

Adsorção Biopolimérica de Água Produzida de Petróleo

Biopolymeric Adsorption of Petroleum Wastewater

Wesley da Costa Araujo¹, Adriana de Lima Mendonça²

*Centro Universitário Tiradentes
Campus Amélia Maria Uchôa, Maceió, Alagoas, Brasil*

¹wesleyaraujo07@gmail.com

²adrianapnpd@gmail.com

Submetido em 21/02/2019; Versão revisada em 14/05/2019; Aceito em 15/05/2019

Resumo

Este trabalho objetivou avaliar a eficiência de adsorção de um biopolímero em amostras de água produzida de petróleo, seguido da microextração líquido-líquido dispersiva. As amostras foram analisadas através das técnicas de fotolorimetria e espectrofotometria UV-Vis. As análises revelaram concentrações significativamente altas ($p < 0,05$) de compostos orgânicos e inorgânicos em amostras brutas de água produzida quando comparadas às amostras de água adsorvidas por biopolímero. A microextração líquido-líquido, previamente às análises químicas, é uma estratégia eficiente para a separação adequada de compostos alvo.

Palavras-chave: Biopolímeros, Petróleo, Análise Química.

Abstract

The aim of this work was to evaluate the adsorption of a biopolymer in produced water samples. The samples were analyzed, using the techniques of photolorimetry and UV-Vis spectrophotometry. The analysis showed high significantly concentrations ($P < 0.05$) of organic and inorganic compounds in the water samples when compared with adsorbed samples by biopolymer. The liquid-liquid microextraction, previously of the chemical analyzes, in the appropriate strategy for the separation of targeted compounds.

Keywords: Biopolymers, Petroleum, Chemical Analysis.

INTRODUÇÃO

O petróleo é um produto natural oriundo da decomposição da matéria orgânica submetida à ação de bactérias, em processos aeróbios e anaeróbios, em contato com altas pressões e baixas temperaturas. As reações de transformação acontecem nas superfícies das rochas em presença de água e outros compostos inorgânicos. Durante esses processos, o petróleo, que está disperso, acumula-se por migração em reservatórios que formam os poços petrolíferos (CARVALHO, 2014). De forma geral, o petróleo é uma substância oleosa, inflamável, menos densa que a água, com cheiro característico e de cor variando entre o negro e o castanho escuro (CEPETRO, 2018).

Durante o processo de exploração e produção de petróleo *onshore* e *offshore* uma quantidade significativa de água é gerada, a qual recebe o nome de água produzida (AP) ou residuária (AR) e representa a maior corrente de resíduos na produção de petróleo (FARMEN et al., 2010). Em média, para cada barril de petróleo produzido são gerados de três a seis barris de água, sendo que este número pode se elevar no final da vida produtiva do poço, onde maiores quantidades de água são necessárias para manter a produção (SANTANA, 2009).

Segundo Fontes (2010), sua composição varia durante a composição do campo, muitas vezes alterada pela adição de compostos químicos para evitar alguns problemas operacionais, tais como: inibidores de corrosão, biocidas e anti-incrustantes, entre outros. Entretanto com a presença de altas concentrações de sal neste efluente e diversos contaminantes como hidrocarbonetos, compostos nitrogenados e sulfurados, fenóis e metais pesados torna difícil seu tratamento, tanto por processos físico-químicos como biológicos.

Segundo o relatório do CENPES (2005) divulgado no site oficial do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA, as principais classes de compostos orgânicos tóxicos presentes em água de produção, são: os hidrocarbonetos voláteis como benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos (BTEX),

hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA), fenóis, e ácidos carboxílicos. Dentre os compostos inorgânicos, vários metais podem ser encontrados na água produzida, como: cádmio, cobre, níquel, chumbo e zinco (relatório CENPES, 2005 apud SWAN et al., 1994). Brasileiro et al. (2005 apud QUEIROZ et al., 1996) cita outros compostos nocivos como sulfetos, N amoniacal, óleos e graxas. Todos estes compostos são altamente nocivos ao meio ambiente e necessitam de tratamento antes do descarte para se enquadrarem às normas ambientais e com isso não causarem danos ao meio ambiente. No Brasil, os limites estabelecidos destes contaminantes são regulados pela Resolução CONAMA 357, publicada em março de 2005 com alguns parâmetros atualizados pela Resolução CONAMA 393, publicada no Diário Oficial da União – DOU em agosto de 2007 e Resolução CONAMA 430, publicada no DOU em maio de 2011.

De acordo com Carvalho (2013), um dos problemas enfrentados pelas indústrias se refere à inexistência de um método adequado e eficiente de tratamento dos resíduos gerados. Sem alternativas apropriadas, os rejeitos são despejados em corpos hídricos, sem tratamento prévio, causando sérios problemas ambientais.

Segundo a Resolução 430/2011 do CONAMA, estabelece que os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados, direta ou indiretamente, nos corpos de água, após o devido tratamento e desde que obedeçam às condições, padrões e exigências dispostos nesta Resolução e em outras normas aplicáveis. A concentração máxima de óleos e graxas no descarte de efluentes líquidos em corpos receptores não deverá exceder a 20 mg/L e limite de 0,5 mg/L de fenóis totais.

Além do caráter ambiental, o tratamento da água produzida tem como um dos objetivos a sua aplicação na própria extração do petróleo. A água produzida tratada pode ser injetada nos poços para manter a pressão e auxiliar o fluxo do petróleo para a superfície aumentando sua produção e a fração restante é descartada no mar (SILVA, 2008). Para o

processo de reinjeção da água exige-se um tratamento mais refinado do que o especificado pelo CONAMA 430/2011, pois excesso de óleo na água pode provocar uma redução na permeabilidade das rochas ocasionando danos a formação, como a ruptura da rocha por tração. Neste caso a concentração máxima de óleo passa a ser de 5 mg/L.

A preocupação para que as concentrações de seus contaminantes cumpram a normativa vigente para o descarte de efluentes, tem sido importante para o desenvolvimento de diferentes técnicas de tratamentos de águas produzidas. Estes produtos são considerados tóxicos e provocam o desenvolvimento de problemas de saúde, como por exemplo o benzeno, considerado carcinogênico (NOGUEIRA, 2006).

Atualmente, os principais métodos utilizados para remoção de contaminantes oriundos de compostos inorgânicos e orgânicos, presentes em AP, são flotação a ar, hidrociclones e separadores gravitacionais (THOMAS, 2004). Estes procedimentos são comumente de alto custo e manutenção. Deste modo, uma alternativa é o tratamento por adsorção. Nesse sentido, um material que boa capacidade de adsorção, sendo amplamente utilizado para o tratamento de água e efluentes, é o carvão ativado. Entretanto, devido às perdas durante o processo de recuperação do adsorvente, sua utilização torna-se, muitas vezes, onerosa. Nesse sentido, existe um crescente interesse na busca de materiais alternativos e de baixo custo como os biopolímeros (GONÇALVES et al., 2007; AUTA e HAMEED, 2011).

Os biopolímeros são materiais poliméricos de origem natural ou sintética, que são utilizados em aplicações diversas. São polímeros ou copolímeros produzidos a partir de matérias-primas de fontes renováveis, como milho, cana-de-açúcar, celulose, quitina e outras. Em sua maioria, são biodegradáveis, o que os torna bastante atrativos, visto que não apresentam problemas de biocompatibilidade e biodegradabilidade quando implantados por períodos longos de tempo (QUEIROZ JÚNIOR, 2017).

A quitosana é a forma desacetilada da quitina, o

segundo polímero mais abundante na natureza, depois da celulose. É um produto natural, de baixo custo, renovável e biodegradável e de grande importância econômica e ambiental. As carapaças de crustáceos são resíduos abundantes e rejeitados pela indústria pesqueira que, em muitos casos, as consideram poluentes. Sua utilização reduz o impacto ambiental causado pelo acúmulo nos locais onde é gerado ou estocado (MENDES et al., 2011).

Este biopolímero possui uma estrutura molecular quimicamente similar à da celulose, diferenciando-se somente nos grupos funcionais. É solúvel em meio ácido diluído, formando um polímero catiônico, com a protonação do grupo amino gerando o íon NH_3^+ , que confere propriedades especiais diferenciadas em relação, por exemplo, às fibras vegetais (MENDES et al., 2011). Quimicamente, a quitosana se apresenta na forma de um copolímero composto por unidades estruturais de 2-amino-2-desoxiD-glicopirranose (GlcN) e 2-acetamido-2-desoxi-D-glicopirranose (GlcNAc) unidas por ligações glicosídicas do tipo $\beta(1\rightarrow4)$ (GONSALVES et al., 2011).

Os procedimentos relativos os fenômenos adsorptivos ainda se encontram em um estágio menos desenvolvido que a maioria dos outros processos de separação, tais como a destilação e a extração. Isso pode ser justificado pela complexidade do fenômeno e pela escassez de dados experimentais completos que dificultam o desenvolvimento de novos modelos, bem como a avaliação daqueles apresentados na literatura. Essa complexidade pode ser atribuída a vários fatores, dentre eles a não uniformidade da maioria dos sólidos, os quais são frequentemente heterogêneos, possuindo não só uma distribuição diferente de tamanho de poros, mas também diferentes formas de poros, além de uma distribuição de energia dos sítios ativos.

Da mesma forma, as interações intermoleculares entre as moléculas da fase sólida e da fase adsorvida, são dependentes do sistema sólido-fluido e da temperatura. A molécula adsorvida pode mostrar mobilidade na superfície ou ser quase imóvel, com

contribuição apenas vibracional para a função de partição. A adsorção de uma molécula pode ser ainda independente das outras ou apresentar interações com a vizinhança (ALVES, 2010). A fim de aumentar a eficiência deste processo, técnicas como a microextração líquido-líquido dispersiva (DLLME, *Dispersive Liquid-Liquid Microextraction*), proposta inicialmente por Rezaee et al. (2006), utiliza um solvente dispersor, miscível na fase orgânica e na fase aquosa e além disso utiliza mecanismos físicos como a centrifugação, por exemplo, para favorecer a partição dos compostos-alvo presentes nas duas fases. Esse método tem sido aplicado para agrotóxicos, fármacos e outros poluentes orgânicos, sendo uma técnica de aplicação simples que ser empregado em diferentes técnicas analíticas (MARTINS et al., 2012).

Pelo exposto, o presente estudo teve como objetivo geral investigar a eficiência de biopolímeros naturais, tais como a quitosana, na adsorção de contaminantes de água produzida de petróleo. Especificamente, objetivou: caracterizar o perfil físico-químico de amostras de água produzida de petróleo através de análises de turbidez e fotocolorimetria; avaliar a eficiência do diclorometano na extração de compostos orgânicos, em água produzida de petróleo, através da técnica de microextração líquido-líquido; Caracterizar o perfil de compostos orgânicos presentes em amostras de água produzida de petróleo através da técnica de Espectrofotometria UV-Vis e analisar a eficiência do tratamento de amostras de água produzida adsorvidas e não-adsorvidas por quitosana, na remoção de contaminantes inorgânicos e orgânicos a partir das análises químicas e através de comparações por métodos estatísticos.

MATERIAIS E MÉTODOS

Obtenção das amostras de águas produzida de petróleo

Amostras de água produzida de petróleo foram cedidas pela Petrobrás - Unidade Pilar (Latitude: 09°

35' 50" S, Longitude: 35° 57' 24" W, Altitude: 13m) acondicionadas em isopor (5 °C) e transportadas para as dependências do laboratório.

Bioadsorção de água produzida (AP) de petróleo

A quitosana (poli-D-glucosamina-CAS:9012-76-4), em forma de pó, com grau de desacetilação de 75%, foi obtida comercialmente (Sigma-aldrich®). Para realizar o processo de adsorção, foram adicionados 1 mg de quitosana para cada 10 mL de AP. As amostras adsorvidas foram mantidas sob refrigeração até utilização nas análises químicas subsequentes.

Microextração líquido-líquido dispersiva

Soluções de diclorometano e AP bruta e adsorvida foram preparadas na proporção de 1:100 mL e transferidas para tubos com tampa contendo 10 mL cada. Em seguida, foram submetidas ao processo de centrifugação, para separação gravitacional dos resíduos sólidos, utilizando uma centrífuga Kindly, modelo KC4, a 3.000 rpm durante 10 min.

Análises físico-químicas

Para determinação do nível de turbidez, 10 mL de cada amostra de AP (Bruta e não-adsorvida) foi analisada utilizando um turbidímetro ALFAKIT®, modelo Plus II - V.5. Como padrão de calibração foi utilizada formazina com grau 96,98 ± 5% NTU. Por sua vez, as análises por fotocolorimetria foram conduzidas em fotocolorímetro ALFAKIT®, modelo AT 10P, utilizando água destilada como padrão de calibração, sendo analisadas as concentrações dos seguintes parâmetros: sulfetos, sulfatos, ortofosfatos, nitratos, nitritos e amônia.

Análises por espectrofotometria UV-Vis

As análises foram conduzidas em espectrofotômetro UV-Vis QUIMIS® modelo Digital Q898DPT. A curva de calibração de comprimento de onda em função da concentração foi obtida utilizando diclorometano grau P.A. A faixa de comprimento de onda escolhida foi de 340 a 380 nm.

Delineamento experimental e análises estatísticas

As amostras ($n = 5$) foram analisadas compreendendo os seguintes tratamentos: (1) tratamento branco: água destilada, (2) tratamento-controle: diclorometano, (3) Amostra 1: AP bruta e (4) Amostra 2: AP adsorvida com quitosana; (5) AP bruta com diclorometano e (6) AP adsorvida com diclorometano.

Para fins de comparação entre os tratamentos, os dados obtidos foram primeiramente verificados quanto ao atendimento dos pressupostos paramétricos através do teste de normalidade e homogeneidade dos erros das variâncias de *Lilliefors*. Uma vez atendidos, foi realizada a análise de variância (ANOVA), para verificação de diferenças significativas entre as médias obtidas, seguida pelo teste de comparação múltipla, *Tukey HSD*. Em todas as análises o nível de significância foi $p \leq 0,05$.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Perfil físico-químico de água produzida (AP)

A partir dos dados obtidos, conforme a Tabela 1, foi verificado que para todos os parâmetros, exceto para temperatura e pH, existiu diferença estatística significativa ($p < 0,05$) entre amostras de AP brutas em relação às amostras de AP adsorvidas com quitosana, com destaque para os parâmetros de turbidez, sulfetos, ortofosfatos, cuja concentração foi indetectável, e sulfatos que reduziu significativamente.

Tabela 1

Perfil físico-químico da água produzida (AP) de petróleo.

Parâmetro	Concentração da Amostra de AP (N=5) (Média±D.P. em mg/mL)	
	Não adsorvida	Adsorvida*
Turbidez	106 ± 2,52a	0,00 ± 0,00b
Amônia	0,15 ± 0,01a	0,02 ± 0,001b
Ortofosfato	1,64 ± 0,18a	0,00 ± 0,00b
Nitrato	0,44 ± 0,01a	0,002 ± 0,0001b
Nitrito	0,03 ± 0,0a	0,008 ± 0,0002b
Sulfato	56,93 ± 1,88a	1,44 ± 0,08b
Sulfeto	0,07 ± 0,001a	0,0 ± 0,00b
Temperatura	25,4 ± 0,8°Ca	23,94 ± 0,049a
pH	6,04 ± 0,23a	6,75 ± 0,11a

Nota: *Água adsorvida com biopolímero de quitosana. Letras minúsculas iguais indicam que não existem diferenças estatísticas significativas entre colunas para um mesmo parâmetro, pelo *Teste t de Student* ($p > 0,05$).

Segundo THOMAS (2004), a AP apresenta sais (carbonatos, sulfatos, cloretos de sódio, potássio, cálcio e magnésio), micro-organismos e gases dissolvidos (CO, CO₂, H₂S), além de sólidos em suspensão. Esses teores podem variar de acordo as características e profundidade do campo produtor. No presente estudo, foram detectados ortofosfatos, nitratos, nitritos, sulfatos e sulfetos, em altas concentrações, considerando os limites estabelecidos pelas resoluções do CONAMA 357/2005, 393/2007 e 430/2011, conforme Tabela 2. Após o processo de adsorção por quitosana foi verificada a redução significativa da concentração destes contaminantes inorgânicos, inclusive para o nível de turbidez que caracteriza a presença de sólidos suspensos em alta concentração e, após a adsorção por quitosana, diminuiu de forma altamente significativa, sendo indetectável, após o processo, na amostra de água produzida.

Tabela 2

Limites das concentrações segundo CONAMA.

Parâmetros*	Limites*
Turbidez	até 40 NTU
Amônia	1,5 mg/L
Ortofosfato	0,1 mg/L
Nitrato	10,0 mg/L
Nitrito	1,0 mg/L
Sulfato	250 mg/L
Sulfeto	0,002 mg/L
Temperatura	Inferior a 40° C
pH	entre 6,5 - 9,5

Nota: *Parâmetros e limites conforme resoluções CONAMA 357/05, 393/07 e 430/11.

Atualmente, têm sido descritas várias metodologias para remoção destes poluentes inorgânicos, tais como: degradação fotocatalítica, oxidação avançada, ultrafiltração micelar reforçada, ultrassom foto-fenton combinada, filtração, ozonização, coagulação, floculação, destilação e precipitação, dentre outros. Porém, a técnica de adsorção seletiva tem sido considerada de alta relevância em termos de custo-eficácia, simplicidade de design e facilidade de operação. Nesse sentido, esta técnica vem utilizando materiais biológicos, óxidos minerais, carvão ativado ou resinas poliméricas

que têm sido documentados como adsorventes potenciais para a remoção de poluentes da água produzida de petróleo (BHOMICK et al., 2017).

No que tange à quitosana, devido à natureza anfifílica, atribuída à sua estrutura química – uma parte polar e hidrofílica e outra apolar e hidrofóbica, a mesma promove a interação entre meios que apresentam polaridade diferente como, por exemplo, água e óleo. Esta característica química evidencia seu forte potencial no tratamento de água produzida de petróleo, especialmente de substâncias em suspensão ou dissolvidas (DESBRIÈRES E GULBAL, 2017), tais como aquelas detectadas no presente estudo.

Perfil qualitativo de água produzida (AP)

As análises por espectrofotometria UV-Vis, revelaram um perfil de absorção na faixa de comprimento de onda entre 340 nm e 370 nm, conforme Figura 3, com picos de concentração ocorrendo na faixa acima de 370 nm. A amostra de AP adsorvida, foi aquela que apresentou menor concentração de compostos em relação aos demais, com pico de concentração correspondendo a aproximadamente 179 mg/L. As amostras de AP adsorvidas com diclorometano, apresentaram pico de concentração similar ao diclorometano com concentrações de aproximadamente 270 mg/L. Amostras brutas apresentaram pico de concentração distinto daquelas brutas com diclorometano, com picos de concentração de aproximadamente 240 mg/L e 180 mg/L, respectivamente.

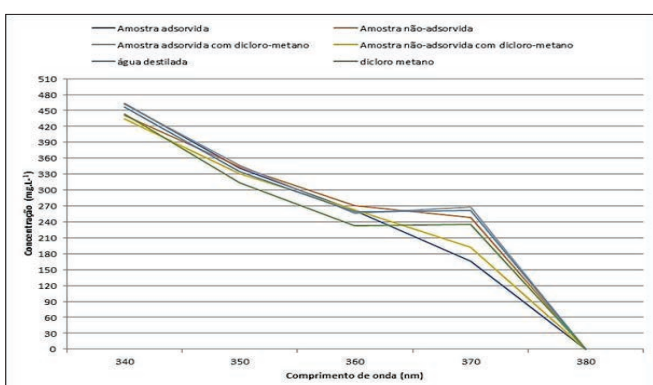


Figura 1: Perfil espectrofotométrico qualitativo de água produzida de petróleo (UV-Vis).

As análises estatísticas relacionadas aos dados obtidos por espectroscopia UV-Vis de amostras de água produzida de petróleo, conforme Tabela 3, demonstraram que a presença de diclorometano em amostras de AP adsorvidas apresentou concentração similar em todos os comprimentos de onda, com diferença significativa apenas para o comprimento de onda de 360 nm. Para as amostras brutas não adsorvidas, foram observadas maiores concentrações em todas os comprimentos de onda observados, em relação às amostras adsorvidas, com diferença estatística significativa ($p < 0,05$), inclusive em relação ao diclorometano para os comprimentos de onda de 350 nm e 360 nm, respectivamente. Além disso, para todos os comprimentos de onda avaliados, as amostras de água produzida de petróleo, adsorvidas com quitosana, não diferiram significativamente de amostras de água destilada ($p > 0,05$). A Figura 2 mostra o aspecto visual da amostra de água produzida antes e após a adsorção por quitosana.

Tabela 3

Análise comparativa entre amostras de água produzida de Petróleo.

Tratamentos*	Comprimento de onda (nm)			
	340	350	360	370
Água adsorvida	440 ± 1,3a	341 ± 1a	262 ± 2a	165 ± 6a
Água não-adsorvida	463 ± 6,0b	444 ± 5b	270 ± 6b	247 ± 4b
Água adsorvida com diclorometano	431 ± 0,4a	317 ± 5a	262 ± 8b	258 ± 0,8b
Água não adsorvida com diclorometano	473 ± 0,3b	331 ± 7b	275 ± 1b	192 ± 10a
Água destilada	443 ± 0,0a	335 ± 0,0a	259 ± 0,0a	162 ± 0,0a
Diclorometano	433 ± 0,0ab	314 ± 0,0a	273 ± 0,0a	255 ± 0,0b

Nota: *valores da concentração Média ± D.P., em mg/mL ($n = 5$). Letras minúsculas diferentes em uma mesma coluna indicam diferença estatística significativa pelo Teste de Tukey HSD ($p < 0,05$).



Figura 2: Identificação visual de amostras de água produzida (AP)*

Diversas técnicas de extração e pré-concentração de BTEX têm sido reportadas na literatura, como a extração *Headspace* (HS), purga e trapeamento (*Purge and Trap*), microextração em gota única (*Single Drop Microextraction: SDME*), microextração em fase líquida com fibra oca (*Hollow Fiber Supported Liquid-phase Microextraction: HF-LPME*), extração com membranas com uma interface sorvente (*Flat-Sheet Membrane Extraction with a Sorbent Interface: MESI*) e microextração em fase sólida (*Solid Phase Microextraction: SPME*) (MARTINS et al., 2012). No presente estudo, a microextração líquido-líquido dispersiva com diclorometano evidenciou uma nítida separação entre os componentes, facilitando a detecção dos compostos orgânicos, através da espectrofotometria UV-Vis, processo denominado de *efeito batocrômico*, que permite o deslocamento para maiores comprimentos de onda (STOPPA e PITUBA, 2017). Este procedimento propõe uma alternativa mais rápida e barata do que as supracitadas, o que poderá viabilizar a aplicação do mesmo no tratamento de água produzida de petróleo, considerando que este grupo de compostos absorvem em faixas menores de comprimentos de onda.

De maneira similar aos resultados obtidos para os compostos inorgânicos, a eficiência da quitosana na absorção de contaminantes, provavelmente compostos orgânicos, devido a faixa de absorção observada, foi evidenciada. O fato da amostra adsorvida não diferir significativamente da amostra de água destilada caracteriza um resultado altamente promissor no estudo deste biopolímero como adsorvente no tratamento de água produzida de petróleo. Até o momento, no que tange a contaminantes orgânicos a eficiência de adsorção por quitosana tem sido demonstrada para contaminantes como corantes, pesticidas, herbicidas e fármacos. Nesse sentido, a natureza dos grupos funcionais nos compostos orgânicos influencia fortemente a sua ligação aos grupos funcionais na superfície do adsorvente através de várias interações que

dependem, por exemplo, do pH ou da ionização desses grupos (NECHITA, 2017).

Estudos que envolvam o aprimoramento desta técnica na utilização para o tratamento de águas residuárias, têm sido fortemente estimulados, sugerindo inclusive modificações estruturais que aumentem seu potencial de adsorção, como por exemplo, modificações de pH, tempo de contato, força iônica, íons competitivos, temperatura, cinética, isotermas, mecanismos de adsorção e regeneração (WANG e ZHUANG, 2017).

Deste modo, os resultados reportados no presente estudo são bastante promissores, sugerindo que este biopolímero poderá ser aplicado futuramente em escala comercial, no que tange a indústria de petróleo, voltada para a minimização de problemas ambientais e de saúde que envolvem a água produzida, bem como para fins de reutilização.

CONCLUSÕES

As análises químicas, corroboradas pela técnica de microextração líquido-líquido dispersiva e análises estatísticas, demonstraram que o biopolímero de quitosana foi eficiente na remoção de contaminantes inorgânicos e orgânicos, evidenciada pela diminuição da concentração de ortofosfatos, sulfetos, sulfatos, nitratos, nitritos e amônia, os quais tiveram sua concentração reduzida significativamente, bem como na remoção de possíveis compostos orgânicos em virtude da não existência de diferenças significativas em comparação com amostras de água destilada. Pelo exposto, uma vez que o potencial deste biopolímero, na remoção de contaminantes em AP, ficou evidenciado através do presente estudo, investigações subsequentes serão realizadas a fim de analisar sua eficiência em relação a outros biopolímeros comumente utilizados. Tais estudos fornecerão subsídios para a realização de prospecção tecnológica deste bioproduto, para fins de futura aplicação no tratamento de águas residuárias com alto teor de compostos inorgânicos e orgânicos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Alagoas (FAPEAL) pela concessão de Bolsa de Iniciação Científica, através do Programa Institucional de bolsas de Iniciação Científica (PIBIC) do Centro Universitário Tiradentes (UNIT/AL) e, aos laboratórios de Ecologia Química e Eletroquímica da Universidade Federal de Alagoas (UFAL).

REFERÊNCIAS

ALVES, V. N. **Desenvolvimento de uma metodologia de pré-concentração em fluxo utilizando cascas tratadas de *Moringa oleífera* como bioadsorvente para determinação de Zn(II) em matrizes alcoólicas.** 2010. 98 f. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, 2010.

AUTA, M.; HAMEED, B. H. **Preparação de resíduos de carvão ativado com acetato de potássio como agente ativador para adsorção de corante ácido azul 25.** Chemical Engineering Journal, Sweden, v. 171, n. 2, p. 502-509, jul. 2011.

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução do CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005. **Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.** Diário Oficial da União, Brasília, DF, 18 de março de 2005.

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução do CONAMA nº 393 de 8 de agosto 2007. **Dispõe sobre o descarte contínuo de água de processo ou de produção em plataformas marítimas de petróleo e gás natural, e dá outras providências.** Diário Oficial da União, Brasília, DF, 9 de agosto de 2007.

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente.

Resoluções do CONAMA nº 430 de 13 de maio de 2011. **Dispõe sobre as condições e padrões de lançamentos de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA.** *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 13 de maio de 2011.

BRASILEIRO, I. M. N.; VILAR, E. O.; CAVALCANTI E. B.; TONHOLO, J. **Eletrooxidação do fenol presente em águas de produção de campos de petróleo.** In: Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás Natural, nº 3, 2005, Salvador. Trabalho Técnico Científico. Salvador – BA: Copyright 2005, Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás – IBP, 2005.

CARVALHO, E. S. **Reúso do mesocarpo de coco na remoção de contaminantes derivados de petróleo presentes em corpos d'água, utilizando sistema de adsorção em leito diferencial.** 2014. 54 f. Monografia (Especialização) - Curso de Química Industrial, Departamento de Química, Universidade Estadual da Paraíba – UEPB, Campina Grande - PR, 2014.

CARVALHO, M. Z. **Aproveitamento do resíduo sólido de mamona proveniente da cadeia produtiva do biodiesel como adsorvente natural.** 2013. 90 f. Dissertação (Mestrado). Curso de Pós-graduação em Agroquímica, Universidade Federal de Lavras - UFLAS, Lavras - MG, 2013.

CENPES. **Caracterização do Efluente da Plataforma de Curimã PCR-1.** Relatório Técnico Parcial. Jun. 2005. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/processo.cfm?processo=02000.000344/2004-86>> Acesso em: 30 de dez. 2018.

CEPETRO. Centro de Estudos de Petróleo. **Petróleo.** 2018. Disponível em: <<http://www.cepetro.unicamp.br>>. Acesso em: 30 de dez. 2018.

FARMEN, E.; HARMAN, C.; HYLLAND, K.; TOLLEFSEN, K. E. **Os extratos de água produzidos das plataformas de produção de petróleo do Mar do Norte resultam em estresse oxidativo celular em um bioensaio in vitro com truta arco íris.** Marine

- Pollution Bulletin. France. v. 60, n. 7, p. 1092–1098, July. 2010.
- FONTES, V. A. **Estudo de adsorvente obtido de terras diatomáceas para remoção de metais pesados em águas produzidas: processamento, caracterização e dinâmica em leito fixo.** 2010. 116 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Ciência e Engenharia de Petróleo, Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal - RN, 2010.
- GONÇALVES, M.; GUERREIRO, M. C.; BIANCHI, M. L.; OLIVEIRA, L. C. A.; PEREIRA, E. I.; DALLAGO, R. M. **Produção de carvão a partir de resíduo de erva-mate para a remoção de contaminantes orgânicos de meio aquoso.** *Ciência e Agrotecnologia*, v. 31, n. 5, p. 1386-1391, 2007.
- GONSALVES, A. A.; ARAÚJO, C. R. M.; SOARES, N. A.; GOULARTII, M. O. F.; ABREU, F. C. **Diferentes estratégias para a reticulação de quitosana.** *Química Nova*, v. 34, n. 7, p. 1215-1223, 2011.
- MARTINS, M. L.; PRIMEL, E. G.; CALDAS, S. S.; PRESTES, O. D.; ADAIME, M. B.; ZANELLA, R. **Microextração Líquido-Líquido Dispersiva (DLLME): Fundamentos e aplicações.** *Scientia Chromatographica*, v. 4, n. 1, p. 29-45, 2012.
- MENDES, A. A.; OLIVEIRA, P. C.; CASTRO, H. F.; GIORDANO, R. L. C. **Aplicação de quitosana como suporte para a imobilização de enzimas de interesse industrial.** *Química Nova*, v. 34, n. 5, p. 831-840, 2011.
- NECHITA, P. **Applications of Chitosan in Wastewater Treatment.** *Biological Activities and Application of Marine Polysaccharides*, [s.l.], p. 209-228, 2017.
- NOGUEIRA, D. **Otimização das condições de adsorção de compostos BTEX em água pela vermiculita expandida e hidrofobizada, usando SPME – GC/FID como método de acompanhamento.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Ouro Preto, Brasil, 2006.
- QUEIROZ JÚNIOR, H. F. **Utilização da membrana de quitosana como alternativa para tratamento de efluentes com metais pesados.** 2017. 38 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal - RN, 2017.
- QUEIROZ, M. S.; SOUSA, A. D.; SABOIA, E.; GOMES, N. T.; NETO, O. A. A.; **Aplicação do Processo Eletrolítico ao Tratamento de Água de Produção.** Relatório DITER, n. 08/96, DITER/SEBIO, CENPES, 1996.
- REZAEI, M.; ASSADI, Y.; HOSSEINI, M.-R. M.; AGHAEE, E.; AHMADI, F.; BERIJANI, S. **Determination of organic compounds in water using dispersive liquid-liquid microextraction.** *Journal of Chromatography A*, v. 1116, n. 1-2, p. 1-9, 2006.
- SANTANA, C. R. **Tratamento de água produzida através do processo de flotação utilizando a *Moringa Oleífera Lam* como coagulante natural.** 2009. 153 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Química, Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão - SE, 2009.
- SILVA, P. K. L. **Remoção de óleo da água de produção por flotação em coluna utilizando tensoativos de origem vegetal.** 2008. 105 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Química, Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal - RN, 2008.
- STOPPA, M. H.; PITUBA, J. J. C. **Tecnologias Em Pesquisa: Ciências exatas e biológicas.** São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 216 p., 2017.
- SWAN, J. M.; NEFF, J. M.; YOUNG, P. C. **Environmental Implications of Offshore Oil and Gas Development in Australia – The Findings of an Independent Scientific Review.** *Australian Petroleum Exploration Association*, Sydney, p. 696, 1994.
- THOMAS, J. E. **Fundamentos de Engenharia de Petróleo.** 2ª Ed. Interciência, Rio de Janeiro - RJ, 2004.
- WANG, J.; ZHUANG, S. **Removal of various pollutants from water and wastewater by modified chitosan adsorbents.** *Critical Reviews In Environmental Science And Technology*, v. 47, n. 23, p. 2331-2386, 2017.