

# ESTUDO DAS PRINCIPAIS TÉCNICAS PARA O TRATAMENTO DE ÁGUA PRODUZIDA DE PETRÓLEO. UMA ANÁLISE DAS PRINCIPAIS METODOLOGIAS UTILIZADAS EM CAMPO.

Rayssa da Costa Cabral<sup>1</sup>

Dheiver Francisco Santos<sup>2</sup>

Engenharia de Petróleo



ISSN IMPRESSO 1980-1777

ISSN ELETRÔNICO 2316-3135

## RESUMO

A água produzida é uma mistura de diferentes compostos orgânicos e inorgânicos presente na rocha assim como o óleo e o gás, é o maior efluente gerado na exploração e produção de petróleo. Possui em sua composição elevados teores de sais, óleo dissolvidos, metais pesados e substâncias tóxicas. Essa água pode ser utilizada na própria exploração do petróleo ou descartada de acordo com o volume de resíduos encontrados em sua composição. Para a definição desse destino, é necessário o tratamento da água produzida utilizando métodos físicos (adsorção física, filtros de areia, ciclones, evaporação, precipitação de ar dissolvido, C-TOUR), químicos (precipitação química, oxidação química, processo eletroquímico, tratamento fotocatalítico, processo de fenton, tratamento com ozono, líquidos iônicos, desmulsificadores) e biológicos (tratamento de membranas). Esse trabalho analisou os diferentes métodos e identificou o tratamento de separação por membranas como o mais eficaz através de uma revisão literária.

## PALAVRAS CHAVE

Água produzida, tratamento físico, tratamento químico, tratamento biológico.

## ABSTRACT

The produced water is a mixture of different organic and inorganic compounds present in the rock as well as the oil and the gas, is the largest effluent generated in the exploration and production of petroleum. It has in its composition high levels of salts, dissolved oil, heavy metals and toxic substances. This water can be used in the oil exploration itself or discarded according to the volume of residues found in its composition. In order to define this destination, it is necessary to treat the water produced using physical methods (physical adsorption, sand filters, cyclones, evaporation, precipitation of dissolved air, C-TOUR), chemicals (chemical precipitation, chemical oxidation, electrochemical process, photocatalytic, fenton process, ozone treatment, ionic liquids, demulsifiers) and biological (membrane treatment). This work analyzed the different methods and identified the membrane separation treatment as the most effective through a literary review.

## KEYWORDS

Water produced, physical treatment, chemical treatment, biological treatment.

## 1 INTRODUÇÃO

As atividades de produção de petróleo geram grandes volumes de resíduos líquidos. A água produzida é o principal efluente sendo encontrado em maior quantidade nas reservas de petróleo, é retida durante as formações subsuperficiais que são trazidas para a superfície com o óleo ou o gás natural. Essa água tem sua composição similar à água do mar, porém com diferentes concentrações, além de frações de óleo e graxas. Algumas das substâncias presentes nessa água podem ser tóxicas ao meio ambiente (Sais inorgânicos, metais, compostos orgânicos, radioisótopos, hidrocarbonetos dissolvidos e produtos químicos adicionados nos poços de injeção) (Patrick, G. 2015).

O tipo de processo a ser adotado para o tratamento da água produzida-AP depende dos compostos que se deseja remover. Os compostos a serem removidos, por sua vez, dependem do destino final a ser adotado para a AP tratada que pode ser descarte, injeção ou reuso (MOTTA, 2013).

O volume de água produzido também deve ser levado em conta para estabelecer o destino da água que é sempre crescente em virtude da maturação das jazidas e da utilização de processos de recuperação secundários; o conteúdo salino; a presença de óleo residual e de produtos químicos.

Esse trabalho teve como motivo, a ausência de pesquisas comparativas entres os principais métodos de tratamento da água produzida, afim de trazer benefícios ao meio ambiente e as empresas de exploração de petróleo.

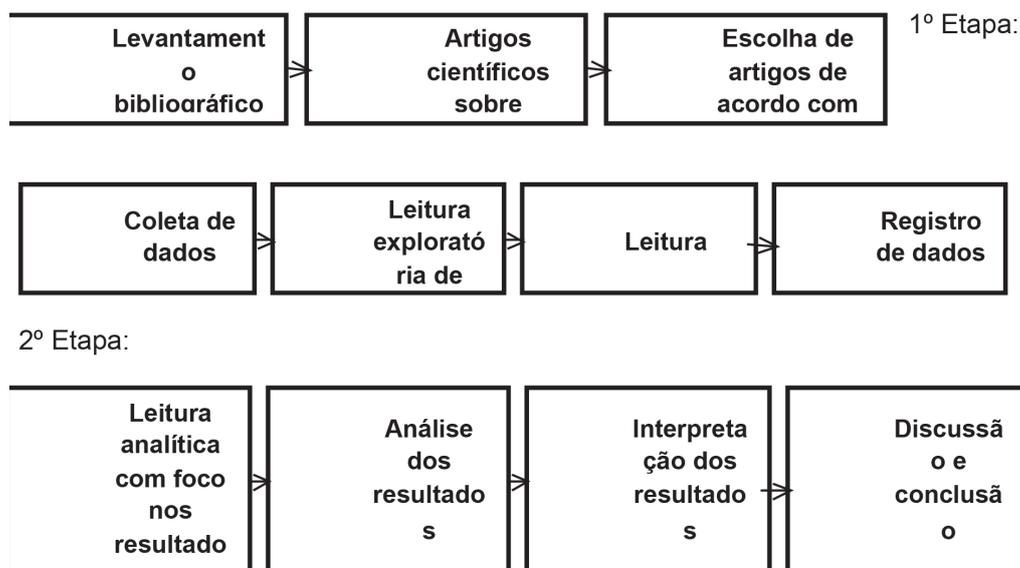
## 2 OBJETIVO

Essa pesquisa tem como objetivo principal analisar os diferentes métodos de tratamento de água produzida na exploração de petróleo e identificar a eficácia através de uma revisão literária.

## 3 METODOLOGIA

Esse trabalho foi realizado através de um levantamento bibliográfico de diversas fontes sobre os métodos de tratamento de água produzida mais utilizados na indústria do petróleo, através de artigos científicos em fontes como Scielo, Science Direct, Elsevier, *International Journal of Low-Carbon Technologies*, *Journal of Hazardous Materials*, Como é mostrado no gráfico 1.

Gráfico 1: Etapas da pesquisa



Fonte: Autor, 2019

## 4 DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

### 4.1 ÁGUA PRODUZIDA

A origem básica da Água Produzida juntamente com o petróleo está relacionada as condições ambientais existentes durante a gênese deste óleo. Um ambiente geológico marinho ou lacustre, em que tenha havido intensa deposição de matéria

orgânica, associada com posterior soterramento, e condições físico-químicas apropriadas que tendem a reunir os condicionantes necessários para o aparecimento do petróleo nas rochas matrizes (SILVA, C. R.R. 2000).

A denominação de água produzida, é utilizada quando a mesma alcança à superfície, juntamente com o material extraído do reservatório que consiste na mistura da água de formação do poço produtor junto com água de condensação, de injeção dos processos de recuperação secundária e água utilizada para a dessalinização do petróleo produzido (FAKHRU'L-RAZI *et al*, 2009).

Água Produzida é o efluente resultante dos processos de separação existentes nas estações coletoras e de tratamento na produção de petróleo, seu destino poderá ser o descarte, onde deverá passar por tratamentos de modo em que atenda às necessidades da legislação vigente ( HELINSKA,B. 2016). Para essa água ser reutilizada (reciclada), o seu tratamento deve atingir os padrões necessários ao processo em que será utilizada. Os tratamentos básicos pelos quais a água produzida pode ser submetida são:

- Remoção do óleo residual;
- Remoção de gases;
- Remoção de sólidos suspensos;
- Eliminação de bactérias.

### 3.2 MÉTODOS DE TRATAMENTO DA ÁGUA PRODUZIDA

Os métodos convencionais para lidar com fluxo de resíduos são a reinjeção no poço, o descarte direto ou a reutilização da água. Atualmente a maneira mais eficiente é a reinjeção em poços de petróleo (MOTTA, 2013).

A água a ser injetada na rocha pode ser doce, salgada ou aquela produzida juntamente com o óleo depois de separada. Seja qual for o tipo de água injetada no reservatório, ela é tratada para garantir o não entupimento dos poros da rocha, que dificulta a migração do óleo para os poços (SILVA, C. R.R , 2000).

A água produzida é gerada como subproduto da produção de petróleo durante o processo de separação por onde esses fluidos passam (processamento primário) para que possam se transformar em produtos comerciais. Um dos objetivos do tratamento é a remoção de óleo, que pode estar presente na água sob as formas livre, em emulsão (mais preocupante, pois é de difícil remoção) e dissolvido (MOTTA, 2013).

### 3.3 CONSTITUINTES NA ÁGUA PRODUZIDA

- Óleo dispersado: O óleo é um contaminante importante na água produzida, pois pode criarefeitos potencialmente tóxicos perto do ponto de descarga. Pode contribuir significativamente paraDemanda Biológica de Oxigênio (DBO) e, portanto, afeta o ecossistema aquático ou marinho.Normalmente, o tamanho das gotículas de óleo dispersas seria de 4-6 microns, mas pode variar de

2 a 30 microns. Os sistemas de tratamento atuais podem recuperar gotículas de óleo de até 10 microns.

- Compostos Orgânicos Dissolvidos: Incluem ácidos orgânicos, aromáticos policíclicos hidrocarbonetos (PAHs), fenóis e voláteis. Hidrocarbonetos voláteis podem ocorrer naturalmente na água produzida. Concentrações desses compostos são geralmente mais altas em água de plataformas produtoras de gás-condensado do que em água produzida a partir de plataformas de produção de petróleo.
- Produtos Químicos de Tratamento: Eles incluem biocidas, disjuntores de emulsão reversa e corrosão. Inibidores de corrosão podem formar emulsões estáveis. Alguns produtos químicos são altamente tóxicos mesmo em baixas concentrações, como 0,1 ppm.
- Sólidos Produzidos: Consistem em sólidos precipitados (escamas), areia e silte, carbonatos, argilas, produtos de corrosão e outros sólidos suspensos produzidos a partir da formação e de operações de poço.
- Bactérias: As bactérias anaeróbias presentes na água produzida podem levar à corrosão.
- Metais: zinco, chumbo, manganês, ferro e bário são os metais normalmente presentes na água. Eles são geralmente menos tóxicos quando comparados aos constituintes orgânicos, Mas eles podem precipitar para formar sólidos indesejáveis que dificultam o tratamento dos processos.

### 3.4 TIPOS DE TRATAMENTO DA ÁGUA PRODUZIDA

a) Tratamento físico:

1 Adsorção física:

- Carvão ativado, argila organofílica, copolímeros, zeólita, resinas são amplamente utilizados para tratar água. A combinação de carvão ativado e argilas organofílicas mostrou-se mais eficiente na remoção de hidrocarbonetos totais de petróleo (TPH). Copolímeros reduzem o teor de óleo até 85%. Os zeólitos são eficientes na remoção de compostos BTEX. Uma adsorção de múltiplos estágios e sistema de separação foi desenvolvido para recuperar gotas de óleo dispersas na água, cujo tamanho é maior do que 2 microns.

2 Filtros de areia:

- Eles geralmente são usados para remover metais da água produzida. Esse processo requer uma série de etapas de pré-tratamento, como ajuste de pH, uma unidade de aeração e uma unidade de separação sólida. A eficiência de remoção chega a 90%.

3 Tratamento de Água:

- Ciclones: Uma unidade de flutuação compacta (CFU) pode remover o óleo disperso de 50% a 70% usando uma força centrífuga. A principal desvantagem de

usar um ciclone é sua baixa eficiência e incapacidade. para remover componentes dissolvidos.

- Evaporação: A evaporação não requer tratamento químico, o que elimina o risco de manuseio de lodo. Também não requer mão de obra altamente qualificada. Por outro lado, a exigência de energia é muito alta, o que aumenta o custo operacional.
- Precipitação de ar dissolvido (DAP): Neste processo, a água a 500 kPa (por exemplo) é saturada com ar em uma coluna empacotada. A pressão é liberada na coluna de água que causa a formação de bolhas de ar. Induz a flutuação de hidrocarbonetos alifáticos e aromáticos e remove a compostos alifáticos com mais eficiência do que os compostos aromáticos.
- C-TOUR: É uma tecnologia patenteada que usa condensado líquido para extrair componentes dissolvidos na água de produção. Em ensaios de campo, a eficiência de remoção de óleo disperso foi encontrada 70%.
- Congelar / descongelar / evaporação: Esta tecnologia utiliza o princípio da dependência da solubilidade da temperatura, isto é, quando a solução é resfriada abaixo do ponto de congelamento do solvente, mas não abaixo do ponto de congelamento da solução, cristais relativamente puros de solvente e concentrado descongelado são soluções são obtidas. O processo é capaz de remover 90% do total Hidrocarbonetos de Petróleo Recuperáveis (TRPH). Mas tem várias limitações como a requisitos de temperaturas ambientes abaixo de zero e grandes superfícies terrestres.

#### b) Tratamento químico:

1 Precipitação química: Os sólidos suspensos e partículas coloidais podem ser removidos por coagulação e floculação. Vários coagulantes como a cal quente modificada, FMA (um polímero de metal misto), Spillsorb, calcite e íons férricos foram utilizados como coagulantes para o tratamento da água produzida, As desvantagens deste processo são a sua ineficácia para os componentes dissolvidos e o aumento da concentração de metais no lodo formado.

2 Oxidação química: Usa-se uma combinação de oxidantes fortes (por exemplo, O<sub>3</sub> e H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), irradiação (por exemplo, UV) e um catalisador (por exemplo, fotocatalisador), e oxida os componentes orgânicos até seu mais alto estado de oxidação.

3 Processo eletroquímico: Quase 90% de DBO e DQO poderiam ser removidos da água produzida em pouco tempo usando um metal ativo e grafite como um ânodo e ferro como cátodo. Durante o processo, o Mn<sup>2+</sup> é formado, oxidando e coagulando os contaminantes.

4 Tratamento fotocatalítico: O pH da solução é aumentado para um valor de 11 pela adição de refrigerante, O dióxido de titânio é geralmente usado como fotocatalisador.

5 Processo de Fenton: Quase 95% de DQO e teor de óleo disperso podem ser reduzidos pela combinação de floculação com o processo de adsorção por oxidação de Fenton. O floculante utilizado é o sulfato poliférrico.

6 Tratamento com ozono: É a oxidação sonoquímica, O processo exige alto custo inicial e operacional.

7 Líquidos iônicos à temperatura ambiente: Os líquidos iônicos hidrofóbicos à temperatura ambiente removem certos compostos orgânicos solúveis e componentes de forma eficiente, mas não muito dos outros contaminantes. Assim, a triagem delíquidos iônicos dependem dos constituintes da água produzida.

8 Desemulsificadores: Alguns surfactantes utilizados como produtos químicos de produção são responsáveis pela estabilização das emulsões de óleo em água. Eles reduzem a tensão interfacial óleo-água.

#### c) Tratamento biológico

1 A água produzida pode ser tratada com microorganismos aeróbicos e anaeróbicos. Os microorganismos desintegram os compostos orgânicos e de amônia, mas não podem tratar sólidos dissolvidos. Processos de tratamento de membranas: Métodos convencionais de tratamento são capazes de remover partículas suspensas com partículas tamanho de 5.0µm ou acima. Os processos de membrana são métodos de separação novos para o tratamento da água produzida. Processos de separação de membranas, incluindo microfiltração (MF), ultrafiltração (UF), nanofiltração (NF) e osmose reversa (RO), são capazes de tratar a água produzida e gerar água com altos padrões para atender às regulamentações.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Tabela 1: Análises físico químicas. Fonte: Autor, 2019

<b>Autores</b>	<b>Tipo de Análise físico Química</b>	<b>Técnica utilizada paratratamento da água</b>
Albérico Ricardo Passos da Motta	Gravimétrico, COT ou turbidez, fluorescência com raios UV e espectrofotometria com raios infravermelhos.	Tratamento por separação de membranas
S. Kumar	Microscopia Eletrônica de Varredura por Campo (FE-SEM), Microscopia de Força Atômica (AFM) e analisador TPH / TOG.	Tratamento biológico por separação de membranas
Kristine Lysnes	Cromatografia Gasosa HP6890, Cromatografia de íons IC25, Spectra-física UV150.	Hidrociclones
Pei Xu	Concentração total de carbono orgânico (TOC), Absorbância específica de UV	Tecnologia de deionização capacitiva baseada em carbono aerogel
Rafik Kurniawan	Medição de DBO, DQO, pH e SST	Filtração Anaeróbica

Atualmente existem métodos de tratamento da água produzida que conferem confiabilidade, flexibilidade e baixo custo. Diversos fatores são levados em conta para determinar o tratamento específico para a AP, como por exemplo a temperatura da água de alimentação que facilita a determinação do tipo de tratamento de dessalinização que deve ser usado. As tecnologias funcionam de forma mais eficiente em altas temperaturas, enquanto outras usam fluxo de alimentação em baixas temperaturas.

No entanto pode ser necessária a remoção de íons através de processos de membranas que tratam a água produzida para atender a muitos requisitos de qualidade da água. A incrustação é uma das principais desvantagens das membranas que depende do fluxo de permeado e estabilidade no tempo, mas pode ser minimizado usando membranas hidrofóbicas. Apesar da grande quantidade de métodos para o tratamento da água, para alguns fins é necessário o uso de duas ou mais tecnologias para a água atingir as especificações desejadas.

O presente artigo estudou as técnicas mais utilizadas atualmente através de uma revisão literária com a mesma temática, a maioria dos autores estudados utilizou o tratamento biológico através da tecnologia de separação por membranas como foi o caso dos autores MOTTA, A.R.P. 2013 e S. KUMAR 2017, onde esse tratamento por separação de membranas quando comparado com as técnicas de tratamento convencionais, apresenta vantagens como alta eficácia na produção de água, facilidade no controle operacional e maior viabilidade (BRACEIRO, A,P,S. 2014), que podem substituir alguns processos.

Um exemplo disso, são os processos utilizados por LYSNES, K. 2009, que optou pelo uso de tratamentos mais simples, tratamento físicos e químicos, como por exemplo hidrociclones que podem apresentar dificuldades no controle operacional (COELHO, L,C.2010), ou processos como a filtração anaeróbica por KURNIAWANA ,R. 2014 que possuem baixa eficácia na remoção de alguns compostos, no entanto,esses processos convencionais apresentam custos operacionais bem pequenos, além do baixo consumo de energia, tendo isso como vantagens(MACHADO, R, M, G. 1997).

Assim como o uso de carbono aerogel através de deionização por PEI XU 2008, que possui baixo custo e também com condições operacionais bem mais simples comparado aos processos utilizados pelos demais autores, porém o processo é muito dependente do desenvolvimento de materiais capazes de armazenar grandes quantidades de íons, o que é considerado uma desvantagem devido ao baixo desempenho em pesquisas nessa área, mas aos poucos essa tecnologia vem sendo estudada para seu avanço.(L. A. M. RUOTOLO 2014 , M. I. TEJEDOR-TEJEDOR 2014 e M. A. ANDERSON 2014.)

## 5 CONCLUSÃO

Nesse trabalho foi perceptível que a tecnologia de tratamento biológico utilizando o processo de membranas, que é um método novo e vem sendo mais utilizado devido a sua alta eficácia em tratar a água e maior viabilidade na operação quando comparado à métodos como a filtração anaeróbica ou hidrociclones que necessitam que a água passe por um

pré-tratamento pois não capazes de remover todos os compostos desejados, porém, esses tipos de tratamento possuem baixo custo e baixo consumo de energia, o que favorecem sua utilização. Outro método que se encaixa nesse aspecto é a deionização capacitiva que por mais que seus custos de operação sejam bem menores, essa tecnologia ainda depende do desenvolvimento de materiais capazes de armazenar grande quantidade de íons, e por ser uma área de pesquisa que está em crescimento, esse fato atrapalha a utilização desse método. Nessa pesquisa, foram analisadas as técnicas mais utilizadas para o tratamento da água produzida e a eficácia de cada uma, essa determinação depende das substâncias que se desejam remover da água de acordo com seu destino final.

## REFERÊNCIAS

- BRACEIRO, A,P,S.**Utilização da Tecnologia de Separação por Membranas na Reabilitação de Sistemas de Tratamento de Água.** Dezembro de 2014.
- Coelho, L, C. **Hidrociclones.** UEMG 2010
- Ebenezer T. Igundu George Z. **Chen.Produced water treatment technologies .** International Journal of Low-Carbon Technologies, Volume 9, Issue 3, 1 Setembro de 2014.
- 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.
- FERREIRA, B. H; **Estudo dos Processos de Tratamento de Água Produzida de Petróleo.** UFRN, Rio Grande do Norte/RN. Novembro 2016.
- Kurniawana,R, Kristantia,N, E , Sukartiko, A, C.**Wastewater Treatment in Cajuput Oil Industry using Anaerobic Filtration.** 2014
- L. A. M. RUOTOLO , M. I. TEJEDOR-TEJEDOR e M. A. ANDERSON, **Deionização capacitiva para dessalinização de água.** 2014.
- Lysnes, K. Bødtker, G. Torsvik, T. Bjørnestad, E. Sunde,E.Microbial response to reinjection of produced water in an oil reservoir. Publicado em 09 de maio de 2009.
- Machado, R, M, G. **Avaliação do desempenho de filtros anaeróbios utilizados para polimento de efluentes de um reator UASB.** UFMG. 1997
- MOTTA, A.R.P.; **Tratamento de Água Produzida de Petróleo para Remoção de Óleo por Processos de Separação por Membranas:** revisão. Revisão de literatura. EngSanitAmbient, v.18, n.1, jan./mar. 2013.

PATRICK,G.I,**Sistemas de Tratamento de Água Produzida em Plataformas OFF-SHORE**. Novembro de 2015. Disponível em <https://www.tratamentodeagua.com.br/artigo/sistemas-de-tratamento-de-agua-produzida-em-plataformas-off-shore/> Acesso em 26 de janeiro de 2019.

PeiXu, Jo" rg E. Drewes, Dean Heil, Gary Wang. **Treatment of brackish produced water using carbon aerogel-based capacitive deionization technology**. 2008.

Rangarajan T. Duraisamy, **Ali Heydari Beni and Amr Henni. State of the Art Treatment of Produced Water**. INTECH.

S. Kumar, BK. Nandi, C.Guria, A. Mandal;**Oil Removal from Produced Water by Ultrafiltration using Polysulfone Membrane**. Braz. J. Chem. Eng. vol.34 no.2 São Paulo Abril./Junho de 2017.

SILVA, C. R.R.; **Água Produzida na Extração de Petróleo. Monografia. Escola politécnica Departamento Hidráulica e Saneamento, UFBA, Salvador/BA. 13 jul. 2000**

---

**Data do recebimento:** 21 de julho de 2018

**Data da avaliação:** 9 de novembro de 2018

**Data de aceite:** 12 de dezembro de 2018

---

---

1 Engenharia de Petróleo, Centro Universitário Tiradentes E-mail: rayssacabralc@outlook.com

2 Engenharia Mecatrônica, Centro Universitário Tiradentes E-mail: dheiver.francisco@souunit.com.br