

# ANÁLISE DA CONFIGURAÇÃO DE ALIMENTAÇÃO DE UM SISTEMA HIDROCICLONE/MEMBRANA CERÂMICA PARA FINS DE TRATAMENTO DE ÁGUAS OLEOSAS

Karine Oliveira da Costa <sup>1</sup>  
Olívia Júlia Silva Gomes <sup>2</sup>  
Cristiane Rodrigues Macêdo <sup>3</sup>  
Kepler Borges França <sup>4</sup>

## RESUMO

O principal resíduo formado em todas as etapas de processamento - extração, transporte e refino - e que corresponde a corrente de maior volume de efluentes líquidos na produção de petróleo e gás é a água produzida. Com isso, o gerenciamento desse contaminante se constitui em um enorme desafio para as empresas petrolíferas. Os métodos convencionais utilizados na separação óleo/água não são suficientes para reduzir a concentração de óleo com eficiência e baixo custo como os hidrociclones. Realizou-se nesse trabalho tratamento das águas oleosas por meio de um hidrociclone, juntamente com a avaliação do seu desempenho em relação às correntes de *underflow* e *overflow* e seus níveis de concentração de óleo. O objetivo do estudo foi diminuir o as porções de óleo presente em fontes contaminadas, para atingir níveis adequados de acordo com as normas ambientais. O referente trabalho apresentou uma eficiência acima de 85% de retirada de óleo da corrente de alimentação e para finalizar e atingir o objetivo de permitir que a água apresente a qualidade requerida pelo CONAMA para seu descarte no ambiente, foi empregada um sistema de membranas cerâmicas do tipo tubular de alumina modelos MR01-10 e MR02-20, com suas porosidades obtidas de 43% e 52% respectivamente, com sistema de fluxo cruzado (SMC-FC) e o fluxo *dead end* (SMC-DE). Após análises realizadas, o sistema hidrociclone com membrana cerâmica de fluxo cruzado (SH-MC/FC), obteve uma remoção acima de 95% de óleo em águas oleosas com um intervalo de concentração de 200 a 2000 mg/L.

**Palavras-chave:** Água oleosa, Hidrociclone, Membranas cerâmica, TOG.

## INTRODUÇÃO

A água produzida de atividades de extração de petróleo é uma combinação da parte mais considerável, que é água de formação do poço produtor, mais águas dos processos produtivos, integrando água de condensação, água de dessalinização e águas de injeção, no qual é encontrada nos reservatórios de óleo e gás natural, todavia, vindo à tona juntamente com o petróleo para a superfície (NSC, 2002; Veil et al, 2004; Gabardo, 2007; Fakhru'l-Razi et al,

<sup>1</sup> Graduanda do Curso de Engenharia Química da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, karine.costa@eq.ufcg.edu.br;

<sup>2</sup> Graduanda do Curso de Engenharia Química da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, olivia.gomes@eq.ufcg.edu.br;

<sup>3</sup> Doutora em Engenharia Química pelo Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, cris.rmacedo@gmail.com;

<sup>4</sup> Professor orientador: Titular, Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, kepler123@gmail.com.

2009). No processamento, este efluente abrange uma mistura complexa de compostos orgânicos e inorgânicos, além de resíduos de aditivos químicos empregados, devido sua formação (Figueredo et al, 2014).

Segundo Moraes (2006), devido os hidrociclones serem mais condensados, por ocuparem menor área e menos peso, e maior eficiência, conclui-se que para a limpeza da água contida óleo, os hidrociclones são vantajosos. As partículas em suspensão no hidrociclone são sujeitas a um campo centrífugo, ocasionando a separação do fluido, mesmo princípio da sedimentação centrífuga (ARRUDA et al., 2008).

As membranas cerâmicas possuem inúmeras vantagens, tais como: resistência a altas temperaturas, estabilidade química, estabilidade biológica, longa vida operacional, facilidade de limpeza, além de que devido à sua porosidade e superfície hidrofílica seu fluxo é maior devido essas características. A desvantagem das membranas cerâmicas necessita de cautelosas manipulações pois é frágil mecanicamente (ABADI et al., 2011).

Com a finalidade de tratar águas produzidas vindas das perfurações de poços de petróleo, com intuito de atingir níveis aceitáveis de concentração de óleo pelos órgãos ambientais para descarte e reúso das águas, têm-se como objetivo principal e para fins de estudos do referente trabalho, averiguar o desempenho de um sistema hidrociclone/membrana cerâmica para fins de tratamento de águas produzidas da perfuração de poços de petróleo, utilizando o hidrociclone como pré-tratamento dessas águas oleosas seguindo de membrana cerâmica em série para melhor eficiência na remoção do óleo.

## **METODOLOGIA**

As atividades desenvolvidas no presente trabalho foram realizadas no Laboratório de Referência em Dessalinização (LABDES, UFCG – PB) em conjunto com o Laboratório de Membranas Cerâmicas (LABCEM, UFCG – PB). O efluente escolhido para os estudos e ensaios de laboratório é proveniente da perfuração de poços de petróleo da Fazenda Belém na cidade de Mossoró – RN.

### **Preparação das soluções água/óleo**

Para cada mistura, foi pesado o óleo em uma balança de precisão, após a pesagem sua massa foi dividida em dez porções para o preparo da mistura óleo/água, da seguinte forma; cada

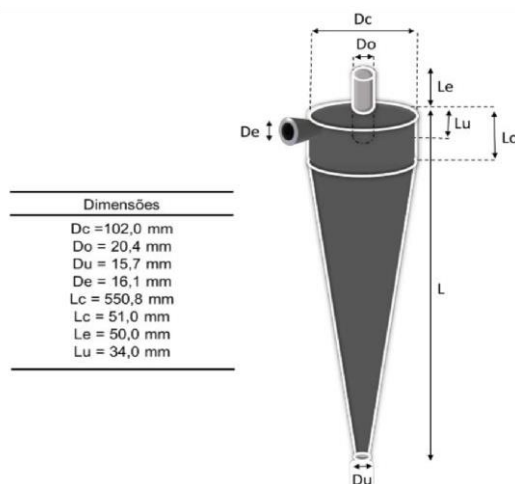
porção foi misturada com 20 L de água dessalinizada, com auxílio de um agitador do tipo Ultra Turrax – IKA T18 Basic, durante meia hora e em seguida colocada em no tanque de alimentação (240 L) do sistema.

Com a função de minimizar a aderência do óleo nas superfícies de contato, foi usado um líquido tensoativo não iônico chamado, Renex (nonilfeno-etoxilado 9,5 OE), três gotas para cada 20 L de mistura.

## Hidrociclone – LABDES

O hidrociclone foi construído no LABDES (Figura 01) com geometria do hidrociclone foi baseada em pesquisas de artigos relacionados a simulação de hidrociclones para separação de água/óleo, onde a autora Souza (2009) fez um estudo sobre dimensionamento de um hidrociclone para separação de águas oleosas, com características da alimentação similares a este projeto.

**Figura 01.** Dimensões hidrociclone utilizadas para construção do hidrociclone.



Fonte: SOUZA (2018).

De acordo com Alves (2012), a eficiência total é obtida facilmente pela razão entre vazão mássica de óleo no *overflow* e na alimentação, como apresentada na Equação 01.

$$E_t = \frac{W_{OF}}{W_{AL}} \quad (01)$$

Onde:  $E_t$  – Eficiência total de remoção do óleo (%);  $C_{of}$  – Concentração do *overflow* (mg/L);  $C_{AI}$  – Concentração da alimentação (mg/L);  $Q_{of}$  – Vazão do *overflow* (mg/L);  $Q_{AI}$  – Vazão da alimentação (mg/L);  $W_{of}$  – Vazão mássica do *overflow* (mg/s);  $W_{AI}$  – Vazão mássica da alimentação (mg/s).

Ao se utilizar hidrociclones no processo de separação líquido-líquido, onde a fase contínua é mais densa que a fase dispersa, observa-se que as partículas deixam o equipamento pela saída superior. No entanto, uma fração da fase contínua também sai do hidrociclone pela mesma região. A razão entre a quantidade de fluido que entra pelo duto de alimentação e a quantidade que sai pelo concentrado denomina-se de razão de fluido, como mostra a Equação 02 (ALVES, 2012).

$$R_F = \frac{Q_{OF}}{Q_{UF}} \quad (02)$$

Onde:  $R_F$  – Razão de fluido;  $Q_{of}$  – Vazão do *overflow* (L/min);  $Q_{AI}$  – Vazão da alimentação (L/min).

A eficiência foi estudada com amostras de óleo/água de concentrações entre 100 e 2000 mg/L, proporcionando, assim, a avaliação da eficiência em função da concentração de alimentação do sistema.

### **Determinação do teor de óleos e graxas (TOG)**

Nesta etapa foram utilizadas parcelas de clorofórmio: uma de 20 mL e duas de 30 mL para a extração de 400 mL de água oleosa. A fase orgânica foi drenada em um funil analítico contendo papel de filtro e 10 gramas de sulfato de sódio anidro umedecido com clorofórmio e recolhido dentro de balão volumétrico de 100 mL de capacidade.

O equipamento foi zerado com uma parcela de clorofórmio limpo. A amostra foi colocada na cubeta e a leitura da concentração foi realizada diretamente no espectrofotômetro Biochrom modelo Libra S60 na faixa de comprimento de onda de 400 nm. O valor de TOG foi calculado através da seguinte Equação 03:

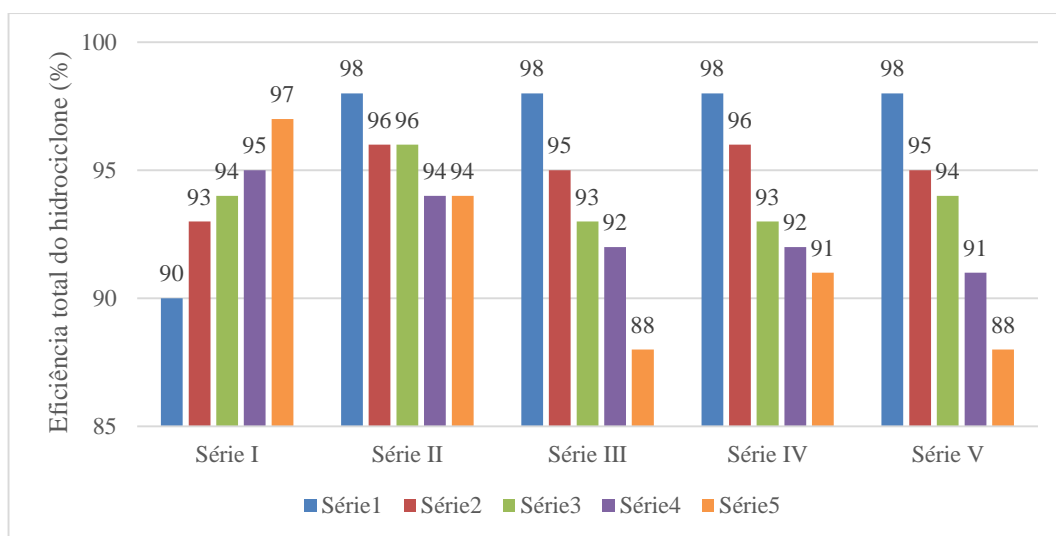
$$TOG = \frac{\text{leitura do TOG na curva de calibração (mg/L)} \times \text{volume do balão (50 ml)}}{\text{volume final da proveta (ml)}} \quad (03)$$

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A eficiência do hidrociclone foi averiguada com a realização de 25 bateladas, variando a concentração da alimentação e a vazão de produção da água do underflow, visando analisar sua eficiência total, a qual foi obtida pela da Equação 1. Foi observado, através do manômetro posicionado na corrente de alimentação do sistema, que a pressão de alimentação do sistema permaneceu estável (2,2 bar), mesmo variando as vazões de produção.

A Figura 02 mostra os valores obtidos das eficiências das séries dos experimentos realizados, em função da concentração da alimentação (óleo/água) do sistema hidrociclone. Para todas séries realizadas, as figuras mostram que os valores da eficiência total foram superiores a 88%.

**Figura 02.** Eficiência total do hidrociclone em função da concentração da alimentação do sistema.



Pode-se observar que nas séries, a batelada com menor concentração obteve menor eficiência. Isso se deve pelo fato da diminuição da concentração aumentar o nível de dispersão do óleo e induz a formação de uma emulsão com partículas cada vez menores, o que dificulta o processo de separação.

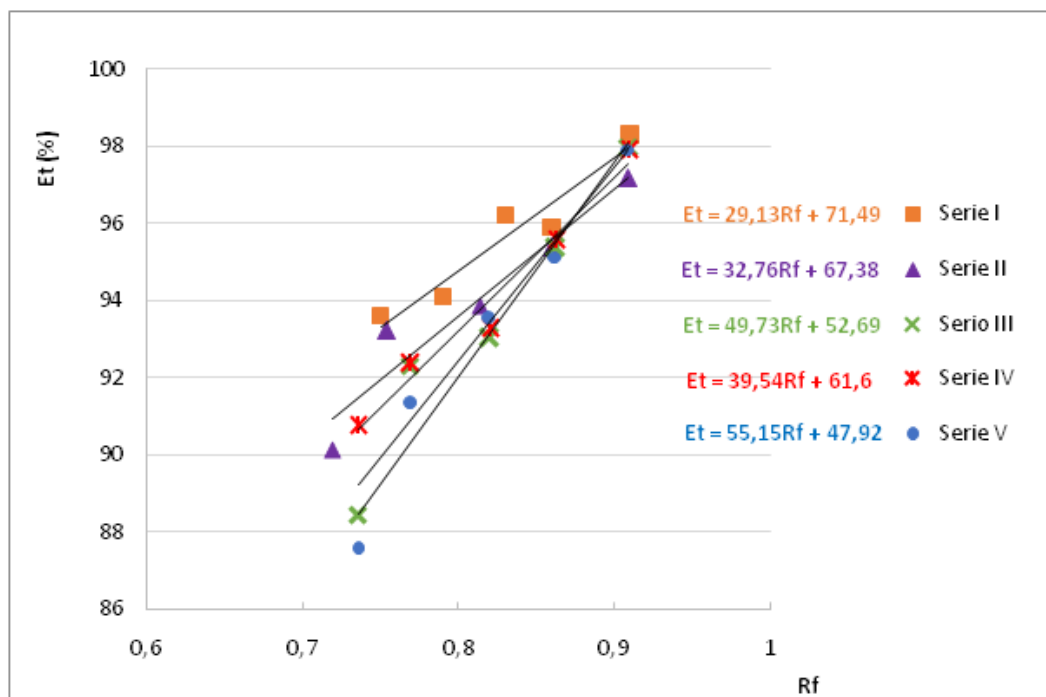
Considerando que as variações das eficiências foram próximas em termos numéricos uma da outra, pode-se afirmar que a eficiência do hidrociclone independe da concentração de óleo presente no meio aquoso. Nesse sentido foi obtido a média das eficiências para cada série estudada, conforme mostra a Tabela 01.

**Tabela 01.** Valores médios das eficiências do sistema hidrociclone para cada série estudada.

Séries	Concentrações (mg/L)	Emédia (%)
I	100; 115; 155; 300	93,96
II	100; 130; 180; 200; 400	95,62
III	200; 300; 400; 750; 1800	93,44
IV	300; 400; 500; 1000; 2000	94,12
V	350; 650; 800; 1000; 2000	93,10

A Tabela 01 retrata que o hidrociclone, operando com diferentes perfis de concentrações, apresentou uma eficiência média acima de 90%, a qual conduz o sistema apresentar um desempenho bastante significativo, em termos de redução de óleo na corrente do *underflow*. A Figura 03, por meio da representação da eficiência, busca explicar esse fato, em função da razão do fluido ( $R_F$ ). A razão de fluido relaciona a vazão do overflow e vazão da alimentação.

**Figura 03.** Comportamento da Eficiência total do hidrociclone em função da Razão de Fluido.



Observa-se que a variação da eficiência total do sistema, em função da razão do fluido apresentou um comportamento linear, para todos os casos estudados, conforme obtidos pelo tratamento experimental sugerido por Araújo et.al (2015).

Considerando, que algumas séries apresentaram concentrações (óleo/água) similares, o sistema hidrociclone, para os níveis de razão de fluido em torno de 0,75, onde a concentração de óleo presente na fase aquosa se encontra entre (100 a 350) mg/L, a eficiência total aumentou linearmente, onde de acordo com os coeficientes angulares das equações, há uma tendência da eficiência convergir para um valor próximo a 98%. Isso significa que o sistema pode operar, sob uma pressão aproximadamente, a 2,2 bar (constante), para diferentes gradientes de concentrações de óleo no meio aquoso. Isso implica que o sistema do hidrociclone, operando com os níveis de concentrações de óleo/água, acima dos valores permissíveis da Resolução CONAMA 2008, apresentou resultados significativamente positivos.

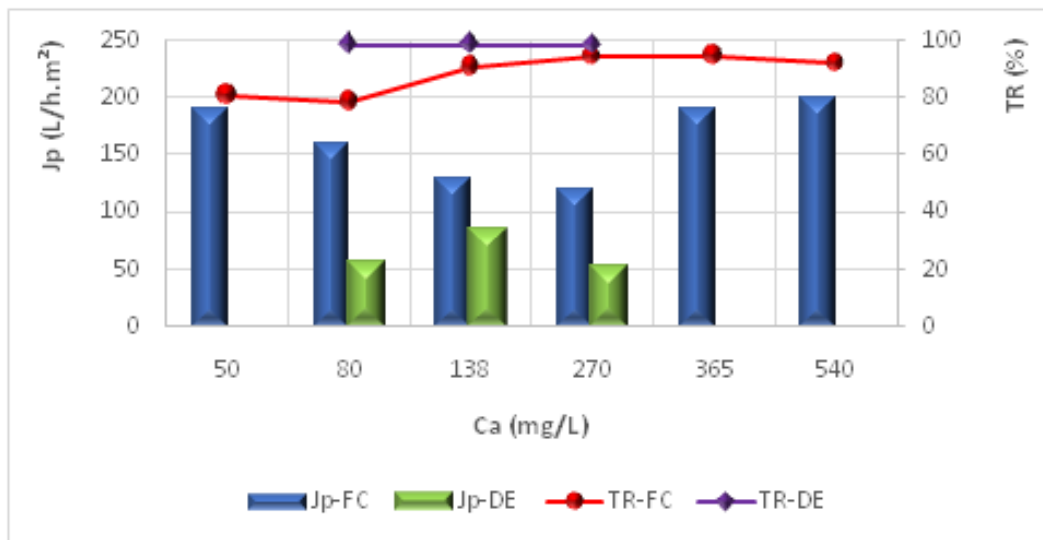
#### **Comparação sistema membrana cerâmica: Fluxo cruzado (SMC-FC) versus Sistema membrana cerâmica – *Dead End* (SMC-DE)**

Fazendo a comparação sistema membrana cerâmica – Fluxo cruzado (SMC-FC) versus Sistema membrana cerâmica – *Dead End* (SMC-DE), a Figura 06 indica o comportamento dos fluxos dos permeados e percentual de remoção de óleo em função das concentrações de óleo presente na fase aquosa dos dois sistemas estudados.

Observou-se na Figura 04, para os pontos estudados, que nos dois casos, que os fluxos dos permeados do sistema de fluxo cruzado foram superiores ao do fluxo com *dead end*. Todavia o percentual de remoção (TR%) do fluxo com *dead end*, se mostrou superior em relação ao do sistema de fluxo cruzado.

Esse comportamento pode ser explicado em função do tipo de filtração que ocorre durante o processo. O SMC-FC a filtração ocorre ao longo do elemento da membrana cerâmica de forma tangencial, levando consigo a maior parte do óleo (soluto), para a corrente do concentrado, tornado assim um fluxo de permeação mas estável durante o processo. Esse fato não ocorre para o SMC-DE, devido a concentração de óleo, aumentar na superfície do elemento da membrana cerâmica e conseqüentemente, ocorrer uma diminuição do fluxo do permeado (polarização por concentração).

**Figura 04.** Variação do fluxo e da taxa de rejeição da membrana cerâmica (MR01-20), em função da concentração de óleo na alimentação ( $C_a$ ), operando com fluxo cruzado (FC) e com *dead end* (DE).



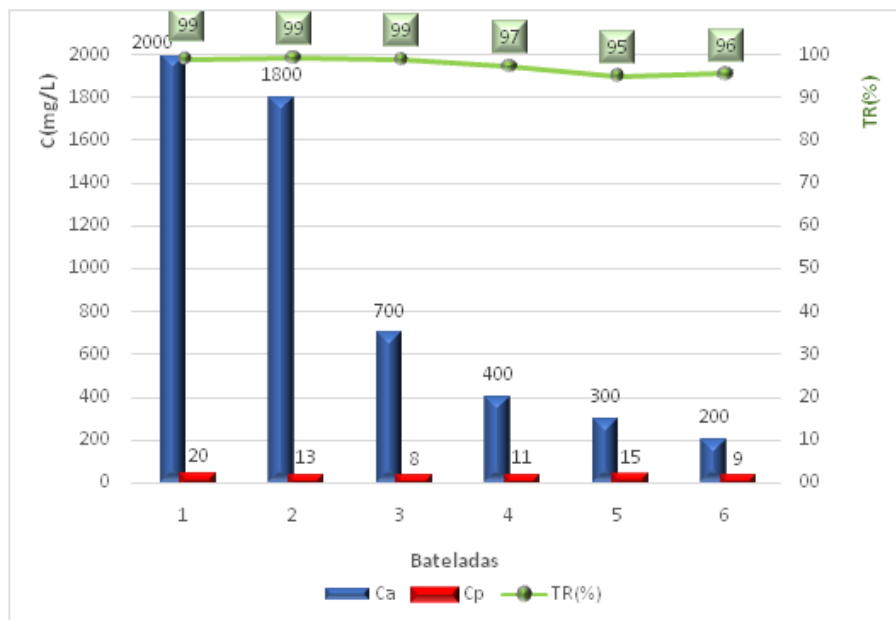
Contudo, ambos os sistemas produziram uma água dentro dos parâmetros, em relação à concentração de óleo, exigido pelo CONAMA (2008), fazendo com que o SMC-FC, para o tratamento de águas oriundas da perfuração de poços de petróleo, seja a mais indicada, considerando seu maior fluxo.

O sistema hidrociclone/membrana cerâmica fluxo cruzado foi estudado, com soluções de alimentações de concentrações de óleo diferentes presentes na fase aquosa. As concentrações de óleo na alimentação do sistema estudadas, foram de aproximadamente (2000; 1800; 700; 400; 300; 200) mg/L, sob pressão constante de 2,2 bar na entrada do hidrociclone e 3,0 bar na alimentação da membrana cerâmica.

A Figura 05 representa os dados obtidos através do experimento realizado no sistema hidrociclone/membrana cerâmica, em função da concentração de óleo da alimentação e no permeado, e da taxa de remoção TR (%) de óleo do sistema.



**Figura 05.** Concentração de óleo da alimentação e do permeado do sistema hidrociclone/membrana cerâmica e a taxa de rejeição do sistema hidrociclone/membrana cerâmica, operando com fluxo cruzado.



Pode-se observar que, em todas as bateladas realizadas, o sistema produziu um permeado com concentração de óleo média igual ou menor que 20 mg/L, dentro dos padrões exigidos pelo CONAMA (2008). O sistema estudado mostrou uma remoção de óleo acima de 95%, independente da concentração de óleo encontrada na emulsão de alimentação do sistema.

A partir dos resultados dos experimentos do sistema hidrociclone/membrana cerâmica, pode-se concluir que o sistema é eficaz na sua utilização como sistema de tratamento de águas produzidas das perfurações de poço de petróleo.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O hidrociclone avaliado, obteve uma eficiência acima de 85% independente da concentração de óleo na mistura de alimentação do sistema, operando a uma pressão 2,2 bar. Apesar da alta eficiência, o sistema hidrociclone não produziu uma água com concentrações de óleo desejada pelo CONAMA (2008), fazendo-se necessário um tratamento adicional, como membrana cerâmica.

Considerando a pressão de operação (3,0 bar) para ambos sistemas de membranas, o SMC-FC, apresentou uma taxa de rejeição do óleo acima de 80% para uma produção média de 165 L/h.m<sup>2</sup>. Todavia, o SMC-DE se mostrou mais eficiente em relação a taxa de rejeição do

óleo, acima de 98%, porém menos eficiente em relação ao fluxo de produção de permeado, 63,3 L/h.m<sup>2</sup>. Os dados mostraram que o SMC-FC foi mais eficiente em termos de produção, acima de 2,5 vezes, do que SMC-DE.

Para ambos os sistemas, suas concentrações de óleo nas correntes dos permeados, estiveram abaixo do valor máximo permissível exigidos pelo CONAMA (2008), isso torna-se uma fonte de estudo promissora que pode ser estudada com mais afinidade, em termos de qualidade de petróleo bruto.

De acordo com os desempenhos dos sistemas estudados, o SMC-FC se mostrou mais eficiente, em termos de produção de permeado, sendo assim foi escolhido para ser acoplado ao hidrociclone, como um pós tratamento para remoção da concentração de óleo presente na vazão do *underflow* do hidrociclone. Para a faixa de concentração de óleo estudada na corrente da alimentação do hidrociclone (200 a 2000) mg/L o sistema, a remoção média de óleo no final do sistema foi de 97,5%, também deixando a qualidade do permeado dentro dos padrões exigidos pelo CONAMA.

## REFERÊNCIAS

ABADI, S. R. H.; SEBZARI, M. R.; HEMATI, M.; REKABDAR, F.; MOHAMMADI, T. Ceramic membrane performance in microfiltration of oily wastewater. *Desalination*, n°. 264, p. 222-228, 2011.

ALVES, J.V.B.; “Hidrociclone para a Separação do Óleo Residual de Água em Refinarias”, Dissertação de Mestrado, Rio de Janeiro: UFRJ/EQ, 2012.

ARAÚJO, C. A. O; SCHEID, C. M; KLEIN, T. S; LOUREIRO, J. B. R; MEDRONHO, R. A. Eficiência de separação de hidrociclones para a separação de mistura óleo-água com alto teor de óleo: comparação entre resultados simulados e experimentais. *Anais eletrônico*. 10.5151/ENEMP-PS-488, 2015.

ARRUDA, A. A., Otimização de um hidrociclone utilizado na separação de uma mistura líquido-líquido. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós Graduação e, Processos Ambientais, Universidade Católica de Pernambuco, 2008.

CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução n° 396 de 3 de abril de 2008. Dispões sobre classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e da outras providências. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 7 de abril de 2008.

FAKHRU'L-RAZI, A.; ALIREZA, P.; LUQMAN, C.A.; DAYANG, R.A.B; SAYED, S.M.; ZURINA, Z.A. 2009. Review of Technologies for oil and gas produced water treatment. *Journal of Hazardous Materials*, 170: pp. 530-551.

FIGUEREDO, K.S.L.; MARTÍNEZ-HUITLE, C.A.; TEIXEIRA, A.B.R.; PINHO, A.L.S.; VIVACQUA, C.A.; SILVA, D.R. 2014. Study of produced water using hydrochemistry and multivariate statistics in different productions zones of mature fields in the Potiguar Basin – Brazil. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 116: pp. 109-114.

GABARDO, I.T. 2007. Caracterização química e toxicológica da água produzida descartada em plataformas de óleo e gás na costa brasileira e seu comportamento dispersivo no mar. Tese de Doutorado em Química. Natal: Programa de Pós-Graduação em Química – CCET/UFRN, 250p.

MORAES, C. A. C. Curso de Hidrociclones e Sistemas de Separação Ciclônica. Rio e Janeiro: Cenpes. Universidade Corporativa. Agosto 2006.

NSC, 2002. The prevention of pollution from offshore installations. Capítulo 8: Progress report to the 5th North Sea Conference, Bergen. pp: 160-171.

SOUZA, J. S. de. Estudo numérico da termofluidodinâmica da separação de óleos pesados de uma corrente de águas oleosas via hidrociclone. Dissertação (Mestrado no programa de pós-graduação de Engenharia Química) – UFCG, Campina Grande – PB, 2009.

VEIL, J.A.; PUDER, M.V.; ELCOCK, D.; REDWEIK Jr. R.J. 2004. A white paper describing produced water from production of crude oil, natural gas and coal bed methane. Argonne National Laboratory/US Department of Energy, 87p.