

56 - AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DO PH INICIAL NO TRATAMENTO DE EFLUENTE OLEOSO VIA ELETROCOAGULAÇÃO COM ELETRODOS DE FERRO

Ana Carolina Favero¹, Bruno Matheus Favero¹, Fernanda Siqueira Souza¹, Silvio Roberto Taffarel¹
¹Mestrado em Avaliação de Impactos Ambientais - Universidade La Salle - Canoas/RS

RESUMO

Efluentes oleosos caracterizam-se pelo difícil tratamento, em razão da elevada carga orgânica que apresentam em sua composição. Nesse sentido, a eletrocoagulação torna-se uma alternativa a ser considerada, pois permite a geração *in situ* de hidróxidos metálicos, que atuam como coagulantes no processo, removendo contaminantes por coagulação/flotação. Entretanto, durante o tratamento é necessário avaliar os parâmetros operacionais que podem afetar o desempenho do processo de eletrocoagulação. O presente estudo avaliou a influência do pH inicial no processo de eletrocoagulação (com eletrodos de ferro) visando a remoção de DQO, cor e turbidez de um efluente proveniente da atividade de rerrefino de óleos lubrificantes. Foram investigados três valores de pH distintos (3, 4 - pH original do efluente e 9), mantendo-se a tensão (5V) e densidade de corrente (9 A/m²) constantes. A partir dos resultados obtidos, verificou-se que o pH 9 foi o mais promissor para o tratamento desse efluente oleoso, obtendo-se a remoção de 76,6% de DQO, 99,3% de cor e 99,5% de turbidez após 90 minutos de tratamento. Os resultados também permitiram inferir que o pH inicial têm influência nas espécies de ferro formadas durante a eletrocoagulação (e portanto, no tipo de coagulante formado), tendo impacto direto na eficiência do tratamento.

PALAVRAS-CHAVE: Eletrocoagulação, pH inicial, rerrefino de óleos.

INTRODUÇÃO

A indústria de refino de petróleo converte petróleo bruto em mais de 2.500 produtos refinados, incluindo gás liquefeito de petróleo, gasolina, querosene, combustível de aviação, combustível diesel, óleos combustíveis e óleos lubrificantes (Benyahia et al., 2006). Dentre os subprodutos produzidos, especial atenção têm sido dada aos óleos lubrificantes usados, que representam um grande passivo ambiental em razão de sua composição química complexa. No Brasil, de acordo com as diretrizes do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), após o término de sua vida útil, todo óleo lubrificante utilizado ou contaminado deve ser coletado e descartado de forma a não afetar adversamente o meio ambiente e proporcionar a máxima recuperação dos constituintes presentes (CONAMA, 2005). Uma alternativa que tem sido adotada por indústrias produtoras de óleos lubrificantes para minimizar os impactos ambientais relacionados ao descarte desses resíduos é o rerrefino, processo industrial que promove a reciclagem de óleos lubrificantes usados. Neste processo, contaminantes, produtos de degradação e aditivos presentes em óleos lubrificantes usados e/ou contaminados são removidos, conferindo-lhes características de óleos básicos (CONAMA, 2005). A Figura 1 apresenta o fluxograma básico do processo de rerrefino de óleos lubrificantes que é realizado no Brasil.

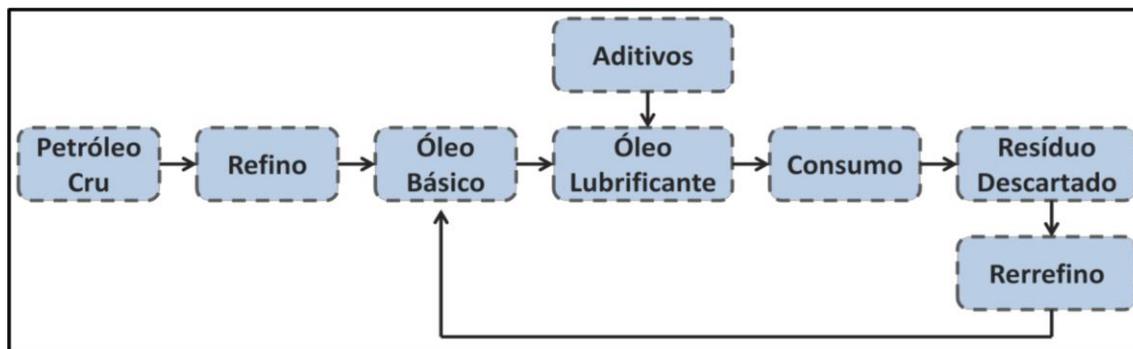


Figura 1: Fluxograma simplificado do processo de rerrefino de óleos lubrificantes.

Fonte: Adaptado de Tristão et al. (2005).

O processo de rerrefino de óleos lubrificantes é responsável pela geração de efluentes com considerável potencial poluidor. Estima-se que durante o processo de rerrefino de óleos, o volume de águas residuais geradas correspondam a cerca de 0,4 a 1,6 vezes a quantidade de óleo bruto processado (Coelho et al., 2006). A composição química dos efluentes gerados a partir do processo de rerrefino engloba poluentes como óleos e graxas, sólidos suspensos, compostos fenólicos, sulfeto e amônia, DQO elevada, presença de metais pesados, surfactantes, inibidores de corrosão, entre outros (Rhee et al., 1989; Panizza, 2018). Caso não sejam devidamente tratados, efluentes oleosos podem dificultar a difusão do oxigênio necessário para muitas formas de vida aquática ou bloquear as linhas de drenagem de água (Mongkolthananaruk e Dharmstithi, 2002). Além desse aspecto, a biodegradabilidade do óleo no ecossistema natural é baixa e componentes oleosos podem impedir funções biológicas no ambiente por um longo tempo (An et al., 2017).

Um dos inconvenientes do tratamento de efluentes oleosos é o fato de que este tipo de efluente é composto por óleos em forma de emulsão (sistema heterogêneo, composto por pelo menos um líquido imiscível) (Coca et al., 2011). As gotículas de óleo dispersas geralmente têm alta carga superficial, resultando na estabilidade do sistema óleo-em-água (An et al., 2017), dificultando o tratamento de efluentes oleosos exclusivamente por processos convencionais (como processos físico-químicos acompanhados de tratamento biológico). Os métodos convencionais de tratamento de efluentes oleosos apresentam diversos problemas operacionais, como a geração de gases tóxicos, produção de lodo residual, demanda por grandes áreas territoriais e remoção incompleta de compostos refratários (Panizza, 2018). Um dos tratamentos apontado como alternativa aos processos convencionais é a eletrocoagulação, que promove a geração de coagulantes através da eletrodissolução de ânodos de sacrifício (que podem ser de diversos materiais, sendo ferro e alumínio os mais utilizados). Os cátions gerados reduzem a estabilidade das partículas eletricamente carregadas, assim como contribuem na formação de íons hidróxido e complexos de hidróxido de alumínio/ferro, os quais são conhecidos por ser eficientes coagulantes (Gonzales e Torem, 2010).

Conforme Chigozie e Joseph (2014), processo de eletrocoagulação pode ser descrito através de três etapas principais: (i) formação de coagulantes por oxidação eletrolítica de eletrodo de sacrifício; (ii) desestabilização dos contaminantes, suspensão de particulados e quebra de emulsões por compressão de dupla camada difusa ao redor de espécies carregadas; e (iii) agregação das fases desestabilizadas para formar flocos. Na primeira etapa do processo de eletrocoagulação, devido à corrente aplicada aos eletrodos, a oxidação do ânodo sacrificial e a redução do cátodo (com formação de H_2 e OH^-) ocorrem simultaneamente, sendo seguidas pela formação de hidróxidos metálicos (resultantes da reação entre os cátions metálicos liberados do ânodo e os íons hidroxila presentes no meio reacional). Durante esse processo, a formação de H_2 no cátodo é especialmente relevante na remoção de óleos em suspensão presentes no efluente, visto que possibilita a eliminação dos contaminantes por flotação.

Entre as vantagens do processo de eletrocoagulação estão os menores custos operacionais em relação ao processo convencional, o fato de não requerer a adição de produtos químicos, alta eficiência de remoção de partículas, facilidade de tratamento e possibilidade de automação completa (Bayramoglu et al., 2007; Chen, 2004; Khandegar e Saroha, 2013). No entanto, para que o tratamento seja de fato eficaz na remoção de contaminantes, é fundamental que sejam avaliados os parâmetros operacionais que podem afetar a performance do processo de eletrocoagulação. Neste contexto, o presente estudo teve como objetivo avaliar a influência de diferentes valores de pH inicial (3, 4 - pH original do efluente e 9) na redução da Demanda Química de Oxigênio (DQO) e dos níveis de cor e turbidez de um efluente de rerrefino de óleos lubrificantes submetido ao processo de eletrocoagulação com eletrodos de ferro.

MATERIAIS E MÉTODOS

Efluente oleoso

O efluente empregado nas análises realizadas nesse estudo é proveniente de uma indústria produtora de óleos lubrificantes localizada no estado do Rio Grande do Sul/Brasil. A amostra de efluente foi disponibilizada no

Centro de Estudos Ambientais da Universidade La Salle, no município de Nova Santa Rita/RS, sendo mantida em galão plástico à temperatura ambiente até a realização dos ensaios.

Reagentes

Os ajustes de pH inicial do efluente foram realizados com soluções de H_2SO_4 1M (Synth) e $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 1M (Neon), enquanto que a remoção de ferro residual em suspensão (presente no efluente tratado via eletrocoagulação em valores de pH inicial ácidos) foi efetuada com solução de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 1M (Neon). Durante os ensaios para determinação da Demanda Química de Oxigênio (DQO) foram utilizadas soluções de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 0,01667 M (Neon), $\text{H}_2\text{SO}_4/\text{Ag}_2\text{SO}_4$ (Anidrol), $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 0,10 M (Synth) e indicador ferroína (Dinâmica). Todas as soluções empregadas nos ensaios foram preparadas com água deionizada Milli-Q® (Millipore Corporation) e com reagentes de grau analítico.

Equipamentos

Os ensaios de eletrocoagulação foram realizados a partir do sistema esquematizado na Figura 2, composto por fonte de corrente contínua (Markelie) com amperagem e tensões máximas de 25 A e 15 V, respectivamente; reator de acrílico (12 cm de diâmetro, 21 cm de largura e distância interna entre eletrodos de 0,5 cm); 4 eletrodos de ferro (com dimensões de 10,5 x 0,3 x 12,0 cm); e agitador magnético (Fisatom 752). O efluente contido no reator foi mantido sob agitação para homogeneização, favorecendo a ação do coagulante formado e uma maior produção de flocos.

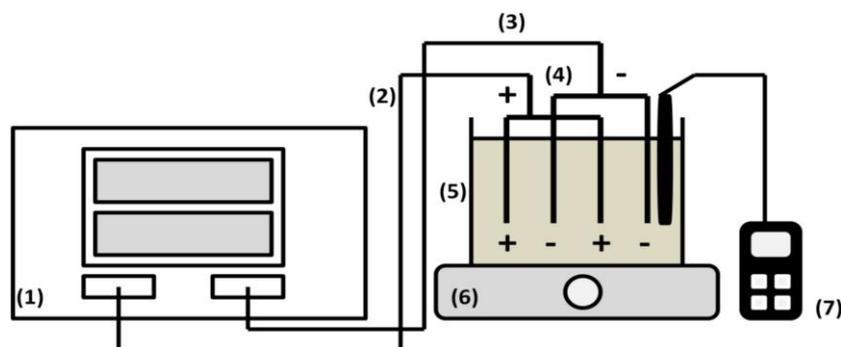


Figura 2: Esquema do sistema de eletrocoagulação utilizado nos ensaios. (1) Fonte de corrente contínua; (2) conexões do ânodo; (3) conexões do cátodo; (4) eletrodos de ferro; (5) reator de acrílico; (6) agitador magnético; (7) pHmetro.

A digestão das amostras de DQO foi realizada em bloco digestor (Cienlab Novus N1040 T), enquanto que as medições de pH, cor, condutividade e turbidez foram efetuadas com pHmetro (Hanna Instruments HI 8424), medidor de cor (Alfakit), condutivímetro (Hanna Instruments HI 9811-5) e turbidímetro (Hach 2100P), respectivamente. Para a filtração das amostras de efluente tratado utilizou-se bomba de sucção (Prismatec 132).

Ensaio de eletrocoagulação

Os ensaios de eletrocoagulação foram realizados com o objetivo de analisar o efeito do pH inicial do efluente na remoção dos parâmetros cor, DQO e turbidez. Em cada ensaio foram utilizados 3 L de efluente bruto de rerrefino, eletrocoagulados por 90 minutos, com a retirada de amostras para análise em cada intervalo de 10 minutos de tratamento. Todos os ensaios foram realizados à temperatura ambiente (25 °C), utilizando-se dois pares de eletrodos de ferro, dispostos no reator de forma intercalada (ânodo-cátodo; ânodo-cátodo), com uma distância entre eletrodos de 2 cm.

Foram avaliados três valores distintos de pH (3, 4 (pH original do efluente) e 9), mantendo constantes a tensão (5V) e a densidade de corrente (9 A/m²). Os valores de pH analisados nos ensaios foram baseados nos estudos de Pérez et al. (2016) e Yavuz and Ogütveren (2018), enquanto o valor de densidade de corrente e tensão



foram adaptados dos estudos de Bayar et al. (2011) e Khandegar and Saroha (2013), respectivamente. Nos ajustes dos valores de pH inicial do efluente bruto de rerrefino (pH 3 e 9) foram utilizadas soluções de H_2SO_4 e $Ca(OH)_2$ 1M. Considerando que a condutividade do efluente bruto era elevada, não foi necessária a adição de eletrólito de suporte ao sistema. Para evitar possíveis inconsistências nas medições subsequentes de cor e turbidez e nas determinações dos valores de DQO do efluente tratado, realizou-se o ajuste de pH das amostras de efluente eletrocoagulado (com pH inicial 3 e 4) até pH 7, permitindo a remoção de ferro residual em suspensão, proveniente da dissolução dos ânodos. Para tanto, utilizou-se como agente precipitante solução de $Ca(OH)_2$ 1 M.

Determinações de cor, DQO e turbidez

As determinações de cor e turbidez das amostras de efluente bruto e tratado via eletrocoagulação foram realizadas através de medições diretas em medidor de cor e turbidímetro calibrados, enquanto que a determinação da Demanda Química de Oxigênio (DQO) foi efetuada de acordo com o método 5220C (Refluxo Fechado - Método Titulométrico), descrito no livro *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* 22ª edição (APHA, 2012).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Caracterização do efluente oleoso

A caracterização do efluente de rerrefino foi realizada antes dos ensaios de eletrocoagulação, sendo empregadas nas análises amostras de efluente bruto sem nenhum tipo de pré-tratamento. Observou-se visualmente que o efluente apresentava coloração marrom-escura, presença de óleos em suspensão, além de forte odor. A Tabela 1 apresenta os resultados dos ensaios de caracterização realizados.

Tabela 1: Caracterização do efluente oleoso.

Parâmetro	Efluente Bruto
DQO (mg O_2 /L)	33980,58
Cor aparente (mg/L)	7138,00
Turbidez (NTU)	1940,00
Condutividade (μ S/cm)	4100,00

Os resultados obtidos nos ensaios de caracterização indicaram que o efluente de rerrefino apresentava elevados teores de carga orgânica, cor e turbidez. A condutividade do efluente bruto também era elevada e, em razão disso, não foi necessário adicionar eletrólito de suporte ao meio reacional.

Efeito do pH inicial do efluente no processo de eletrocoagulação

Nessa etapa do estudo foi avaliada a influência do pH inicial do efluente de rerrefino na remoção dos parâmetros cor, DQO e turbidez. Os valores de pH analisados foram 3, 4 (pH original do efluente) e 9, mantendo-se constantes a tensão (5V) e a densidade de corrente ($9 A/m^2$) do sistema. A Figura 3 apresenta os resultados dos ensaios para análise da influência do efeito do pH inicial do efluente na remoção de DQO.

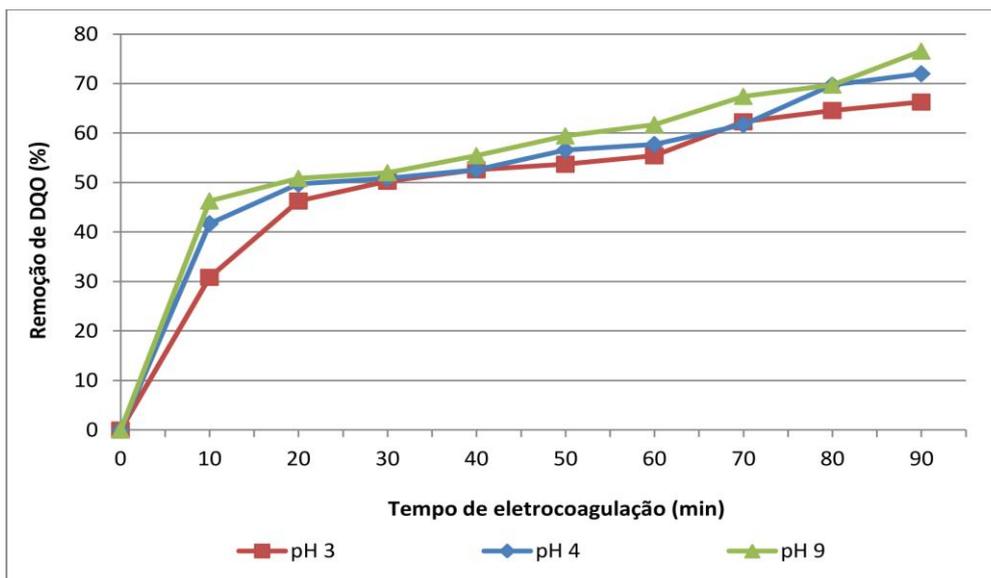
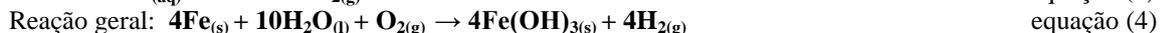
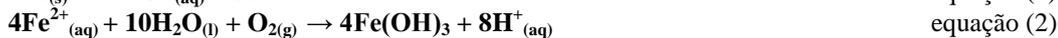


Figura 3: Efeito do pH inicial do efluente na remoção de DQO (considerando valores de pH inicial 3, 4 e 9, tensão de 5V e densidade de corrente de 9 A/m²).

A partir da Figura 3 verifica-se que os percentuais de remoção de DQO nos diferentes valores de pH inicial analisados foram muito próximos, tendo sido obtidas remoções de 66,3% (pH 3), 72,0% (pH 4) e 76,6% (pH 9) após 90 minutos de tratamento. A influência do pH inicial do efluente de rerrefino na remoção de DQO têm relação direta com as reações que ocorrem durante o processo de eletrocoagulação, uma vez que essas reações são responsáveis pela dissociação do ânodo e consequente formação de coagulante, que atua na remoção dos contaminantes. Além desse aspecto, conforme Kobya et al. (2003), dependendo da faixa de pH utilizado no tratamento, os íons férricos gerados via eletrocoagulação podem formar íons monoméricos, complexos hidróxido férricos com íons hidróxido e espécies poliméricas, que irão influenciar na formação da espécie de coagulante gerado durante o tratamento. De uma maneira geral, o processo de eletrocoagulação realizado com eletrodos de ferro pode se desenvolver através de dois mecanismos distintos, conforme as Equações (1) a (8), propostas por El-Taweel et al. (2015).

Mecanismo I:



Mecanismo II:



Observando-se as reações propostas nos mecanismos I e II (Equações 1 a 8), verifica-se que durante o processo de eletrocoagulação podem ser formados os agentes coagulantes $\text{Fe}(\text{OH})_2$ e/ou $\text{Fe}(\text{OH})_3$. O pH do meio reacional têm grande influência na formação, especificação e solubilidade desses compostos. Segundo Hakizimana et al. (2017), em pH neutro ou alcalino, Fe^{2+} é imediatamente transformado em $\text{Fe}(\text{OH})_2$, que é rapidamente oxidado a $\text{Fe}(\text{OH})_3$. No caso específico desse estudo, os elevados percentuais de remoção de DQO obtidos em pH alcalino indicaram que durante o tratamento do efluente de rerrefino via eletrocoagulação, ambos os agentes coagulantes ($\text{Fe}(\text{OH})_2$ e $\text{Fe}(\text{OH})_3$) foram formados, uma vez que a solubilidade mínima desses compostos ocorre na faixa de pH de 7 a 10. Além desse aspecto, durante o tratamento via eletrocoagulação observou-se a formação de elevado volume de lodo verde-escuro e uma

pequena parcela de lodo amarelado (Figura 6 (b.)), que de acordo com outros estudos (Zaroual et al., 2006; Zhao et al., 2014; Safari et al., 2016) está relacionado à formação dos coagulantes $\text{Fe}(\text{OH})_2$ e $\text{Fe}(\text{OH})_3$, respectivamente. Após 60 minutos de eletrocoagulação, verificou-se que o lodo verde-escuro formado foi em sua maioria sedimentado, enquanto uma porção de contaminantes de coloração verde-escura e amarela (composta principalmente por óleos), foi removida através de flotação pelo H_2 gerado durante a eletrocoagulação, demonstrando que os flocos de hidróxido formados podem promover a remoção de poluentes de águas residuais tanto por complexação ou atração eletrostática, seguida de coagulação e flotação (Mollah et al., 2004). Além da remoção de DQO também foi avaliada a influência do pH inicial no processo de eletrocoagulação para remoção dos parâmetros cor e turbidez. A Figura 4 apresenta os resultados obtidos com relação à remoção de cor, considerando-se valores de pH inicial 3, 4 e 9 e mantendo-se a tensão (5V) e a densidade de corrente (9 A/m^2) constantes.

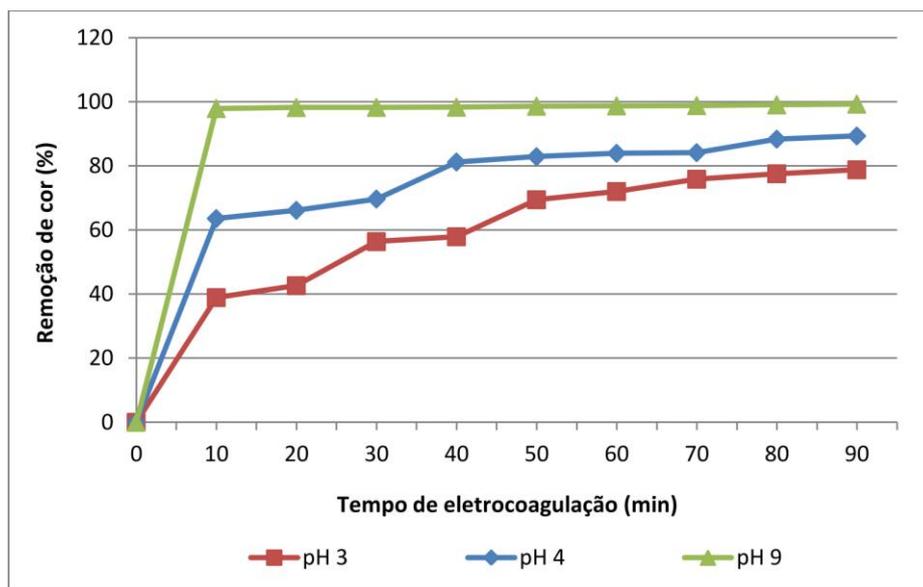


Figura 4: Efeito do pH inicial do efluente na remoção de cor (considerando valores de pH inicial 3, 4 e 9, tensão de 5V e densidade de corrente de 9 A/m^2).

Com relação à remoção de cor do efluente de rerrefino, observa-se na Figura 4 que o percentual de remoção mais significativo desse parâmetro foi atingido na amostra de efluente com pH inicial ajustado em 9, com uma remoção de 99,3% de cor após 90 minutos de eletrocoagulação. Outro aspecto relevante diz respeito ao fato de que os resultados dos ensaios de eletrocoagulação na amostra de efluente com pH inicial 9 apresentaram um comportamento quase constante no que se refere à remoção de cor, com percentuais de remoção superiores à 96,0% em todas as amostras analisadas. Em contrapartida, nas amostras de efluente com pH inicial 3 e 4 foram observados percentuais de remoção de cor inferiores, de 78,8% e 89,3%, respectivamente.

Durante o tratamento do efluente de rerrefino via eletrocoagulação com eletrodos de ferro, observou-se que apesar da formação dos coagulantes $\text{Fe}(\text{OH})_2$ e $\text{Fe}(\text{OH})_3$ (resultantes da reação entre íons OH^- e íons de ferro liberados do ânodo), uma parcela do ferro em solução não reagiu com os íons OH^- para a formação dos agentes coagulantes, permanecendo em suspensão no efluente tratado. A precipitação do ferro em suspensão identificado nessa etapa de tratamento foi realizada com solução $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 1M, de modo que fosse possível realizar as medições de cor sem interferentes. Conforme foi discutido anteriormente, o pH de precipitação de Fe^{2+} e Fe^{3+} sob a forma de $\text{Fe}(\text{OH})_2$ e $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ocorre na faixa de pH 7 a 10 (Kobyta et al., 2011). Considerando a faixa de pH de precipitação de ferro, neste estudo as amostras de efluentes eletrocoagulados com pH inicial ácido (3 e 4) foram submetidos a um novo ajuste de pH após 60 minutos de eletrocoagulação (até pH 7). No caso de amostra de efluente com pH inicial de 9 (que apresentou a maior porcentagem de remoção de cor em comparação com amostras com pH ácido), não foi necessário promover um novo ajuste de pH ao final do tratamento, pois no pH final do efluente eletrocoagulado (pH 9,6), o ferro residual em suspensão já havia precipitado completamente. A Figura 5 apresenta a influência do pH inicial na remoção da turbidez do efluente de rerrefino tratado via eletrocoagulação.

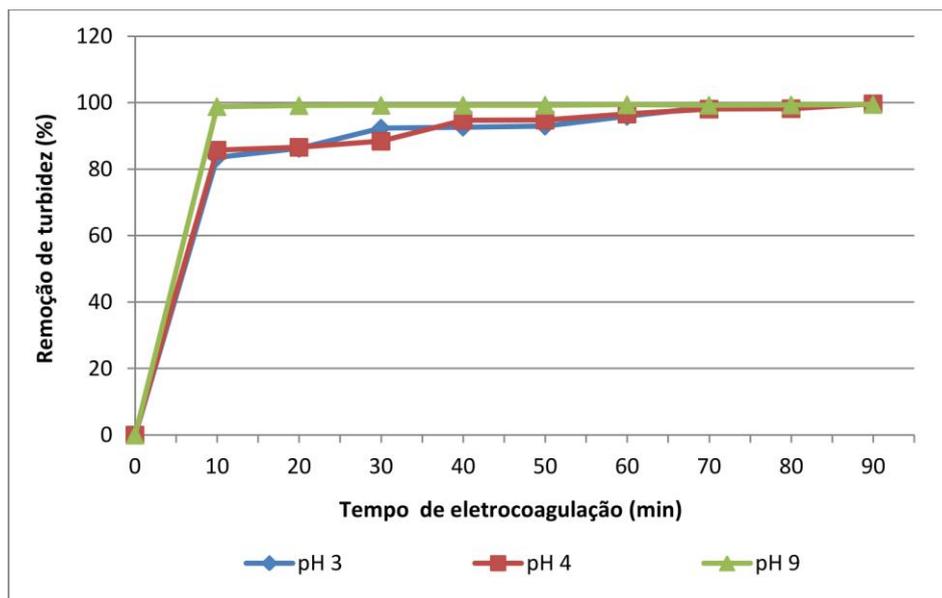


Figura 5: Efeito do pH inicial do efluente na remoção de turbidez (considerando valores de pH inicial 3, 4 e 9, tensão de 5V e densidade de corrente de 9 A/m²).

Com relação ao parâmetro turbidez, foram observados percentuais de remoção superiores a 99% em todos os valores de pH inicial analisados, após 90 minutos de eletrocoagulação (com 99,5% de remoção de turbidez em pH 3 e 9 e 99,7% de remoção em pH 4). Outro aspecto evidenciado na Figura 5 foi que o efluente com pH inicial alcalino submetido ao processo de eletrocoagulação apresentou remoções de turbidez acima de 98,8% em todas as amostras analisadas. Este comportamento é semelhante ao verificado em análises de cor de efluente eletrocoagulado com pH inicial de 9, onde percentuais de remoção de cor acima de 96% foram observados em todas as amostras analisadas. A Figura 6 apresenta a comparação entre o efluente bruto e o efluente tratado via eletrocoagulação, em pH inicial 9 (pH ideal identificado nesse estudo), tensão de 5 V e densidade de corrente igual a 9 A/m².

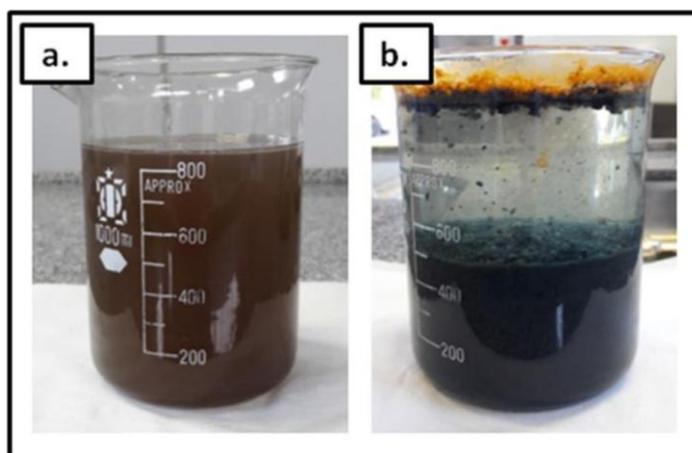


Figura 6: Comparação entre o efluente de rerrefino bruto (a.) e o efluente tratado via eletrocoagulação (b.), em pH inicial 9, tensão de 5V e densidade de corrente de 9 A/m².

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos nesse estudo evidenciaram que no processo de eletrocoagulação realizado em pH inicial 9 (utilizando eletrodos de ferro e mantendo a densidade de corrente (9 A/m²) e tensão (5V) constantes) foram observados os maiores percentuais de remoção dos parâmetros avaliados, com remoções de 76,6% de DQO, 99,3% de cor e 99,5% de turbidez após 90 minutos de tratamento. O valor de pH inicial 9 também mostrou-se



ideal com relação à remoção do ferro residual liberado em excesso dos ânodos, uma vez que nessa condição experimental não foi necessário efetuar novos ajustes de pH ao final do tratamento visando a remoção do material em suspensão, o que representa uma economia no uso de reagentes empregados no processo. Os resultados atingidos mostraram também que o pH inicial tem influência direta nas espécies de ferro formadas durante o tratamento de eletrocoagulação, influenciando no tipo de coagulante formado e na eficiência do tratamento, visto que os hidróxidos de ferro (gerados a partir da reação entre os cátions liberados do ânodo e dos íons hidroxila presentes no meio reacional) atuam na remoção de óleos e contaminantes. Os elevados percentuais de remoção de cor, DQO e turbidez observados após a eletrocoagulação do efluente oleoso com pH inicial 9 se devem ao fato de que em pH alcalino, o Fe^{2+} liberado dos cátodos é oxidado a $Fe(OH)_3$, de modo que tanto o coagulante $Fe(OH)_2$ quanto $Fe(OH)_3$ podem estar presentes no meio reacional, atuando duplamente no tratamento do efluente e permitindo o atingimento de percentuais de remoção mais expressivos ao final do processo. Diante dos resultados obtidos observa-se que o pH inicial do efluente oleoso exerce influência significativa na eficiência do processo de eletrocoagulação, demonstrando a importância da avaliação prévia desse parâmetro para que o tratamento seja promissor e promova a efetiva remoção de contaminantes.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo benefício CAPES/PROSUC (taxas escolares) concedido à aluna Ana Carolina Favero.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AN, C., HUANG, G., YAO, Y., ZHAO, S. *Emerging usage of electrocoagulation technology for oil removal from wastewater: a review. Science of the Total Environment*, v. 579, n. 1, p. 537-556, Feb. 2017.
2. APHA (American Public Health Association). *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 22 ed. APHA, AWWA, WPCF: Washington, 2012.
3. BAYAR, S., YILDIZ, Y.Ş., YILMAZ, A.E., İRDEMEZ, Ş. *The effect of stirring speed and current density on removal efficiency of poultry slaughterhouse wastewater by electrocoagulation method. Desalination*, v. 280, n. 1-3, p. 103-107, 2011.
4. BAYRAMOĞLU, M., EYVAZ, M., KOBYA, M. *Treatment of the textile wastewater by electrocoagulation: economical evaluation. Chemical Engineering Journal*, v. 128, n. 2-3, p. 155-161, Apr. 2007.
5. BENYAHIA, F., ABDULKARIM, M., EMBABY, A., RAO, M. *Refinery wastewater treatment: a true technological challenge. The 7th Annual U.A.E. University Research Conference, Al Ain UAE*, p. 186-193, 2006.
6. CHEN, G. *Electrochemical technologies in wastewater treatment. Separation and Purification Technology*, v. 38, n. 1, p. 11-41, Jul. 2004.
7. CHIGOZIE, U.F., JOSEPH, N.T. *Removal of orange-g, vat yellow, erythrosine dyes from synthetic wastewater by electrocoagulation and nanofiltration. Journal of Advanced Chemical Engineering*, v. 4, n. 3, p. 1-5, Jan. 2014.
8. COCA, J., GUTIÉRREZ, G., BENITO, J. *Treatment of oily wastewater. In: Water purification and management. NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security; Coca-Prados, J., Gutiérrez-Cervelló, G., Editores; Springer: Dordrecht, 2011, p. 1-55.*
9. COELHO, A., CASTRO, A.V., DEZOTTI, M., SANT'ANNA, J.G.L. *Treatment of petroleum refinery sourwater by advanced oxidation processes. Journal of Hazardous Materials*, v. 137, n. 1, p. 178-184, Set. 2006.
10. CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente). Resolução nº 362/2005. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=466>. Acessado em 24 Mar. 2018.
11. EL-TAWHEEL, Y.A., NASSEF, E.M., ELKHERIANY, I., SAYED, D. *Removal of Cr(VI) ions from waste water by electrocoagulation using iron electrode. Egyptian Journal of Petroleum*, v. 24, n. 2, p. 183-192, Jun. 2015.
12. GONZALES, L.G.V, TOREM, M.L. *O efeito de dois diferentes anodos metálicos na eletrocoagulação de efluentes oleosos sintéticos. Estudos Tecnológicos*, v. 6, n. 2, p. 57-67, Mai/Ago 2010.



13. HAKIZIMANA, J.N., GOURICH, B., CHAFI, M., STIRIBA, Y., VIAL, C., DROGUI, P., NAJA, J. *Electrocoagulation process in water treatment: a review of electrocoagulation modeling approaches. Desalination*, v. 404, n. 1, p. 1–21, Feb. 2017.
14. KHANDEGAR, V., SAROHA, A.K. *Electrocoagulation for the treatment of textile industry effluent - a review. Journal of Environmental Management*, v. 128, n. 1, p. 949-963, Oct. 2013.
15. KHANDEGAR, V., SAROHA, A.K. *Electrocoagulation of distillery spentwash for complete organic reduction. International Journal of ChemTech Research*, v. 5, n. 2, p. 712-718, Apr. 2013.
16. KOBYA, M., CAN, O.T., BAYRAMOGLU, M. *Treatment of textile wastewaters by electrocoagulation using iron and aluminum electrodes. Journal of Hazardous Materials*, v. B100, n. 1-3, p. 163–178, Jun. 2003.
17. KOBYA, M., GEBOLOGLU, U., ULU, F., ONCEL, S., DEMIRBAS, E. *Removal of arsenic from drinking water by the electrocoagulation using Fe and Al electrodes. Electrochimica Acta*, v. 56, n. 14, p. 5060–5070, May 2011.
18. MOLLAH, M.Y.A., PATHAK, S.R., PATIL, P.K., VAYUVEGULA, M., AGRAWAL, T.S., GOMES, J.A.G., KESMEZ, M., COCKE, D.L. *Treatment of orange II azo-dye by electrocoagulation (EC) technique in a continuous flow cell using sacrificial iron electrodes. Journal of Hazardous Materials*, v. 109, n. 1-3, p. 165-171, Jun. 2004.
19. MONGKOLTHANARUK, W., DHARMSTHITI, S. *Biodegradation of lipid-rich wastewater by a mixed bacterial consortium. International Biodeterioration & Biodegradation*, v. 50, n. 2, p. 101–105, Sep. 2002.
20. PANIZZA, M. *Capítulo 13: Fine chemical industry, pulp and paper industry, petrochemical industry and pharmaceutical industry. In: Electrochemical water and wastewater treatment; MARTÍNEZ-HUITLE, C.A., RODRIGO, M.A., SCIALDONE, O. Editores; Elsevier: Oxford, 2018, p. 335-364.*
21. PÉREZ, L.S., RODRIGUEZ, O.M., REYNA, S., SÁNCHEZ-SALAS, J.L., LOZADA, J.D., QUIROZ, M.A., BANDALA, E.R. *Oil refinery wastewater treatment using coupled electrocoagulation and fixed film biological processes. Physics and Chemistry of the Earth*, v. 91, n. 1, p. 53-60, Feb. 2016.
22. RHEE, C.H., MARTYN, P.C., KREMER, J.G. *Removal of oil and grease in oil processing wastewaters. Sanitation District of Los Angeles County, U.S.A, 1989.*
23. SAFARI, S., AGHDAM, M.A., KARIMINIA, H.R. *Electrocoagulation for COD and diesel removal from oily wastewater. International Journal of Environmental Science and Technology*, v. 13, n. 1, p. 231–242, Jan. 2016.
24. TRISTÃO, J.A.M., SOUSA JUNIOR, J.V., TRISTÃO, V.T.V. *Gestão ambiental de resíduos de óleos lubrificantes: o processo de rerrefino. ENANPAD, 2005.*
25. YAVUZ, Y., ÖGÜTVEREN, Ü.B. *Treatment of industrial estate wastewater by the application of electrocoagulation process using iron electrodes. Journal of Environmental Management*, v. 207, n. 1, p. 151-158, Feb. 2018.
26. ZAROUAL, Z., AZZI, M., SAIB, N., CHAINET, E. *Contribution to the study of electrocoagulation mechanism in basic textile effluent. Journal of Hazardous Materials*, v. B131, n. 1-3, p. 73–78, Apr. 2006.
27. ZHAO, S., HUANG, G., CHENG, G., WANG, Y., FU, H. *Hardness, COD and turbidity removals from produced water by electrocoagulation pretreatment prior to reverse osmosis membranes. Desalination*, v. 344, n. 1, p. 454–462, Jul. 2014.