

ANDREZA MIRANDA DE ANDRADE BARBOSA

**CARACTERIZAÇÃO E ANÁLISE DO POTENCIAL DA ÁGUA PRODUZIDA
COMO ALTERNATIVA PARA REÚSO**

Artigo apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Uso Sustentável de Recursos Naturais, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, em cumprimento às exigências legais como requisito à defesa de artigo, na linha de Saneamento Ambiental, para obtenção do título de mestre.

Orientador: Prof. Dr. Jean Leite Tavares

Co-orientador: Prof. Dr. Julio Alejandro Navoni

NATAL
2019

ANDREZA MIRANDA DE ANDRADE BARBOSA


**CARACTERIZAÇÃO E ANÁLISE DO POTENCIAL DA ÁGUA PRODUZIDA
COMO ALTERNATIVA PARA REÚSO**

Artigo apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Uso Sustentável de Recursos Naturais, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, em cumprimento às exigências legais como requisito à defesa de artigo, na linha de Saneamento Ambiental, para obtenção do título de mestre.

Orientador: Prof. Dr. Jean Leite Tavares
Co-orientador: Prof. Dr. Julio Alejandro Navoni

Artigo apresentado e aprovado em 31/07/2019, pela seguinte Banca Examinadora:

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Jean Leite Tavares (Presidente da Banca)
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN)



Prof. Dr. Julio Alejandro Navoni (Avaliador interno)
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN)



Dr^a Emily Cintia Tossi de Araújo Costa (Avaliador externo)
Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN)

NATAL
2019

CARACTERIZAÇÃO E ANÁLISE DO POTENCIAL DA ÁGUA PRODUZIDA COMO ALTERNATIVA PARA REÚSO

CHARACTERIZATION AND ANALYSIS OF PRODUCED WATER POTENTIAL AS AN ALTERNATIVE FOR REUSE

Andreza Miranda de Andrade Barbosa*

Jean Leite Tavares **

Julio Alejandro Navoni***

RESUMO: Em regiões semiáridas, a escassez hídrica é uma problemática que põem em risco a sustentabilidade do desenvolvimento socioeconômico regional. O presente trabalho teve como intuito avaliar a qualidade da água produzida proveniente da indústria petrolífera no nordeste brasileiro no município de Mossoró-RN e seu potencial uso na irrigação. Amostras de água produzida foram avaliadas para caracterização físico-químicas (pH, condutividade, sólidos totais dissolvidos, salinidade, alcalinidade, carbonato, bicarbonato, cálcio, magnésio, dureza, cloreto, sódio, potássio, nitrato, sulfato, ferro) e toxicológicas (metais pesados: cádmio, cobre, chumbo, cromo, manganês, níquel, zinco e alumínio além do TOG). No que diz respeito as análises físico-químicas os valores de NaHCO_3 , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e Cl^- estiveram fora dos limiares considerados pelo manual de irrigação da EMBRAPA. Para as análises toxicológicas todos os metais ficaram conformes e apenas o TOG extrapolou o limite permitido, pela CONAMA nº 430/2011 que trata sobre a gestão do lançamento de efluentes, indicando a necessidade de incorporação de processos para eliminar e ou minimizar a ocorrência destes compostos, uma vez que a água utilizada neste estudo era um efluente, sem qualquer tipo de tratamento, garantindo a segurança sanitária deste recurso em práticas de irrigação. Sendo assim, a água produzida pode ser considerada um recurso hídrico alternativo para irrigação após tratamento adequado.

Palavras-chave: Água Produzida. Qualidade da Água. Reúso.

ABSTRACT: In semiarid regions, water scarcity is a problem that jeopardizes the sustainability of regional socioeconomic development. The present work aimed to evaluate the quality of produced water from the oil industry in northeastern Brazil in the municipality of Mossoró-RN and its potential use in irrigation. Produced water samples were evaluated for physicochemical characterization (pH, conductivity, total dissolved solids, salinity, alkalinity, carbonate, bicarbonate, calcium, magnesium, hardness, chloride, sodium, potassium, nitrate, sulfate, iron) and toxicological (metals). heavy duty: cadmium, copper, lead, chrome, manganese, nickel, zinc and aluminum in addition to TOG). Regarding the physicochemical analyzes, NaHCO_3 , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ and Cl^- values were outside the thresholds considered by the EMBRAPA irrigation manual. For toxicological analysis all metals were compliant and only TOG exceeded the limit allowed by CONAMA nº 430/2011 which deals with the management of effluent discharge, indicating the need to incorporate processes to eliminate and or minimize the occurrence of these compounds, since the water used in this study was an effluent, without

* Aluna do curso de Mestrado em Uso Sustentável de Recursos Naturais do Instituição Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte.

** Professor Doutor, em Engenharia de Recursos Hídricos do Instituição Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte.

*** Professor Doutor, em Farmácia e Bioquímica do Instituição Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte.

any treatment, ensuring the sanitary safety of this resource in irrigation practices. Thus, the produced water can be considered an alternative water resource for irrigation after proper treatment.

Keywords: Produced Water. Water quality. Reuse.

1 INTRODUÇÃO

O petróleo é um combustível de origem fóssil, sua composição advém de matéria orgânica, que ao longo de milhares de anos se deposita em reservatórios de rochas sedimentares, e com o auxílio de fatores como temperatura e pressão dão origem ao petróleo. No reservatório conjugado ao óleo tem-se outros dois fluidos a água e o gás natural. Durante o processo produtivo do petróleo, a geração de resíduos como lamas oleosas, águas residuais, compostos orgânicos voláteis, resíduos de catalisador do processo de destilação, além da ocorrência de metais tóxicos, entre outros é inevitável. Dentre esses subprodutos, a água produzida se destaca devido as grandes quantidades geradas em todas as etapas (extração, transporte e refino) do processo de produção (SRIKANTH; KUMAR; PURI, 2018).

A água produzida nos campos petrolíferos é aquela trazida à superfície durante a extração de petróleo ou gás. Por definição, tem-se que água produzida (AP) é o efluente resultante dos processos de separação existentes nas estações coletoras e de tratamento na produção de petróleo. Esta água pode ter origem do próprio reservatório de petróleo, contato com aquíferos subterrâneos adjacentes ao reservatório, ou pode ser água injetada no poço em projetos que visam aumentar a recuperação de óleo (JIMÉNEZ et al. 2017; VENKATESAN e WANKAT, 2017; LI et al. 2014).

A AP pode limitar a vida produtiva de poços de óleo e gás e pode causar problemas graves, como por exemplo, a corrosão tubular. Esse rejeito representa o maior fluxo de resíduos associado à indústria petrolífera (HOSNY et al., 2016).

Essa corrente de fluido atinge diretamente aspectos ambientais e econômicos associados à produção de petróleo e gás. Além disso, essa água pode conter alta salinidade, alta concentração de metais, contaminantes orgânicos e inorgânicos, material radioativo, dentre outros, conhecidos por serem prejudiciais à saúde humana e o meio ambiente (DOLAN; CATH; HOGUE, 2018).

A amplitude e grandeza do impacto ambiental causado pela água produzida não é contínuo, pois, suas consequências oscilam de acordo com a região onde a atividade está inserida, o tempo de exposição aos fatores agressores, dimensões de projeto, e medidas preventivas, preditivas e corretivas adotadas para minimizar os resultados danosos (GOMES, 2014).

Algumas normatizações estabelecem diretrizes para minimizar os danos ambientais gerados e assegurar a qualidade dessa água quando descartada ou reutilizada. No Brasil, temos no que diz respeito a esse assunto a resolução 430/2011 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) que trata sobre a gestão do lançamento de efluentes, alterando parcialmente e complementando a resolução CONAMA 357/2005. Além disso, outras legislações específicas para cada fim (Resolução CNRH N° 15/2001, Resolução CONAMA 396/2008, entre outras). No âmbito internacional não é diferente, a Federal Water Pollution Control ACT/2002 é uma lei que tem por objetivo manter a integridade das águas em todos os aspectos.

A gestão da água produzida de petróleo estabelece um grande desafio para as empresas petrolíferas, devido principalmente ao seu alto custo e aos danos ambientais que ela gera. Em tal caso, atualmente o seu destino é: descarte, reinjeção e o reúso em outras atividades tais como irrigação (JIMÉNEZ et al., 2018).

Independente de qual será o seu destino final, esse resíduo necessita ser tratado para diminuir sua nocividade. Jiménez et al. (2017), indica que a redução da turbidez, remoção de óleos e graxas, fenóis, ferro dentre outros compostos são fundamentais para tornar essa água uma fonte segura de reúso. Também destaca, tecnologias avançadas de tratamento de água, como filtração por membrana, biorreator de membrana, evaporadores térmicos ou processos de oxidação avançada, ressaltando que deve ser minimizado o consumo de produtos químicos, para redução de sólidos suspensos e conteúdo orgânico.

Após o tratamento adequado, com remoção e/ou adequação de todos os contaminantes acima citados, a água residual da produção de petróleo e gás pode ter diferentes aplicações, podendo ser utilizada na agricultura (irrigação e estoque), usos urbanos (abastecimento de água da cidade) e usos industriais (construção e processamento) (MALLANTS; SIMUNEK; TORKZABAN, 2017).

No entanto, uma série de fatores podem influir nas características finais desse efluente, tais como, as características geológicas da área de estudo, como também as características físico-químicas finais do produto tratado em virtude de analisar a viabilidade do reúso e os impactos ambientais causados pela AP de petróleo.

Em face ao relatado, este artigo tem por finalidade realizar a caracterização físico-química e toxicológica de amostras de água produzida de petróleo, oriunda da região de exploração petrolífera no RN. A tal efeito amostras de água produzida da região Mossoró-RN foram obtidas de 20 poços ativos, distribuídos em 14 estações coletoras, das quais uma está desativada.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Buscando a contextualização e compreensão do presente artigo, os aspectos teóricos abordados foram divididos de forma a contemplar os conceitos mais relevantes acerca do tema, descrevendo sobre água produzida, o reúso de água junto com as legislações atuais que fornecem o marco legal para a utilizações destes recursos hídricos.

2.1 ÁGUA PRODUZIDA

Um reservatório de petróleo contém três tipos de fluidos, sendo eles óleo, gás e água. A gênese da água produzida de petróleo tem ligação direta com às condições ambientais necessárias para constituição do óleo. Um meio geológico onde ocorreu deposição de matéria orgânica, com posterior soterramento e condições físico-químicas ambientais e cronológicas específicas culminam para a geração de petróleo nas rochas matrizes (JIMÉNEZ et al., 2017; VENKATESAN e WANKAT, 2017; DICKHOUT et al., 2017).

A água produzida consiste de uma mistura da água de formação do poço produtor, água de condensação, água de injeção dos processos de recuperação secundária e água utilizada para dessalinização do petróleo produzido (JIMÉNEZ et al. 2017; VENKATESAN e WANKAT, 2017; LI et al. 2014).

Os reservatórios de águas subterrâneas podem ter sua gênese de águas meteóricas ou superficiais que se infiltraram no subsolo por meio de áreas de falhas ou rochas permeáveis. Durante este processo, parte da água continuou aprisionada em formações geológicas e foi absorvida nos poros rochosos de formações sedimentares subterrâneas. Devido a esse fato essas águas não são consideradas parte do ciclo hidrológico e são conhecidas como águas de formação (MARTEL-VALLES et al. 2016),

Quando explotada em poços produtores de gás, essa água tende a ter menor volume. Contudo, apresenta altas concentrações de contaminantes orgânicos. Já quando explotada

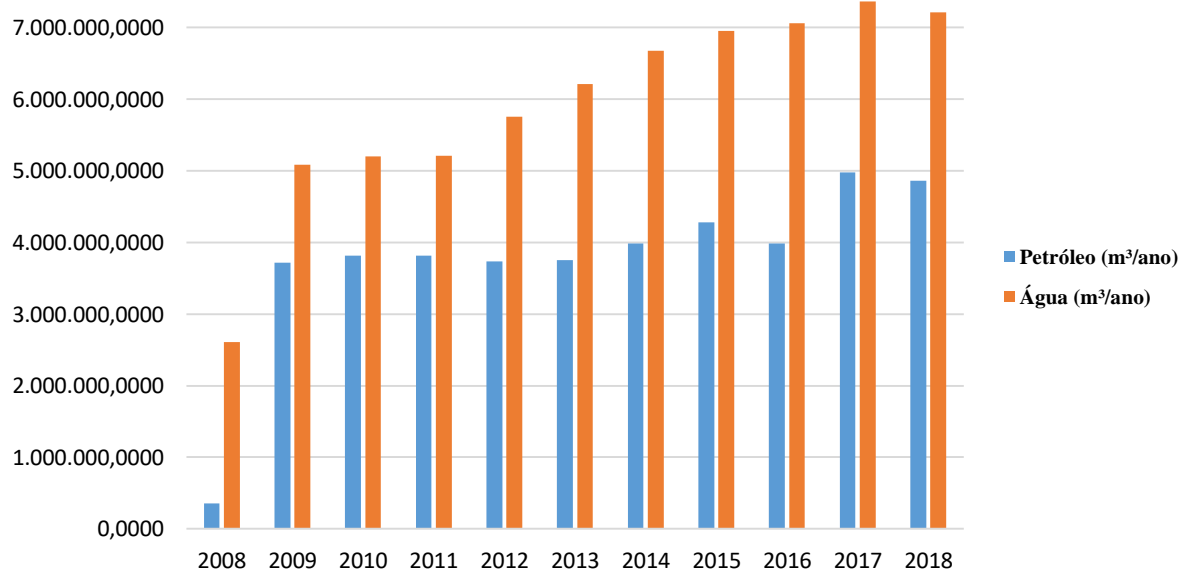
em poços produtores de óleo, ocorre o inverso, e são produzidos altos volumes de água e menores concentrações de contaminantes orgânicos. Com o passar do tempo a tendência é que esse volume de água produzida aumente cada vez mais, podendo chegar em campos maduros, a mais de 10 vezes o volume de óleo produzido (GABARDO, 2007).

Nos Estados Unidos da América (EUA) são gerados por ano em média 21 bilhões de barris de água produzida, 97% desta água é gerada a partir de operações *onshore* (em terra), e cerca de 3% são gerados a partir de poços *offshore* (em mar) (LI; ALMUNTASHERI; LIANG, 2016). Já no Brasil, a produção *onshore* de petróleo em 2018 foi de cerca de 6.462.469 m³/ano, enquanto a produção *offshore* foi de 143.640.218 m³/ano (BRASIL, 2018).

Os maiores volumes de água produzida no Brasil estão concentrados no estado do Rio de Janeiro (RJ) e do Rio Grande do Norte (RN), entretanto no RJ essa produção está associada ao elevado número de campos de produção de óleo e gás presentes na região. No RN, esse volume está associado aos poços que já se encontram em fase madura, ou seja, poços que estão em produção a muito tempo e começaram a produzir mais água do que óleo (BRASIL, 2018).

Em 2008 a bacia potiguar produziu 359.264,06 m³ de óleo e 2.611.145,86 m³ de água, já no ano de 2018 a produção foi de 4.861.042,81 m³ de óleo e 7.217.055,58 m³ de água. Como pode ser visto no gráfico 1, a qual apresenta um panorama da produção de petróleo e água produzida nos poços da bacia norte-rio-grandense de acordo com dados disponibilizados pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) (BRASIL, 2018).

Gráfico 1 — Comparativo produção de petróleo/água produzida RN últimos 10 anos.



Fonte: Autoria própria (2019).

Quando descartada ou reutilizada de maneira indevida, a AP pode afetar a qualidade dos solos ocasionando infertilidade, mortandade de peixes e vegetações de água doce, salinizar aquíferos, rios, lagos e mananciais de água doce (EHCHELH; HESS; SAKRABANI, 2018).

A salinidade da água produzida varia de acordo com o reservatório de origem, pode ser afetada também pela água doce dos rios, água do mar e sistemas de evaporativos salobros. A salinidade é uma variável fundamental para determinar qual o tratamento mais eficaz para a água produzida, podendo ser processos físicos e químicos. A água de

produção é o resultado da mistura de diferentes águas, apresentando um vasto intervalo de salinidades (ABDOU et al., 2011).

A salinidade pode ser descrita pelo valor de sólidos totais dissolvidos (STD) que engloba sais inorgânicos (cloretos e sulfatos de sódio, potássio, cálcio e magnésio), e matérias orgânicas solúveis. O STD da água produzida pode variar de cerca de 1000 mg/L a 400.000 mg/L (LI; AL-MUNTASHERI; LIANG, 2016).

Além disso, outra adversidade relaciona a água produzida está atrelada ao pH. Esse efluente possui pH variando entre 4,3 e 10 (MOTTA et al., 2013). Se não for controlado e mantido dentro da faixa adequada (6,00 a 8,50), pode gerar problemas associados à corrosão, incrustação, e ainda gerar precipitados.

No reservatório ou durante a extração do petróleo, o pH, associado a fatores como temperatura e pressão podem acarretar no aumento dos compostos orgânicos solúveis na AP. Desta forma, o percentual de óleo solúvel na AP depende do tipo de óleo, volume de produção de água, técnica utilizada e tempo de produção. Cátions como Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Ba^{2+} , Sr^{2+} , Fe^{2+} e ânions como Cl^- , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} , HCO_3^- afetam a AP em termos de capacidade de tamponamento e salinidade. Além disso, os componentes orgânicos, metais pesados e compostos químicos adicionados durante a produção têm consequências sobre os organismos vivos, visto que, são muito tóxicos para o ecossistema, e podem impactar fortemente na população de peixes (JIMÉNEZ et al., 2018).

2.2 REÚSO DE ÁGUA

O reúso de água pode ser classificado como direto ou indireto, sendo o indireto dividido em reúso planejado ou não planejado. O reúso indireto não planejado é aquele onde a água que já foi utilizada em alguma atividade humana é descarregada nos corpos aquáticos e novamente utilizada a jusante, em sua forma diluída, de maneira não intencional e descontrolada. O reúso indireto planejado é aquele onde a água após ser tratada é descarregada de maneira planejada nos corpos aquáticos superficiais ou subterrâneos, para serem utilizadas a jusante. O reúso direto de água, é planejado e acontece após a água ser devidamente tratada. Esse efluente é encaminhado diretamente ao seu ponto de reúso, isso ocorre comumente com águas de destino ao reúso na indústria ou irrigação (ALMEIDA, 2010).

O reúso indireto não planejado é comum no Brasil e no mundo, devido principalmente ao descarte de efluentes em corpos hídricos a montante, visando a diluição de contaminantes, e principalmente em regiões periféricas de população de baixa renda é feito o reúso dessa água a jusante. Além disso, vem sendo cada vez mais utilizado o reúso direto/indireto planejado. Esse aumento se deve em sua maior parte a assiduidade dos órgãos fiscalizadores e normativas que obrigam os geradores de efluentes contaminados a tratar seus resíduos antes de dispô-los para reúso.

Dentre as principais rotas para reúso de água tratadas estão: irrigação paisagística, irrigação de campos para cultivos, usos industriais, recarga de aquíferos, usos urbanos não-potáveis e usos diversos, seja para aquicultura, construções, controle de poeira ou dessedentação de animais (ALMEIDA, 2010).

A água produzida já vem sendo estudada para reúso em irrigação, como mostra Sousa et al. (2016) em seu trabalho, o qual destaca a AP como uma opção para agricultura irrigada em regiões semiáridas. Neste trabalho obteve-se como resultado que a composição química das plantas de girassol é alterada pela irrigação por gotejamento de AP, mas o efeito sobre a concentração de nutrientes na cultura depende do tratamento que está água recebe.

Ainda segundo Sousa et al. (2016) o uso de água produzida tratada por osmose reversa favorece a cultura melhorando o estado nutricional das plantas (K, N e P), enquanto o uso de água produzida filtrada reduz o acúmulo de nutrientes nas plantas. Além disso, a água produzida filtrada induz o acúmulo de Na nos girassóis. Apontando como conclusão de seu trabalho que sob condições controladas, é possível reutilizar a água produzida tratada por osmose reversa na agricultura, entretanto este método requer mais pesquisas de longo prazo para entender seu efeito cumulativo nas propriedades químicas e biológicas do solo e na produção agrícola.

Martel-valles et al. (2016) destaca que além de poder incrementar fontes hídricas, a água produzida, dependendo de suas características, tem potencial de uso doméstico, industrial e no setor da agricultura. O autor aponta como resultado do seu estudo, trabalhos onde essa água já é utilizada com destino de reúso, indicando que a água produzida foi utilizada no cultivo de tilápia, onde os peixes alcançaram pesos maiores em comparação com aqueles com controle de tratamento (JACKSON; MYRES, 2002).

Martel-valles et al. (2016) tem ainda como resultado de sua revisão, outro estudo que avalia o efeito da aplicação de água produzida no crescimento, concentração de minerais e compostos tóxicos em tomate na estufa. Sendo observado que a água produzida afeta significativamente a absorção de minerais essenciais pelas plantas de tomate e pode afetar o crescimento das mesmas. Portanto, os produtores devem prestar especial atenção ao conteúdo dos sais produzidos pelas diferentes águas, se quiserem usar essas águas para o cultivo de hortaliças em estufa. Os frutos das plantas de tomate não apresentaram acúmulo de petróleo tóxico, como hidrocarbonetos de fração média ou compostos aromáticos como o benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos (MARTEL-VALLES et al., 2013).

Meneses et al. (2017) avalia o efeito da água produzida tratada sobre atributos biológicos do solo cultivado com mamona, e girassol, respectivamente, por dois e três ciclos sucessivos de produção de grãos. Indica como resultado do seu estudo, que a irrigação com água produzida tratada por filtração pode ser uma alternativa de curto prazo para a produção de mamona e girassol para obter biodiesel, ressaltando que em trabalhos futuros, as propriedades biológicas do solo devem ser avaliadas a médio e longo prazo, a fim de tornar a produção de oleaginosas mais sustentável e viável na região semiárida.

Dolan, Cath e Hogue (2018) avaliaram a viabilidade de reúso da água produzida para irrigação no Colorado. Eles estimaram que 0,8 milhões de hectares podem secar em todo o estado, enquanto que em 2016 foi produzido mais de 300 milhões de barris de água produzida. Mostram ainda que adequar esta água aos padrões agrícolas elimina a necessidade de descarte dessa água e fornece uma nova fonte hídrica.

O estudo mostrou ainda como resultado, que várias áreas dentro do Colorado, como Weld, Washington, Garfield, municípios de Rio Blanco, La Plata e Las Animas têm alto potencial para usar água produzida na agricultura, com base na hidrologia, demanda de irrigação e economia. Esta pesquisa também determinou que a água produzida pode ter um impacto volumétrico substancial na irrigação fornecendo aproximadamente 3% da demanda de irrigação nos seis municípios analisados. Além disso a pesquisa revelou que o custo do tratamento da água produzida para os padrões agrícolas nesses municípios é apenas um pouco superior ao custo por barril de injeção em poços de descarte privados e é menor que o custo por barril de injeção em poços de disposição comercial.

Como pode ser visto, em relação ao reúso da AP para irrigação, os estudos já mostram resultados positivos, toda via o volume utilizado no reúso desta água para irrigação ainda é irrelevante se comparado ao volume produzido diariamente.

O lançamento deste resíduo, após tratamento, em corpo hídrico é uma prática comum entre as empresas produtoras de petróleo, contudo o controle de lançamento e

qualidade dessa água, que poderia suplementar reservas hídricas em regiões do semiárido, ainda necessita ser discutido e explorado.

Para confrontar a qualidade da água que é produzida associada ao petróleo com a qualidade da água para reúso, neste artigo foi proposto o comparativo entre AP e água de reúso para irrigação e lançamento em efluente, uma vez que são destinos para água não potável e podem proporcionar uma melhoria na condição de vida da população do semiárido.

2.2.1 Legislação de reúso

Um dos principais parâmetros a ser avaliado para o descarte, injeção ou reúso da água produzida é o Teor de Óleos e Graxas (TOG). No Brasil a água produzida em poços terrestres, como é o caso dos poços analisados neste trabalho, tratada em terra e descartada no mar deve conter um percentual de 20 mg/L de TOG e seguir resolução CONAMA n° 430/2011, que dispõe sobre condições e padrões de lançamento de efluentes.

No que se refere ao campo internacional, de acordo com revisão feita na Convenção de Paris para a prevenção de poluição marinha por fontes baseadas em terra (PARCOM), para os oceanos Ártico e Atlântico com fontes de poluição localizadas em terra o limite de TOG livre médio mensal é de 30 mg/L, contudo para o mar do Norte o limite de TOG livre é de 40 mg/L. Já nos EUA a média mensal é de 29 mg/L e máximo diário de 42 mg/L o que se assemelha a legislação brasileira (OLIVEIRA; OLIVEIRA, 2000).

No que diz respeito a água subterrânea nos Estados Unidos não existe uma política nem um gerenciamento de cunho nacional. Essas atividades são de responsabilidade dos estados, ou seja, os limites políticos de cada estado separam um sistema do outro, fazendo com que dado aquífero que subjaz dada fronteira seja administrado por dois ou mais sistemas.

No quadro 1 a seguir, é possível visualizar um panorama das legislações e resoluções no que se refere a água superficial ou subterrânea.

Quadro 1 — Panorama de normatização para água.

NORMATIZAÇÃO	DESCRIÇÃO
Lei Nº 9.433/1997	Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Conselho Nacional de Recursos Hídricos e o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos.
Resolução CNRH Nº 15/2001	Estabelece diretrizes gerais para a gestão de águas subterrâneas.
Resolução CNRH Nº 22/2002	Estabelece diretrizes para inserção das águas subterrâneas no instrumento Planos de Recursos Hídricos.
Resolução CONAMA 396/2008	Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências.
Resolução CONAMA 430/2011	Dispõe sobre condições, parâmetros, padrões e diretrizes para gestão do lançamento de efluentes em corpos de água receptores, alterando parcialmente e complementando a resolução CONAMA 357/2005.
Resolução CONAMA 357/2005	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.

<i>Federal Water Pollution Control ACT – 2002</i>	O objetivo desta lei é restaurar e manter a integridade química, física e biológica das águas, seguindo as disposições descritas nesta lei.
--	---

Fonte: Autoria própria (2019).

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a qualidade físico-química da água produzida de poços de petróleo no semiárido brasileiro e seu potencial uso como fonte alternativa para irrigação.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

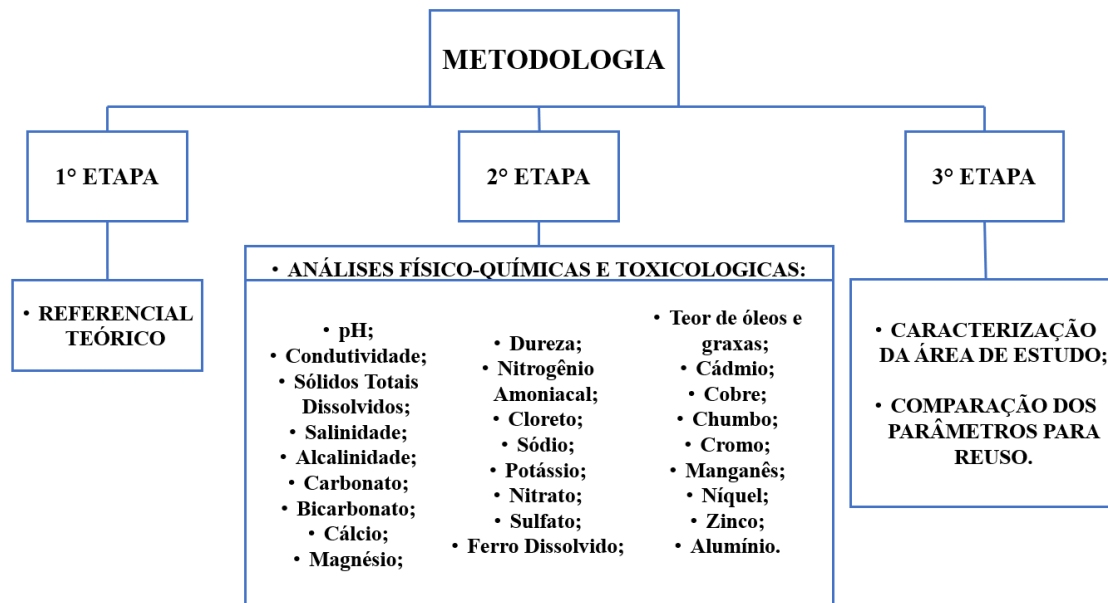
- Caracterizar por meio de ensaios físico-químicos a qualidade da água produzida oriunda da região produtora de petróleo de Mossoró;
- Avaliar a ocorrência de metais na água produzida e as potenciais consequências toxicológicas;
- Caracterizar o cenário ambiental da região de produção da água produzida;
- Avaliar a utilidade da água produzida como alternativa hídrica para irrigação.

4 METODOLOGIA

Baseando-se nos objetivos pré-definidos deste artigo, desenvolveu-se a metodologia a ser aplicada. Esta metodologia foi fragmentada em três partes. A primeira etapa consistiu na elaboração do referencial teórico do artigo. A segunda etapa consistiu-se das análises físico-químicas e de metais das amostras de água produzida.

Por fim, a terceira consiste nos resultados do trabalho. Apresentando a caracterização da região de origem da água produzida e um comparativo entre os valores das variáveis analisadas e os valores das mesmas variáveis estabelecidos pela lei para irrigação e lançamento de efluente. Todo esse processo pode ser melhor visualizado na figura 1.

Figura 1 — Descrição das etapas metodológicas.



Fonte: Autoria própria (2019).

4.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A água produzida objeto de estudo deste artigo é oriunda da bacia potiguar, mais especificamente, em sua maioria, do município de Mossoró. Essa é uma região produtora de petróleo que por consequência tem que lidar diariamente com a problemática de descarte da AP.

O município de Mossoró localiza-se no estado do Rio Grande do Norte, na mesorregião Oeste Potiguar e na microrregião Mossoró, com área 2.110,21 km², equivalente a 4,0% da superfície estadual e população estimada (2010) de 259.815 habitantes. Limita-se ao norte por Grossos e Tibau, ao sul por Governador Dix-Sept Rosado e Upanema, a leste por Serra do Mel, Areia Branca, Assu e Grossos e a oeste por Baraúna e Governador Dix-Sept Rosado, estando 285 km distante da capital (BRASIL, 2008; BRASIL, 2012).

Esse município tem uma vegetação predominantemente de caatinga. De maneira geral sua vegetação se divide em três tipos: caatinga hiperxerófila - vegetação mais seca com abundância de cactácea e plantas de porte mais baixo, destacando-se a jurema-preta, mufumbo, marmeleiro, entre outros, carnaubal - vegetação natural onde a espécie predominante é a palmeira (carnaúba) e a vegetação halófila - vegetação que suporta grande salinidade em decorrência da penetração da água do mar nas regiões baixas marginais dos cursos d'água, destacando o pirixiu e o bredo, às vezes consorciados com carnaubais (BRASIL, 2008; BRASIL, 2012).

Na geologia da região aflora a formação Jandaíra, abaixo dessa formação têm-se as unidades produtoras de petróleo que correspondem as formações Pendência, Alagamar e Açú. As rochas geradoras da formação Pendência ocorrem em toda a bacia e podem atingir 1.500 metros de espessura na sua porção emersa. Os principais reservatórios da bacia são constituídos por arenitos flúviodeltaicos e turbidíticos da formação Pendência (Neocomiano), por arenitos deltaicos da Formação Alagamar (Aptiano) e por arenitos flúvio-eólicos da formação Açú (Albiano-Cenomaniano) (PORTELLA; FABIANOVICZ, 2017).

Em relação ao solo, o que predomina na região é: cambissolo eutrófico, solo com fertilidade alta, textura argilosa, bem a moderadamente drenado e relevo plano, rendzina,

que é um solo com fertilidade alta, textura argilosa, moderado e imperfeitamente drenado e com relevo plano e o solo latossolo vermelho amarelo eutrófico, que possui fertilidade média a alta, textura média, bem a extremamente drenado e relevo plano (BRASIL, 2012).

O clima é quente e predominantemente semiárido, sua estação chuvosa normalmente fica de fevereiro a abril, com temperatura média anual de 27,4 ° C, apresentando um período de estação seca de 8 a 9 meses, com regime de chuvas irregulares (BRASIL, 2008; BRASIL, 2012).

Em relação à economia e uso dos recursos naturais do município, as atividades predominantes estão associadas a agricultura, pecuária, indústria e turismo. É um grande produtor de sal marinho, frutas irrigadas e petróleo. O município destaca-se ainda na pecuária extensiva, rebanho caprino, ovino, suíno na criação de galináceos e na produção de culturas do milho, caju e castanha de caju, tem aptidão para lavouras de ciclo longo como algodão arbóreo, sisal e coco (BRASIL, 2008; BRASIL, 2012).

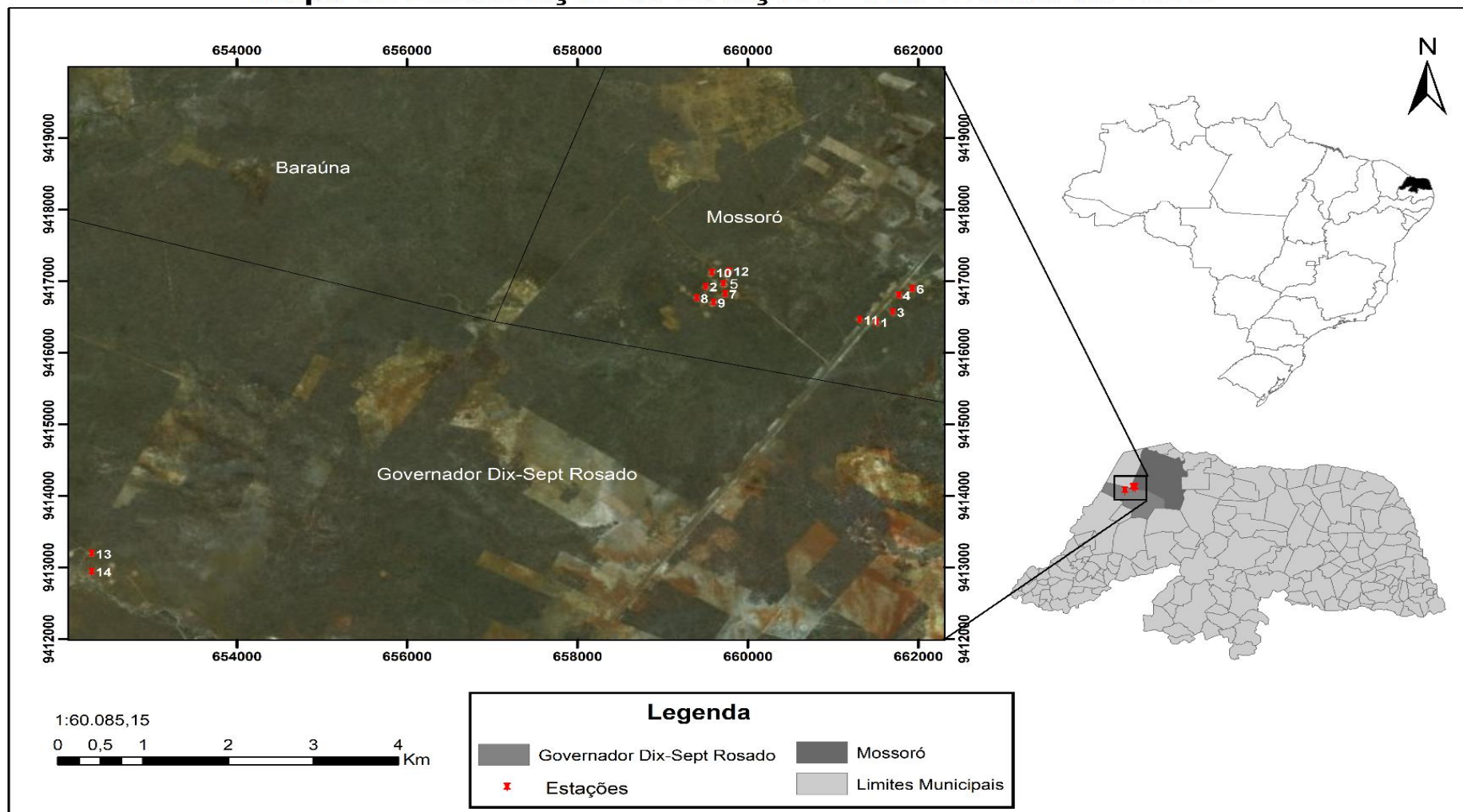
Dentre as atividades industriais salienta-se a produção de petróleo. Em 2016 a bacia potiguar produziu uma média de 3 milhões de m³ de óleo, associado a esse volume de óleo foram produzidos 61 milhões de m³ de água (BRASIL, 2017). Diante do exposto, é possível avaliar que, contrapondo os grandes volumes de água que é produzido em poços de petróleo nessa região, têm-se a escassez de água, pois como exposto anteriormente essa é uma região que sofre com os baixos índices pluviométricos.

Mossoró foi selecionado como área de origem da água produzida estudada neste artigo, pois o município tem produção em grande escala deste resíduo, e desenvolve atividades no setor de agricultura que pode ser rota de aproveitamento deste resíduo. Além disso o lançamento desta água após tratamento adequado em efluentes pode vir a suplementar reservas hídricas e garantir provimento para estações mais secas na região.

4.2 AMOSTRAGEM

O estudo foi desenvolvido mediante a análise de água produzida oriunda de quatorze estações de coleta de água produzida na extração de petróleo cedida pela empresa *Partex Oil and Gas*. A localização de amostragem encontra-se descrito no mapa 1.

Mapa 1 — Localização das estações de coleta de água produzida de poços de petróleo no local da área de estudo RN.

Mapa de Localização de Estações - Rio Grande do Norte

Fonte: Autoria própria (2019).

A amostragem foi realizada no mês de julho/2018, estação de seca, e envolveu 14 amostras, uma por estação de coleta da produção dos poços as quais recebem água oriunda de 20 poços produtores, consistindo esse número no total de poços da empresa. Sendo essa água produzida em estado bruto sem receber tratamento prévio que possa alterar suas características físico-químicas. Entretanto, uma das estações estava fora de funcionamento devido a implantação de um sistema teste para tratamento de AP. Sendo assim, foram coletadas um total de 13 amostras de água produzida, distribuídas como disposto no quadro 2.

Quadro 2 — Distribuição de poços por estação de coleta.

Estação de coleta	Poços Produtores
Estação 01	Poço 11
Estação 02	Poço 18
Estação 03	Poço 22
Estação 04 (Sem funcionamento)	Poço 01
Estação 05	Poço 02
Estação 06	Poço 23
Estação 07	Poço 15
Estação 08	Poço 13 e 20
Estação 09	Poço 17 e 24
Estação 10	Poço 08
Estação 11	Poço 03, 12, 16 e 04
Estação 12	Poço 14 e 19
Estação 13	Poço 05
Estação 14	Poço 06

Fonte: Autoria própria (2019).

4.3 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS

A caracterização físico-química da água foi realizada através da aferição das variáveis de pH, condutividade, sólidos totais dissolvidos, salinidade, alcalinidade, carbonato, bicarbonato, cálcio, magnésio, dureza, cloreto, sódio, potássio, nitrato, sulfato e ferro dissolvido pelos métodos descritos pelo American Public Health Association (APHA, 2012), descritos no quadro 3.

Quadro 3 — Metodologia utilizada nas análises físico químicas.

VARIÁVEIS	TÉCNICA UTILIZADA¹
Condutividade	APHA - 2510 A, B
pH	APHA – 4500 - H ⁺
Sólidos totais Dissolvidos (TDS)	APHA - 2540 A, C, E
Alcalinidade Total	APHA - 2320
Dureza	APHA - 2340 A, C
Nitrato	APHA - 4500-NO ₃ - A, B
Sódio	APHA – 3500 – Na, B
Potássio	APHA – 3500 - K, B
Cálcio	APHA – 3500 - Ca

Magnésio	APHA – 3500 - Mg
Ferro Dissolvido	APHA – 3500 - Fe
Carbonato	APHA - 2320
Bicarbonato	APHA - 2320
Sulfato	APHA - 4500 A, E
Cloreto	APHA – 4500 – Cl - A, B
Salinidade	APHA – 2520
(1) - METODOLOGIA UTILIZADA: APHA et al. (2012). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 22th Washington DC: American Public Health Associations, 2012.	

Fonte: Autoria própria (2019).

O pH foi medido pelo pH Meter Orion Star A211, a condutividade, sólidos totais dissolvidos e salinidade foram quantificados através do Conductivity Meter Orion Star A215 e o sódio e potássio aferidos pelo fotômetro de chama DM-62.

4.4 ANÁLISES TOXICOLÓGICAS

A aferição de metais foi realizada considerando os metais mais relevantes desde o ponto de vista da sua relevância toxicológica quanto da sua ocorrência, considerando as características geoquímicas da região (COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS - CPRM, 2018). Os metais avaliados foram cádmio, cobre, chumbo, cromo, manganês, níquel, zinco e alumínio.

O método de medição dos metais foi através do Absorção Atômica com Atomização por Chamas - Agilent Technologies 240FS AA.

Para preparo da amostra foi feita a abertura através da digestão ácida, onde inicialmente é separado 200ml da amostra em um béquer e adicionado 3 ml de ácido nítrico colocar um vidro de relógio para fechar e a amostra é levada até a chapa aquecedora onde será feita a digestão até restar um volume de 10 ml. Em seguida é feita a lavagem com a água destilada das paredes do Becker e do vidro de relógio e adicionado mais 5 ml de ácido nítrico e novamente levado a chapa aquecedora para digestão. Por fim, novamente será feita a lavagem das paredes do béquer e do vidro de relógio e adicionado 10 ml de ácido clorídrico (50%) novamente levado a chapa para digestão. Finalizado essas três etapas e feita a avolumação da amostra para 100ml.

A reprodutibilidade dos resultados foi feita através de três leituras de cada amostra, sendo o resultado final de cada amostra o valor referente à média aritmética das três leituras feitas.

O limite mínimo quantificável das análises de metais no Absorção Atômica é: cádmio 0,02 mg/L, cobre 0,03 mg/L, chumbo 0,1 mg/L, cromo 0,06 mg/L, manganês 0,02 mg/L, níquel 0,1 mg/L, zinco 0,01 mg/L e alumínio 0,3 mg/L.

O teor de óleos e graxas (TOG), no que diz respeito a indústria de petróleo concentra a maioria das políticas regulatórias. Essa variável é um indicativo do percentual de óleo mineral presente nas amostras de água. Para medição foi utilizado o método por Gravimetria - Determinador de gordura TE-044. A descrição da metodologia utilizada nas análises toxicológicas podem ser melhor visualizada no quadro 4.

Quadro 4 — Metodologia utilizada nas análises toxicológicas.

VARIÁVEIS	TÉCNICA UTILIZADA¹
------------------	--------------------------------------

Teor de Óleos e Graxas (TOG)	APHA – 5520 A, D
Metais Pesados	APHA – 3000; 3500
(1) - METODOLOGIA UTILIZADA: APHA et al. (2012). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 22th Washington DC: American Public Health Associations, 2012.	

Fonte: Autoria própria (2019).

4.5 RAZÃO DE ADSORÇÃO DE SÓDIO (RAS)

A RAS corrigida (RAS°) é um indicador do perigo de sodicidade. A condutividade elétrica (CE) também é considerada como indicadora do perigo de salinidade. A RAS° prevê melhor os problemas de infiltração causados nos solos por concentrações altas de sódio ou baixas de cálcio nas águas utilizadas para irrigação, pois considera o cálcio corrigido pela salinidade da água (CE) para o teor de bicarbonato (ARAÚJO NETO et al., 2015).

A razão de adsorção de sódio (RAS) ou a condutividade elétrica ($\mu\text{s}/\text{cm}$) são parâmetros relevantes para garantir que a qualidade da água não prejudique as plantações. Quando a água utilizada na irrigação tem uma alta salinidade, gera um maior dano salino em níveis baixos de RAS. Devido a origem salina da AP com alto teor de sódio, a RAS e a condutividade são critérios importantes a serem avaliados antes de reutilizar (JIMÉNEZ et al., 2018).

Utilizando os resultados obtidos de Ca, Mg e Na foi estimado o índice de risco de salinização RAS através da equação $RAS = (NA^+) / ((Ca^{2+} + Mg^{2+}) / 2)^{0.5}$. Com a determinação da RAS e da condutividade dos efluentes foi possível classifica-los através da condutividade (Cx) e sodicidade (Sx) em quatro níveis: baixo, médio, alto e muito alto respectivamente (SANTOS; PAIVA; SILVA, 2016).

4.6 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Os resultados obtidos foram avaliados através de estatística descritiva e comparados com legislações vigentes de qualidade de água subterrânea ou efluentes, CONAMA 396 e CONAMA 430 respectivamente. Além disso, análise de conglomerados hierárquico e análise de componente principal foram realizados com o intuito de descrever e caracterizar as amostras de água através dos parâmetros aferidos. O software usado foi o SPSS ver 20.

5 RESULTADOS

Este trabalho apresenta o cenário sobre a qualidade da água produzida oriunda do município de Mossoró/RN, através da avaliação de 13 estações coletoras no que diz respeito a análises físico-químicas e toxicológicas com perspectiva de reúso desta água para irrigação. Os resultados estão representados na tabela 1.

5.1 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS

Tabela 1 — Apresentação do resultado geral das análises físico-químicas em treze amostras de água produzida.

Variáveis	Máximo	Mínimo	Média	Mediana	EMBRAPA 2010	CONAMA N° 430
pH	7,5	7,01	7,18	7,16	6,00 - 8,50	5,00 - 9,00
Condutividade (µs/cm)	1246,00	577,00	689,00	609,0	0,00 – 3000,00	-
TDS (mg/L)	834,82	386,59	461,63	408,03	0,00 - 2000,00	-
Salinidade (mg/L)	600,00	200,00	340,00	300,00	-	-
Alcalinidade (mg/L)	221,92	73,30	169,46	173,06	-	-
Carbonato (mg/L)	ND	ND	ND	ND	0,00 – 0,60	-
Bicarbonato (mg/L)	270,74	89,43	206,74	211,13	0,00 – 78,10	-
Cálcio (mg/L)	101,18	7,78	45,20	38,92	0,00 – 89,50	-
Magnésio (mg/L)	44,83	4,72	24,14	23,59	0,00 – 17,40	-
Sódio (mg/L)	57,20	26,30	40,05	40,50	0,00 – 191,80	-
Potássio (mg/L)	19,60	13,10	16,45	16,60	0,00 - 2,00	-
Dureza (mg/L)	417,53	38,84	212,13	184,49	-	-
Cloreto (mg/L)	382,08	39,19	133,01	97,97	0,00 – 178,60	-
Sulfato (mg/L)	18,46	4,99	12,17	11,77	0,00 – 138,60	-
Nitrato (mg/L)	0,13	0,00	0,03	0,00	0,00 - 10,00	-
Ferro Dissolvido (mg/L)	0,03	0,01	0,02	0,02	5,00	15,0

-ND – Não detectável pela metodologia utilizada.

-EMBRAPA 2010 – Qualidade da água de irrigação.

-CONAMA N° 430 – Resolução n° 430, de 13 de maio de 2011.

-Metodologia APHA et al. (2012). As determinações de nitrato, ferro dissolvido e sulfato foram realizadas por métodos colorimétricos. O pH foi estimado pelo método potenciométrico. Os parâmetros condutividade, sólidos totais dissolvidos e salinidade foram medidos por métodos condutimétricos. Alcalinidade, carbonato, bicarbonato, cálcio, magnésio, dureza, cloreto foram analisados por métodos titulométricos. Sódio e potássio foram aferidos pelo método de espectrofotometria de chama.

-Resultados em negrito indicam valores fora dos padrões considerados para comparação.

Fonte: Autoria própria (2019).

A condutividade elétrica é a variável que descreve a capacidade que a água tem de conduzir corrente elétrica. Associada ao total de sólidos dissolvidos (TSD), fornecem uma medida quantitativa do total de sais dissolvidos na água de irrigação (SILVA et al., 2011).

Os valores máximos foram encontrados nos pontos 01 e 13. No entanto, os resultados obtidos nas análises foram conformes com os limiares estabelecidos para água de irrigação.

Os sólidos são os diferentes tipos de partículas que estão presentes na água, e podem ser sólidos suspensos ou dissolvidos (SILVA et al., 2011). Nesta avaliação de qualidade da água foi feito a análise dos sólidos totais dissolvidos que assim como as variáveis anteriores se manteve dentro do permitido pela legislação, sendo que a água proveniente das estações 01 e 13 apresentaram os maiores níveis observados.

A salinidade é um indicativo do teor total de sais existente em uma amostra de água. Uma alta salinidade faz com que a velocidade de infiltração no solo aumente, em contraponto uma baixa salinidade, ocasiona a redução da velocidade de infiltração. A principal consequência do aumento da salinidade em uma água para irrigação é a seca fisiológica e o desbalanceamento nutricional nos vegetais (SILVA et al., 2011).

No que diz respeito ao reúso para irrigação, a salinidade da água analisada vai apresentar limitações ou não a depender do tipo de solo e cultura a ser irrigada. Em relação ao lançamento de efluente, deve-se avaliar a compatibilidade com as características do corpo receptor.

O cloreto das amostras de AP analisadas, apresentaram maior valor nos pontos 01 e 13. De um total de 13 amostras 85% estão conformes com a legislação para reúso em irrigação. Quanto ao lançamento de efluente não tem limite especificado pela lei para esta variável.

O sulfato teve maior resultado nos pontos 06 e 12, entretanto para as 13 amostras analisadas, os valores indicados estavam dentro do que foi determinado pela legislação, sendo assim essa variável já está adequada ao reúso em irrigação.

Os valores resultantes da análise de nitrato já estão adequados para o reúso agrícola, e não é apresentado pela legislação um valor padrão para o caso de lançamento de efluente.

Os maiores valores de alcalinidade foram nos pontos 03 e 06. No tocante a irrigação, e lançamento de efluente para essa variável, não existe valor teto legislado como mínimo nem máximo de alcalinidade.

Para as 13 amostras analisadas de acordo com a metodologia utilizada, não foi possível identificar a presença de carbonato, coincidindo com o valor do pH que para todas as amostras foi menor que 8,0. Como resultado das análises, o indicativo de bicarbonato para 100% das amostras analisadas, estão acima do limite permitido, quando comparado com o manual para irrigação.

Para o reúso agrícola em irrigação, quando comparado os valores obtidos nas análises com os valores estabelecidos pela legislação vigente, em cada uma das variáveis mencionadas anteriormente, o cálcio dispõe de aproximadamente 85% das amostras conformes com a norma, magnésio 7% das amostras conforme, sódio 100% das amostras conformes, e por fim o potássio com 100% das amostras não conformes. Para o lançamento de efluente não é apresentado pela legislação um valor padrão dessas variáveis.

A dureza é uma variável que resulta da presença essencialmente de sais alcalinos terrosos (cálcio e magnésio), ou de outros metais bivalentes, causa sabor desagradável, efeitos laxativos e provoca incrustações nas tubulações e caldeiras. A água pode ser classificada em termos de dureza (em CaCO_3) da seguinte forma: < 50 mg/L CaCO_3 – água mole; entre 50 e 150 mg/L CaCO_3 – água com dureza moderada; entre 150 e 300 mg/L CaCO_3 – água dura; 300 mg/L CaCO_3 – água muito dura (SILVA et al., 2011).

Para o caso das amostras analisadas 8% se classificam como água mole, 77% como água dura e 15% como água muito dura. Não existe valor na legislação nem de irrigação nem de lançamento de efluente que limite o valor dessa variável.

Em relação ao pH das amostras analisadas neste estudo, é possível visualizar que os valores apresentados pela água produzida já se enquadram dentro da faixa especificada para reúso em irrigação e lançamento de efluente determinado pela lei, observando-se em todos os casos valores semelhantes em torno a neutralidade.

Para as análises feitas de ferro dissolvido 100% das amostras apresentaram valores que estão em conformidade com a legislação para reúso e lançamento de efluente.

5.2 ANÁLISES TOXICOLÓGICAS

Além de análises físico-químicas foi realizado neste trabalho análises toxicológicas, buscando a investigação da quantidade de contaminantes no que diz respeito a metais e teor de óleo e graxas presentes na água produzida e sua influência de bioacumulação. Os resultados dessas análises estão dispostos na tabela 2.

Tabela 2 — descrição geral dos níveis de TOG e metais pesados em amostras de água produzida.

Variáveis	Máximo	Mínimo	Média	Mediana	CONAMA N° 396	CONAMA N° 430
TOG (mg/L)	584,640	1,710	119,510	66,670	-	20,000
Metais Pesados (mg/L)						
Cádmio	ND	ND	ND	ND	0,010	0,200
Cobre	0,020	0,000	0,000	0,000	0,200	1,000
Chumbo	ND	ND	ND	ND	5,000	0,500
Cromo	ND	ND	ND	ND	0,100	1,000
Manganês	0,150	0,000	0,050	0,030	0,200	1,000
Níquel	0,030	0,000	0,000	0,000	0,200	2,000
Zinco	0,060	0,000	0,010	0,000	2,000	5,000
Alumínio	1,030	0,050	0,340	0,26	5,000	-

-ND – Não detectável pela metodologia utilizada.

-CONAMA N° 396 – Resolução n° 396, de 3 de abril de 2008.

-CONAMA N° 430 – Resolução n° 430, de 13 de maio de 2011.

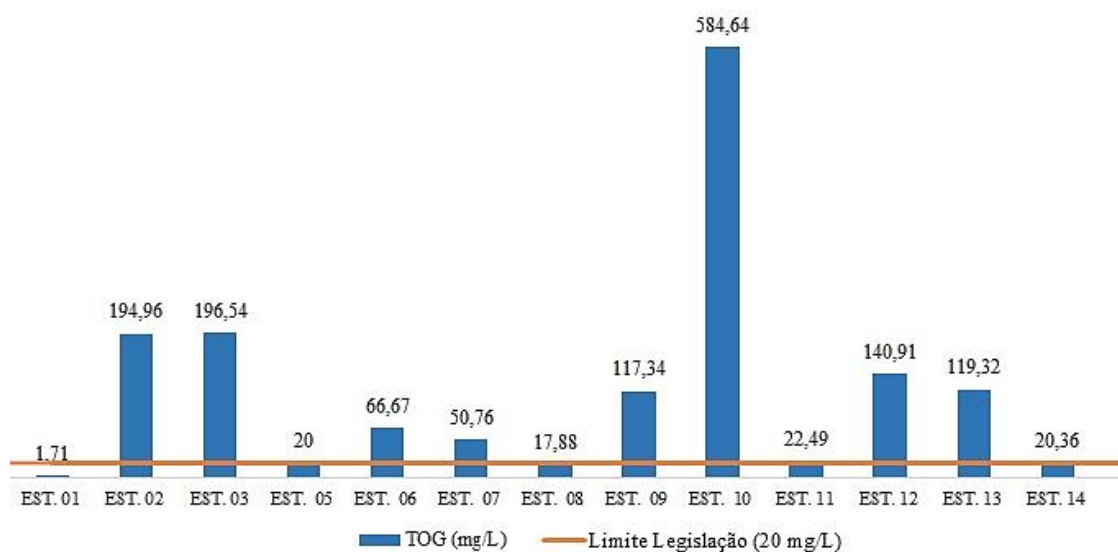
-As análises representadas nesta tabela foram realizadas seguindo a metodologia APHA et al. (2012). Metais através de espectrometria de absorção atômica com atomização eletrotérmica por chamas. Teor de óleos e graxas por gravimetria.

Fonte: Autoria própria (2019).

De acordo com a metodologia aplicada neste trabalho não foi possível detectar a presença de cádmio, chumbo e cromo nas amostras de AP. De maneira geral todos os metais analisados apresentaram valores que estão abaixo dos limites recomendados para irrigação e destinação no ambiente, segundo as normas usadas como referência.

Os valores obtidos como resposta das análises de TOG, em alguns casos chegaram a ser quase seis vezes superior ao permitido para o lançamento no ambiente. É possível observar que 77% das 13 amostras analisadas apresentaram resultados superior a 20 mg/L e 23% obtiveram resultados inferior a 20 mg/L, conforme gráfico 2.

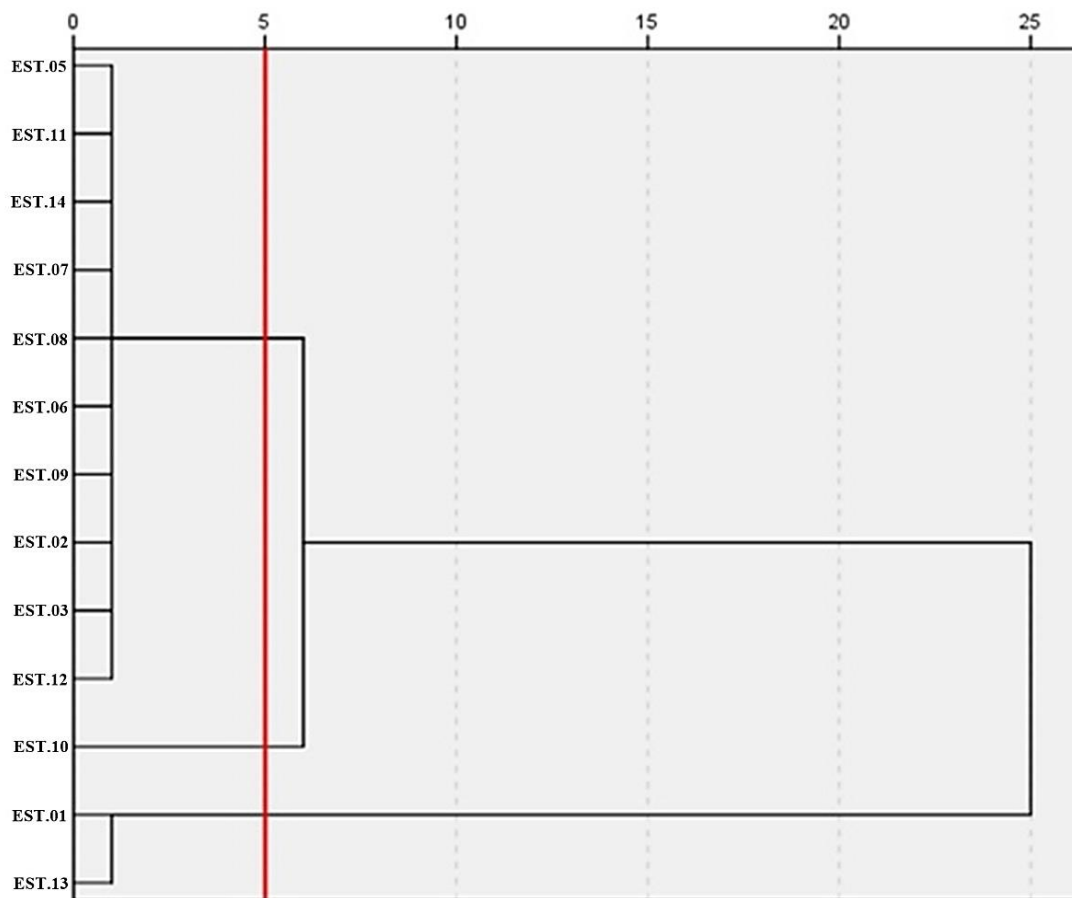
Gráfico 2 — Comparativo TOG das 13 amostras analisadas e limite do CONAMA n°430.



Fonte: Autoria própria (2019).

Os resultados obtidos na caracterização físico-química foram utilizados para analisar as diferenças entre a qualidade de água obtida nas distintas estações. Para tal fim, foi realizado uma análise cluster hierárquico. No gráfico 3 encontra-se representado graficamente os resultados. Amostras coletadas nas estações 9, 1 e 12 apresentaram características de qualidade de água diferenciadas com respeito ao resto das amostras analisadas.

Gráfico 3 — Dendograma. Análise de cluster hierárquico da qualidade físico-química da água dos poços. Resultados representados na figura utilizando o método de vinculação de Ward.



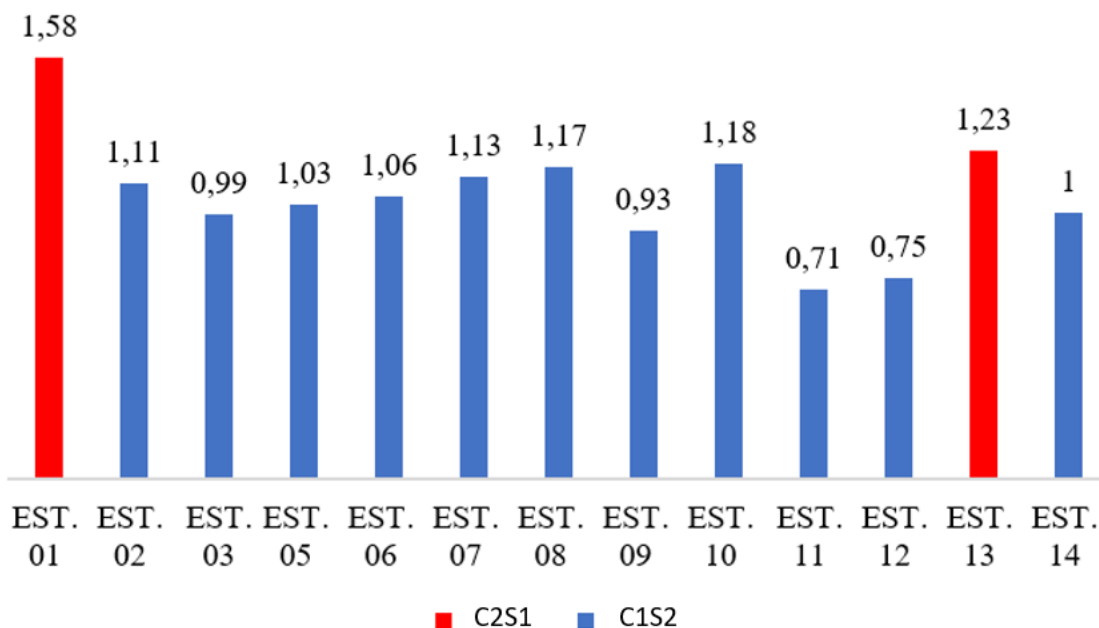
Fonte: Autoria própria (2019).

Para identificar as variáveis que mais influenciaram no padrão descrito, uma análise de componente principal foi realizada. Três componentes principais foram obtidos os que explicaram um 80% da variância total. A primeira componente foi a mais representativa explanando 60 % da variabilidade observada tendo como variáveis mais representativas aquelas correlacionadas com a composição iônica tais como Condutividade (0,926) e sólidos dissolvidos totais (0,861). Entre os íons mais representativos figuram os íons divalentes tais como o Ca (0,935) e o Mg (0,957) além do bicarbonato (0,939) o que explicaria a associação observada em relação à o pH (0,926). Os componentes 2 e 3 representaram um 20% da variabilidade explicada particularmente associados a ocorrência de íons monovalentes tais como o cloreto, sódio, potássio e a salinidade (0,672).

5.3 RAZÃO DE ADSORÇÃO DE SÓDIO

A RAS^o das amostras investigadas neste artigo obtiveram maior valor para os pontos 01 e 13, entretanto para todos os pontos apresentou resultados dentro da faixa especificada para irrigação. Com o auxílio da RAS^o e da CE foi estabelecida a classificação das águas, de maneira que 85% das amostras foram classificadas como C1S2 (Salinidade Baixa e Sodicidade Média) e o remanescente classificado como C2S1 (Salinidade Média e Sodicidade Baixa). Os resultados são apresentados no gráfico 4.

Gráfico 4 —Gráfico apresentando valor do RAS° para as treze estações de coleta de água produzida com as classificações de salinidade e sodicidade.



Fonte: Autoria própria (2019).

6 DISCUSSÃO

Para avaliação da qualidade da água produzida de petróleo não existe uma legislação específica determinando as variáveis a serem analisadas. Uma vez que, esse efluente pode sofrer variações de acordo com os diferentes ambientes ao qual teve contato.

6.1 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS

As características físico-químicas da AP como: pH, condutividade, alcalinidade, dureza, sólido suspenso e dissolvido, cloreto e até mesmo o teor de óleos e graxas variam a depender do tipo de reservatório (óleo, gás ou carvão), a localização geográfica do campo, a formação geológica, e o tipo de hidrocarboneto produzido (NASIRI; JAFARI; PARNIANKHOY, 2017).

Conforme o objetivo final de reúso ou descarte, a forma de avaliação da qualidade da água será modificada para atender ao estabelecido pelas normas vigentes. Os resultados das análise físico-química da água, foram comparados com valores determinados pela legislação ou órgãos responsáveis pela qualidade da água, tais como as recomendações para a água em irrigação e lançamento de efluente (Manual de irrigação Embrapa, CONAMA 396 e CONAMA 430).

O pH é uma variável importante na avaliação da qualidade da água para irrigação, indicando o grau de acidez ou de alcalinidade da água. Quando o pH apresenta valores acima de 8,5 pode ocasionar entupimento nos sistemas de irrigação, devido à precipitação do carbonato de cálcio (CaCO_3). Em contrapartida, se o pH estiver abaixo de 6,0 pode corroer rapidamente os componentes metálicos dos sistemas de irrigação (SILVA et al., 2011).

Bezerra et al. (2019) desenvolveu um estudo no qual utilizou água produzida fornecida pela Unidade de Operação do RN CE - Brasil. Para Bezerra et al. (2019) o limiar do pH ficou em torno de 6,7 a condutividade 2800 ($\mu\text{s}/\text{cm}$), sólidos totais dissolvidos 1387 (mg/L) e salinidade 1440 (g/L). Em reflexo a esses resultados as amostras analisadas neste artigo apresentaram valores similares. O pH, por exemplo, mostrou-se rente a neutralidade. A

condutividade apontou que a capacidade de conduzir corrente elétrica dessas amostras são conformes, uma vez a AP analisada seguiu a mesma linha da condutividade apresentado por Bezerra et al. (2019). A quantidade de sólidos também se comportou de modo semelhante sendo o valor máximo apresentado pela AP analisada similar com o valor explanado pelo autor.

Os resultados apontados por Bezerra et al. (2019) são valores médios mundiais que se aproximam dos resultados apresentados das amostras de água produzida analisadas neste trabalho, essa semelhança pode ser devido à fatores como: localização, características geológicas correspondes, entre outros fatores que podem influenciar diretamente na qualidade da água.

Os resultados obtidos em relação aos parâmetros mencionados anteriormente foram satisfatórios uma vez que, são conformes com as características necessárias para água de irrigação e possivelmente serão ainda mais válidos após essa água passar pelo tratamento adequado.

O nitrato presente na água pode advir do contato desta água com a formação rochosa ou da transformação de nitrito e nitrogênio amoniacal em nitrato. Quando em altas concentrações o nitrato pode causar a metamoglobinemia infantil, assim como, pode ser a causa de câncer consequente de um processo onde o nitrato é convertido em nitrito por uma bactéria estomacal (SILVA et al., 2011).

O nitrato é uma variável que não se expressa em grandes quantidades na AP. Sappington e Rifai (2018), ao desenvolver pesquisa com análise de AP obteve como resultado ao percentual de nitrato, valor menor que 10 mg/L. Assim como os valores reportados nas análises feitas aqui, que margearam para quase todas as 13 amostras valores menores que 0,13 mg/L.

O nitrato é uma variável capaz de causar diversas consequências a saúde humana, entretanto no que diz respeito a irrigação neste trabalho, devido ao baixo percentual de nitrato mostrado nas análises, comprova que esse contaminante não seria capaz, neste cenário, de causar bioacumulação no processo da cadeia produtiva da água utilizada na irrigação.

A alcalinidade é encarregada de avaliar a capacidade da água de neutralizar os ácidos. Quando em altas concentrações, pode ocasionar sabor desagradável à água e influenciar em processos de tratamento (SILVA et al., 2011). O carbonato quando encontrado em águas, confere a está pH acima de 8,0. Nas águas que contêm concentrações elevadas de íons de carbonato, há tendência de precipitação do cálcio e do magnésio, como carbonato.

Nasiri, Jafari e Parniankhoy (2017) apresentaram em seu artigo um sumário com resultados de diferentes parâmetros para AP com origens distintas, poços de xisto, gás natural, petróleo dentre outros. Para quesito de comparação observou-se os valores de alcalinidade e bicarbonato referentes a poços de produção de petróleo uma vez que essa característica se assemelha ao apresentado no presente artigo, que também tem resultados de AP oriundos de poços produtores de petróleo.

De acordo com Nasiri, Jafari e Parniankhoy (2017) a alcalinidade variou entre 300 mg/L – 380 mg/L e o bicarbonato de 15 mg/L – 3501 mg/L. Esses resultados são provenientes de análises feitas em AP da região do Iran o que poderia acarretar em uma disparidade entre os resultados devido a explícita distância geográfica. Entretanto os resultados se assemelham ao do RN o que pode se explicar por questões como semelhanças geoquímicas, propriedades do petróleo e características do poço.

Entretanto diversos fatores devem ser analisados para assegurar a simetria dessas análises. No que diz respeito ao uso dessa água para irrigação a alcalinidade não será um fator inconveniente. Porém o bicarbonato precisa ter seu valor reduzido afim de evitar problemas futuros, como danos ao solo.

A qualidade da água de irrigação é comumente avaliada pela concentração total de sais dissolvidos e sua composição iônica. Os principais sais dissolvidos na água de irrigação são os de sódio, cálcio e magnésio. Normalmente, o potássio e o carbonato estão presentes em

proporções relativamente baixas. O potássio contribui ligeiramente para a salinidade (SILVA et al., 2011).

O carbonato de fato não tem grande influência sobre o comportamento da água, uma vez que com seus baixos índices não permitiu sequer que fosse identificado pela metodologia utilizada. Em contrapartida o potássio pode ser um dos responsáveis por aumentar o índice de salinidade visto que as amostras que apresentaram maior valor de potássio também foram as com maior salinidade. Esse potássio pode ser também um nutriente aliado a irrigação, sendo necessário conhecer as concentrações adequadas para cada tipo de solo.

Os ânions sulfato e cloreto podem ser os responsáveis por agregar sabor e odor a água. Os cloretos, em sua maioria, decorrem da dissolução de minerais ou invasão de águas do mar, e concedem sabor salgado à água ou propriedades laxativas. Avaliar as concentrações de cloreto é importante para reconhecer possíveis problemas de toxicidade em plantas (SILVA et al., 2011).

Jiménez et al., (2018) desenvolveu um trabalho onde dispõe de uma tabela que resume os componentes principais da AP de acordo com várias referências. As variáveis de Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- e SO_4^{-2} apresentaram respectivamente os seguintes limites: não detectável - 150000 mg/L, 24 mg/L - 4300 mg/L, não detectável - 74000 mg/L, 8 mg/L - 6000 mg/L, não detectável - 250000 mg/L e 10 mg/L.

Na AP analisada neste estudo, para as variáveis descritas anteriormente, os valores se enquadram dentro da faixa apresentada por Jiménez et al., (2018). O Na^+ em seu valor máximo ficou até 3000 vezes menor que o máximo apresentado por Jiménez et al., (2018), os valores de K^+ ficaram mais próximos do mínimo apresentado pelo autor, o Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- com resultados mais próximos ao mínimo apresentado por Jiménez et al., (2018), o SO_4^{-2} em seu valor máximo teve quase o dobro do valor indicado por Jiménez et al., 2018.

No que diz respeito a irrigação, a água analisada neste estudo, precisa de intervenção para ajuste destes parâmetros ao reúso. Essas variáveis são consideradas representativas para esta pesquisa, porque estão diretamente associadas a salinização da água e por consequência, se utilizada na irrigação, ocorrerá salinização do solo, causando impacto direto no desenvolvimento das culturas que serão irrigadas.

Em relação ao RAS^o de acordo com a classificação anteriormente apresentada, verifica-se que a água produzida analisada neste trabalho tem uma baixa probabilidade de causar impacto no solo ou na vegetação no que diz respeito a salinidade, pois a classificação C2S1 proporciona o uso no cultivo de plantas moderadamente tolerante aos sais, com irrigação na maioria dos solos. A classificação C1S2 permite irrigação da maioria das culturas, em quase todos os tipos de solos, em solos argilosos o sódio dessa classe de água apresenta um perigo considerável de dispersão com redução de permeabilidade. Por outro lado, essas águas podem ser usadas em solos arenosos ou em solos orgânicos de boa permeabilidade (SILVA et al., 2011).

Sendo assim o que deve ser observado é o tipo de solo buscando evitar problemas de permeabilidade da água, assim como o tipo de vegetação a qual será irrigada com essa água uma vez que essa cultura deve dispor de um percentual de resistência a salinidade.

6.2 ANÁLISES TOXICOLÓGICAS

Os autores Campos (2016), Chagas et al. (2012) e Sousa et al. (2016), ressaltam em suas pesquisas que a presença de contaminantes como óleos e graxas e metais pesados na água produzida, assim como, alterações no teor de sólidos dissolvidos e pH podem causar acúmulos desses resíduos nos solos e tecidos vegetais atingindo níveis tóxicos e nocivos, podendo causar incrustações e corrosão em tubulações dentre outros malefícios.

Em relação aos metais, a água produzida pode ter em sua composição Fe, Cr, Ba, Ni, Zn e outros. Contudo, a variedade e a concentração desses metais vão depender de aspectos como: características e idade geológica, volume de água injetada e composição química. Geralmente, os metais mercúrio, zinco, bário, manganês e ferro são encontrados na água produzida em concentração mais alta que a concentração da água do mar (AL-GHOUTI et al., 2019).

Echchelh, Hess e Sakrabani (2018) faz uma avaliação da AP oriunda de poços produtores de petróleo, apresenta intervalos de metais seguindo os seguintes valores Cd menor que 0,005 até 0,2 mg/L, Cr 0,02 até 1,1 mg/L, Cu menor que 0,002 até 1,5 mg/L, Mn menor que 0,004 até 175 mg/L, Ni menor que 0,001 até 1,7 mg/L, Pb 0,002 até 8,8 mg/L, Zn menor que 0,01 até 35 mg/L, Al 310 até 410 mg/L. Os resultados das amostras deste trabalho para os metais citados anteriormente apresentaram valores semelhantes aos apresentados por Echchelh, Hess e Sakrabani (2018).

Características geoquímicas ou geológicas podem explicar a semelhança entre os resultados apresentados. O maior percentual dentre os metais analisados é o Al. Isto se deve a este ser um dos metais mais abundantes no planeta, podendo ser oriundo da água, do solo, das rochas ou de outros meios o qual a água teve contato.

Essa água em relação a presença destes metais está apta para reúso em irrigação de acordo com o CONAMA 396. Apesar da capacidade de bioacumulação dos metais, os baixos percentuais indicados como resultados nesta pesquisa não são significativos para causar danos ambientais e a saúde humana.

Os compostos químicos presentes na AP são potenciais geradores de bioacumulação. Mesmo em baixas concentrações esses compostos contribuem criticamente para o ecossistema marinho e gera potenciais riscos ecológicos. Os hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (PAHs), podem ser um exemplo destes contaminantes com capacidade de bioacumulação (LOURENÇO et al., 2016).

Apesar do desenvolvimento de diversas pesquisas a respeito da água produzida, ainda é baixa a relação de trabalhos que avaliam o percentual de compostos orgânicos persistentes ou do percentual de óleo presente na água. Nasiri, Jafari e Parniankhoy (2017) mostrou um percentual de 92 mg/L de TOG em sua pesquisa. Do total das amostras de água produzida analisada neste trabalho, a que apresentou valor máximo chegou a quase sete vezes mais que o apresentado por Nasiri, Jafari e Parniankhoy (2017).

É possível observar que entre os valores máximos e mínimos apresentados pela AP há uma significativa variação que pode ser decorrente das características individuais de cada poço, ou do tempo que o poço está em produção, ou seja, poços maduros, que estão em produção a mais tempo, tendem a ter mais água e menos óleo, já poços que estão em produção a menos tempo terão um percentual de óleo maior.

Entretanto, vale ressaltar que essa água não recebeu nenhum tipo de tratamento e que já na sua fase inicial deve passar por um sistema de tratamento padrão composto por separador água/óleo, flotação por ar dissolvido, decantação lamelar e filtro, o qual reduz significativamente o percentual de óleo livre na água, visto que ao final do processo o TOG máximo permitido para essa água é de até 20 mg/L (teor permitido pela legislação para descarte de AP), já que se não for reutilizada seu destino será o descarte.

7 CONCLUSÃO

A escassez hídrica é uma problemática que atinge várias regiões no mundo em particular em áreas semiáridas. A água de reúso é uma alternativa plausível e eficiente para mitigar ao menos em parte este problema. Os grandes volumes de água gerada na atividade extrativista de petróleo pode ser convertida de uma problemática a uma alternativa de suplementação hídrica.

Neste estudo, uma caracterização físico-química da água produzida foi realizada observando-se a não adequação as normas vigentes.

Diante do que foi exposto, é possível visualizar que as amostras de água produzida analisadas, em comparação com a legislação para reúso em irrigação apresenta inconformidade para o bicarbonato, cálcio, magnésio, potássio, cloreto e TOG. Quanto a legislação para lançamento de efluente apenas o TOG não está conforme.

Cabe salientar que os resultados da água aqui apresentada ainda não passaram por nenhum tratamento. Por padrão as estações já possuem um sistema de tratamento da AP para ser descartada que limita o TOG ao máximo de 20mg/L, e que pode ser capaz também de adequar as outras variáveis não conformes.

Por essa perspectiva a utilização da água produzida de poço de petróleo, como recurso hídrico alternativo após tratamento é plausível.

Estudos dirigidos que busquem avaliar a sustentabilidade da implementação de tecnologias quanto a avaliação da eficiência da dessalinização e remoção de compostos orgânicos persistentes será necessário de se avaliar em estudos futuros. Assim como, uma possível comparação entre a qualidade da água produzida bruta e a água produzida após o tratamento padrão aplicado na água destinada a descarte.

REFERÊNCIAS

ABDOU, Medhat; CARNEGIE, Andrew; MATHEWS, George; MCCARTHY, Kevin; O'KEEFE, Michael; RAGHURAMAN, Bhavani; WEI, Wei; XIAN, G. Cheng. Valor del agua de formación. **Oilfield Review**, Schlumberger, v. 23, n. 1, p.26-39, maio 2011.

Disponível em:

<https://www.slb.com/~media/Files/resources/oilfield_review/spanish11/spr11/03_valor.pdf>. Acesso em: 27 abr. 2018.

AL-GHOUTI, Mohammad A. et al. Produced water characteristics, treatment and reuse: A review. **Journal Of Water Process Engineering**, [s.l.], v. 28, p.222-239, abr. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jwpe.2019.02.001>.

ALMEIDA, Otávio Álvares de (Comp.). **Qualidade da água de irrigação**. Cruzes das Almas,ba: Saulus Santos da Silva, 2010. 1 v. Otávio Álvares de Almeida. Disponível em: <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/875385/1/livroqualidadeagua.pdf>>. Acesso em: 25 mar. 2018.

APHA, AWWA e WEF – AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION; 757 AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION; WATER ENVIRONMENT 758 FEDERATION. Standard methods: for the examination of water and wastewater. 759 22.ed. Washington: American Public Health Association, 2012.

ARAÚJO NETO, José Ribeiro de et al. Dinâmica da qualidade das águas superficiais para irrigação em reservatórios do estado do Ceará, Brasil. **Conexões - Ciência e Tecnologia**, Fortaleza, v. 9, n. 1, p.51-60, mar. 2015.

BEZERRA, Breno Gustavo P. et al. Cleaning produced water: A study of cation and anion removal using different adsorbents. **Journal Of Environmental Chemical Engineering**, [s.l.], v. 7, n. 2, p.103006-103014, abr. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jece.2019.103006>.

BRASIL. Agência nacional de petróleo gás natural e biocombustíveis. **Produção por poço, 2017**. Disponível em: < <http://www.anp.gov.br/dados-estatisticos> >. Acesso em: 10 abr. 2018.

BRASIL. Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente do Rio Grande do Norte. **Perfil do seu município: Mossoró**. Natal: Idema, 2008. 35 p. Disponível em: <<http://adcon.rn.gov.br/ACERVO/idema/DOC/DOC000000000013950.PDF>>. Acesso em: 07 maio 2018.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997. **Lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997**. Brasília. Disponível em: <<http://www3.ana.gov.br/portal/ANA/todos-os-documentos-do-portal/documentos-sre/alocacao-de-agua/oficina-escassez-hidrica/legislacao-sobre-escassez-hidrica/uniao/lei-no-9433-1997-pnrh/view>>. Acesso em: 22 nov. 2018.

BRASIL. Resolução nº 430, de 2011. **Resolução CONAMA nº 430/2011**. Brasília, 13 maio 2011. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>>. Acesso em: 30 abr. 2018.

BRASIL. Resolução nº 15, de 11 de janeiro de 2001. **Resolução nº 15, de 11 de Janeiro de 2001**. Brasília. Disponível em: <<http://www.sema.df.gov.br/wp-content/uploads/2017/09/Resolu%C3%A7%C3%A3o-CNRH-n%C2%BA-15-de-2001.pdf>>. Acesso em: 22 nov. 2018.

BRASIL. Resolução nº 22, de 24 de maio de 2002. **Resolução nº 22, de 24 de Maio de 2002**. Brasília. Disponível em: <<http://www.ceivap.org.br/ligislacao/Resolucoes-CNRH/Resolucao-CNRH%2022.pdf>>. Acesso em: 22 nov. 2018.

BRASIL. Resolução nº 357, de 2008. **Resolução CONAMA nº 357/2005**. Brasília, 17 mar. 2005. Disponível em: < <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459> >. Acesso em: 22 nov. 2018.

BRASIL. Resolução nº 396, de 2008. **Resolução CONAMA nº 396/2008**. Brasília, 03 abr. 2008. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=562>>. Acesso em: 09 abr. 2018.

BRASIL. Secretaria dos Serviços Urbanos Trânsito e Transportes Públicos. **Plano de saneamento setorial: limpeza urbana e manejo dos resíduos sólidos**. Mossoró: Ziguia Engenharia Ltda, 2012. 140 p.

CAMPOS, Luis C. Importancia de la caracterización de aguas producidas en la industria petrolera. **Geominas**, Venezuela, v. 44, n. 71, p.171-175, dez. 2016.

CHAGAS, Rodolfo R. A.; SANT'ANNA, Mikele C. S.; MATOS, Danielle B. de; LOPES, Danilo F. C.; SILVA, Gabriel F. Monitoramento tecnológico das técnicas de tratamento de água produzida. **Revista Gestão, Inovação e Tecnologia**, [s.l.], v. 2, n. 3, p.214-220, 5 set.

2012. Associação Acadêmica de Propriedade Intelectual. <http://dx.doi.org/10.7198/s2237-0722201200030002>.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS - CPRM (Brasil). **Serviço Geológico do Brasil**. 2018. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/>>. Acesso em: 22 nov. 2018.

DICKHOUT, J.M.; MORENO, J.; BIESHEUVEL, P.M.; BOELS, L.; LAMMERTINK, R. G. H.; VOS W. M.de. Produced water treatment by membranes: A review from a colloidal perspective. **Journal Of Colloid And Interface Science**, [s.l.], v. 487, p.523-534, fev. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcis.2016.10.013>.

DOLAN, Flannery C.; CATH, Tzahi Y.; HOGUE, Terri S.. Assessing the feasibility of using produced water for irrigation in Colorado. **Science Of The Total Environment**, [s.l.], v. 640-641, p.619-628, nov. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.05.200>.

ECHCHELH, Alban; HESS, Tim; SAKRABANI, Ruben. Reusing oil and gas produced water for irrigation of food crops in drylands. **Agricultural Water Management**, [s.l.], v. 206, p.124-134, jul. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2018.05.006>.

GABARDO, Irene T. **Caracterização química e toxicológica da água produzida descartada em plataformas de óleo e gás na costa brasileira e seu comportamento dispersivo no mar**. 2007. 261 f. Tese (Doutorado) - Curso de Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2007. Disponível em: <<https://repositorio.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/17801/1/IreneTG.pdf>>. Acesso em: 10 abr. 2018.

GOMES, Ana P. P. **Gestão ambiental da água produzida na indústria de petróleo: melhores práticas e experiências internacionais**. 2014. 128 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Planejamento Energético, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <http://www.ppe.ufrj.br/pppe/production/tesis/gomes_ana.pdf>. Acesso em: 10 abr. 2018.

HOSNY, R.; FATHY, M.; RAMZI, M.; ABDEL MOGNY, Th.; DESOUKY, S. E.M.; SHAMA, S.A. Treatment of the oily produced water (OPW) using coagulant mixtures. **Egyptian Journal Of Petroleum**, [s.l.], v. 25, n. 3, p.391-396, set. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejpe.2015.09.006>.

JACKSON, Lorri.; MYRES, Jim. Alternative use of produced water in aquaculture and hydroponic systems at naval petroleum reserve N°. 3. Proceedings. The 2002 Ground Water Protection Council Produced Water Conference, Colorado Springs, CO, USA. (2002). Disponível em: < http://www.gwpc.org/sites/default/files/event-sessions/Lorri_Jackson_PWC2002_0.pdf>. Acesso em: 02 dez. 2018.

JIMÉNEZ, S. et al. State of the art of produced water treatment. **Chemosphere**, [s.l.], v. 192, p.186-208, fev. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.10.139>.

JIMÉNEZ, Silvia.; MICÓ, Maria M.; ARNALDOS, Marina.; FERRERO, Enrique.; MALFEITO, Jorge J.; MEDINA, Francisco. CONTRERAS, Sandra. Integrated processes for produced water polishing: Enhanced flotation/sedimentation combined with advanced

oxidation processes. **Chemosphere**, [s.l.], v. 168, p.309-317, fev. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.10.055>.

LI, Gang; GUO, Shuhai; ZHANG, Jiangwei; LIU, Yu. Inhibition of scale buildup during produced-water reuse: Optimization of inhibitors and application in the field. **Desalination**, [s.l.], v. 351, p.213-219, out. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.desal.2014.08.003>.

LI, Leiming; AL-MUNTASHERI, Ghaithan A.; LIANG, Feng. A review of crosslinked fracturing fluids prepared with produced water. **Petroleum**, [s.l.], v. 2, n. 4, p.313-323, dez. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.petlm.2016.10.001>.

LOURENÇO, Rafael André et al. Monitoring of polycyclic aromatic hydrocarbons in a produced water disposal area in the Potiguar Basin, Brazilian equatorial margin. **Environmental Science And Pollution Research**, [s.l.], v. 23, n. 17, p.17113-17122, 23 maio 2016. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11356-016-6903-y>.

MALLANTS, Dirk; SIMUNEK, Jirka; TORKZABAN, Saeed. Determining water quality requirements of coal seam gas produced water for sustainable irrigation. **Agricultural Water Management**, [s.l.], v. 189, p.52-69, jul. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2017.04.011>.

MARTEL-VALLES, José F.; BENAVIDES-MENDOZA A.; VALDEZ-AGUILAR L.A.; JUÁREZ-MALDONADO A.; RUIZ-TORRES N.A et al. Effect of the Application of Produced Water on the Growth, the Concentration of Minerals and Toxic Compounds in Tomato under Greenhouse. **Journal Of Environmental Protection**, [s.l.], v. 04, n. 07, p.138-146, 2013. Scientific Research Publishing, Inc.. <http://dx.doi.org/10.4236/jep.2013.47a016>.

MARTEL-VALLES, José F.; FOROUGHBAKCHK-POURNAVAB, Rahim.; BENAVIDES-MENDOZA, Adalberto. Produced waters of the oil industry as an alternative water source for food production. **Revista Internacional de Contaminación Ambiental**, [s.l.], v. 32, n. 4, p.463-475, 1 nov. 2016. Centro de Ciencias de la Atmosfera. <http://dx.doi.org/10.20937/rica.2016.32.04.10>.

MENESES, Ana C. M. A. de.; WEBER, Olmar B.; CRISÓSTOMO, Lindbergue A.; ANDRADE, Denis J. Biological soil attributes in oilseed crops irrigated with oilfield produced water in the semi-arid region. **Revista Ciência Agronômica**, [s.l.], v. 48, n. 2, p.231-241, 2017. GN1 Genesis Network. <http://dx.doi.org/10.5935/1806-6690.20170027>.

MOTTA, Albérico R. P.da.; BORGES, Cristiano P.; KIPERSTOK, Asher; ESQUERRE, Karla P.; ARAUJO, Pedro M.; BRANCO, Lucas P. N. Tratamento de água produzida de petróleo para remoção de óleo por processos de separação por membranas: revisão. **Engenharia Sanitária Ambiental**, Salvador, v. 18, n. 1, p.1-12, abr. 2013. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/esa/v18n1/a03v18n1>>. Acesso em: 10 abr. 2018.

NASIRI, Masoud; JAFARI, Iman; PARNIANKHOY, Behdad. Oil and Gas Produced Water Management: A Review of Treatment Technologies, Challenges, and Opportunities. **Chemical Engineering Communications**, [s.l.], v. 204, n. 8, p.990-1005, 17 maio 2017. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/00986445.2017.1330747>.

OLIVEIRA, Roberto Carlos Gonçalves de; OLIVEIRA, Marcia Cristina Khalil de. Remoção de contaminantes tóxicos dos efluentes líquidos oriundos da atividade de produção de petróleo no mar. **Bol. Téc. Petrobras**, Rio de Janeiro, v. 2, n. 43, p.129-136, jun. 2000.

PORTELLA, Andressa Yumi; FABIANOVICZ, Rosemari. **Bacia Potiguar: Sumário Geológico e Setores em Oferta**. Rio Grande do Norte: Anp, 2017. 23 p. Disponível em: <http://rodadas.anp.gov.br/arquivos/Round14/Mapas/sumarios/Sumario_Geologico_R14_Poti guar.pdf>. Acesso em: 23 jul. 2018.

SANTOS, Sylvana Melo dos; PAIVA, Anderson Luiz Ribeiro de; SILVA, Valdemir Ferreira da. QUALIDADE DA ÁGUA EM BARRAGEM SUBTERRÂNEA NO SEMIÁRIDO. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, [s.l.], v. 10, n. 3, p.651-662, 30 jun. 2016. INOVAGRI. <http://dx.doi.org/10.7127/rbai.v10n300394>.

SAPPINGTON, Emily N.; RIFAI, Hanadi S.. Low-frequency electromagnetic treatment of oilfield produced water for reuse in agriculture: effect on water quality, germination, and plant growth. **Environmental Science And Pollution Research**, [s.l.], v. 25, n. 34, p.34380-34391, 9 out. 2018. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1007/s11356-018-3343-x>.

SILVA, Ítalo N.; FONTES, Larissa de O.; TAVELLA, Leonardo B.; OLIVEIRA, Joaquim B.; OLIVEIRA, Alysson C. QUALIDADE DE ÁGUA NA IRRIGAÇÃO. **Agropecuária Científica no Semi-Árido**, Campina Grande, v. 7, n. 3, p.1-15, set. 2011.

SOUSA, Adervan F.; CRISOSTOMO, Lindbergue A.; WEBER, Olmar B.; ESCOBAR, Maria E.O.; OLIVEIRA, Teógenes S. Nutrient content in sunflowers irrigated with oil exploration water. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 29, n. 1, p.94-100, mar. 2016.

SRIKANTH, Sandipam; KUMAR, Manoj; PURI, S.k.. Bio-electrochemical system (BES) as an innovative approach for sustainable waste management in petroleum industry. **Bioresource Technology**, [s.l.], p.1-13, fev. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2018.02.059>.

UNITED STATES OF AMERICA. Resolução nº P.L. 107–303, de 27 de novembro de 2002. **Federal Water Pollution Control Act**. United States of America, Disponível em: <<https://www.epa.gov/sites/production/files/2017-08/documents/federal-water-pollution-control-act-508full.pdf>>. Acesso em: 22 nov. 2018.

VENKATESAN, Anand; WANKAT, Phillip C. Produced water desalination: An exploratory study. **Desalination**, [s.l.], v. 404, p.328-340, fev. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.desal.2016.11.013>.

ZHANG, Zheng; QIN, Yong. A preliminary investigation on water quality of coalbed natural gas produced water for beneficial uses: a case study in the Southern Qinshui Basin, North China. **Environmental Science And Pollution Research**, [s.l.], v. 25, n. 22, p.21589-21604, 21 maio 2018. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1007/s11356-018-2298-2>.