

TRATAMENTO DE ÁGUA PRODUZIDA: REVISÃO SOBRE TÉCNICAS CONVENCIONAIS E NÃO CONVENCIONAIS

Raul José Alves Felisardo¹

Nelson Antônio Sá Santos²

Engenharia de Petróleo



ISSN IMPRESSO 1980-1777

ISSN ELETRÔNICO 2316-3135

RESUMO

Água produzida (AP) é um efluente gerado pelas empresas petrolíferas no processo de produção do petróleo. Sua composição varia, dependendo das características do local de formação e idade do poço explorado. Contém elevados teores de sais e óleos dissolvidos. Sabendo-se da importância da indústria petrolífera para a economia brasileira e, ainda, os potenciais impactos causados pela AP ao meio ambiente, é crucial o estudo sobre métodos e tecnologias que visem o tratamento e reaproveitamento desse subproduto. Dessa forma, este trabalho faz um levantamento bibliográfico sobre métodos de tratamento convencionais e não convencionais da água produzida. Dentre os métodos convencionais focou-se na separação gravitacional e no tratamento conjunto de coagulação e floculação, enquanto a abordagem de técnicas não convencionais diz respeito a alguns processos oxidativos avançados, dentre esses os processos eletroquímicos e o tratamento fotocatalítico.

PALAVRAS-CHAVE

Água Produzida. Impactos. Tratamento.

ABSTRACT

Produced water (PA) is an effluent generated by oil companies in the oil production process. Its composition varies, depending on the characteristics of the formation site and age of the explored well. Contains high levels of dissolved salts and oils. Knowing the importance of the oil industry to the Brazilian economy and the potential impacts caused by PA to the environment, it is crucial to study methods and technologies aimed at the treatment and reuse of this by-product. Thus, this work makes a bibliographic survey on conventional and unconventional treatment methods for produced water. Among the conventional methods focused on gravitational separation and on the joint treatment of coagulation and flocculation, while the approach of unconventional techniques concerns some advanced oxidative processes, among these electrochemical processes and photocatalytic treatment.

KEYWORDS

Produced Water. impacts. Treatment.

1 INTRODUÇÃO

Desde as primeiras descobertas em águas profundas, os reservatórios do pré-sal estão entre as jazidas mais importantes em todo o mundo. A produção diária de petróleo no pré-sal aumentou consideravelmente nos últimos anos, passou de 41 mil barris por dia, em 2010, para o patamar de 1,5 milhão de barris de óleo por dia em 2018 (PETROBRAS, 2020).

Inevitavelmente, junto com a alta produtividade do petróleo, produz-se também água, tecnicamente chamada de água produzida (AP). Esta água pode ser proveniente da formação geológica ou decorrente de água de injeção ou a mistura de ambas, podendo causar importantes desafios ambientais devido ao seu alto volume e salinidade (BAGHERI *et al.*, 2018). O volume deste fluido, em alguns casos, pode alcançar 90% do volume total obtido de petróleo (MACÊDO-JÚNIOR; SILVA; RUZENE, 2015).

A AP possui composição complexa e varia de acordo com propriedades químicas e físicas da localização e formação geográfica do campo, além do tipo de método utilizado para a extração do hidrocarboneto (JIMÉNEZ *et al.*, 2018). Logo, ao considerar que este efluente deve ser descartado, ele necessita passar por tratamentos eficazes de modo a se enquadrar na legislação vigente, tendo em vista o destino deste fluido (MOTTA *et al.*, 2013).

Nesta perspectiva, vários estudos têm-se dedicado a busca por tratamentos que possam garantir conformidade, de acordo com órgãos ambientais, dos parâmetros contaminantes no descarte da água produzida. Assim este trabalho tem como objetivo de fazer um levantamento bibliográfico de algumas técnicas convencionais e não convencionais para o tratamento desse efluente.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 CARACTERÍSTICAS COMPOSICIONAL DA ÁGUA PRODUZIDA

A qualidade da AP está intimamente ligada à composição do petróleo. Os principais compostos constituintes da AP são óleo, minerais dissolvidos da formação, compostos químicos residuais da produção, sólidos da produção, gases dissolvidos e microrganismos. No diz respeito a salinidade, a depender do poço produtor, pode superar a salinidade do mar. De acordo com Thomas (2004) e Farag e Harper (2014), os teores de sais dissolvidos podem ser até 4 vezes superiores a água do mar que tem em média 33.500 mgL⁻¹.

Esses sais dissolvidos envolvem sólidos totais (SDT), os quais são constituintes inorgânicos compostos por cátions (Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Ba²⁺, Sr²⁺, Fe²⁺) e ânions (Cl⁻, SO₄²⁻, CO₃²⁻, HCO₃⁻) em que sua concentração varia de valores menores que 100 até 300.000 mgL⁻¹, dependendo da localização geográfica, da idade e tipo do reservatório de petróleo (MOTTA *et al.*, 2013). Ainda, é possível encontrar a presença de metais pesados tais como cádmio, cromo, cobre, chumbo, mercúrio, níquel, prata e zinco (FARAG; HARPER, 2014).

2.2 IMPACTOS CAUSADOS PELA ÁGUA PRODUZIDA

Diversas são as variáveis que determinam os impactos causados pelo descarte inadequado da água produzida no meio ambiente. Dentre estas, as propriedades físico-químicas dos seus constituintes, temperatura de descarte, bem como seu teor de matéria orgânica dissolvida, são os que mais se destacam (VEIL *et al.*, 2004). Os efeitos nocivos ao meio ambiente, abrangem a poluição de corpos d'água, contaminação de aquíferos, danos ao solo, à fauna, à flora, à saúde humana e danos à própria produção.

Dessa forma, caso o objetivo seja o descarte, é imprescindível que a água produzida passe por algum tipo de tratamento os quais objetivam, além de outros, a remoção de óleo, que pode estar presente na água sob as formas livre, em emulsão e dissolvido (MOTTA *et al.*, 2013). Ao passar por esses tratamentos, existem Leis e Resoluções que definem valores máximos de determinados contaminantes. No Brasil o Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA 393, 2007), dispõem sobre vários parâmetros legais sobre o descarte deste efluente.

2.3 TÉCNICAS CONVENCIONAIS PARA TRATAMENTO DA ÁGUA PRODUZIDA

2.3.1 Separação Gravitacional

De acordo com o Portal de Tratamento de água (FLUID BRASIL, 2019), separadores gravitacionais são adequados para separação da fração de óleo que se encontra

em forma livre na água produzida, apresentando gotas de diâmetros maiores que $150\mu\text{m}$. O processo consiste no escoamento horizontal da AP por grandes tanques de decantação, possibilitando que o óleo livre e os sólidos decantáveis sejam separados por ação da gravidade e a fase aquosa removida (FERREIRA, 2016)

A separação gravitacional diz respeito ao primeiro estágio do tratamento primário utilizado em campos terrestres. Seu processo baseia-se na *Lei de Stokes* para definir a velocidade de subida de partículas de óleo de acordo com sua densidade e tamanho, uma vez que é proporcional ao quadrado do diâmetro das mesmas (CAPPS *et al.*, 1993).

Esses separadores foram projetados para funcionar de acordo com a gravidade específica entre óleo e água, uma vez que a diferença entre os valores de gravidade específica desses fluidos é bem menor do que entre partículas sólidas e a água. Desta maneira o sólido se deposita no fundo do separador e é recolhido, enquanto o óleo vai para o topo e a água fica localizado entre eles (SILVA, 2015).

Nesses separadores, como a força da gravidade controla a operação, a eficiência de separação gás/líquido aumenta com a redução da velocidade do gás. Na abordagem de Arinelli (2015) os vasos separadores podem ser classificados de acordo com sua geometria (vertical ou horizontal) e sua função (separação bifásica ou trifásica). Separadores horizontais são normalmente mais indicados para grandes volumes de gás e/ou líquidos, razão gás/óleo média a alta, formação de espuma e separação trifásica. Já os separadores verticais são utilizados para menores vazões de gás e/ou líquidos, razão gás/óleo muito alta ou baixo volume total de gás, situações de pouco espaço disponível ou pela facilidade de controle de nível (ARINELLI, 2015).

Contudo, conforme ressaltado, esse tipo de tratamento é na realidade uma separação de fases no primeiro estágio do tratamento primário, porém existem tratamentos convencionais que objetivam o descarte adequado da água de produção, entre estes o tratamento em conjunto de coagulação e floculação é o mais comum.

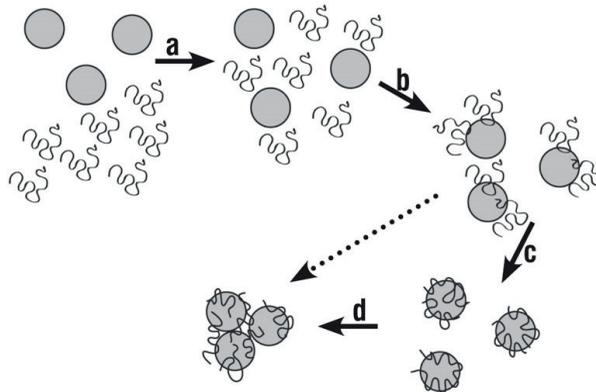
2.3.2 Coagulação e Floculação

O processo de coagulação e floculação é um tratamento físico-químico bastante utilizado como processo convencional de tratamento de efluentes gerados em diversos processos industriais. Em resumo, consiste basicamente na desestabilização das cargas elétricas presentes na superfície das partículas coloidais do meio aquoso, que em seguida são aglomeradas e formam partículas maiores, chamadas de flocos, e assim são removidas por decantação (PALEARI, 2014).

Coagulação e floculação é um tratamento eficiente na remoção da matéria orgânica, cor e sólidos, e por mais que se referem a único processo, ocorre em duas etapas. A primeira etapa é a coagulação, que consiste na adição do coagulante, o qual é submetido a uma mistura rápida para que o mesmo possa ser disperso na solução e assim entrar em contato com todas as partículas, ocorrendo a desestabilização de partículas coloidais suspensas, as quais começam a ser agregadas (DAUD *et al.*, 2015). A segunda etapa, chamada de floculação (Figura 1), tem-se a aglomeração e formação de partículas maiores, chamadas de flocos, sendo que nesta etapa a mistura é

lenta para que não ocorra a quebra dos flocos formados, os quais se tornam mais densos e possibilitando a sua remoção por sedimentação (SHAIKH *et al.*, 2017).

Figura 1 – Etapas na floculação: (a) e (b) mistura das partículas do efluente com agente coagulante, (c) junção e rearranjo das partículas, (d) formação de flocos



Fonte: Brian e Gregory (2007).

A eficiência deste processo depende de vários fatores como o tipo e dosagem do coagulante, do pH da solução, da temperatura, da concentração de matéria orgânica, da velocidade e do tempo de agitação (LEE *et al.*, 2012).

Existem uma gama de produtos, naturais e sintéticos, usados como coagulantes. Em Estações de Tratamento de água convencional é comum o uso do sulfato de alumínio como agente coagulante. Nesta tônica vários autores estudaram o tratamento deste fluido usando diferentes agentes coagulantes.

Hosny e outros autores (2016) investigou o tratamento da água produzida usando uma mistura de coagulantes (quitosana, $Al_2(SO_4)_3$, CMC-carboximetilcelulose) para remoção do óleo. Com os resultados, os autores perceberam que a capacidade da quitosana na remoção de óleo no processo de coagulação, aumenta com a adição de diferentes coagulantes. A maior eficiência de remoção de quitosana com CMC é 99% em (90% quitosana e 10% CMC). Quando usou quitosana e $Al_2(SO_4)_3$ a eficiência de remoção foi de 85% (80% quitosana e 20% $Al_2(SO_4)_3$). Esse efeito, segundo os autores, foi devido a presença de muitos grupos hidrofílicos no CMC, que tornam a área de superficial deste coagulante muito maior do que a sulfato de alumínio.

Freitas (2016) estudou o tratamento da água produzida utilizando a técnica combinada de floculação/flotação por ar dissolvido com mistura de polieletrólitos e *Moringa Oleifera*. Os principais resultados deste trabalho indicaram que ambas as misturas de floculantes estudadas foram eficazes na remoção do teor de óleos e graxas da água produzida para fins de descarte, atendendo os requisitos ambientais para efluentes.

Apesar da eficiência de tratamentos convencionais, na composição da água produzida, existem poluentes que são de difícil degradação e estes tratamentos não

são suficientes para a remoção. Com isso, verifica-se a necessidade do uso de tecnologias de tratamentos não convencionais que permitam, de forma eficiente, a eliminação completa ou parcial desses poluentes. Entre essas tecnologias os POAs têm se destacado (PALMA-GOYES *et al.*, 2016; MEIJIDE *et al.*, 2016).

2.4 TÉCNICAS NÃO CONVENCIONAIS PARA TRATAMENTO DA ÁGUA PRODUZIDA

2.4.1 Processos Oxidativos Avançados (POA)

Segundo Garcia-Segura e Brillas, (2014), esses processos têm se mostrado vantajosos devido à grande produção do radical hidroxila ($\cdot\text{OH}$), um agente altamente oxidante com capacidade de reagir com as moléculas dos poluentes de forma não seletiva, produzindo água e gás carbônico, deixando o tratamento mais ágil. Dentre os POA, os processos eletroquímicos e fotocatalíticos são amplamente estudados.

Processos eletroquímicos

Os processos eletroquímicos têm se mostrado como uma ótima alternativa de tratamento para efluentes da indústria petrolífera, inclusive a água produzida. Esses processos, de acordo com Cavalcanti e outros autores (2013), se baseiam na geração *in situ* de poderosos agentes oxidantes e não seletivos, conhecidos como radicais hidroxila (OH), $E^\circ = 2,8 \text{ V vs. EPH}$, capazes de reagir com quase todas as classes de compostos, levando à formação de intermediários mais biodegradáveis ou à total mineralização, tendo como produtos do tratamento o CO_2 , a H_2O e íons inorgânicos. Trata-se de uma técnica a qual utiliza o elétron como reagente principal, tendo como vantagem uma alta eficiência na remoção da carga orgânica (SÉRIES *et al.*, 2014).

Dentre os estudos sobre o tratamento eletroquímico de efluentes da indústria petroquímica, Melo (2017) investigou a oxidação eletroquímica indireta em dois efluentes reais provenientes da indústria do petróleo situada no Estado do Rio Grande do Norte. No mesmo sentido Morais e outros autores (2015) avaliaram a degradação eletrolítica da água produzida, independentemente de sua disposição final, reinjeção ou descarte.

Tratamento Fotocatalítico

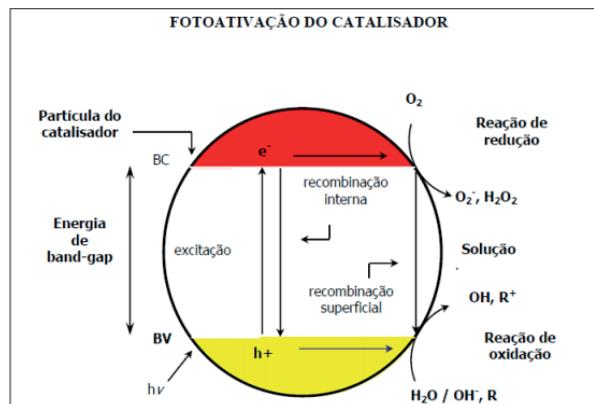
De acordo com Ferreira (2015), a fotocatalise (fotoquímica + catálise) pode ser definida com uma fotorreação na presença de um catalisador. Neste processo há uma divisão básica que depende do estado físico do catalisador. Se o catalisador usado estiver na fase sólida, o sistema constitui-se então em duas fases e o processo é chamado de fotocatalise heterogênea. Já quando o catalisador está dissolvido na fase líquida o processo é chamado de fotocatalise homogênea, constituído de uma única fase.

A fotocatalise homogênea pode ser considerada como um processo cíclico em que os substratos reagem sob a influência de luz, levando à regeneração espontânea do catalisador. Na fotocatalise heterogênea, o catalisador utilizado é normalmente

um semiconductor (SC), que deve ser ativado por meio de luz solar ou artificial. Essa ativação é causada pela absorção da energia necessária para um elétron passar da banda de valência (BV) para a banda de condução (BC) (REZENDE, 2012). Esta dinâmica de movimentação dos elétrons é representada na Figura 2.

A região entre a banda de valência e banda de condução é chamada de *band-gap* e a promoção dos elétrons ocorre somente se a energia de absorção dos fótons for maior que a energia de *band-gap*. A migração de elétrons entre as bandas energéticas gera sítios redutores e sítios oxidantes nas partículas de catalisador, assim os contaminantes tratados podem ser decompostos diretamente por esses sítios de reação ou por meio de radicais livres que são formados também nesses sítios de reação (OLIVEIRA, 2014).

Figura 2 – Esquema representativo do processo de fotocatalise heterogênea – fotoativação do catalisador



Fonte: Oliveira (2014).

Segundo Ferreira (2015), quanto menor o *gap*, mais fácil de promover um elétron de uma banda para a outra. A promoção de um elétron da BV para a BC gera de modo concomitante uma lacuna (h^+) na BV. Estas lacunas possuem potenciais positivos, na faixa de +2,0 a +3,5 eV. Este potencial é suficientemente positivo para gerar radicais ($\bullet OH$) a partir de moléculas de água adsorvidas na superfície do semiconductor (REAÇÕES 1 e 2) e radicais superóxidos ($O_2^{\bullet -}$) a partir do oxigênio dissolvido, na banda de condução (REAÇÕES 3, 4 e 5) (OLIVEIRA, 2014).



Dentre os trabalhos na literatura que abordam esta técnica, Lourenço e outros autores (2019) estudaram um tratamento fotocatalítico heterogêneo para degradar os

compostos orgânicos a partir da utilização de fenol como molécula orgânica modelo (representando a fração aromática e solúvel do óleo cru) dissolvida em água de mar (simulando as condições da água produzida em poços maduros).

Além das técnicas abordadas existem várias outras, tanto para o tratamento convencional, a exemplo do tratamento com hidrociclone, como para tratamentos não convencionais, como reações com processo fenton e tratamento com ozônio. Outrossim, sabendo da relevância da produção inevitável da AP é fundamental atentar-se para o tratamento correto desde efluente.

3 CONCLUSÃO

Com efeito, sabendo-se que a produção da água produzida só aumenta com o tempo de produção de um poço de petróleo e que o foco das empresas petrolíferas é a exploração deste combustível, torna-se crucial a atenção para os métodos de tratamento desse efluente. Assim, seja convencional ou não convencional, é imprescindível a busca por tecnologias de tratamento visando manter o descarte da AP dentro dos limites estabelecidos pelos órgãos responsáveis. Logo, de posse do conteúdo abordado neste trabalho, espera-se que os estudos e a prática do tratamento em torno do tema sejam a cada dia mais desenvolvido pela indústria do petróleo.

REFERÊNCIAS

ARINELLI, Lara de Oliveira. **Dinâmica de processamento offshore de gás natural rico em CO₂**: desidratação TEG, expansão Joule-Thomson e permeação em membranas versus separador supersônico. 2015. Dissertação (Mestrado) – Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

BAGHERI, M.; ROSHANDEL, R.; SHAYEGAN, J. Optimal selection of an integrated produced water treatment system in the upstream of oil industry. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 117, p. 67-81, 2018.

BRIAN, B.; GREGORY, J. Organic polyelectrolytes in water treatment. **Water Research**, v. 41, p. 2301-2324, 2007.

BURROWS, H. D.; AZENHA, M. E.; MONTEIRO, C. J. P. **Homogeneous photocatalysis**. Coimbra: Imprensa da Universidade de Coimbra, 2008.

CAPPS, R. W.; METELLI, G. N.; BRADFORD, M. L. Reduce oil and grease content in wastewater. **Hydrocarbon Processing**, v.1, p. 102-110, 1993.

CAVALCANTI, E. B.; GARCIA-SEGURA, S.; CENTELLAS, F.; BRILLAS, E. Electrochemical incineration of omeprazole in neutral aqueous medium using a platinum or

boron-doped diamond anode: Degradation kinetics and oxidation products. **Water Research**, v. 47, n. 5, p. 1803-1815, 2013.

CONAMA nº 393, Resolução do conselho Nacional do Meio Ambiente, 2007.
Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=541>.
Acesso em: 20 dez. 2019.

DAUD, N. M.; SHEIKH ABDULLAH, S. R.; ABU HASAN, H.; YAAKOB, Z. Production of biodiesel and its wastewater treatment technologies. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 94, n. C, p. 487-508, 2015.

FARAG, A. M.; HARPER, D. D. A review of environmental impacts of salts from produced water on aquatic resources. **International Journal of Coal Geology**, v. 126, p. 157-161, 2014.

FERREIRA, Bárbara Helinska. **Estudo dos processos de tratamento de água produzida de petróleo**. 2016. Trabalho de conclusão de curso (Curso de Engenharia de Petróleo) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2016.

FERREIRA, Suéllen Satyro. **Tratamento fotocatalítico de água de lavagem, sintética e real, de solo contaminado com ácido etilenodiamino-n, n'-dissuccínico (edds), cobre e zinco**. 2015. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

FLUID BRASIL. Disponível em: <https://www.fluidbrasil.com.br/>. Acesso em: 21 dez. 2020.

FREITAS, Jéssica Isabelle de Souza. **Tratamento de água produzida utilizando a técnica combinada de floculação/flotação por ar dissolvido com mistura de polieletrólitos e Moringa Oleífera**. Dissertação (Mestrado) – Programa de pós-graduação em Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2016.

GARCIA-SEGURA, S.; BRILLAS, E. Advances in solar photoelectro-Fenton: Decolorization and mineralization of the Direct Yellow 4 diazo dye using an autonomous solar pre-pilot plant. **Electrochimica Acta**, v. 140, p. 384-395, 2014.

HOSNY, R.; FATHY, M.; RAMZI, M.; ABDEL MOGHNY, TH.; DESOUKY, S. E. .M.; SHAMA, S. A. **Treatment of the oily produced water (OPW) using coagulant mixtures**. Egyptian Journal of Petroleum. V. 25, p. 391-396, 2016.

JIMÉNEZ, S.; MICÓ, M. M.; ARNALDOS, M.; MEDINA, F.; CONTRERAS, S. State of the art of produced water treatment. **Chemosphere**, v. 192, p. 186-208, 2018.

LEE, K. E.; MORAD, N.; TENG, T. T.; POH, B. T. Development, characterization and the application of hybrid materials in coagulation/flocculation of wastewater: A review. **Chemical Engineering Journal**, v. 203, p. 370-386, 2012.

LOURENÇO, V. S.; CARVALHO, W. A.; JESUS, Y. O. A. Tratamento de água produzida de petróleo por fotocatalise heterogênea sobre compósitos de carvão ativado e TiO₂. Congresso Brasileiro de catálise, 20. **Anais [...]**, São Paulo, 2019.

MACÊDO-JÚNIOR, R. O.; SILVA, D. P.; RUZENE, D. S. Água produzida: breve estudo sobre geração e potencial em tratamentos. Simpósio de Engenharia de Produção de Sergipe, 7. **Anais [...]**, 2015. p. 1063-1073.

MEIJIDE, J.; GÓMEZ, J.; PAZOS, M.; SANROMÁN, M. A. Degradation of thiamethoxam by the synergetic effect between anodic oxidation and Fenton reactions. **J. Hazard, Mater**, 2016.

MELO, Jaqueline Ferreira de. **Oxidação eletroquímica para o tratamento da água produzida proveniente da indústria petroquímica da região Nordeste do Brasil**. 2017. Dissertação (Mestrado) – Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017.

MORAIS, C. C. O.; SILVA, A. J. C. ; DANTAS, W. S.; CASTRO, S. S. L. Tratamento da água produzida doce usando processo eletroquímico de oxidação avançada. Encontro Regional de Química, 5 & Encontro Nacional de Química, 4. **Anais [...]**, Mossoró, 2015.

MOTTA, A.R.P.; BORGES, C. P.; KIPERSTOK, A.; ESQUERRE, P. K.; ARAUJO, P. M. BRANCO, L. P. N. Tratamento de água produzida de petróleo para remoção de óleo por processos de separação por membranas: revisão. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 18, n. 1, 2013.

OLIVEIRA, Jéssica Flor. **Degradação fotocatalítica de compostos orgânicos utilizando catalisadores de Nb₂O₅ E M_oO₃/Nb₂O₅**. Trabalho de conclusão de curso (Curso de Engenharia Química) – Centro Universitário de Patos de Minas, Patos de Minas, 2014.

PALEARI, Thaís Hokama. **Coagulantes naturais e coagulante químico para o tratamento de efluente de indústria de café solúvel**. 2014. 118 f. Monografia (Curso de Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2014.

PALMA-GOYES, R. E.; VAZQUEZ-ARENAS, J.; OSTOS, C.; FERRARO, F.; TORRES-PALMA, R. A, GONZÁLEZ, I. Microstructural and electrochemical analysis of Sb₂O₅ doped-Ti/RuO₂- ZrO₂ to yield active chlorine species for ciprofloxacin degradation. **Electrochimica Acta**, v. 213, p. 740-751, 2016.

PETROBRAS. Disponível em: <http://www.petrobras.com.br/pt/nossas-atividades/areas-de-atuacao/exploracao-e-producao-de-petroleo-e-gas/pre-sal/>. Acesso em: 1 jan. 2020.

REZENDE, C. C. **Síntese e caracterização de compósitos de nióbio e ferro: testes como catalisadores na decomposição de azul de metileno.** 2012. Dissertação (Mestrado) – Pós-Graduação em Agroquímica, Universidade Federal de Lavras, 2012.

SHAIKH, S. M. R.; NASSER, M. S.; HUSSEIN, I.; BENAMOR, A.; ONAIZI, S. A.; QIBLAWEY, H. Influence of polyelectrolytes and other polymer complexes on the flocculation and rheological behaviors of clay minerals: A comprehensive review. **Separation and Purification Technology**, v. 187, p. 137-161, 2017.

SILVA, Priscilla Maria Reis Thomé de souza. **Reinjeção de água produzida: qualificação da água e inovações tecnológicas.** 2015. Trabalho de conclusão de curso (Curso de Engenharia de Petróleo) – Departamento de Engenharia Química e de Petróleo, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2015.

SIRÉS, I.; BRILLAS, E.; OTURAN, M. A.; RODRIGO, M. A.; PANIZZA, M. Electrochemical advanced oxidation processes: today and tomorrow. **A review. Environmental Science and Pollution Research**, v. 21, p. 8336-3367, 2014.

THOMAS, José Eduardo (org.). **Fundamentos de engenharia de petróleo.** 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2004. 271 p.

VEIL, J.; PUDER, M. G.; ELCOCK, D.; REDWEIK, R. J. **A white paper describing produced water from production of crude oil, natural gas, and coal bed methane.** 2004.

Data do recebimento: 28 de Setembro de 2022

Data da avaliação: 5 de Outubro 2022

Data de aceite: 5 de Outubro de 2022

1 Graduado em Engenharia de Petróleo pela Universidade Tiradentes/SE. E-mail: rauljose1234@gmail.com

2 Professor de graduação nos cursos de engenharias da Universidade Tiradentes/SE.
E-mail: nelsonsaunit@gmail.com