



Emprego do processo de adsorção para atenuação o Teor de Óleos e Graxas (TOG) em efluentes de poços produtores de petróleo

Thiago Trajano Farias ^[1], Victor de Oliveira ^[2], Danielly Vieira de Lucena ^[3], Antonio José Ferreira Gadelha ^[4], Clarice Oliveira da Rocha ^[5]

[1] ttf1880@gmail.com. [2] qiw153@gmail.com. [3] daniellymateriais@yahoo.com.br. Curso Técnico em Petróleo e Gás, IFPB.

[4] antoniogadelha.ifpb@gmail.com. Curso de Licenciatura em Química, IFPB. [5] clariceoliveirarocha@gmail.com. Curso Técnico em Petróleo e Gás, IFPB.

RESUMO

Os carvões ativados são materiais orgânicos caracterizados pela capacidade de adsorver impurezas de fluidos, sendo consideravelmente empregados industrialmente. No ramo da extração do petróleo, a água produzida (AP) é efluente indesejado que, devido a suas características tóxicas e contaminantes relativas ao seu alto teor de óleos e graxas (TOG), necessita de tratamento adequado antes que seja direcionada ao reuso ou ao descarte. Nesse sentido, o carvão ativado se mostra como uma alternativa viável para o processo de remoção de contaminantes. No presente estudo foram realizados diversos testes com amostras de carvão ativado tratado com ácido clorídrico em duas amostras de água produzida, a fim de se determinar a eficiência geral do adsorvente e as proporções e os períodos de exposição ideais para um tratamento eficaz. As taxas percentuais de redução chegaram a aproximadamente 100% e 75% para as duas amostras de água dos diferentes poços dos quais foram retiradas. Os resultados mostram a eficiência do processo adsorptivo utilizado para redução do teor de TOG da água produzida.

Palavras-chave: Água produzida. Adsorção. Carvão ativado. Tratamento. TOG.

ABSTRACT

Activated carbons are organic materials characterized by the ability to adsorb impurities from fluids, being considerably used industrially. In the oil extraction industry, the water produced (WP) is an undesired effluent that, due to its toxic and contaminating characteristics related to its high total oil and grease (TOG), needs adequate treatment before it is directed to reuse or disposal. In this sense, activated carbon is shown as a viable alternative for the process of removing contaminants. In the present study, several tests were carried out with samples of activated carbon treated with hydrochloric acid in two samples of produced water, in order to determine the general efficiency of the adsorbent and the ideal proportions and exposure periods for an effective treatment. The percentage reduction rates reached approximately 100% and 75% for the two water samples from the different wells from which they were drawn. The results show the efficiency of the adsorptive process used to reduce the TOG content of the produced water.

Keywords: *Produced water. Adsorption. Activated carbon. Treatment. TOG.*

1 Introdução

No processo de exploração e produção de óleo, a água produzida (AP) é o maior fluxo de águas residuais. Ela é separada do óleo e injetada em um poço para recuperação de pressão ou descartada devidamente, ambos ocorrem após o processo de tratamento adequado, reduzindo assim o número de contaminantes atendendo as regulações vigentes, que é de fundamental importância para melhor redução dos efeitos maléficos ao meio ambiente (UTVIK, 1999). O padrão de lançamento de efluentes em corpos d'água no Brasil é estabelecido pelas Resoluções CONAMA 357/2005 e 430/2011, as quais determinam que os efluentes de qualquer fonte poluidora só poderão ser lançados em corpos hídricos após tratamento adequado.

De acordo com a BP (2018), a produção de tal fluido em 2017 foi de 102 milhões de toneladas, somado a essa elevada produção é necessário tomar os cuidados necessários devido a sua composição complexa. Como supracitado, a água passa por processos de adequação para descarte, reinjeção ou reuso, para isso é necessário um tratamento que visa principalmente a remoção de óleo, que pode estar sob a forma livre, dissolvido e emulsionado. Essa última é a mais preocupante devido à dificuldade na remoção, principalmente em emulsões mais estáveis (MOTTA *et al.*, 2013).

Consoante Zheng *et al.* (2016), o tratamento da água deve consistir em um número variante de estágios de tratamento e tecnologias. Flotação de gás e hidrociclones são muito usados no tratamento primário e são exemplos de tecnologias físicas que tem como principal alvo o óleo disperso. Emulsões e partículas menores de óleo exigem mecanismos mais avançados para alcançar uma melhor qualidade da AP. Além desses há uma gama de tratamentos como uso centrífugas, filtração, uso de membranas, oxidação química, coalescência e adsorção. Tais métodos citados vem a ser eficientes, entretanto possuem um alto custos em manutenção e na área operacional, desse modo aparece o uso do tratamento com adsorção como via promissora, com baixos custos e resultados eficientes. A análise desse tratamento pode ser realizada através da espectrofotometria.

A depender da sua finalidade a água sem tratamento pode causar transtornos as empresas que a estiverem manuseando. Quando se trata do descarte da mesma em plataformas marítimas (denominado de

“lançamento ao mar”), a ausência de tratamento pode danificar a vida marinha. Nos descartes subterrâneos (reinjeção) realizados em terra o alto teor de óleos e graxas pode gerar contaminação de lençóis freáticos adjacentes, além de que nos casos de reinjeção para recuperação de pressão pode ocorrer a obstrução dos poros da rocha reservatório, o que dificulta o fluxo dos efluentes presentes nela (THOMAS *et al.*, 2004; UTVIK, 1999).

Os processos com injeção de água são os que devem receber maior atenção e maiores cuidados em relação ao TOG, já que incrustações na área industrial petrolífera representa altos custos operacionais, sem contar com a perda de produtividade do poço. (AFFONSO, 2017).

Desse modo vê-se necessário o tratamento dessa AP para se comprovar a sua eficiência, através da adsorção em banho finito, com carvão ativado.

2 Referencial teórico

A água produzida é um subproduto que surge durante a produção de óleo e gás em operações *onshore* e *offshore*. Durante a vida econômica do campo o volume do efluente pode chegar até 10 vezes o volume de hidrocarbonetos produzido. Essa água de formação é uma mistura de compostos orgânicos e inorgânicos que podem causar potenciais danos ao meio ambiente. Cloretos de magnésio e cálcio, que são muito encontrados nesse efluente, podem causar problemas nos separadores de óleo. Tratamentos adequados são eficientes para diminuir eventuais problemas em processos operacionais e mitigam profundamente os impactos ambientais (ZHAO *et al.*, 2014).

A composição química dessa água é complexa, contendo óleo disperso, hidrocarbonetos dissolvidos, ácidos orgânicos, fenóis, metais e traços de químicos adicionados durante os processos de produção e separação (UTVIK, 1999; MEDEIROS, 2005; BAKKE, KLUNGSØYR E SANNI, 2013). A composição detalhada depende do campo produtor em que o efluente foi produzido, assim como também o volume encontrado, em campos de produtores de gás o volume é menor em comparação aos de óleo.

Tratamento de águas residuais estão sendo desenvolvidos para reduzir a quantidade de hidrocarbonetos na AP em níveis aceitáveis. Técnicas convencionais de separação de fases não removerão os componentes orgânicos solúveis em água da fase aquosa (SHOKROLLAHZADEH *et al.*, 2012). Uma

alternativa viável para esse problema é o uso de carvão ativado (CA), que é normalmente utilizado nos métodos de filtração e pós filtração para adsorção de componentes orgânicos, sintéticos orgânicos químicos. Os processos de separação por adsorção consistem no processo de adesão de moléculas líquidas, gasosas e substâncias dissolvidas em uma superfície sólida devido a processos químicos e físicos. O carvão ativado é classificado como um material de filtração versátil que pode reduzir várias formas de poluição e pode ser produzido e usado de formas geralmente simples. Algumas modificações químicas são viáveis para melhor alcançar uma alta qualidade da água, por exemplo, o tratamento com ácidos para melhorar a remoção de metais pesados (DIWEKAR, 2015; HOSLLET *et al.*, 2018). Além da sua utilidade, o carvão ativado é considerado um dos candidatos mais promissores para métodos de tratamento devido seu baixo custo, fácil uso e alta capacidade de adsorção. A capacidade de adsorção do carvão é dada pela área de superfície, distribuição do tamanho dos poro e grupos funcionais de superfície. Para obtenção de um CA com essas características, o material de origem deve ser cuidadosamente escolhido (OLIVEIRA *et al.* 2014; OKIEL, EI-SAYED, EI-KADY, 2011 ZHANG *et al.*, 2015).

Dentro dos parâmetros analisados e quantificados para tratamento, o teor de óleos e graxas (TOG) é um dos mais importantes, além de receber rigorosas regulações por parte dos órgãos responsáveis. O CONAMA determina que o valor permitido é de 29 mg.L⁻¹ para média aritmética simples mensal e 42 mg.L⁻¹ para valor máximo diário. Segundo o mesmo órgão, o método de determinação do TOG é o gravimétrico. Há outros métodos de determinação como o de turbidez, COT (carbono orgânico total), Fluorescência com Raios UV, além da Espectrofotometria com Raios Infravermelhos (MOTTA *et al.*, 2013).

A espectrofotometria na região do Ultravioleta Visível baseia-se em medidas de absorção da radiação eletromagnética, nas regiões visíveis e ultravioletas do espectro, na faixa de onda de 190 a 1100 nm. Mede-se quantidade de luz que é absorvida pela amostra e a relaciona com a mesma concentração do analito (SILVA, 2018).

De forma mais específica, para obtenção de informação sobre a absorção de uma amostra, ela é inserida no caminho óptico do aparelho. Então a radiação UV e/ou visível em uma determinada faixa de ondas é passada pela amostra. O

espectrofotômetro mede o quanto de luz foi retida pela amostra. A intensidade da luz antes de passar pela amostra é simbolizada por i_0 e a intensidade da luz depois de passar pela amostra é simbolizada por i . A transmitância (fração de luz incidente com um comprimento de onda específico que atravessa uma amostra de matéria) da amostra é definida pela razão (i/i_0), a qual normalmente é expressa em porcentagem de transmitância (%T). Utilizando como ponto de partida essa informação, a absorbância de ambos é determinada para esse certo comprimento de onda ou como uma função de uma faixa de comprimentos de onda. Assim é dado o valor da absorbância que é colocado numa equação da reta, pré-estabelecida pela curva de calibração com o solvente utilizado no experimento, encontrando-se assim o valor da concentração da amostra.

Os espectrofotômetros mais sofisticados normalmente fazem isso automaticamente. Existem dois tipos de espectrofotômetros: de feixe simples e de feixe duplo. Apesar de as amostras poderem ser sólidas (ou mesmo gasosas), elas usualmente são líquidas. Uma cela transparente (ou seja, que não absorve radiação na faixa de comprimentos de onda usada), comumente chamada de cubeta, é enchida com a amostra líquida e inserida no espectrofotômetro. O caminho óptico pela a amostra é então a largura da cela. Espectrofotômetros mais simples (econômicos) usam cubetas com a forma cilíndrica (tubos de ensaio), porém, os mais sofisticados usam cubetas retangulares, geralmente com uma largura de 1cm. Para espectroscopia apenas no visível, simples celas de vidro podem ser usadas, porém a espectroscopia no ultravioleta requer cubetas especiais feitas de um material que (ao contrário do vidro) não absorve radiação UV, como o quartzo (BEZERRIL *et al.*, 2008).

3 Método da pesquisa

O estudo foi realizado utilizando-se duas amostras de água produzida coletadas de poços *onshore* nos campos Galo de Campina e Periquito, no município de Mossoró-RN. A empresa Phoenix O&G disponibilizou as águas produzidas. Os experimentos e ensaios foram executados no LABFLUIDOS, do Curso Técnico em Petróleo e Gás, do *Campus* Campina Grande do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba (IFPB).

3.1 Tratamento do adsorvente

Para o pré-tratamento do adsorvente, o carvão ativado foi triturado com a utilização de almofariz e pistilo, e imerso em uma solução de ácido clorídrico (HCl) a 3 mol/L, depois foi aquecido e agitado por meio do agitador magnético durante 2 horas. Em seguida, foi realizada a filtração a vácuo, por meio do sistema composto por kitassato, bomba de vácuo, funil de Büchner e papel de filtro qualitativo. Após a filtração, o adsorvente foi lavado com água quente (90°C) até que o ácido for removido totalmente da superfície. Ao finalizar o processo de filtração o carvão foi mantido em estufa a 105°C por 12 horas para remoção de umidade.

Visando o tratamento do efluente (água produzida) através da adsorção em banho finito, o adsorvente foi colocado em contato com 100 mL de água produzida, sob agitação constante, por período de tempo determinado.

Para se avaliar a influência de algumas variáveis no processo de tratamento da água produzida através da adsorção em banho finito, utilizando-se o carvão ativado do coco baía como adsorvente, foi realizado ainda um planejamento experimental fatorial completo 2² com três repetições no ponto central, utilizando como fatores a massa de adsorvente (1) e o tempo de contato entre o efluente e o adsorvente (2), cada um em dois níveis, conforme a Quadro 1:

Quadro 1 – Fatores e níveis utilizados no planejamento experimental.

Fatores	Níveis do Fator		
	Mínimo (-)	Ponto Central	Máximo (+)
Massa de adsorvente (g)	0,2	0,6	1,0
Tempo de contato (h)	2,0	4,0	6,0

Fonte: Elaboração própria

Assim, foram realizados 4 ensaios do planejamento 2² com três repetições no Ponto Central, conforme é apresentado na matriz de planejamento da Quadro 2:

Quadro 2 – Matriz de planejamento experimental

Ensaio	Massa de adsorvente	Tempo de contato
1	-	-
2	+	-
3	-	+
4	+	+
PC	0	0
PC	0	0
PC	0	0

PC: Ponto Central

Fonte: Elaboração própria

Para se avaliar a eficiência do tratamento, a variável resposta analisada será a percentagem de remoção, dada pela equação a seguir:

$$\%Remoção = \frac{(C_o - C_t)}{C_o} \times 100 \quad (1)$$

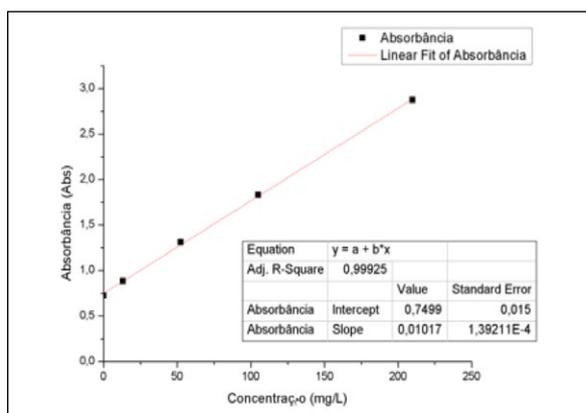
Em que C_o e C_t (mg/L) são as concentrações de TOG iniciais ($t = 0$) e no tempo t , respectivamente.

3.2 Análises

3.2.1 Curva de calibração

Para construir a curva de calibração utilizou-se o espectrofotômetro digital UV-VIS, no comprimento de onda de 257,0 nm, o solvente utilizado foi o clorofórmio, com isso foi possível construir a equação da reta a partir do Gráfico 1:

Gráfico 1 – Curva de calibração do TOG por espectrofotometria.



4 Resultados da pesquisa

Seguindo o método, foram mensurados os TOG's das diversas amostras, antes e depois do tratamento com o carvão ativado. Os Quadros 3 e 4 mostram os TOG's da AP de Periquito e da Galo de Campina, respectivamente, antes e após o tratamento, juntamente com a redução em porcentagem:

Quadro 3 – Resultados obtidos no tratamento da água produzida de Periquito

Ensaio	TOG inicial (mg.L ⁻¹)	TOG final (mg.L ⁻¹)	Redução (%)
1	38,4644	9,890	74,2879
2	38,4644	24,476	36,3671
3	38,4644	20,969	39,1575
4	38,4644	27,572	28,3181
PC	38,4644	19,181	50,1331
PC	38,4644	20,879	45,7186
PC	38,4644	10,889	71,6907

Fonte: Elaboração própria

Quadro 4 – Resultados obtidos no tratamento da água produzida (Galo de Campina)

Ensaio	TOG inicial (mg.L ⁻¹)	TOG final (mg.L ⁻¹)	Redução (%)
1	30,7864	7,692	75,0149
2	30,7864	1,698	94,1597
3	30,7864	6,094	80,2055
4	30,7864	2,997	90,2651
PC	30,7864	7,293	76,3109
PC	30,7864	2,498	91,5612
PC	30,7864	0,100	99,6751

Fonte: Elaboração própria

Logo, pode-se notar uma diminuição significativa após o tratamento de adsorção.

Para amostra advinda do poço Galo de Campina as melhores condições foram obtidas com 0,6 g de carvão ativado em agitação por 6 h, em que ocorreu um decréscimo de 30,78 mg.L⁻¹ para 0,10 mg.L⁻¹, o que corresponde a uma redução de 99,68%.

Para a amostra advinda do poço de Periquito as melhores condições operacionais encontradas foram 0,2 g de carvão ativado em agitação por 2 h, em que houve uma variação de 38,46 mg.L⁻¹ para 9,89 mg.L⁻¹, uma redução de 74,29%.

Embora a diminuição mais significativa na amostra de Galo de Campina tenha ocorrido com uma massa de 0,6 g de adsorvente, a melhor média dos melhores resultados foram verificados utilizando-se de 1,0 g de massa de adsorvente. Por esse viés há a constatação da importância do fator tempo. Por média aritmética simples, o melhor tempo foi o de 4 h de contato com o carvão.

Já para a água de periquito os resultados apresentam maior variabilidade em relação a massa utilizada, sendo o ensaio com 0,2 g, e tempo de 2 h de contato, confirmando que caso o adsorvente passasse maior tempo de contato com o fluido, ocorreria a saturação do carvão. A saturação é quando o carvão adsorve o óleo contido na água até um certo limiar e logo após perde suas capacidades de adsorção.

Dessa forma, pode-se perceber a grande importância do fator tempo no tratamento, em que os menores tempos garantem a qualidade do tratamento mesmo com a variação significativa de massa do adsorvente.

Em taxas percentuais em relação aos melhores resultados há uma redução muito alta na primeira amostra (Galo de Campina), em que a diminuição é de 99,6752%. Já a taxa de redução da amostra advinda do poço de Periquito foi de 74,2879%, outro ótimo resultado que mostra e comprova a eficiência do processo utilizado.

Pode ser apontado que as propriedades de redução do TOG do carvão se tornam mais eficientes quando o próprio teor se encontra em menor concentração. Isso é claro ao fazer uma análise dos resultados, a água que possui menor teor de óleos e graxas é a advinda de Galo de Campina (30,7864 mg.L⁻¹), a mesma teve as melhores taxas de redução e a sua menor foi de aproximadamente 75%. Ao se analisar a água do poço de Periquito, que possui o maior TOG (38,4644 mg.L⁻¹), é perceptível que seus resultados não foram tão eficientes como a da amostra anterior, mesmo sendo satisfatórios, e sua menor taxa de redução foi de aproximadamente 28%.

5 Conclusão/Considerações

É notório, através dos resultados obtidos, que a espectrofotometria mostrou-se uma alternativa de aferição eficiente do TOG e o processo de adsorção com carvão ativado promissor na área da indústria petrolífera. Obtendo-se os resultados bastante eficientes para o tratamento na atenuação do Teor de Óleos e Graxas, adequando-o as normas do CONAMA.

Para a água do poço Galo de Campina as melhores aplicações foram de 0,6 g de carvão em 6 h de contato, já para a água obtida no poço de Periquito as melhores condições foram de 0,2 g e 2 h de contato.

A amostra do efluente de Periquito utilizou a menor quantidade de massa do adsorvente e o menor tempo de contato para obtenção do melhor resultado, isso ocorreu por causa da alta eficiência da agitação durante o processo de tratamento, em que houve contato suficiente com o carvão para melhor adsorção sem ocorrência de saturação, pode-se notar que com a mesma quantidade de massa e com o tempo máximo (6 h de contato) há baixa eficiência e uma baixa taxa de redução, já que o carvão saturou.

A amostra coletada do poço Galo de Campina necessitou de um tempo máximo de agitação e massa no ponto central para uma redução quase total do TOG (aproximadamente 99%), o que mostra a alta eficiência do carvão ativado no processo de tratamento por adsorção com finalidade de remoção e/ou atenuação do teor de óleos e graxas.

Nesse contexto, é altamente perceptível que os números encontrados são suficientes para satisfazer os padrões estabelecidos pelo CONAMA para atividades de descarte, reuso e reinjeção, mitigando os potenciais impactos causados ao meio ambiente e humano.

REFERÊNCIAS

AFFONSO, B. F.; **Estudo sobre corrosão e incrustação inorgânica na indústria de petróleo com ênfase no desenvolvimento de um combo comercial para tratamento químico.** Trabalho de conclusão de curso. UFF. 2017.

BAKKE, T; KLUNGSOYR, J; SANNI, S. **Environmental impacts of produced water and drilling waste discharges from the Norwegian offshore petroleum industry.** Marine Environmental Research, v. 92. p. 154-169, 2013.

BP. **How will BP respond to global change?** Sustainability Report Managing 2017. London: Pureprint Group, 2018.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011.** Dispõe sobre condições e padrões de lançamento 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] República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 16 mai. 2011, Seção 1. p. 89.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional De Meio Ambiente. **Resolução 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] República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 18 mar. 2005.

BEZERRIL, R. H.; RAMALHO, A. M. Z.; XAVIER, D. K. S.; DUARTE, J. P. S.; HILÁRIO, L. S.; NASCIMENTO, W. L. F.; SILVA, D. R. **Análise de teor de óleos e graxas em água de produção por UV-Visível.** In: II Congresso Norte-Nordeste de Química, João Pessoa, 2008.

DIWEKAR, U.; BENAVIDES, P. T. **Optimal design of adsorbents for NORM removal from produced water in natural gas fracking. Part 1: Group contribution method for adsorption.** Chemical Engineering Science 137, p. 964-976, 2015.

HOSLETT, J.; MASSARA, T. M.; MALAMIS, S.; AHMAD, D.; BOOGAERT, I. V. D.; KATSOU, E.; AHMAD, B.; GHAZAL, H.; SIMONS, S.; WROBEL, L.; JOUHARA, H. **Surface water filtration using granular media and membranes: A review.** Science of the total environment 639, p.1268-1282, 2018.

MEDEIROS, H. L. S. **Estudo da Adsorção do Cálcio e Estrôncio da Água Produzida Utilizando Carvão Babaçu.** Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Petróleo. UFRN. 2015.

MOTTA, A. R. P.; BORGES, C. P.; KIPERSTOK, A.; ESQUERRE, K. P.; ARAÚJO, 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 Ambiental, v.18 n.1, 2013, p. 15-26.

OKIEL, K.; EL-SAYED, M.; EL-KADY, M. Y. **Treatment of oil–water emulsions by adsorption onto activated carbon, bentonite and deposited carbon.** Egypt. J. Petrol, v. 20, p. 9-15, 2011.

OLIVEIRA, A. K. C.; SILVA, L. G. M.; GOIS, K. E. C.; FAMÁ, F. B. G.; ARAÚJO, L. R. R.; CARVALHO, P. C. A. P.; PAULO, J. B. A. **Avaliação de fluidos da indústria do petróleo – estudos preliminares do processo de adsorção em águas de produção contaminadas com petróleo.** In: CONGRESSO DE PESQUISA E INOVAÇÃO DA REDE NORTE NORDESTE DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA – CONNEPI, 5., 2014, Maceió. Anais [...]. Maceió: IFAL, 2014.

SHOKROLLAHZADEH, S.; GOLMOHAMMAD, F.; NASERI N.; SHOKOUHI, H.; ARMAN-MEHR, M. **Chemical Oxidation for Removal of Hydrocarbons from Gas–Field Produced Water.** Procedia Engineering. V 42, p. 942-947, 2012.

SILVA, A. C. M; Avaliação de técnicas analíticas na determinação de contaminantes orgânicos em cascalhos de perfuração. Trabalho de Conclusão de Curso. UFRN. 2018

THOMAS, J. E.; TRIGGIA, C. A.; CORREIA, C. A.; VEROSSI FILHO, C.; XAVIER, J. A. D.; MACHADO, J. C. V.; SOUSA FILHO, J. E.; PAULA, J. L.; ROSSI, N. C. M.; PITOMBO, N. E. S.; GOUVEA, P. C. V. M.; CARVALHO, R. S.; BARRAGAN, R. V. **Fundamentos de Engenharia de Petróleo.** Ed. Interciência. Rio de Janeiro, 2004

UTVIK, TORIL I. RØE. **Chemical characterisation of produced water from four offshore oil production platforms in the North Sea.** Chemosphere, [s.l.], v. 39, n. 15, p.2593-2606, dez. 1999.

ZHANG, D.; YIN, J.; ZHAO, J.; ZHU, H.; WANG, C.; **Adsorption and removal of tetracycline from water by petroleum coke-derived highly porous activated carbon.** Journal of Environmental Chemical Engineering 3 p.1504- 1512. 2015

ZHAO, S.; HUANG, G.; CHENG, G.; YAFEI, W.; FU, H.; **Hardness, COD and turbidity removals from produced water by electrocoagulation pretreatment prior to Reverse Osmosis membranes.** Desalination 344 p.454-462.2014

ZHENG, J.; CHEN, B.; THANYAMANTA, W.; HAWBOLDT, K.; V. B.; LIU, B. **Offshore produced water management: A review of current practice and challenges in harsh/Arctic environments.** Marine Pollution Bulletin 104 p.7–19., 2016.