

ANÁLISE DA ELETROFLOTAÇÃO NO TRATAMENTO DA ÁGUA PRODUZIDA DA INDÚSTRIA PETROLÍFERA

Edergleidson Soares de Oliveira¹

Vanessa Limeira Azevedo Gomes²

Engenharia de Petróleo



ISSN IMPRESSO 1980-1777

ISSN ELETRÔNICO 2316-3135

RESUMO

Durante as atividades de exploração e produção (E&P) de petróleo, são gerados alguns efluentes, sendo a água produzida (AP) o que possui maior volume. A AP vem misturada ao petróleo e possui, além de traços de óleo, salinidade relativamente elevada, cloreto de sódio, sulfato de sódio, bicarbonato de sódio, cloretos de magnésio, cálcio, bário e estrôncio. Essa água pode ser reutilizada, sendo reinjetada no próprio reservatório ou é descartada. No entanto, antes de ser reinjetada e descartada, deve ser tratada adequadamente de acordo com a legislação vigente. Após o processamento primário do petróleo, que consiste na separação das fases gás, óleo e água, alguns tratamentos subsequentes são realizados para diminuir a quantidade de contaminantes da AP. Nesse contexto, tem-se a eletroflotação que vem sendo utilizada por apresentar uma tecnologia versátil e de fácil operação. Assim, o presente estudo avaliou o tratamento da água produzida, no processo de eletroflotação, utilizando eletrodos de ferro e alumínio, obtidos a partir de rejeitos de serralharias da região. A água produzida foi obtida do campo de Carmópolis, localizado na Bacia de Sergipe, onde os parâmetros de turbidez, pH e condutividade foram medidos antes e após o tratamento por eletroflotação. Como resultados, o parâmetro de turbidez indicou o eletrodo de alumínio como o mais eficiente na remoção do óleo da água produzida.

PALAVRAS-CHAVE

Água Produzida. Eletrodos. Alumínio. Ferro.

ABSTRACT

During oil exploration and production (E&P) activities, some effluents are generated and the produced water (AP) has the highest volume. PA is mixed with petroleum and has, in addition to traces of oil, relatively high salinity rich in sodium chloride, sodium sulfate, sodium bicarbonate, and magnesium, calcium, barium and strontium chlorides. This water can be reused, either re-injected into the reservoir itself or disposed of. However, before being reinjected and disposed of, it must be properly handled in accordance with current legislation. After the primary processing of petroleum, which consists of separating the gas, oil and water phases, some subsequent treatments are performed to decrease the amount of AP contaminants. In this context, there is the electroflotation that has been used for presenting a versatile technology and easy operation. Thus, the present study evaluated the treatment of the water produced in the electroflotation process using iron and aluminum electrodes obtained from tailings from the region's metalwork. The water produced was obtained from the Carmópolis field, located in the Sergipe Basin, where turbidity, pH and conductivity parameters were measured before and after electroflotation treatment. As a result, the turbidity parameter indicated the aluminum electrode as the most efficient in removing oil from the produced water.

KEYWORDS

water produced, aluminum and iron electrodes.

1 INTRODUÇÃO

Na indústria do petróleo, durante os processos de exploração e produção, é gerada uma grande quantidade de água residual denominada Água Produzida (AP), nome que a água recebe quando chega a superfície ao sair do reservatório de petróleo. A água produzida é uma mistura altamente complexa de compostos químicos, tais como hidrocarbonetos, metais pesados, aditivos, inibidores, entre outras substâncias químicas (GOMES, 2014).

Em um campo maduro, onde a produção de petróleo está em depleção, a quantidade de AP junto com o óleo pode representar até 99% da produção total. Isso acontece devido ao movimento do contato água/óleo existente no reservatório no início da produção, também ao aumento da quantidade de água injetada para manter a pressão do reservatório (SILVA, 2010).

De acordo com os fatos acima citados, é observado que a AP contém diversos compostos potencialmente tóxicos e nocivos tanto ao meio ambiente como aos seres humanos, existindo assim a necessidade do tratamento de tal efluente.

No tratamento de efluentes gerados pela atividade petrolífera podem ser utilizados processos físicos, químicos, físico-químicos e biológicos, tais como o uso de se-

paradores água-óleo, coagulação-floculação, lagoas de ativação, lodo ativado, filtros biológicos, processos oxidativos avançados e tecnologia eletrolítica. O tratamento de efluentes, utilizando a eletroflotação é antigo, porém interessante, devido à tecnologia ser de fácil operação e ter diversas aplicações (CERQUEIRA, 2011).

Segundo Gobbi (2013), a eletroflotação faz com que ocorra a oxidação de materiais apropriados, devido a passagem de corrente elétrica no local (processo eletrolítico). É o resultado combinado de reações eletrolíticas, que respectivamente fazem que os contaminantes presentes na água produzida coagulem, esses coágulos se unam formando flocos, e esses flocos sejam carregados para superfície do efluente por microbolhas também oriundas da reação eletrolítica durante o processo de eletroflotação, o efluente a ser tratado apresentar átomos de cloro, esses átomos irão reagir e formar, hipoclorito, que é uma substância utilizada para desinfetar a água e retirar os odores indesejáveis (GOBBI, 2013).

A eletroflotação é induzida pelo uso de um reator, que nada mais é do que uma célula eletrolítica, com um cátodo e um ânodo, que faz uma corrente elétrica percorrer o efluente (CERQUEIRA, 2011). Ainda de acordo Cerqueira (2011), a eficiência do mecanismo de eletroflotação não depende unicamente do reator, sua potência ou capacidade em fazer transitar corrente elétrica por meio do efluente. As características físico químicas do efluente, tais como o pH, tamanho das partículas e concentração dos constituintes, também são variáveis que afetam a eficiência da eletroflotação.

Desta forma, o presente artigo visa avaliar a eficiência da eletroflotação no tratamento da água produzida por meio de testes em batelada, onde foi realizada a caracterização da AP obtida do Campo de Carmópolis por parâmetros pH, turbidez e condutividade. Para isso, uma célula eletrolítica de baixo custo com eletrodos de ferro e alumínio foi construída.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 ÁGUA PRODUZIDA - AP

A AP é o efluente de maior volume resultante dos processos de produção e separação existentes na indústria petrolífera, vem misturada ao óleo do reservatório, é dissociada em separadores trifásicos, o crescente volume produzido desse efluente é resultado do envelhecimento dos campos de petróleo e constituem um perigo eminente ao meio ambiente. "De maneira geral, a água de produção possui os mesmos sais e metais presentes na água do mar, porém em concentrações e razões muito superiores" (GOMES, 2014, p. 42).

De acordo com Gomes (2014), as propriedades físicas e químicas da AP podem variar bastante, de acordo com a idade geológica, profundidade a qual o reservatório está localizado, suas características geoquímicas, assim como da composição química das fases de óleo e gás presentes no reservatório e contaminantes adicionados durante a produção.

A AP em sua maior fração é constituída por compostos orgânicos e são eles que conferem maior preocupação sobre o ponto de vista ambiental em relação ao seu

descarte. Dentre os principais compostos orgânicos presentes na água de produção representam a sua maioria, hidrocarbonetos de petróleo, ácidos carboxílicos e fenóis (GOMES, 2014, p. 44 apud NEFF et al. 2011).

Em condições atmosféricas normais, o petróleo e água são praticamente imiscíveis. No entanto, devido às condições extremas como alta temperatura e alta pressão na rocha geradora durante sua formação, migração do petróleo para rocha reservatório e em virtude do tempo de aprisionamento, parcelas de petróleo podem se solubilizar em água (SILVA, 2000). As operações de produção do petróleo causam uma agitação das partículas, o que resulta em emulsões (SILVA, 2000).

Ao chegar à superfície o gerenciamento da AP se constitui como um enorme desafio para as empresas petrolíferas. As opções que geralmente são usadas para o seu destino são o descarte, injeção e o reuso. Porém, em todos os casos é necessário tratamento da AP, a fim de evitar danos ao meio ambiente e às instalações de produção, ou até mesmo, reutilizar sem causar prejuízos aos processos nos quais a AP será utilizada (MOTTA et al., 2013).

O descarte da água só pode ser feito de acordo com a regulamentação do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) e com os regulamentos estaduais e/ou municipais aplicáveis. Embora a água produzida contenha diversos compostos químicos, a Resolução CONAMA 393/07 apenas limita o teor de óleo e graxas. (BRASIL et al., 2011)

Ao tratar a AP, essa deve apresentar características de acordo com o destino esperado. A alternativa a ser adotada para tratamento e destino da AP depende de vários fatores, tais como: localização da base de produção, legislação, viabilidade técnica, custos e disponibilidade de infraestrutura e de equipamentos (MOTTA et al., 2013).

A AP a ser descartada, terá de passar por tratamentos eficazes de modo a se enquadrar na legislação vigente, devido ao local de descarte, se no mar ou em terra. Se for reutilizada, o tratamento tem que atingir os padrões necessários ao processo em que será utilizada. Os principais tratamentos para água produzida estão classificados em dois tipos, que são: métodos convencionais, que abrangem, separadores gravitacionais, flotação e hidrociclones, e métodos não convencionais, que abrangem, tratamentos químicos, tratamentos biológicos, tratamentos por membranas e tratamento eletroquímico. O foco deste trabalho é a eletroflotação, descrito a seguir.

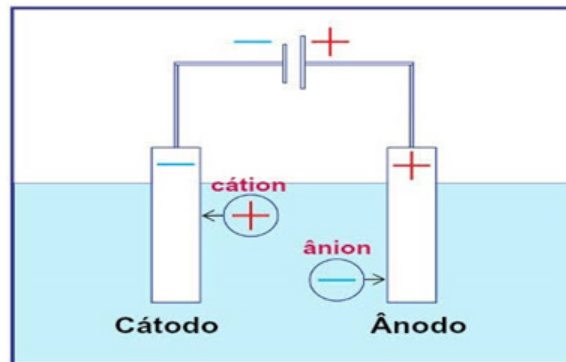
2.2 ELETROFLOTAÇÃO

Existem indícios da utilização de processos eletrolíticos que remetem a 1870, no começo de 1900, foi requerida uma patente para um sistema de tratamento eletroquímico de efluentes, nesse mesmo período foi relatada a primeira utilização da eletrolise para separação de minerais, alguns anos mais tarde o Brasil começa a utilizar o processo para tratamento de esgoto (OLIVEIRA, 2010).

A eletrólise ocorre quando é aplicada uma diferença de potencial entre os eletrodos. É o processo inverso ao da pilha de Daniell, usado para forçar uma reação na direção não espontânea com o auxílio de corrente elétrica. Ela ocorre em células eletroquímicas denominadas células eletrolíticas, onde, geralmente, os dois eletrodos

ficam no mesmo compartimento e existe um eletrólito que permite a passagem da corrente, a qual é carregada pelos íons presentes na solução. Na pilha de Daniell, a reação de oxidação ocorre no ânodo e a reação de redução no cátodo, conforme exemplificado na Figura 1. Os elétrons passam do ânodo para o cátodo por meio de um fio externo e, os cátions movem-se por eletrólito na direção do cátodo e os ânions na direção do ânodo. Porém, ao contrário da corrente espontânea da pilha de Daniell, na eletrólise adiciona-se corrente de uma fonte externa para promover a reação na direção desejada (CERQUEIRA, 2011).

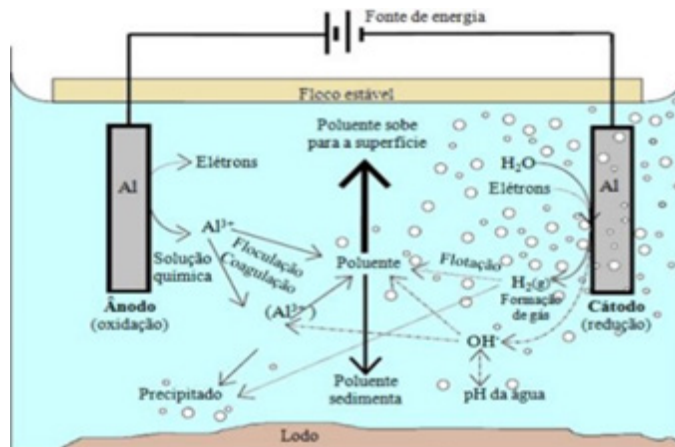
Figura 1 – Exemplo de uma reação de oxirredução na Pilha de Daniell



Fonte: Adaptado de Cerqueira (2011).

Em consonância com Holt (2002), a eletroflotação é uma operação sinérgica entre os processos de eletrólise, eletroxidação, eletrofloculação, eletrocoagulação e eletrodecantação que ocorrem simultaneamente dentro da célula eletrolítica. A Figura 2 apresenta esse processo eletrolítico.

Figura 2 – Processo de Eletroflotação



Fonte: Holt (2002).

O processo de eletroflotação se dá da seguinte forma: os íons metálicos, gerados no ânodo, são hidrolisados aos hidróxidos poliméricos, que são excelentes agentes coagulantes fazem com que os contaminantes se precipitem ou se liguem química ou fisicamente aos materiais que estão sendo gerados, os eletrodos liberam oxigênio e hidrogênio que geram microbolhas no efluente e carregam os contaminante coagulados para superfície do fluido, gerando um lodo, durante o processo ocorre a oxidação de várias moléculas de compostos orgânicos que se decompõem em produtos como dióxido de carbono água e amônia, a depender do efluente o hipoclorito pode ser formado, auxiliando o processo e dando um maior clareamento ao efluente (MOLLAH et al., 2004).

A eletroflotação é baseada no processo eletroquímico para o tratamento de efluentes, onde a oxidação dos eletrodos metálicos é responsável pela formação do agente coagulante, sem a necessidade da adição de compostos químicos para promover a coagulação. Os íons liberados neutralizam as cargas das partículas poluentes e, assim, inicia-se a coagulação (GOBBI, 2013; TONES, 2015; CERQUEIRA, 2011).

Este método de tratamento apresenta algumas vantagens em relação a outras técnicas convencionais de tratamento de efluentes. Dentre elas pode-se citar: como a coagulação ocorre por meio da oxidação dos anodos metálicos, não há a necessidade da adição de produtos químicos para promover a coagulação; os equipamentos são compactos, de simples operação, versáteis, possuem receptividade à automação e desta forma, tornam o processo de tratamento uma tecnologia de baixo custo (GOBBI, 2013; TONES, 2015; CERQUEIRA, 2011).

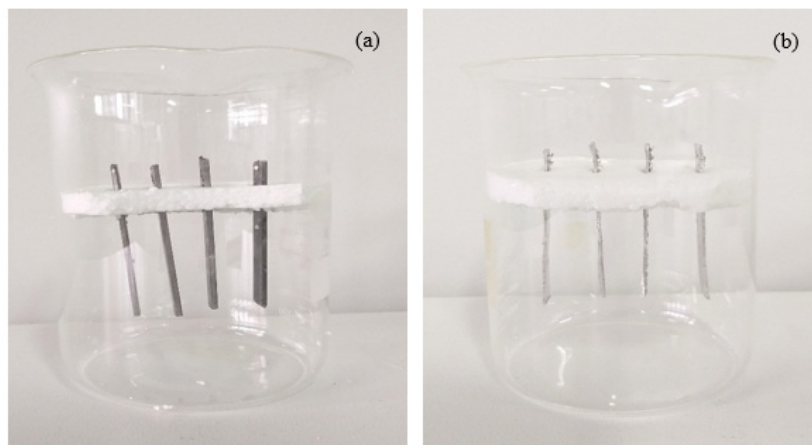
A eletroflotação tem sido apontada como um método virtualmente efetivo para o tratamento de um vasto tipo de efluentes, com elevada eficiência de remoção de contaminantes, turbidez e Demanda Química de Oxigênio (DQO) (HOLT, 2005).

3 METODOLOGIA

A metodologia aplicada para verificar a eficiência da eletroflotação, no tratamento da AP da indústria do petrolífera, foi por estudo em laboratório. Esse é caracterizado como uma pesquisa aplicada, de natureza experimental, usando uma abordagem quantitativa, com objetivos exploratórios, utilizando-se de consultas em livros, revistas, artigos e periódicos bem como procedimentos laboratoriais.

3.1 CONSTRUÇÃO DA CÉLULA DE ELETROFLOTAÇÃO

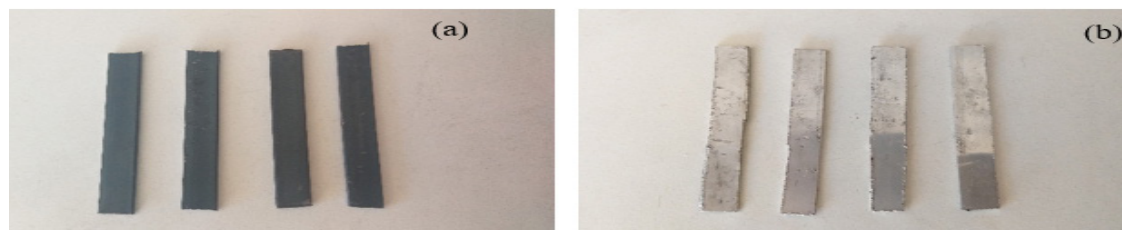
Inicialmente, para representar uma célula de eletroflotação, foi construído um reator, com um béquer de vidro com capacidade de 1000 mililitros, contendo um conjunto de eletrodos de (a) ferro e (b) alumínio, ver Figura 3.

Figura 3 – Conjunto de eletrodos de (a) ferro e (b) alumínio

Fonte: Dados dos Autores (2021).

Os eletrodos foram confeccionados a partir de rejeito de chapas metálicas, cedidas de forma gratuita por serralhas da região. A Figura 4 apresenta os eletrodos de ferro e alumínio produzidos.

Em qualquer processo eletroquímico, o material do eletrodo tem efeito significativo no tratamento do efluente. Ferro e alumínio são os mais utilizados por apresentarem baixo custo e estarem facilmente disponíveis (KUMAR et al., 2008).

Figura 4 – Conjunto de eletrodos de (a) ferro e (b) alumínio

Fonte: Dados dos Autores (2021).

A célula de eletroflotação é composta pela cuba (béqueres), pelos eletrodos de ferro e de alumínio, com 75 mm de comprimento, 10 mm de largura e 0,2 mm de espessura, distância de 1 cm entre eles, que são conectados em uma fonte de alimentação, com corrente contínua, modelo EQ030F. O sistema construído representando um sistema de eletroflotação é apresentado na Figura 5.

Figura 5 – Sistema de Eletroflotação

Fonte: Dados dos Autores (2021).

3.2 OBTENÇÃO DA ÁGUA PRODUZIDA (AP)

A AP foi obtida de um poço localizado no Campo de Carmópolis e, antes de realizar os ensaios de eletroflotação, as características desse efluente foram medidas. O Campo de Carmópolis está inserido nos municípios de Carmópolis, Japaratuba, Rosário do Catete, Maruim, General Maynard e Santo Amaro das Botas, no estado de Sergipe, distando cerca de 50 km, ao norte, da cidade de Aracaju (ANP, 2017).

Os reservatórios produtores do Campo de Carmópolis possuem acumulação dividida em dois blocos com características estruturais e estratigráficas distintas. No Bloco Principal, os reservatórios da Formação Muribeca são constituídos por conglomerados e arenitos conglomeráticos, onde o ambiente deposicional é lacustre e fluvial de alta energia, de idade Aptiana. Possuem aquífero atuante nas bordas do campo. Não ocorre capa de gás.

Os reservatórios da Formação Barra de Itiúba são constituídos por arenitos limpos, de ambiente fluvial, de alta porosidade e de idade Pré-Aptiana. O Bloco do Embasamento é constituído por rochas fraturadas do embasamento metamórfico, de idade Pré-Cambriana. Localmente, ocorrem pequenas capas de gás, já depletadas. O Campo de Carmópolis está submetido à recuperação secundária por injeção de água e vapor. O grau *American Petroleum Institute* (API) do óleo produzido varia de 18° a 22° (ANP, 2017).

3.3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

As eletrólises tiveram duração máxima de 60 minutos com tensão elétrica e correntes constantes de 2V e 2A, respectivamente. Nesse período, amostras foram coletadas em tempos pré-determinados de 5, 30 e 60 min, de 20 mL cada. A primeira alíquota foi retirada cinco minutos após o início da eletrólise, sendo observada a formação de microbolhas, após dez segundos do acionamento da fonte alimentadora, tanto nos eletrodos de ferro quanto nos de alumínio.

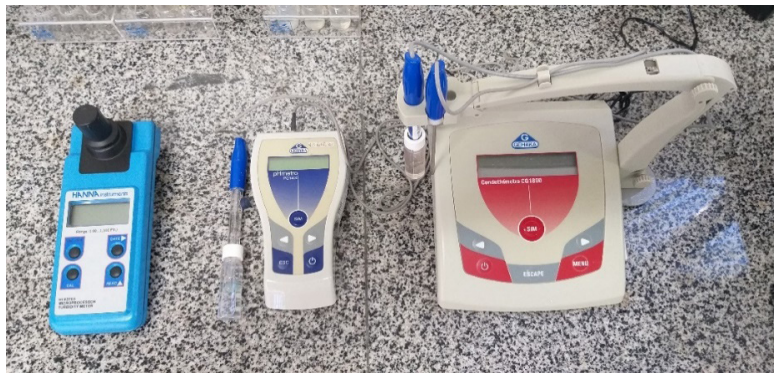
As amostras passaram por um período de decantação de 1h, e após esse período, as medidas de turbidez, pH e condutividade do efluente foram obtidas. Os equipamentos utilizados estão descritos na Tabela 1 e apresentados na Figura 6. Vale ressaltar que, antes dos ensaios de eletroflotação, as características da AP foram medidas, apresentando turbidez de 50,11 FTU, pH igual a 6,2 e condutividade equivalente a 28,1 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Tabela 1 – Equipamentos utilizados para obtenção das características da AP

Equipamento	Modelo	Marca	Medida
Turbidímetro	HI 93703	HANNA <i>instruments</i>	Turbidez
Phmetro	PG1400	GEHAKA	pH
Condutivímetro	CG 1800	GEHAKA	Condutividade

Fonte: Dados dos Autores (2021).

Figura 6 – Turbidímetro, pHmetro e Condutivímetro



Fonte: Dados dos Autores (2021).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

As amostras coletadas, após o tratamento por eletroflotação da AP com eletrodos de ferro, apresentaram resultados de 25,64 a 48,47% para remoção da turbidez, conforme Tabela 2. Vale salientar que, na Amostra 3, a pouca distância entre o lodo formado no processo de eletroflotação e os resíduos decantados podem ter contaminado a amostra (FIGURA 7).

A eficiência foi calculada usando a seguinte Equação 1:

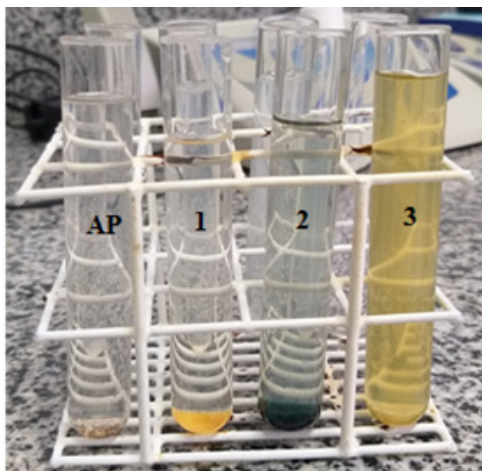
$$Eficiência = \frac{T_0 - T}{T_0} \quad \text{Equação 1}$$

onde: T_0 é a turbidez inicial do efluente e T é a turbidez da amostra.

Tabela 2 – Eficiência na remoção de óleo com base na turbidez do eletrodo de ferro

Tempo (min)	Amostra	Turbidez da Amostra Tratada (FTU)	Turbidez inicial da AP (FTU)	Eficiência na redução (%)
5	1	25,82	50,11	48,47
30	2	37,26	50,11	25,64
60	3	53,00	50,11	- 5,77

Fonte: Dados dos Autores (2021).

Figura 7 – Amostras da AP coletadas após a eletroflotação com eletrodos de ferro

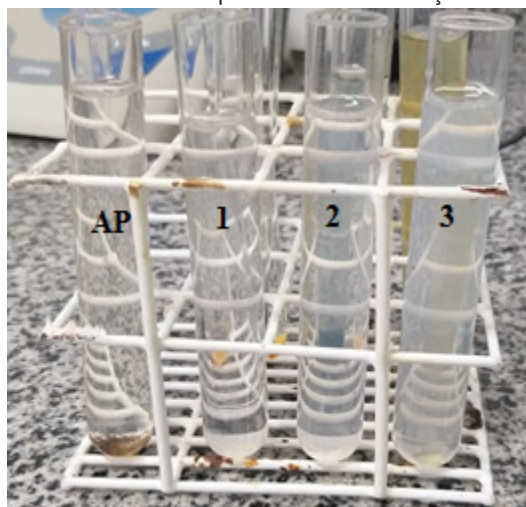
Fonte: Dados dos Autores (2021).

Já os resultados obtidos com os eletrodos de alumínio, apresentados na Tabela 3 e na Figura 8, mostram uma eficiência de remoção, variando de 63,06 a 87,91%. A Amostra 3 também ocorreu a contaminação da alíquota devido aos motivos já citados anteriormente.

Tabela 3 – Eficiência na remoção de óleo com base na turbidez do eletrodo de alumínio

Amostra	Turbidez (FTU)	Eficiência na redução (%)
1	6,06	87,91
2	18,51	63,06
3	52,12	- 4,01

Fonte: Dados dos Autores (2021).

Figura 8 – Amostras da AP coletadas após a eletroflotação com eletrodos de alumínio

Fonte: Dados dos Autores, 2021.

De acordo com os resultados obtidos nos ensaios, nota-se que os eletrodos de alumínio se mostraram superiores aos de ferro, na remoção de óleo da água. Isso se deve ao fato do eletrodo de ferro apresentar a desvantagem de o efluente ficar com uma cor residual verde ou amarela bastante forte. Esta coloração é proveniente dos íons Fe^{2+} (cor verde) e Fe^{3+} (cor amarela) gerados no tratamento eletrolítico. Já com o eletrodo de alumínio, o efluente final ficou claro e estável, não apresentando coloração residual, o que está totalmente de acordo com os resultados obtidos por Ferreira (2006).

No trabalho apresentado por Chen (2004), quando testados sob as mesmas condições, os resultados para turbidez e sólidos suspensos foram melhores para eletrodos de alumínio do que para os de ferro.

Segundo Lima (2010), o pH do efluente após a eletroflotação pode aumentar para efluentes ácidos e decrescer para efluentes alcalinos. O aumento do pH em condições ácidas foi atribuído segundo à evolução de hidrogênio no cátodo, há também evolução de oxigênio no cátodo, levando a uma diminuição do pH. De acordo com Tabela 4, verificou-se que tanto no eletrodo de ferro quanto no de alumínio, houve aumento do pH da AP.

Tabela 4 – Evolução do pH das Amostras

Amostra	pH (ferro)	pH (alumínio)
1	6,26	6,60
2	7,01	7,05
3	7,16	7,11

Fonte: Dados dos Autores, 2021.

Portanto, para um aumento do pH em um efluente ácido, o incremento do pH acredita-se ser devido à liberação de CO_2 pelo borbulhamento de hidrogênio, devido à formação de precipitados de outros ânions como Al^{3+} , e devido à mudança do equilíbrio para a esquerda da reação que produz H^+ . os mesmos resultados foram observados no trabalho de Chen (2004).

Com relação a condutividade do efluente, não foi observada mudança na condutividade de nenhuma das amostras, tanto as tratadas com eletrodos de ferro, quanto de alumínio, o que segundo Cerqueira (2011), indica que não existiu aumento na concentração de íons condutores após o tratamento nas condições a que a AP foi submetida, a condutividade se manteve constante a inicial do efluente ou seja 28,1 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

5 CONCLUSÕES

Após a realização deste estudo, a eletroflotação mostrou-se um tratamento eficaz para este tipo de efluente, tanto para remoção de turbidez como aumento do pH da AP, não existiu, entretanto, dados significativos com relação a condutividade do efluente. Para a eletroflotação, utilizou-se uma célula eletrolítica em escala de bancada com uma corrente elétrica de 2A e aplicando uma tensão de 2V.

Na eficiência de remoção da turbidez, o resultado obtido pelo eletrodo de alumínio mostrou uma remoção de aproximadamente 88%, melhorando o parâmetro analisado, o que correspondeu a 40% a mais de eficiência quando comparado ao eletrodo de ferro.

No aspecto do parâmetro pH, ambos os eletrodos tiveram uma eficiência semelhante, foi possível observar na prática, os conceitos e resultados vistos na literatura, sendo um dos aspectos que pode servir de vantagem para o tratamento por eletroflotação se deve ao fato de não necessitar de produtos químicos, nem antes nem após o tratamento.

REFERÊNCIAS

ANP – Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e de Biocombustíveis. **Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, gás natural e biocombustíveis**. 2017.

BRASIL, N. I.; ARAÚJO, M. A. S.; DE SOUSA, E.C.M. **Processamento de Petróleo e Gás**: petróleo e seus derivados, processamento primário, processos de refino, petroquímica e meio ambiente. Rio de Janeiro: LTC, 2011.

CERQUEIRA, Alexandre Andrade. **Aplicação da técnica de eletrofloculação utilizando corrente alternada de frequência variável no tratamento de água de produção da indústria do petróleo**. Rio de Janeiro: UERJ, 2011.

CHEN, G. Electrochemical technologies in wastewater treatment. Separation and Purification. **Technology**, v. 38, p. 11-41, 2004.

- GOBBI, Lorena Cristina Abrahão. **Tratamento de água oleosa por Eletrofloculação**. Espírito Santo: UFES, 2013.
- GOMES, Ana Paula Pereira. **Gestão ambiental da água produzida na indústria de petróleo: melhores práticas e experiências internacionais**. Rio de Janeiro: COPPE, 2014.
- HOLT, P. K. **O futuro da eletrofloculação como tratamento tecnológico da água de produção**. Chemosphere, 2005.
- HOLT, Peter K.; BARTON, Geoffrey W; WARK, Mary.; MITCHELL, Cynthia A. **A quantitative comparison between chemical dosing and electrocoagulation**. Sydney, 2002.
- KUMAR, A.; YADAV. A. K.; SREEKRISHNAN, T. R.; SATYA, S.; KAUSHIK, C.P. Treatment of low strength industrial cluster wastewater by anaerobic hybrid reactor. **Bioresour Technol.**, v. 99, p. 3123-3129, 2008.
- LIMA, Claudia Maria Russo. **Aplicabilidade da eletrocoagulação, eletrocoagulação seguida de reativo de fenton e eletrofenton no tratamento de lixiviado de aterro sanitário**. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Federal do Espírito Santo, 2010.
- MOLLAH, M. Y. A.; MORKOVSKY, P.; GOMES, J. A.G.; KESMEZ, M.; PARGA, J.; COCKE, D. L. Fundamentals, present and future perspectives of electrocoagulation. **Journal of Hazardous Materials**, 2004. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2004.08.009>
- MOTTA, Alberico Ricardo Passos.; BORGES, Cristiano Piacsek.; KIPERSTOK, Asher.; ESQUERRE, Karla Patricia.; ARAUJO, Pedro Maia.; BRANCO, Lucas da Paz Nogueira. **Tratamento da água produzida de petróleo pra remoção de óleo por processos de separação por membranas: revisão**. Bahia, 2013.
- NEFF, J.; LEE, K.; DeBLOIS, E. M. **Produced water**: Overview of composition, fates and effects. Cap. 1 In: Produced water, environmental risks and advances in mitigation technologies. 2011.
- OLIVEIRA, Rando Messias. **Estudo do tratamento de efluente oriundo da produção de condicionador capilar pelo processo eletrolítico**. Assis: FAMA, 2010.
- CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução 430**, de 13 de maio de 2011. Ministério do Meio Ambiente, Brasil. MME, 2013. Resenha energética brasileira. Ministério de Minas e Energia, Brasília, 2012. 25 p.

SILVA, Carlos Remi Rocha. **Água produzida na extração de petróleo**. Bahia: EPDHS, 2000.

SILVA, J. S. **Tratamento da água do petróleo por eletrocoagulação / eletrofloculação**. Alagoas, 2010.

TONES, Aline Raquel Müller. **Estudo da aplicação da técnica de eletrofloculação na remoção de corantes têxteis**. Paraná: UTFPR, 2015.

Data do recebimento: 21 de maio de 2021

Data da avaliação: 9 de agosto de 2021

Data de aceite: 12 de setembro de 2021

1 Acadêmico do curso de Engenharia de Petróleo da Universidade Tiradentes – UNIT/AL.

E-mail: edersdo@hotmail.com

2 Doutora; Professora dos Cursos das Engenharias da Universidade Tiradentes – UNIT/AL

E-mail: vanessa.limeira@gmail.com