2006; JUNQUEIRA et al., 2015).

Estudos realizados por Vieira, Oliveira e Cavalcanti (2017), em que a água residual de biodiesel foi tratada via eletrofloculação com eletrodos de alumínio construído a partir de latinhas recicláveis alimentado por energia solar fotovoltaica a um tempo de tratamento de 10 minutos foi observado que houve a formação de hidróxido de alumínio e um residual de KCl, tais compostos serviram de base para produção do alúmen de potássio que seria uma possibilidade de aplicação do efluente em questão. Em contrapartida, ao efluente tratado via eletrofloculação por eletrodos de ferro a solução resultante é composta predominantemente de cloreto ferroso ( $\text{FeCl}_2$ ) como resultado da eletrólise do cloreto de potássio e dispersão do ferro no efluente o que gerou um novo composto após oxidação do mesmo, o perclorato de ferro, com uma aplicação alternativa para produção de placas de circuito impresso.

No presente trabalho, buscou-se dimensionar e construir um protótipo de eletrofloculação alimentado por energia solar fotovoltaica a fluxo contínuo no intuito de verificar a eficiência o processo da eletrofloculação convencional para uma maior escala direcionada a tais aplicações na

purificação de águas residuais visto que, a eficiência da reação de eletrofloculação em fluxo contínuo é diretamente dependente das propriedades hidrodinâmicas do reator utilizado.

## Metodologia

Os componentes e equipamentos projetados para construção do protótipo foram levantados planejando-se quais os materiais seriam necessários para construção dos módulos do sistema visando à diminuição do custo global do processo de purificação de efluentes e a exequibilidade do projeto em termos práticos, técnicos e financeiros. Considerou-se, portanto, as seguintes características: Condutividade, Distância entre eletrodos, Controle de vazão do reator e Duração de tempo reacional.

## Construção do Protótipo

O protótipo foi esquematizado conforme mostrado na Figura 1. Neste trabalho foi utilizado sistema composto por: tanque de alimentação com 8 litros (entrada), reator com 4,75 litros, e tanque de saída com 3,1 litros. Cada um dos compartimentos foi acoplado uma válvula reguladora de vazão visto que todo o processo estará acontecendo por ação da gravidade, e por mangueiras de silicone que representam tubulações com entrada (parte superior) e saída (parte inferior) do reator. Foi desenvolvido um filtro de leito fixo para realizar filtração do efluentes pós eletrofloculação construído com camadas de antracito, brita e espuma.

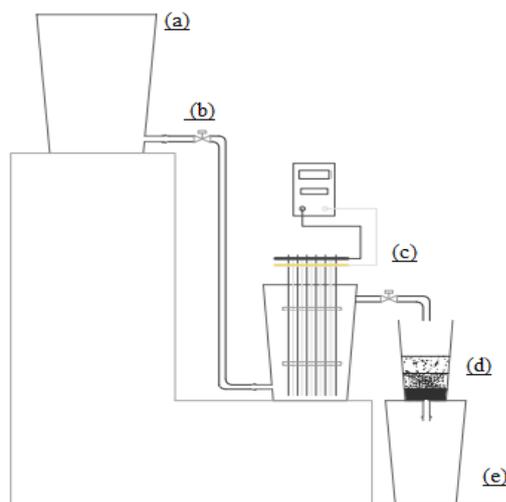


Figura 1- Desenho esquemático do protótipo de eletrofloculação sob fluxo contínuo composto por: (a) tanque de alimentação (entrada), (b) válvula, (c) reator de eletrofloculação, (d) filtro de leito fixo e (e) tanque de saída.

Fonte: Autoria própria.

## Arranjo das Placas

Para a construção das placas, usou-se o modelo de placas monopolares em paralelo conforme mostrado na Figura 2. As placas de zinco foram dimensionadas com 12x24 cm com o total de 12 placas arranjadas em paralelo com espaçamento de 6 mm entre elas.



Figura 2 - Arranjo de placas monopolares conectadas em paralelo.

Fonte: Autoria própria.

### Execução do Experimento

Para a análise do efluente têxtil, foi utilizado corante têxtil (TINGECOR) da cor azul no qual foram adicionados 10 mg/L do corante. No total foram utilizados 16 litros de água, posteriormente o efluente foi dividido em dois recipientes de 8 litros cada. Um recipiente com o efluente foi armazenado para que pudesse ser feita análise antes do tratamento. A outra parte do efluente foi submetida ao tratamento por meio da eletrofloculação com eletrodos de zinco. Para o efluente submetido à eletrofloculação foram adicionados 8 g de NaCl como eletrólito e após 12 minutos de tratamento a amostra foi submetida a etapa de filtração. Na sequência foram feitas as análises do efluente bruto e tratado. A execução do experimento pode ser observada conforme a Figura 3.

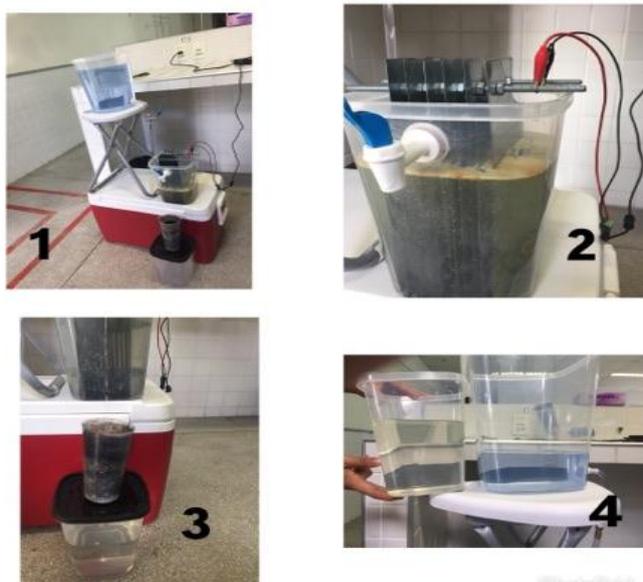


Figura 3- Purificação de efluente têxtil a fluxo contínuo. 1- montagem do reator de eletrofloculação a fluxo contínuo, 2- reator de eletrofloculação, 3- filtro de leito fixo, 4- comparação do efluente bruto e tratado.

Fonte: Autoria própria.

## **Sistema Fotovoltaico**

Foi utilizado o sistema fotovoltaico para alimentar a fonte de corrente contínua. O sistema 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 de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia (IFBA), Campus Paulo Afonso. Sua construção básica conta com a seguinte estrutura: a) Inversor de frequência: Inversor de Onda Modificada Hayonik, 400 W 12 V/127 V; b) Controlador de Carga CMTP02 12 V e 10 A; c) Placa Solar: Golden Genesis PV-110E, 110 Wp; d) Bateria: Tudor estacionária 45 Ah (NASCIMENTO et al., 2015).

## **Análise de Parâmetros dos Efluentes Pós Tratamento**

### **Determinação do pH**

Os valores de pH das soluções brutas e pós tratamento das águas residuais foram medidos via pHmetro digital (Quimis, modelo: Q400AS) a 25 °C.

### **Determinação de 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) (EATON et al., 2005). 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 absorvância, medidas em espectrofotômetro de UV (*Spectrophotometer* SP2000UV, *Bel Photonics*), calibrado com filtro de 460 nm (EATON et al., 2005).

## **Resultados e Discussão**

### **Dimensionamento do Protótipo**

O dimensionamento do protótipo foi arranjado de modo que o efluente circulasse do tanque de entrada até o tanque de saída por influência da gravidade sem que se faça necessário o uso de uma bomba ou de um sistema de automação, dessa forma diminuindo os custos com instrumentação e uso de energia no sistema.

### **Espaçamento entre as Placas**

A escolha do menor espaçamento entre as placas foi determinada com base em Crespilho & Resende (2004) que diz quanto maior a distância entre os eletrodos, maior diferença de potencial entre elas, logo diminuindo a distância entre as placas estará também otimizando o processo.

### **Filtro de Leito Fixo**

Para a filtração do efluente pós eletrofloculação foi confeccionado o filtro de leito fixo, visto que os filtros granulares se mostram mais atrativos devido ao baixo custo de operação e construção além do potencial para remoção simultânea de sólidos ou contaminantes durante a operação (DEUSCELE *et al*, 2008). A eficiência dos resultados obtidos na purificação do efluente têxtil, mostrado na Tabela 1, possui a contribuição direta do uso do filtro de leito fixo.

### **Uso da Energia Solar Fotovoltaica**

O uso do sistema solar fotovoltaico trouxe seus benefícios ao sistema, visto que faz o uso de uma energia alternativa e renovável que propõe a diminuição de custos no processo. Isso se dá ao fato da eletrofloculação não ser viável economicamente quando usado a energia da rede convencional oferecida pela concessionária de energia local. (SINGH, 2012).

### **Análise dos Resultados do Tratamento de Efluente Têxtil a Fluxo Contínuo**

Com base nos resultados obtidos (Tabela 1), foi verificado que os valores de todas as variáveis analisadas provenientes da água residual têxtil, estão situadas fora das normas estabelecidas pela Resolução 430/2011 CONAMA exceto o pH, dessa forma a mesma não pode ser descartada sem um tratamento prévio.

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

<b>Água</b>	<b>Ph</b>	<b>Cor aparente</b> <b>(UC)</b>	<b>DQO</b> <b>(mg/L)</b>	<b>DBO5</b> <b>(mg/L)</b>
<b>Efluente Bruto</b>	8,07	0,0755	741,22	235,9
<b>Efluente Tratado</b>	10,25	0,0115	124,9	106,4
<b>CONAMA nº</b> <b>430/2011</b>	5,00 a 9,00	Nível natural do corpo receptor	-	Remoção mínima de 60%

Nos resultados obtidos após o tratamento por meio da eletrofloculação sob fluxo contínuo, observou-se uma atenuação dos parâmetros analisados, enquadrando o efluente nas especificações necessárias para descarte. O pH, situou-se próximo do valor estabelecido, porém não atendeu a Resolução devido a formação de hidróxidos no processo de tratamento que elevam o pH

do efluente final, no entanto foi possível obter uma redução significativa de cor aparente (84%), DQO (83%) DBO5 (54%).

Com base nos resultados da Tabela 1, pode-se indicar que a água após tratamento no reator em fluxo contínuo poderá ser aplicada em diversas aplicações como a produção de perclorato de ferro como sugerido nos estudos de Vieira, Oliveira e Cavalcanti (2017), lavagem de pisos, descarte nos corpos hídricos, entre outras aplicações.

### **Conclusão**

O dimensionamento do protótipo de eletrofloculação a fluxo contínuo, mostrou boa eficiência constatada pelos resultados obtidos no efluente têxtil tratado com redução significativa de cor aparente (84%), DQO (83%) DBO5 (54%) no qual se enquadrou nos parâmetros estabelecidos na resolução nº 430/2011 do CONAMA e dessa forma podendo estar sendo descartada sem oferecer riscos a outros corpos d'água. O arranjo das placas tornou o processo mais eficiente a fluxo contínuo, bem como o uso dos efeitos gravidade que tornaram o processo economicamente viável em termos de instrumentação e uso de energia. O uso da central fotovoltaica como alimentação do sistema também se mostrou eficiente uma vez que faz o uso de uma energia limpa e renovável tornando o processo mais ambientalmente viável e com menos custos.

### **Referências**

BRITO, F. J.; FERREIRA, O. V. L.; SILVA, J. P. Tratamento de água de purificação do biodiesel utilizando eletrofloculação. *Quimica Nova*, v. 35, n. 4. p. 728-732, 2012

CERQUEIRA, AA. *Aplicação da técnica de eletrofloculação no tratamento de efluentes têxteis*. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

CONAMA, Conselho Nacional do Meio Ambiente. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente- CONAMA. Resolução CONAMA Nº 430, de 13 de Maio de 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.

CRESPILHO, F. N., REZENDE, M.O.O.

(83) 3322.3222

contato@conepetro.com.br

**www.conepetro.com.br**

*Eletroflotação: Princípios e Aplicações*. ed. 1. São Carlos: Editora Rima, 2004.

DEUSCELE, T., JANOUSKE, U. e PIESCHE, M. A CFD model describing filtration, regeneration and deposit rearrangement effects in gas filter systems. *Chemical Engineering Journal*, v.135, p.49-55, 2008

DI BERNARDO, L.; e DANTAS, A. D. B. *Métodos e técnicas de tratamento de água*. v.1, São Carlos: Rima, 2005.

JOHN, S.; SOLOMAN, P A.; FASNABI, PA. Study on removal of Acetamiprid from wastewater by electrocoagulation. *Procedia technology - Elsevier. Procedia Technology*, v. 24, p. 619 - 630, 2016.

JUNQUEIRA, CN.; FRANCO, MM.; RUGGIERO, R.; BORGES NETO, W.; BUENO, JA.; SANTOS, D Q. *Contaminantes metálicos no biodiesel de soja*. Anais do 10º Congresso Internacional de Bioenergia, São Paulo, 2015.

KNOTHE, G.; GERPEN, J. V.; KRANI, J.; RAMOS, L. P. Manual do biodiesel. São Paulo: Edgard Blücher, 2006.

FLECK, L; TAVARES, M.H.F; EYNG.E. Utilização da técnica de eletrofloculação para o tratamento de efluentes têxteis: uma revisão. *Revista EIXO*, Brasília - DF, v.2 n.2, Julho – Dezembro de 2013.

NASCIMENTO, FA.; 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.

SINGH, G. *Electroflocculation on textile dye wastewater*. Patiala: Thapar University, 2012. (Dissertação de Mestrado em Tecnologia em Ciência Ambiental). Disponível em: <<http://dspace.thapar.edu:8080/dspace/bitstream/10266/1943/1/electroflocculation.pdf>>. Acesso em: 20 fev. 2018.

VIEIRA, S. P, NASCIMENTO F.A, ARAUJO, M.B, ANDRADE JUNIOR, S. J, CAVALCANTI, L.A.P. Reuso de latinhas de alumínio recicláveis para tratamento de águas residuais da produção de biodiesel via eletrofloculação. *Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade*, João Pessoa, v. 2, n. 3, p.145-151, 2015

VIEIRA, S. P; OLIVEIRA F.C.F; CAVALCANTI, L.A.P. SÍNTESE DO PERCLORETO DE FERRO A PARTIR DAS ÁGUAS RESIDUAIS DA PRODUÇÃO DE BIODIESEL TRATADAS POR ELETROFLOCULAÇÃO PARA CONFECÇÃO DE PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO. *Holos*, Natal, v. 33, n. 1, p.205-213, 2017.