

ANÁLISE DA CONCENTRAÇÃO DO ÍON FERROSO (Fe^{2+}) NA SOLUÇÃO DILUÍDA DURANTE O PROCESSO DE ELETRODIÁLISE

Camila Silveira Lamanes dos Santos¹

Brenda Carolina de Carvalho Gomes²

Vicelma Luiz Cardoso³

Miriam Maria de Resende⁴

Gerenciamento de Resíduos Sólidos e Líquidos

RESUMO

A eletrodiálise é uma técnica de separação que utiliza membranas íons seletivas podendo esse método ser empregado para remover metais solúveis em água. Na água, o ferro pode ocorrer na forma iônica ou complexada, como íon di ou trivalente, em estado coloidal ou disperso, mas o excesso desse elemento é um problema para as Estações de Tratamento de Água e Estações de Tratamento de Efluentes devido aos vários prejuízos que podem ser causados. Assim, o objetivo do trabalho foi aplicar a eletrodiálise para remover o íon ferroso (Fe^{2+}) de uma solução aquosa avaliando a variação da concentração desse íon durante o processo. Utilizou-se se uma célula eletrolítica alemã PCCELL GmbHAs do tipo PCell ED 64 0 02. Foram realizados oito ensaios consecutivos com solução de 50 mg/L de Fe^{2+} , água deionizada e uma solução com 0,25M de Na_2SO_4 como solução diluída, solução concentrada e eletrólito, respectivamente. O potencial elétrico foi mantido constante em 26,3V durante todos os ensaios, sendo que a corrente elétrica sofreu variação com o tempo. Observou-se que para se atingir valores iguais ou inferiores ao estabelecido pela legislação vigente para lançamento de efluentes em corpos hídricos em relação ao ferro dissolvido foi necessário aproximadamente 20 minutos de eletrodiálise. Mesmo com o ajuste inicial do pH para valores inferiores a 3,7 houve a formação de torta nas membranas devido a precipitação de hidróxido de ferro (ferrugem), o que diminuiu a eficiência do processo.

Palavras-chave: Potencial elétrico; Corrente; pH; Membranas; Ferro.

INTRODUÇÃO

A eletrodiálise (ED) pode ser considerada uma tecnologia limpa, pois essa técnica minimiza a geração de resíduos na fonte. Ela tem como princípio remover íons de uma solução (diluída) para outra (concentrada) por meio do fluxo de íons entre espaçadores através das membranas trocadoras de cátions e ânions (membranas iônicas). Esse processo é realizado com aplicação de corrente elétrica entre os eletrodos, também conhecidos como cátodo e ânodo, através de uma diferença de potencial e na presença de uma solução salina chamada de

¹Aluno do Curso de doutorado em Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Química, camilalamanes@gmail.com.

²Aluno do Curso de graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Química, brendacarolinac@hotmail.com.

³Prof. Dr. Vicelma Luiz Cardoso, da Universidade Federal de Uberlândia – Campus Santa Mônica, Faculdade de Engenharia Química, vicelma@ufu.br.

⁴Prof. Dr. Miriam Maria de Resende, da Universidade Federal de Uberlândia – Campus Santa Mônica, Faculdade de Engenharia Química, mresende@ufu.br.

eletrólito. A EDTêm vantagens significativas quando comparada a outros métodos para tratamento de água e efluentes como, por exemplo, a recuperação direta de íons metálicos para reuso sem transformações químicas (Rodrigues et al, 1999; Dalla Costa et al, 1998).

Altas concentrações de ferro em águas superficiais são comuns no Brasil devido à estrutura geológica do país, sendo esse um dos metais mais abundantes da crosta terrestre. O ferro ocorre naturalmente solubilizado em água como o íon ferroso (ferro bivalente em forma dissolvida Fe^{2+} ou $\text{Fe}(\text{OH})^+$) ou complexado como o íon férrico (ferro trivalente: Fe^{3+} encontrado no precipitado $\text{Fe}(\text{OH})_3$). O estado do ferro na água depende, sobretudo do pH: ao aumentar o pH, o ferro dissolvido (Fe^{2+} ou Fe^{3+}) se hidrolisa para formar precipitados (Ben Sik Ali et al., 2013).

Nas Estações de Tratamento de Água (ETAs) um dos parâmetros verificados é o teor de ferro contido na água, sendo essa informação de extrema relevância. Quando em excesso o ferro acarreta problemas de caráter operacional e econômico como, por exemplo, danos causados às tubulações que transportam a água; além de prejuízos devido ao aspecto estético, pois quando em alta concentração o ferro confere coloração à água o que acarreta rejeição no consumo humano. Altas concentrações de ferro em água potável também podem causar danos à saúde do homem: insuficiência cardíaca, diabetes, cirrose e tumores hepáticos (Cho, 2005; Chaturvedi e Dave, 2012; Yuce e Alptekin, 2013).

Assim sendo, o objetivo deste trabalho foi aplicar a eletrodialise para remover o íon ferroso (Fe^{2+}) de uma solução aquosa avaliando a variação da concentração desse íon durante a técnica de eletrodialise.

METODOLOGIA

Utilizou-se para os ensaios uma célula eletrolítica com dois compartimentos produzida pela indústria alemã PCCELL GmbHAs do tipo PCCell ED 64 0 02, com o fluxo das soluções utilizadas realizado por bombas centrífugas.

Foi usado como eletrólito Na_2SO_4 0,25 M, água deionizada como solução concentrada e uma solução com aproximadamente 250 mg/L de $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, que é equivalente a 50 mg/L de Fe^{2+} , como solução diluída. O eletrólito é responsável por manter a diferença de potencial entre o cátodo e o ânodo da célula de eletrodialise e a solução diluída é a solução a ser tratada, a qual deve ficar menos concentrada em íons com o passar do tempo. Utilizou-se 1L de cada solução e uma vazão de 20-60-60 L/h para eletrólito, solução diluída e solução concentrada, respectivamente. Foi necessário o ajuste do pH inicial da solução diluída para menor que 3,7

usando HCl 0,1M, pois no intervalo de pH de 2,0-3,7, o transporte e remoção do íon ferroso é praticamente constante, o que não acontece quando o pH é maior que 3,7 (Ben Sik Ali et al., 2013).

O sistema operava em regime batelada, mas o eletrólito e a solução concentrada só foram alimentados na unidade no início do primeiro ensaio, permanecendo no sistema até o final de todos os experimentos, sem troca. Apenas a solução diluída era substituída ao final de cada ensaio por outra nova. Testes preliminares indicaram 26,3V como o potencial elétrico apropriado para as condições mencionadas acima, sendo esse mantido constante durante todos os ensaios. O potencial elétrico está diretamente relacionado com a corrente limite, pois essa indica em qual voltagem deve-se trabalhar sem que a corrente elétrica ofereça resistência para a remoção dos íons e, conseqüentemente, diminua a eficiência do processo.

Foram realizados oito ensaios consecutivos, sendo o final da sequência de experimentos determinado pela diminuição da vazão do sistema devido à formação de torta e ao *fouling* das membranas. No início do primeiro ensaio todas as membranas da célula eletrolítica estavam limpas. Para a determinação da concentração do íon ferroso na solução diluída foram coletadas alíquotas em intervalos de 10 minutos durante 70 minutos. As amostras foram quantificadas em relação à concentração do íon ferroso, que foi determinada por espectrometria de absorção atômica em chama, empregando o aparelho da marca Shimadzu, modelo AA-7000.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 mostra a variação da concentração do íon ferroso, em função do tempo, usando a eletrodialise. Pode-se observar por essa figura que todos os ensaios atingiram em até 20 minutos de operação da eletrodialise a concentração zero, ou seja, alcançaram um valor abaixo do limite determinado pela legislação para lançamento de efluentes em corpos receptores, que segundo a Resolução CONAMA nº 430 de 2011 é 15 mg/L de ferro dissolvido. Os ensaios de 1 a 6 atingiram esse limite em apenas 10 minutos de operação, mas nos ensaios 7 e 8 isso só foi possível entre 10 e 20 minutos. A diferença no perfil de decaimento da concentração do íon ferroso quando se compara os primeiros ensaios com os últimos pode ser explicada pela formação de torta nas membranas iônicas, o que aumenta a resistência no sistema de ED e conseqüentemente diminui a eficiência desse processo.

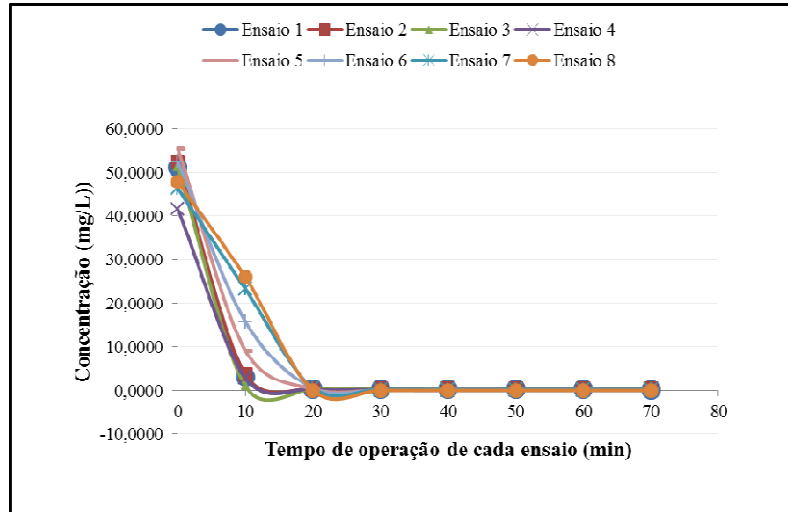


Figura 1- Variação da concentração do íon ferroso em função do tempo na eletrodialise.

Na Figura 2 tem-se o monitoramento do pH em função do tempo de cada ensaio.

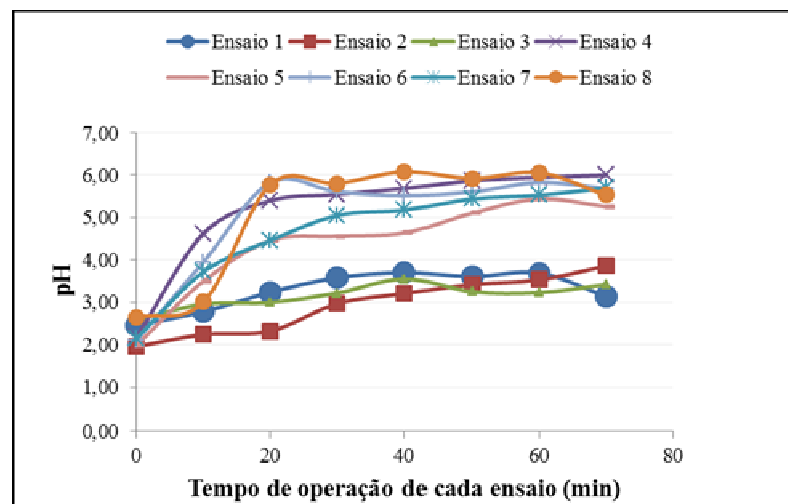


Figura 2- pH da solução diluída em função do tempo de operação, por ensaio.

É notável que mesmo realizando o ajuste inicial do pH para valores inferiores a 3,7 (todas as soluções diluídas tinham o pH em aproximadamente 2,0), com o passar do tempo de cada experimento o pH da solução diluída foi se tornando mais neutro, atingindo valores entre 6,0-7,0. Esse fato pode explicar a formação de torta nas membranas iônicas, o que ficou evidenciado nestes ensaios pela diminuição da vazão no sistema de eletrodialise. O diagrama de solubilidade do ferro mostra que somente a forma de hidróxido de ferro não carregada pode existir após $\text{pH} = 3,7$, mas este composto não pode ser transportado por processo de eletrodialise. Logo, alguns problemas de formação de torta podem aparecer. Um acúmulo de

hidróxidos de ferro, na vizinhança da membrana, causado por polarização de concentração pode ser esperado (Ben Sik Ali et al., 2013). Logo, a variação do pH da solução diluída de ácido para neutro pode ser explicada pela diminuição da concentração dos íons presentes na solução.

CONCLUSÕES

Para soluções diluídas com 50 mg/L de íon ferroso (Fe^{2+}) foi necessário um tempo de eletrodialise de aproximadamente 20 minutos para garantir que a solução final atingiu o limite determinado pela legislação vigente. Além disso, observou-se a formação de torta nas superfícies das membranas iônicas, o que pode ser explicado pela variação do pH que ocorreu ao longo dos ensaios.

AGRADECIMENTOS

Os autores deste trabalho agradecem a FEQ/UFU, CAPES, FAPEMIG e CNPq pelo suporte e apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

- BEN SIK ALI, M.; JELLOULI ENNIGROU, D.; HAMROUNI, B. Iron removal from brackish water by electrodialysis. *Environmental Technology*, v. 34, n. 17, p. 2521-2529, 2013/09/01 2013.
- CHATURVEDI, S.; DAVE, P. N. Removal of iron for safe drinking water. *Desalination*, 2012, v. 303, pp.1-11.
- CHO, B. Iron removal using an aerated granular filter. *Process Biochemistry*, 2005, v. 40, pp. 3314–3320.
- CONAMA, Resolução Nº 430/2011, Ministério do meio ambiente, capítulo 4, artículo 34, &5. In: www.mma.gov.br/conama, acessado em 02/04/2018.
- DALLA COSTA, R. F.; ANTÔNIO SIQUEIRA RODRIGUES, M.; FERREIRA, J. Z. Transport of Trivalent and Hexavalent Chromium through Different Ion-Selective Membranes in Acidic Aqueous Media. *Separation Science and Technology*, v. 33, n. 8, p. 1135-1143, 1998/01/01 1998.
- GÓMEZ, J. R. O. Tecnologías sostenibles. Revalorización de efluentes industriales mediante tecnologías de electromembrana. *Mensual de Gestión Ambiental*, v. 3, p. 12, 1999.
- RODRIGUES, M.A.S.; BERNARDES A.M.; FERREIRA J.Z, The Application of Electrodialysis on the Treatment of Effluents with Hexavalent Chromium, In: The Mineral, Metals and Material Society, Proceedings of the Annual Meeting 28/02-04/03/99, p.659-672, San Diego - Califórnia- USA.
- YUCE, G.; ALPTEKIN, C. In situ and laboratory treatment tests for lowering of excess manganese and iron in drinking water sourced from river-groundwater interaction. *Environmental Earth Sciences*, 2013, pp.1-1.

