



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIAS
CURSO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA E AMBIENTAL

WELLYDA KEORLE BARROS DE LAVÔR

**UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO DE EFLUENTE EM UNIDADES
GOTEJADORAS APLICANDO ÁGUA PRODUZIDA DO PETRÓLEO TRATADA**

MOSSORÓ

2019

WELLYDA KEORLE BARROS DE LAVÔR

**UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO DE EFLUENTE EM UNIDADES
GOTEJADORAS APLICANDO ÁGUA PRODUZIDA DO PETRÓLEO TRATADA**

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido, campus Mossoró, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Agrícola e Ambiental.

Orientador: Rafael Oliveira Batista, Prof. Dr.
Coorientador: Hudson Salatiel Marques Vale, Dr.

MOSSORÓ

2019

©Todos os direitos estão reservados à Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996, e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata, exceto as pesquisas que estejam vinculadas ao processo de patenteamento. Esta investigação será base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) seja devidamente citado e mencionado os seus créditos bibliográficos.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca Central Orlando Teixeira (BCOT)
Setor de Informação e Referência (SIR)

d de Lavor, Wellyda Keorle Barros.
414 Uniformidade de distribuição de efluente em
unidades gotejadoras aplicando água produzida do
Lavou petróleo tratada / Wellyda Keorle Barros de Lavor.
- 2019.
55 f. : il.

Orientador: Rafael Oliveira Batista.
Coorientador: Hudson Salatiel Marques Vale.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia
Agrícola e Ambiental, 2019.

1. Desempenho. 2. Emissores. 3. Entupimento.
I. Batista, Rafael Oliveira, orient. II. Vale,
Hudson Salatiel Marques, co-orient. III. Título.

Setor de Informação e Referência

Bibliotecário-Documentalista
Nome do profissional, Bib. Me. (CRB-15/10.000)

WELLYDA KEORLE BARROS DE LAVÔR

**UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO DE EFLUENTE EM UNIDADES
GOTEJADORAS APLICANDO ÁGUA PRODUZIDA DO PETRÓLEO TRATADA**

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido, campus Mossoró, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Agrícola e Ambiental.

Defendida em: 02/08/2019.

BANCA EXAMINADORA



Rafael Oliveira Batista, Prof. Dr. (UFERSA)
Presidente



Danniely de Oliveira Costa, Dra.
Membro Examinador



Hudson Salatiel Marques Vale, Dr.
Membro Examinador

*À meu irmão Rapahel Magno Barros de Lavôr que em vida durante os 23 anos de convivência
sempre me apoiou e me deu todo amor e carinho que eu precisava.*
(In Memoriam)

*Aos meus pais Raimundo Cordeiro de Lavôr Neto e Maria das Graças Barros dos Santos,
sem eles eu nada seria e essa conquista é deles também.*

AGRADECIMENTOS

Foram cinco anos composto por vários momentos, esses anos me fizeram crescer, amadureci, sai da casa dos meus pais, do meu estado para fazer uma graduação, de início foi assustador, por que eu era apenas uma menina sem nem saber direito o caminho que tinha escolhido para seguir. Nesses cinco anos eu passei por várias situações seja alegres ou tristes, e um momento dos mais complicado da minha vida, um momento de dor, eu perdi o exemplo mais alegre e feliz de ser humano que eu tinha pertinho de mim, perdi o meu irmão Raphael um homem que eu tenho grande orgulho de ter tido ao meu lado, mesmo com toda tristeza no peito Deus me amparou, e esteve sempre ao meu lado, me dando toda a força necessária pra me fazer continuar, e é a ele que primeiramente agradeço, Obrigada meu Deus por todo seu amor.

Gratidão eu tenho por minha família, aos meus pais Graça e Lavôr que são as pessoas mais importantes da minha vida, as pessoas que mais acreditaram em mim, que sempre torceram pelo meu sucesso, a minha base, meu porto seguro, os meus maiores incentivadores, eles são o meu maior exemplo, assim como meus pais, agradeço também aos meus irmãos Raphael (in memoriam) e Rommel que sempre me apoiaram, me deram carinho, cuidaram de mim e aos meus sobrinhos Kauam, Kaio e Bianca.

Agradecer ao meu avô Francisco, meu Chiquinho que também esteve ao meu lado e me apoiou mesmo sem nem entender o significado e a importância de fazer uma faculdade. Gratidão aos meus tios em especial a minha tia Marilene que é minha segunda mãe, agradecer por todos os meus primos em especial as minhas primas irmãs Mariana, Fabiana e Jessica por todo carinho.

Gratidão as minhas amigas Daiane, Tamires e Samara que por esses 5 anos me receberam com todo carinho, dividimos apartamento, dividimos vidas, dividimos vários momentos. Gratidão ao meu amigo irmão Paulo que sempre esteve ao meu lado, uma pessoa que sempre me deu apoio e carinho nos momentos felizes e principalmente nos mais complicados. Agradecer ao CL um amigo especial que também me apoiou me deu carinho e vários momentos de alegria.

Aos meus amigos que a UFERSA me presenteou que fazem parte da reunião ufersiana, família do laboratório, em especial a Raionara, Rita, Audilene, Emmila, Leonardo, Henrique, Ricardo e Toni, amigos que levarei para a vida.

Agradecer a todos os professores por todo conhecimento passado, em especial ao professor e orientador Rafael Oliveira, por todo acompanhamento e apoio no meu desenvolvimento acadêmico e gratidão a UFERSA, por proporcionar a realização de um sonho.

Obrigada a todos!

“Quando você sonha alto todos os passos parecem ser o primeiro, então esse é só o primeiro passo, mais uma vez...”

Projota

RESUMO

O sistema de irrigação por gotejamento possui alta vulnerabilidade quando aplica águas residuárias, isso acontece devido à interação dos agentes físicos, químicos e biológicos que estimulam o processo de entupimento, comprometendo, assim, o desempenho e a eficiência do sistema de irrigação. Diante do exposto, o presente trabalho teve como objetivo estudar os efeitos da água produzida tratada e diluída em água de poço na alteração do coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) de efluente de emissores não autocompensantes. Para isso foi montada uma bancada experimental com um sistema de irrigação por gotejamento, sendo este dividido em três unidades gotejadoras, com três tipos de emissores não autocompensantes G1(NetafimSuperTyphoon - $1,6 \text{ L h}^{-1}$), G2 (NetafimStreamline - $1,6 \text{ L h}^{-1}$) e G3 (NaanDanJainTalDrip - $1,7 \text{ L h}^{-1}$). O abastecimento do sistema foi realizado com água produzida de petróleo tratada com polieletrólito e diluída em água de poço. Foram determinados os valores dos atributos físicos, químicos e microbiológicos do efluente tratado e diluído nos tempos de operação de 0, 80 e 160 horas com a finalidade de classificar os agentes ocasionadores de obstrução dos emissores. Transcorrida às 160 horas de operação das unidades gotejadoras, os valores de CUD foram de 87, 43 e 92% nas unidades gotejadoras com emissores NetafimSuperTyphoon, NetafimStreamline e NaanDanJainTalDrip, sendo classificados como bom, ruim e excelente, respectivamente. A unidade dotada do emissor NetafimStreamline foi a mais suscetível ao processo de entupimento.

Palavras-chave: Desempenho. Emissores. Entupimento

ABSTRACT

The drip irrigation system is highly vulnerable when applying wastewater, this happens due to the interaction of physical, chemical and biological agents that stimulate the clogging process, thus compromising the performance and efficiency of the irrigation system. Given the foregoing, the present study aimed to investigate the effects of treated water produced and diluted in well water in changing the distribution uniformity coefficient (CUD) of effluent from non-self-compensating emitters. An experimental bench was mounted with a drip irrigation system, which is divided into three drip units with three types of non self-compensating emitters G1 (Netafim SuperTyphoon - 1.6 L h⁻¹), G2 (Netafim Streamline - 1.6 L h⁻¹) and G3 (NaanDanJain TalDrip - 1.7 L h⁻¹). The system was supplied with water produced from oil treated with polyelectrolyte and diluted in well water. Values were determined from the chemical, microbiological and physical attributes of the treated effluent and diluted in running times of 0, 80 and 160 hours with the purpose of classifying agents that cause emitters' obstruction. After 160 operating the dripper units, CUD values were 87, 43 and 92% in the dripper units with Netafim SuperTyphoon, Netafim Streamline and NaanDanJain TalDrip emitters, being rated as good, poor and excellent, respectively. The unit equipped with the Netafim Streamline emitter was the most susceptible to the clogging process.

Keywords: Performance. Emitters. Clogging.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Reservatório esquemático de óleo	19
Figura 2. Apresentação de uma linha de gotejador em funcionamento	27
Figura 3. Formação do biofilme dentro (a) e fora (b) dos gotejadores obstruídos com água residuária da despolpa dos frutos do cafeeiro.....	31
Figura 4. Imagem de satélite da área experimental do Laboratório de Construções Rurais e Ambiência no câmpus Leste da Universidade Federal Rural do Semi - Árido (UFERSA) em Mossoró-RN	33
Figura 5. Esquema da bancada experimental	34
Figura 6. Imagem da distribuição das três unidades gotejadoras	35
Figura 7. Desempenho do CUD em função do tempo	43
Figura 8. Imagens do biofilme no interior dos gotejadores G1 (A), G2 (B) e G3 (C) que aplicaram água produzida de petróleo diluída, durante 160 h.....	46
Figura 9. Morfologias obtidas por microscopia eletrônica de varredura: (a)escalas de 200 µm, (b)100 µm,(c) 50 µm e (d)20 µm	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Caracterização da água produzida sem tratamento coletada em Mossoró – RN	21
Tabela 2. Especificações técnicas e imagens dos gotejadores não autocompensantes ensaiados por 200 h com água produzida do petróleo diluída em água de poço.....	35
Tabela 3. Valores e médias das características físico-químicas e microbiológicas da água produzida tratada diluída em água de poço	39
Tabela 4. Análise de variância do coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) de um sistema de irrigação por gotejamento que operou com água produzida tratada e diluída, durante 160 h	45
Tabela 5. Teste de Tukey, a 5% de probabilidade, para a variável coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) do sistema de irrigação por gotejo trabalhando com água produzida tratada diluída, durante 160 h	45
Tabela 6. Equações de regressão da variável CUD em função do tempo de operação da unidade de irrigação operando com água produzida tratada diluída	46

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Parâmetros de lançamento de efluentes tratados nos corpos hídricos	23
Quadro 2. Parâmetros orgânicos de efluentes tratados nos corpos hídricos	24
Quadro 3. Parâmetros de disposição dos resíduos em solos e em águas subterrâneas	25

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANP	Agencia Nacional de Petróleo
AP	Água produzida
CACIM	Centro de Análises Clínicas e Imunológicas de Mossoró
CAERN	Companhia de Água e Esgoto do Rio Grande do Norte
CE	Condutividade Elétrica
COEMA	Conselho Estadual do Meio Ambiente
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CT	Coliformes Totais
CUD	Coeficiente de Uniformidade de Distribuição
DECAF	Departamento de Ciências Agronômicas e Florestais
DIC	Delineamento Inteiramente Casualizado
EDS	Espectroscopia de Energia Dispersiva
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
LABTAM	Laboratório de Tecnologia Ambiental
LASAP	Laboratório de Análise de Solo, Água e Planta
MEV	Microscopia Eletrônica por Varredura
pH	Potencial Hidrogeniônico
PIB	Produto Interno Bruto
PVC	Policloreto de vinila
RAS	Relação de Adsorção de Sódio
RN	Rio Grande do Norte
SST	Sólidos Suspensos Totais
TDS	Sólidos Totais Dissolvidos
UFERSA	Universidade Federal Rural do Semi-Árido
UFRN	Universidade Federal do Rio Grande do Norte

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 OBJETIVOS	16
2.1 Objetivo geral	16
2.2 Objetivos específicos	16
3. REVISÃO DE LITERATURA	17
3.1 A importância do petróleo para o estado do Rio Grande do Norte	17
3.2 Água produzida de petróleo: origem, definição e caracterização	18
3.3 Técnicas de tratamentos da água produzida	21
3.4 Legislações aplicadas ao lançamento e descarte de água produzida	23
3.5 Importâncias do reúso para o semiárido	26
3.6 Características básicas dos sistemas de irrigação por gotejamento.....	27
3.6.1 Gotejadores autocompensantes e não autocompensantes.....	28
3.6.2 Combinação dos agentes ocasionadores de obstrução	30
3.6.3 Efeitos do entupimento de gotejadores no desempenho hidráulico de sistemas de irrigação por gotejamento.....	31
4 MATERIAL E MÉTODOS	33
4.1 Descrição da área experimental	33
4.2 Montagem da bancada experimental e detalhes dos materiais utilizados.	34
4.3 Descrição do monitoramento das unidades gotejadoras	35
4.4 Caracterização do material ocasionador de obstrução dos emissores	37
4.5 Delineamento experimental e análise estatística dos dados.....	38
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
5.1 Análises físico-químicas e microbiológicas da água produzida tratada e diluída em água de poço	39
5.2 Desempenho do Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD)	42
5.3 Caracterização do material de ocasionador de obstrução nos gotejadores	46
6 CONCLUSÕES	49
7 REFERÊNCIAS	50

1 INTRODUÇÃO

O petróleo é um recurso energético de grande importância para a economia do país proporcionando o desenvolvimento da sociedade. É uma substância geradora de diversas atividades, e é utilizado principalmente como combustível para automóveis por meio da comercialização da gasolina e do óleo diesel.

De acordo com Silva (2013), o petróleo é visto como uma fonte de energia de grande influência no dinamismo da população. Por outro lado, em questões ambientais a sua exploração é uma das principais formas de contaminação ambiental, pois durante os processos de extração, refino, transporte e consumo de seus derivados ocorre a geração e lançamento de quantidades significativas de substâncias contaminantes no ambiente.

Durante as atividades de exploração do petróleo a água produzida que encontra-se aprisionada nas formações subterrâneas, é transportada para a superfície juntamente com gás e óleo de forma simultânea. Para a comercialização do óleo e gás é feita a separação desses fluidos, a água produzida separada pode ser descartada, reinjetada no poço ou reutilizada, após o tratamento adequado. A destinação final desse líquido é fator limitante, já que sua composição apresenta uma mistura de elementos tóxicos ao meio ambiente, capaz de gerar impactos ambientais negativos ao meio físico, biótico e antrópico.

Diante desse cenário de toxicidade da água produzida, é necessário para a sua destinação final (reinjeção, reúso ou descarte) que seja feito o tratamento adequado do efluente atendendo as exigências impostas pela legislação ambiental vigente, de forma que as características físicas, químicas e biológicas do local não sejam alteradas.

O estado do Rio Grande do Norte se encontra entre os maiores produtores de petróleo do Brasil, e consequentemente é responsável por gerar elevado volume de água produzida. Diante a disponibilidade desse efluente, e tendo em vista a escassez hídrica presente na região do semiárido nordestino, o uso agrícola da água produzida tratada se apresenta como uma alternativa válida e atrativa para regiões com baixo índice pluviométrico.

A água produzida de petróleo tratada quando segue as exigências da legislação ambiental apresenta potencial para que seja utilizado o aproveitamento agrícola de culturas para fins energéticos e ornamentais (BATISTA et al., 2018).

Entre os sistemas de irrigação, o mais indicado para se operar com água residuária é o sistema de irrigação localizado por gotejamento. Quando bem manejado apresenta alta eficiência de aplicação do efluente e menor risco de contaminação ambiental, devido a não geração de aerossol e baixa probabilidade de ocorrência de lixiviação e de escoamento

superficial. Porém os emissores deste tipo de sistema apresentam grande suscetibilidade ao entupimento, devido à interação dos fatores químicos, físicos e biológicos existentes nas águas residuárias, como também as características de fábrica dos gotejadores, que também podem interferir no processo de entupimento.

Diante o exposto, deve-se ressaltar que água produzida do petróleo, quando submetida ao tratamento e manejo adequados, pode ser utilizada para fins de reúso agrícola de forma restrita. No entanto, informações técnicas e científicas sobre o desempenho de sistemas de irrigação por gotejamento com água produzida do petróleo são incipientes tanto em nível nacional quanto internacional, o que evidencia o caráter de ineditismo das informações apresentadas no presente trabalho.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Estudar os efeitos da água produzida tratada e diluída em água de poço na alteração do coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) de efluente de unidades gotejadoras dotadas de três tipos de emissores não autocompensantes.

2.2 Objetivos específicos

- Analisar o comportamento do coeficiente de uniformidade de distribuição de efluente, ao longo do período de operação;
- Avaliar o risco de obstrução de gotejadores com base nos atributos físico-químicos e microbiológicos do efluente; e
- Caracterizar a formação de biofilme no interior dos gotejadores, após 160 h de aplicação da água produzida tratada e diluída, por meio de registros fotográficos e microscopia eletrônica de varredura.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 A importância do petróleo para o estado do Rio Grande do Norte

O petróleo é um líquido oleoso, inflamável, oriundo de materiais fósseis que se depositam ao longo dos anos em camadas do subsolo, possui densidade menor que a água e sua coloração podem variar de incolor a preto (ANP, 2019).

Segundo Million (2009), o petróleo é caracterizado como líquido viscoso na sua maioria de coloração escura e incidência natural composto de enxofre, nitrogênio, oxigênio, metais e outros elementos que variam de lugar para lugar. A extração do petróleo pode ser realizada em solo (*onshore*) ou abaixo do assoalho do mar (*offshore*), a sua exploração comercial demanda anos de investimento e preparação dependendo da sua localização e da forma como os reservatórios se apresentam; por se tratar de um produto com grande valor energético tornou-se matriz energética do mundo (ANP, 2015).

O petróleo por apresentar alto valor energético é visto como insumo de vários setores industriais seja automobilístico, têxtil, agrícola, químico, dentre outros, principalmente por gerar derivados, como o gás liquefeito, gasolina, óleo diesel, querosene, nafta, óleos combustíveis, lubrificante e combustível marinho, os quais aquecem a economia mundial; assim o petróleo é uma matéria prima de grande importância por possuir esta vasta aplicabilidade na indústria o que o torna de difícil substituição para a produção industrial (GOMES, 2014).

No ranking sobre os maiores produtores de petróleo no mundo, o Brasil ocupava a décima terceira posição até o ano de 2014 (ANP, 2015) atualmente ele está entre os 10 maiores produtores de petróleo ocupando a 10ª posição com produção média de 2,7 milhões de barris de petróleo (óleo e gás) por dia, tendo uma representatividade de 2,8% da produção total no mundo, os Estados Unidos é o maior produtor seguido da Arábia Saudita e Rússia. O ranking foi realizado pela Agência Internacional de Energia (EIA) de acordo com dados de 2017 (ANP, 2019). No Brasil o estado do Rio Grande do Norte (RN) se encontra entre os maiores estados produtores de óleo e gás ocupando a 4ª posição gerando 14,70 milhões de barris no ano de 2018. Além disso, é o estado brasileiro com maior produção de petróleo em solo, gerando 12,83 milhões de barris nesse mesmo ano. , até o ano de 2017 possuía 4.161 poços produtores e 7.108 poços perfurados (ANP, 2019).

No estado do Rio Grande do Norte os campos petrolíferos estão localizados sobre a bacia potiguar localizada ao nordeste da margem continental brasileira, incluindo campos

terrestres e marítimos. A produção se desenvolve nos municípios de Afonso Bezerra, Alto do Rodrigues, Apodi, Areia Branca, Assú, Caraúbas, Carnaubais, Felipe Guerra, Gov. Dix-Sept Rosado, Guamaré, Macau, Mossoró, Pendências, Porto do Mangue, Serra do Mel e Upanema, de acordo com dados estatísticos adquiridos pela ANP (2016).

Diante desse cenário de disponibilidade desse recurso para o estado do Rio Grande do Norte as indústrias petrolíferas se tornaram um dos setores de grande poder econômico, capaz de mudar o cenário socioeconômico da região. Estas indústrias geraram serviços de hotelaria, mecânica e borracharia, serviços na construção de instalações, de estradas e pontes, entre outros, proporcionando o desenvolvimento e crescimento da região (ROCHA, 2013).

A atividade petrolífera possui grande representatividade diante da economia estatal, isso se dá por favorecer o aumento do produto interno bruto (PIB) da região e consequentemente o desenvolvimento local, devido ao aumento da disponibilidade de empregos e dos repasses dos *royalties* para o estado (DOMINGOS, 2017).

De acordo com Serra (2007), a exploração e produção do petróleo além de gerar aumento da renda local afetando as regiões vizinhas aumentam também o índice de desenvolvimento humano (IDH) da região, devido à geração de empregos, bem como o aumento da contratação de serviços, vendas de mercadorias e consequentemente elevação na arrecadação de impostos, fatores estes que afetam de maneira positiva o desenvolvimento e melhoria na qualidade de vida das pessoas.

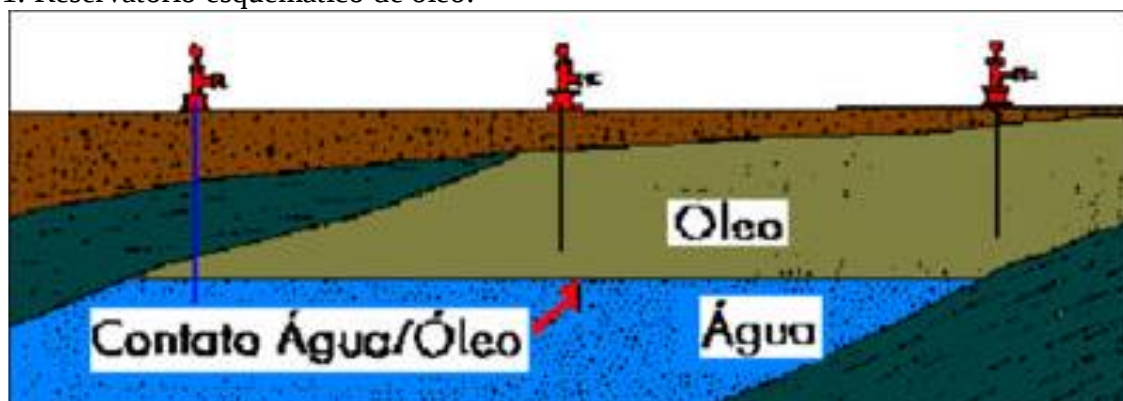
3.2 Água produzida de petróleo: origem, definição e caracterização

Fakhru'l-Raziet al. (2009) referem-se como água residuária de petróleo ou água produzida o efluente gerado no processo de produção de forma simultânea de gás natural e petróleo, é denotado dessa forma quando é encontrado na superfície do solo uma mistura do material extraído do reservatório junto com a água do poço produtor, água de condensação e de injeção dos processos de recuperação secundária e a água utilizada para dessalinização do petróleo produzido.

Como relatado por Silva (2000) a origem básica da água produzida juntamente com o petróleo está relacionada às 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 tende a reunir os condicionantes necessários para o aparecimento do petróleo nas rochas matrizes.

O petróleo gerado é acumulado durante anos pelas rochas reservatório, a sua concentração pode segregar-se da água ou manter contato com aquíferos(SILVA, 2000) como mostra aFigura 1.

Figura 1. Reservatório esquemático de óleo.



Fonte: Silva (2000).

Para Aminiet al. (2012) a água produzida de petróleo trata-se de uma água aprisionada em formações subterrâneas que é trazida para a superfície acompanhada de petróleo e gás, durante o processo de produção, em termos quantitativos a água produzida configura-se com o maior volume gerado de corrente de efluentes líquidos originado durante as atividades de produção. Motta et al. (2013) relacionam a água produzida como sendo subproduto gerado pela produção simultânea de petróleo e gás.

O volume de água produzida gerado durante o processo de produção petrolífera possui características diversas de acordo com a idade do reservatório, quanto mais antigo for o reservatório, maior o volume do efluente (NEFF et al., 2011). Esta água produzida pode alcançar até 100% de ocupação do poço, conforme o poço chegue ao fim da sua vida útil de produção; o poço é denominado de maduro, quando ocorre diminuição na produção de óleo e gás e aumento da água produzida(SILVA, 2000).

Conforme dados obtidos pela ANP (2017) somando as produções *onshore* e *offshore* de petróleo, no mês de fevereiro de 2017 o Brasil produzia cerca de 2,67 milhões de barris de petróleo por dia registrando cerca de 3,99 milhões de barris de água, ou seja, uma proporção de 1,5 barris de água para cada barril de petróleo. No estado do Rio Grande do Norte a bacia potiguar na produção *onshore* é o maior produtor de água produzida gerando mais de um milhão de barris por dia (bbl/dia) desse efluente, em seguida o Recôncavo Baiano com 492.000 bbl/dia, Sergipe 284.000 bbl/dia, Espírito Santo 362.000 bbl/dia, Amazonas 21.523

bbl/dia e Alagoas 6.147 bbl/dia. E na produção *offshore* a bacia potiguar é o segundo maior produtor com 27.641,5 bbl/dia, em primeiro encontra-se a bacia de Campos com 1,98 bbl/dia.

Desta forma, a água residuária que não agrega valor econômico e que possui o maior volume é descartada, injetada ou reutilizada, tendo a necessidade de receber tratamento adequado para atender as demandas ambientais, já que sua composição é prejudicial ao meio ambiente (MOTTA et al., 2013).

Segundo Borges (2017), a composição da água produzida apresenta variações consideráveis de acordo com a formação geológica e o local onde se encontra o reservatório explorado; os constituintes envolvidos são sais da formação, gases dissolvidos, sólidos em suspensão, compostos orgânicos originados pelo contato com o óleo, bem como compostos químicos residuais das operações no poço, microrganismos e até mesmo presença de metais pesados.

Conforme Neff et al. (2011) a composição da água produzida se trata de uma mistura bastante complexa de compostos químicos, físicos e inorgânicos. As propriedades físicas e químicas variam de acordo com a profundidade do reservatório, com as características geoquímicas, com os tipos de formação rochosa da área e com a idade do poço, fatores estes que também interferem na composição dos fluidos (HOSSEINI et al., 2012).

A salinidade é outra característica presente na composição química da água produzida, altos teores de salinidade representam toxicidade do efluente podendo chegar a níveis superiores a 300 mg L⁻¹; comparado com a água do mar a água produzida se torna mais salina, devido a dissolução do sal presente na constituição rochosa, durante o represamento, tornando assim essa água mais densa do que a água do mar (FARAG; HARPER, 2014). Outros constituintes responsáveis pelo aumento da salinidade, conforme Neff et al. (2011) são os compostos formados a partir do cloreto, sódio, magnésio, potássio, sulfeto, brometo, iodeto e amônia.

Os metais pesados como bário, boro, manganês, mercúrio, cádmio, cobre, níquel, chumbo e zinco fazem parte da composição da água produzida do petróleo, seja na forma dissolvida ou em micropartículas. A concentração dessas substâncias varia com o tempo e com a geologia do reservatório (ELKINS et al., 2005).

De todos os constituintes presentes na água produzida os compostos orgânicos são os que se apresentam em maiores teores, dentre eles estão presentes os hidrocarbonetos de petróleo, ácidos carboxílicos e fenóis, substâncias nocivas ao meio ambiente (NEFF et al., 2011).

Na Tabela 1 estão apresentadas as características físico-químicas de uma amostra de água produzida não tratada adquirida no município de Mossoró – RN.

Tabela 1. Caracterização da água produzida sem tratamento coletada em Mossoró – RN.

Características									
pH	SS	SP	ST	DBO ₅ ²⁰	DQO	SD	CE	K ⁺	Na ⁺
				mg L ⁻¹			dS m ⁻¹	mmol _c L ⁻¹	
5,6	5120	0	50988	239	1315	45868	84,8	10,89	650,76
Características									
Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	Fe	Mn	Zn	Cu	Pb	Ni	Cd
	mmol _c L ⁻¹					mg L ⁻¹			
135	30	755	46,84	3,245	0,169	0	0,27	0,776	0,133

Nota: pH – Potencial Hidrogeniônico; SS - Sólidos em Suspensão; SP - Sólidos Decantáveis; ST - Sólidos Totais; DBO₅²⁰ - Demanda Bioquímica de Oxigênio; DQO – Demanda Química de Oxigênio; SD - Sólidos dissolvidos; CE - Condutividade elétrica; K⁺ - Potássio; Na⁺ - Sódio; Ca²⁺ - Cálcio; Mg²⁺ - Magnésio; Cl⁻ - Cloreto; Fe – Ferro total; Mn – Manganês total; Zn – Zinco; Cu – Cobre; Pb – Chumbo; Ni – Níquel; e Cd - Cádmio.

Fonte: Batista et al., (2018).

Diante do conhecimento da composição da água produzida do petróleo, observa-se que o fluido apresenta alta toxicidade, devido às misturas de seus constituintes que são prejudiciais ao meio ambiente, desta forma para fazer a destinação final, seja ela para descarte, injeção ou reúso, o tratamento do efluente deve ser realizado de forma a atender a legislação vigente (FERREIRA, 2016).

A água produzida pode ocasionar a contaminação de aquíferos, solos, rios e mares, como também prejudicar a fauna e a flora pelo fato de conter elementos em sua composição que podem impactar esses ecossistemas, como por exemplo, a alta salinidade que se trata de um dos maiores responsáveis por esses impactos nos corpos hídricos e no solo, o tornando improdutivo para a agricultura. Outro fator é a toxicidade da água que pode afetar a autopurificação dos rios favorecendo o surgimento de lamas, e os metais pesados que são os responsáveis pela bioacumulação da cadeia alimentar (SILVA, 2000).

3.3 Técnicas de tratamentos da água produzida

Durante a perfuração do poço de produção de petróleo, são encontrados de forma simultânea água, gás e óleo. Visando a melhor qualidade física e química dessa água para que seja feita a destinação final de forma correta minimizando a degradação do meio ambiente é necessário que o efluente passe por processos de tratamento adequados (THOMAS, 2001).

Tratar a água produzida segundo Arthur et al. (2005) consiste na remoção de compostos orgânicos solúveis, sólidos suspensos, turbidez, gases dissolvidos, desinfecção para remover as bactérias e algas, dessalinização para remover os sais dissolvidos, sulfatos, nitratos e agentes de incrustação, remoção de materiais radioativos e ajuste da relação de adsorção de sódio (RAS).

Existem vários métodos de tratamentos para a água produzida dentre eles:

❖ Separadores gravitacionais

São tanques de decantação em tamanhos grandes, a separação de óleo com a água se dá devido à densidade do óleo ser menor que a da água fazendo com que o óleo fique depositado na superfície da água facilitando a sua separação e reduzindo assim a quantidade de óleo presente no efluente (BORGES, 2017).

❖ Flotação

É um dos sistemas mais utilizados pelas indústrias por ser um processo de fácil manutenção e operação, seu funcionamento acontece de forma gravitacional. Primeiramente ocorre a geração de bolhas gasosas dentro do efluente, em seguida as bolhas formadas colidem com o óleo espalhado sobre a superfície da água se associando com as mesmas, sendo assim na superfície do flotador ocorre a elevação do material formado pelas bolhas e gotículas de óleo e para finalizar é feita a recuperação do fluido mais viscoso (THOMAS, 2004).

❖ Osmose reversa

Trata-se de um sistema de tratamento avançado que representa o movimento natural do fluxo do solvente do ambiente mais concentrado para o ambiente menos concentrado por meio de uma membrana semipermeável que permite a passagem do solvente e a concentração do soluto. Esse sistema é muito utilizado em refinarias de petróleo. Para que não ocorra desgastes da membrana é necessário que a água produzida passe por tratamentos preliminares, favorecendo o aumento da eficiência do sistema. Sobre pressões elevadas dentro do sistema os sais dissolvidos, bactérias, pesticidas, vírus, contaminantes orgânicos, sílica, coloides e outros elementos contaminadores são eliminados (NUVOLARI; COSTA, 2010).

❖ Tratamentos químicos

Os tratamentos químicos são feitos por meio de um conjunto de métodos que desestruturam as estruturas da mistura de óleo e água, sendo este um dos tratamentos muito

utilizados, dentre estes tratamentos químicos estão à oxidação química, processos eletroquímicos, tratamentos com ozônio, entre outros (FERREIRA, 2016).

3.4 Legislações aplicadas ao lançamento e descarte de água produzida

Diante da elevada toxicidade que as águas residuárias sem tratamento possuem caso sejam descartadas no meio ambiente, a legislação brasileira no decorrer dos anos estabeleceu limites relacionados aos lançamentos desses efluentes tratados de forma que não alterasse a qualidade ambiental (BATISTA et al., 2018).

O CONAMA 430/2011 (BRASIL, 2011) é uma resolução que dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes. Essa resolução apresenta os parâmetros aceitáveis da quantidade de cada elemento presente nos efluentes industriais tratados que podem ser lançados nos corpos hídricos receptores, como mostram os Quadros 1 e 2.

Quadro 1. Parâmetros de lançamento de efluentes tratados nos corpos hídricos.

Parâmetros inorgânicos	Valores máximos (mg L ⁻¹)
Arsênio total	0,50
Bário total	5,00
Boro total (Não se aplica para o lançamento em águas salinas)	5,00
Cádmio total	0,20
Chumbo total	0,50
Cianeto total	1,00
Cianeto livre (destilável por ácidos fracos)	0,20
Cobre dissolvido	1,00
Cromo hexavalente	0,10
Cromo trivalente	1,00
Estanho total	4,00
Ferro dissolvido	15,00
Fluoreto total	10,00
Manganês dissolvido	1,00
Mercurio total	0,01
Níquel total	2,00
Nitrogênio amoniacal total	20,00
Prata total	0,10
Selênio total	0,30
Sulfeto	1,00
Zinco total	5,00

Fonte: Resolução CONAMA nº 430/2011 (BRASIL, 2011).

Quadro 2. Parâmetros orgânicos de efluentes tratados nos corpos hídricos.

Parâmetros Orgânicos	Valores máximos (mg L ⁻¹)
Benzeno	1,20
Clorofórmio	1,00
Dicloroeteno (somatório de 1,1 + 1,2cis + 1,2 trans)	1,00
Estireno	0,07
Etilbenzeno	0,84
fenóis totais (substâncias que reagem com 4-aminoantipirina)	0,50
Tetracloroeto de carbono	1,00
Tricloroeteno	1,00
Tolueno	1,20
Xileno	1,60

Fonte: Resolução CONAMA nº 430/2011 (BRASIL, 2011).

O artigo 16 da resolução CONAMA 430/2011 trata sobre os parâmetros que podem ser usados como critério para o lançamento de água residuária do petróleo tratada em corpos hídricos, desde que obedeçam aos limites dos níveis para pH (5 a 9), temperatura (< 40°C), sólidos sedimentáveis (< 1 mL L⁻¹), óleos minerais (< 20 mg L⁻¹), bário (< 5,0 mg L⁻¹), benzeno (< 1,2 mg L⁻¹), etilbenzeno (0,84 mg L⁻¹), fenóis totais (< 0,5 mg L⁻¹), tolueno (< 1,2 mg L⁻¹) e xileno (< 1,6 mg L⁻¹) impostos pela resolução (BRASIL, 2011).

A Resolução CONAMA nº 420/2009 trata sobre os padrões de qualidade do solo e de águas subterrâneas diante a presença de substâncias químicas, no qual estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental das áreas que foram contaminadas por intervenção de ações antrópicas (BRASIL, 2009). No Quadro 3 estão apresentados os valores orientadores para destinação final dos resíduos em solos e em águas subterrâneas.

Quadro 3. Parâmetros de disposição dos resíduos em solos e em águas subterrâneas.

Substâncias	Solo (mg kg ⁻¹ de peso seco)		Água Subterrânea (µg L ⁻¹)
	Prevenção	Investigação em área agrícolas	Investigação
Inorgânicos			
Alumínio	-	-	3.500
Antimônio	2	5	5
Arsênio	15	35	10
Bário	150	300	700
Boro	-	-	500
Cádmio	1,3	3	5
Chumbo	72	180	10
Cobalto	25	35	70
Cobre	60	200	2.000
Cromo	75	150	50
Ferro	-	-	2.450
Manganês	-	-	400
Mercurio	0,5	12	1
Molibdênio	30	50	70
Níquel	30	70	20
Nitrato (como N)	-	-	10.000
Prata	2	25	50
Selênio	5	-	10
Vanádio	-	-	-
Zinco	300	450	1.050
Hidrocarbonetos aromáticos voláteis			
Benzeno	0,03	0,06	5
Estireno	0,2	15	20
Etilbenzeno	6,2	35	300
Tolueno	0,14	30	700
Xilenos	0,13	25	500

Fonte: Resolução CONAMA n° 420/2009 (BRASIL, 2009).

A Resolução CONAMA 393/2007 que dispõe sobre o descarte contínuo de água de processo ou de produção em plataformas marítimas de petróleo e gás natural. Conforme o artigo 4 dessa resolução a água produzida só poderá ser descartada no mar de forma direta ou indireta se obedecer às condições exigidas na resolução; ainda no artigo 5 desta resolução é relatado que a água produzida deverá atender à exigência de concentração de média simples mensal de óleos e graxas de até 29 mgL⁻¹ e o máximo valor diário de 42 mgL⁻¹ (BRASIL, 2007).

Para o reúso da água produzida tratada na irrigação, não existem regulamentações que especifiquem a qualidade essencial desse efluente. De acordo com Veil et al. (2004), para a

água produzida tratada ser utilizada na agricultura é recomendado um limite de 500 mg L⁻¹ de sólidos dissolvidos e de 0,05 mg L⁻¹ de óleos presentes na mesma.

A Agência Nacional de Petróleo (ANP) é o órgão responsável pela fiscalização e regulação das atividades petrolíferas, atuando como agentes punitivos, caso o empreendimento não cumpra as recomendações propostas nas resoluções (NASCIMENTO, 2009).

3.5 Importâncias do reúso para o semiárido

Na maioria das vezes o descarte da água residuária de petróleo tratada é o destino mais simples e o mais utilizado pelas indústrias, por outro lado existem outras formas de destinação do efluente, como o uso da técnica de reinjeção da água produzida no poço, como também a prática do reúso (FERREIRA, 2016).

O reúso da água produzida tem grande destaque uma vez que a disponibilidade é alta e a mesma possui elevado potencial poluidor, o que remete a necessidade de tratá-la e utilizá-la de forma sustentável. Tendo em vista a grande escassez de água em algumas regiões brasileiras, o uso agrícola da água produzida tratada seria de grande importância para suprir as necessidades hídricas dessas regiões já que a água é um elemento limitante ao desenvolvimento industrial e agrícola (XAVIER et al., 2010).

A região Nordeste do Brasil é onde se encontra em sua maioria as regiões com baixo índice pluviométrico, entre elas o estado do Rio Grande do Norte (RN). Essa região veio mostrando nos últimos anos uma crise hídrica devido ao baixo índice pluviométrico. Entretanto como já foi mencionado neste trabalho é uma das regiões do Brasil responsável pela alta geração de água produzida dos poços de petróleo (DOMINGOS, 2017).

Diante deste cenário a água produzida tratada poderia ser utilizada na agricultura, desde que a mesma tenha passado por tratamento adequado e forneça os nutrientes necessários para atender as necessidades de desenvolvimento das plantas sem prejudicar o meio ambiente (LIMA, 2017). Por se tratar de um efluente tóxico a disponibilidade de culturas que poderiam ser irrigadas com essa água é limitada, mesmo sendo submetida ao tratamento. Desta forma, alguns trabalhos como o de Andrade et al. (2011) recomenda a irrigação de culturas não comestíveis, como as oleaginosas para fins energéticos e culturas para ornamentação.

Segundo Matos (2003), o uso de águas residuárias na agricultura é uma alternativa para o controle da poluição das águas superficiais e subterrâneas, disponibilização de água e

fertilizantes para as culturas, reciclagem de nutrientes e aumento da produção agrícola. Entre estes benefícios que o reúso proporciona, existem outros como a diminuição da escassez hídrica da região, favorecendo o seu desenvolvimento econômico, social e ambiental (SCHAER-BARBOSA et al., 2014).

3.6 Características básicas dos sistemas de irrigação por gotejamento.

A irrigação é uma técnica que evoluiu no decorrer dos anos, devido ao aumento da demanda de água, e o uso inadequado desse recurso fez com que aumentasse o interesse e a procura por métodos que reduzissem o desperdício sem afetar a produtividade. Diante dessa situação a irrigação por gotejamento é um sistema que se sobressai aos outros tipos, pois trata de um sistema em que a aplicação da água é realizada de forma pontual através de gotas diretamente no solo, em uma área próxima ao sistema radicular da cultura, reduzindo assim as perdas por evaporação e não ocasionando perdas pelo arraste com o vento (ESTEVES et al., 2012), como apresentado na Figura 2.

Figura 2. Apresentação de uma linha de gotejador em funcionamento.



Fonte: Safra irrigação (2019).

O sistema de irrigação por gotejamento é constituído por um conjunto de motobomba, tubulações, manômetros, válvulas, cabeçal de controle, sistemas de filtragem, emissores e linhas de derivação e laterais (TESTEZLAF, 2017).

O cabeçal de controle é responsável por preparar a água que será distribuída no sistema, impulsionada pela motobomba que impulsiona a água pelas tubulações de PVC; os

sistemas de filtração são utilizados para minimizar o entupimento dos emissores por material particulado, os manômetros e válvulas são responsáveis pelo monitoramento da pressão do sistema, com a finalidade de manter o controle da lâmina de água e os emissores são responsáveis pela saída da água para o local desejado (ESTEVES et al., 2012).

Para que o uso da água residuária na agricultura seja viável é de grande importância o desenvolvimento não só de técnicas de tratamentos, mas também de técnicas de aplicação e manejo. Além de cuidados quanto à concentração de cálcio, magnésio, sódio e cloreto, pois são substâncias que podem alterar a salinidade da água e alcançar elevados níveis de sólidos totais dissolvidos (STD) sendo tóxico para as plantas e animais (MATOS, 2003).

Dentre os variados sistemas de irrigação disponíveis o gotejamento é uma das práticas mais utilizadas quando se trata de operar com águas residuárias, em virtude das suas características proporcionarem elevada eficiência de aplicação do efluente e ter baixo risco de contaminação tanto do solo, como da cultura e até mesmo do operador (BATISTA et al., 2013). As maiores vantagens apresentadas por esse sistema de gotejamento são a elevada eficiência no uso da água, na adubação e controle sanitário, maior produtividade e pode ser adaptado a diferentes tipos de solo. No entanto, possui como desvantagem uma maior suscetibilidade de entupimento dos gotejadores, pelos agentes ocasionadores de obstrução que existem nas águas e águas residuárias (TESTEZLAF, 2017).

3.6.1 Gotejadores autocompensantes e não autocompensantes

De acordo com Pizarro Cabello (1996), os gotejadores devem ter a capacidade de dissipar a pressão disponível e aplicar vazões constantes e uniformes. A pressão do sistema não deve ser elevada para que não ocorra o aumento do consumo de energia, mas também não deve ser baixa demais para que não haja interferência no desempenho hidráulico (DALRI et al., 2015).

Conforme a regulação de pressão os emissores podem ser classificados em autocompensantes e não autocompensantes. Os emissores não autocompensantes se trata de sistemas de gotejamento que não possuem dispositivos que regulam a pressão, isso quer dizer que a uniformidade ao longo da linha lateral depende da pressão que pode variar por meio da perda de carga na tubulação, ou variações da topografia da área a ser irrigada, da temperatura da água, do coeficiente de fabricação, e quanto ao grau de obstrução dos emissores (PROVENZANO; PUMO, 2004).

Emissores autocompensantes são os sistemas de gotejamento que possuem um sistema de compensação de pressão no qual possibilita uma mesma vazão de água para diferentes valores de pressão. Esse tipo de emissor possui uma membrana interna que realiza a compensação de pressão de forma automática, adequando a uniformidade de vazão para cada emissor do sistema (GOMES, 2009).

A forma de determinação da vazão do emissor é feita por meio da equação 1, o índice do tipo de fluxo (x) apresenta sensibilidade quanto a variações de pressões de acordo com o emissor. Desta forma se o índice variar 0 a 0,5, significa dizer que a variação das taxas de fluxo não muda com as mudanças da pressão de serviço, sendo estes classificados como autocompensantes. Em contrapartida quando o índice (x) varia de 0,5 a 1,0 se trata de emissores não autocompensantes, por conta da classificação do regime e não possuir membranas internas (ZHANGZHONG et al., 2015).

$$Q = k H^x \quad (1)$$

Em que:

Q= vazão (L h⁻¹)

K= constante do emissor

H= pressão de serviço

x= expoente característico do regime do fluxo do emissor

Conforme Biscaro (2014) o fluxo é classificado como turbulento quando o índice da equação 1 é aproximadamente igual a 0,5 isso significa dizer que a vazão do gotejador varia com a pressão de trabalho. O fluxo é laminar quando o expoente for igual a 1 o que significa dizer que a vazão varia de forma linear com a pressão de serviço. Em situações onde o índice é aproximado de 0 ocorre baixa variação na vazão, já quando chega a ser 0 a vazão permanece constante independente da variação da pressão da tubulação, isso acontece em emissores autocompensadores.

3.6.2 Combinação dos agentes ocasionadores de obstrução

Os emissores de sistemas de irrigação por gotejamento possuem grande suscetibilidade ao entupimento, devido à presença de fatores físicos, químicos e biológicos presentes nas águas residuárias conforme relatado por Batista et al. (2005)

Batista et al. (2010) afirmaram que fatores como a faixa de temperatura seria favorável ao desenvolvimento microbiano, e a frequência de utilização de fertilizantes são fatores que proporcionam o desenvolvimento de algas e bactérias na água, causando a obstrução dos gotejadores.

Outro fato que pode favorecer o entupimento dos emissores de acordo com Pizarro Cabello (1990) é quanto às características de fabricação dos emissores, visto que o diâmetro do orifício do gotejador é pequeno, e que as características variam de acordo com o fabricante, corroborando assim com Batista et al. (2009) que também relaciona o entupimento dos gotejadores com as características de fabricação dos mesmos, a qualidade do efluente utilizado e a forma de tratamento que foram submetidos.

O desenvolvimento do biofilme no interior dos gotejadores ocasiona alterações no regime de escoamento do fluido, o que favorece a deposição das partículas sobre os emissores, aumentando a massa do biofilme proporcionando assim o entupimento dos mesmos (BATISTA et al., 2006).

A formação de biofilme dentro dos emissores e das linhas laterais é visto por alguns autores como o principal fator que favorece o entupimento dos gotejadores quando se aplicam águas residuárias (BATISTA et al., 2005; MESQUITA et al., 2015). As combinações dos agentes físicos, químicos e biológicos são os responsáveis pelo favorecimento do desenvolvimento do biofilme (RAVINA et al., 1992), assim como também a matéria orgânica, que quando concentrada favorece o surgimento de bactérias heterotróficas que contribuem para a formação do biofilme.

A interação das partículas orgânicas e inorgânicas com as algas e bactérias presentes na água residuária são responsáveis pela formação de mucilagem que é visto e apontado como um dos fatores pela obstrução dos gotejadores quando se opera com esse tipo de efluente (BATISTA et al., 2013). Existem vários tipos de bactérias que acabam causando efeitos negativos sobre a água residuária como, por exemplo, mudanças da coloração, surgimento de odores e formação de precipitados (NAKAYAMA; BOMAN; PITTS, 2006).

Em um trabalho realizado por Batista(2004) sobre a aplicação de esgoto sanitário tratado via sistema de gotejamento observou-se o desenvolvimento de um biofilme de coloração verde, de acordo com o autor isso se deu devido à interação das bactérias formadoras de mucilagem e algas tanto dentro das linhas laterais como também dentro dos próprios emissores.

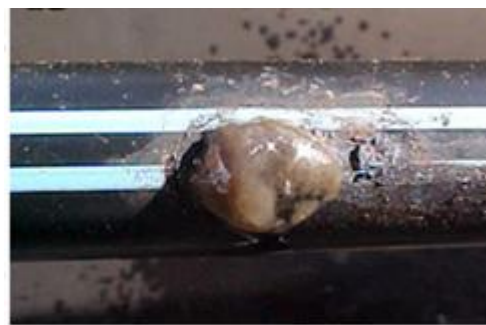
O trabalho de Batista et al. (2005) abordou sobre a aplicação de água residuária da despolpa dos frutos do cafeeiro utilizando também o sistema de irrigação por gotejamento e verificou o surgimento de biofilme responsável pelo entupimento parcial e total de alguns gotejadores, para o autor o que favoreceu o surgimento do biofilme está relacionado aos sólidos orgânicos presentes na água residuária que foram depositados dentro e fora dos emissores, como mostra a Figura 3.

Figura 3. Formação do biofilme dentro (a) e fora (b) dos gotejadores obstruídos com água residuária da despolpa dos frutos do cafeeiro.

A.



B.



Fonte: Batista et al. (2005).

3.6.3 Efeitos do entupimento de gotejadores no desempenho hidráulico de sistemas de irrigação por gotejamento

Quando ocorre o entupimento dos emissores o desempenho hidráulico do sistema é afetado, ocasionando redução na vazão e consequentemente na uniformidade e eficiência de aplicação do produto, o que leva a necessidade de providenciar manutenções mais frequentes no sistema de irrigação (BATISTA et al., 2010).

A perda de vazão promovida pelo entupimento dos gotejadores segundo Souza et al. (2006) compromete o desenvolvimento da produção agrícola. De acordo com Lopes et al.(1995), a diminuição da produção é devido à baixa uniformidade de aplicação, pois diante desse cenário ocorre o aumento do volume aplicado e do tempo de irrigação, o que leva as

culturas a receberem menor ou maior quantidade de água, acima ou abaixo do necessário, chegando a afetar o desenvolvimento da cultura.

Batista et al. (2006), em seu trabalho com água residuária de esgoto tratada foi verificou reduções no coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) do efluente ao longo do tempo, pois o sistema operou de 0 a 120 horas, e no período de 0, 50, 100 e 120 horas valores médios de CUD respectivamente alcançados foram de 93, 91, 90 e 84 %, esse decréscimo foi favorecido pelas obstruções ao longo do sistema.

Corroborando com Batista et al. (2006), Batista et al. (2013) utilizando água residuária da suinocultura, também encontrou redução no CUD, as unidades gotejadoras trabalharam durante um período de 0 a 160 horas. No período inicial de operação de 0h os resultados de CUD foram de 99, 100 e 98% e após o tempo de 160 h foi obtido valores de CUD de 16, 61 e 67% para as unidades gotejadoras de G1, G2 e G3 foram obtidos respectivamente. Ou seja, houve redução de CUD de 83% para G1, 44% para G2 e 25% para G3, quando se compara os valores iniciais com os finais.

Sendo assim, Lima et al. (2016) apresentou o entupimento dos gotejadores como um fator limitante para se utilizar como efluente água residuária nos sistemas de irrigação por gotejamento, devido aos efeitos causados em seu desempenho hidráulico

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Descrição da área experimental

Este trabalho foi realizado, no período de 26 de fevereiro a 10 de abril de 2018, em área experimental do Laboratório de Construções Rurais e Ambiente, no Câmpus Leste da Universidade Federal Rural do Semi - Árido (UFERSA) em Mossoró-RN ($5^{\circ}12'13,14''S$ e $37^{\circ}19'26,93''O$), como apresentada na Figura 4.

Figura 4. Imagem de satélite da área experimental do Laboratório de Construções Rurais e Ambiente no câmpus Leste da Universidade Federal Rural do Semi - Árido (UFERSA) em Mossoró-RN.



Fonte: Arquivo da autora (2019) utilizando Google Earth (2019).

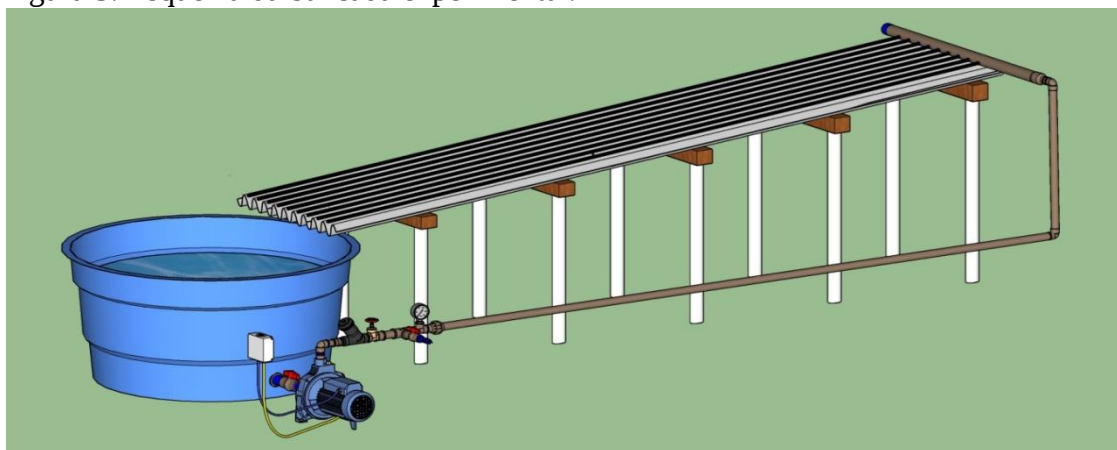
O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo BSwh, sendo seco, muito quente e com estação chuvosa no verão atrasando-se para o outono, tendo precipitação pluviométrica bastante irregular, com média anual de 794 mm (ALVARES et al., 2013).

A água produzida do petróleo foi oriunda de uma empresa que explora petróleo no solo da Bacia Potiguar. Esta foi submetida a tratamento físico-químico com uma solução contendo polieletrólito catiônico de base inorgânica, sendo posteriormente diluída em água de poço da Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte (CAERN).

4.2 Montagem da bancada experimental e detalhes dos materiais utilizados.

Primeiramente foi montada uma bancada experimental de 8 m² (1 m de largura por 8 m de comprimento) constituída de uma base de madeira para a sustentação de telhas de fibrocimento onduladas. As telhas foram instaladas com declividade de 2,5% para possibilitar a recirculação do efluente. A jusante da bancada foi instalado um reservatório de 0,31 m³ acoplado a um sistema de irrigação por gotejamento composto por um conjunto motobomba de 0,5 cv, um filtro de tela apresentando aberturas de 130 µm, um registro de gaveta, um ponto para coleta de amostras do efluente, um ponto de leitura da pressão de serviço, uma linha principal de 32 mm, uma linha de derivação de 50 mm e nove linhas laterais com 8 m de comprimento. Na Figura 5 está apresentada uma esquematização da bancada experimental elaborada no Google SketchUpFree (2012).

Figura 5. Esquema da bancada experimental.



Fonte: Vale (2019) utilizando Google SketchUpFree (2012).

O sistema de irrigação por gotejamento foi dividido em três unidades gotejadoras, distribuídas na bancada experimental de forma inteiramente casualizada, seguindo as instruções de Marques et al. (2016) e Mesquita et al. (2016). Cada unidade gotejadora constou de três linhas laterais de 8 m de comprimento de um único fabricante de emissores, onde em cada linha lateral foram selecionados 16 emissores para a avaliação da uniformidade de distribuição de efluente como mostra a figura 6.

Figura 6. Imagem da distribuição das três unidades gotejadoras.



Fonte:Arquivo da autora (2019).

Estão apresentadas na Tabela 2 as especificações técnicas, bem como as imagens dos gotejadores não autocompensantes utilizados nos ensaios experimentais.

Tabela 2. Especificações técnicas e imagens dos gotejadores não autocompensantes ensaiados por 200 h com água produzida do petróleo diluída em água de poço.

Fabricante	Q^* (L h ⁻¹)	k^*	x^*	A^* (mm ²)	L^* (mm)	CVf^* (%)	P^* (kPa)	EE^* (m)	Imagens dos gotejadores
NetafimSuperTyphoon - G1	1,60	0,53	0,48	34,0	23	± 7	60 – 100	0,30	
NetafimStreamline - G2	1,60	0,57	0,45	17,0	13	± 7	65 – 100	0,30	
NaanDanJainTalDrip - G3	1,70	0,56	0,46	6,0**	44**	± 5	50 – 300	0,20	

Nota: Q - Vazão nominal; k - coeficiente de vazão; x - expoente da vazão que caracteriza o regime de escoamento; A - Área de filtragem; L -Comprimento do labirinto; CVf - Coeficiente de variação de fabricação; P - Faixa de pressão recomendada; e EE - Espaçamento entre emissores. * Informações técnicas extraídas de catálogos dos fabricantes. ** Informações obtidas com paquímetro digital com precisão de 0,01 mm.

Fonte: Adaptado de Marques et al. (2016).

4.3 Descrição do monitoramento das unidades gotejadoras

Na realização do experimento as unidades gotejadoras operaram, em média, quatro horas por dia até cumprir o tempo de funcionamento de 160 h recomendado por Mesquita et al., (2016) suficiente para propiciar um nível de entupimento nos gotejadores e nas linhas

laterais que comprometa a uniformidade de distribuição do sistema. Durante o período experimental de 160 h foram realizadas nove avaliações de uniformidade de distribuição do efluente a cada 20 h, especificamente nos tempos de operação de 0, 20, 40, 60, 80, 100, 120, 140 e 160 h, conforme recomendado por Mesquita et al., (2016). Para isso, determinou-se a vazão dos gotejadores empregando tempo de coleta de três minutos com recipientes coletores de 200 mL e proveta de 100 mL, com precisão de 1 mL, seguindo as recomendações da NBR ISO 9261 (ABNT, 2006). A vazão dos gotejadores foi calculada por meio da equação 2.

$$Q = \frac{\text{Vol}}{1000 \cdot \text{tem}} \cdot 60 \quad (2)$$

Em que:

Q - Vazão do emissor, L h⁻¹;

Vol - Volume de efluente coletado, mL;

tem - Tempo de coleta do efluente, minutos.

A cada 20 h, durante 160 h, determinou-se vazão de 16 emissores por linha lateral, totalizando 48 emissores por unidade gotejadora. Com os dados de vazão de cada linha lateral calculou-se o Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD) de efluente por meio da equação 3.

$$\text{CUD} = 100 \cdot \frac{q_{25\%}}{\bar{q}} \quad (3)$$

Em que:

CUD - Coeficiente de uniformidade de distribuição de efluente, %;

q_{25%} - Valor médio dos 25% menores valores de vazões dos emissores, L h⁻¹; e

$\bar{q}$ - Vazão média dos emissores, L h⁻¹.

Diariamente era efetuada a limpeza do elemento filtrante do sistema de filtração e o acompanhamento da pressão de serviço, que era mantida em 100 kPa com o auxílio de um manômetro analógico de glicerina, graduado de 0 a 400 kPa.

Nos períodos de operação de 0, 80 e 160h efetuou-se a coleta de amostras da água produzida do petróleo diluída, à jusante do sistema de filtração, para a realização de análises físico-químicas e microbiológicas as quais seguiram as especificações do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (RICE et al., 2012).

No Laboratório de Análise de Solo, Água e Planta (LASAP) do Departamento de Ciências Agronômicas e Florestais (DECAF) da UFRSA foram medidos os valores de potencial hidrogeniônico (pH), com peagâmetro de bancada; da condutividade elétrica (CE), com condutivímetro de bancada; dos teores de cálcio (Ca^{2+}) e magnésio (Mg^{2+}) por método titulométrico; das concentrações de ferro (Fe) e manganês (Mn) por espectrofotometria de absorção atômica; e das concentrações de sólidos suspensos totais (SST) e de sólidos dissolvidos totais (SDT) pelo método gravimétrico.

No Centro de Análises Clínicas e Imunológicas de Mossoró (CACIM) realizou a identificação e quantificação dos níveis populacionais de coliformes totais (CT) nas amostras de água produzida do petróleo diluída.

4.4 Caracterização do material ocasionador de obstrução dos emissores

Decorridas as 160 h de operação das unidades gotejadoras com água residuária do petróleo diluída realizou-se o corte e abertura de três linhas laterais, sendo uma de cada tipo de emissor. Foram escolhidos os últimos dois gotejadores avaliados de cada linha, para a retirada de gotejadores obstruídos e, paralelamente, realizou-se o registro fotográfico destes gotejadores obstruídos.

Os gotejadores obstruídos foram armazenados em frascos esterilizados de 60 mL e encaminhados ao Laboratório de Tecnologia Ambiental – LABTAM da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) para realizar a análise de Microscopia Eletrônica por Varredura (MEV) com Espectroscopia de Energia Dispersiva (EDS - Energy-dispersive X-rayspectroscopy) para avaliar, respectivamente, morfologia e composição química nas regiões selecionadas.

4.5 Delineamento experimental e análise estatística dos dados

O experimento foi montado no Delineamento Inteiramente Casualizado(DIC) em esquema de parcelas subdivididas, com três repetições. Tendo nas parcelas os tipos de gotejadores não autocompensantes (G1 - 1,6 L h⁻¹, G2 - 1,6 L h⁻¹ e G3 - 1,7 L h⁻¹) e nas subparcelas os tempos de avaliação da uniformidade de distribuição do efluente (0, 20, 40, 60, 80, 100, 120, 140 e 160h).

Os indicadores de qualidade da água produzida do petróleo diluída foram submetidos à análise descritiva, determinando-se a média.

Os dados da uniformidade de distribuição do efluente foram submetidos à análise de variância à 1% de probabilidade pelo teste F.

As médias foram comparadas pelo teste de Tukeya 5% de probabilidade e os modelos de regressão foram escolhidos com base no maior valor de coeficiente de determinação (R^2); na significância dos coeficientes de regressão, aplicando-se o teste t num nível de até 10%; e no processo em estudo.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Análises físico-químicas e microbiológicas da água produzida tratada e diluída em água de poço

Estão expostos na Tabela 3 os valores e as médias das características físico-químicas e microbiológicas das amostras de água produzida de petróleo tratada e diluída em água de poço coletadas nos tempos de operação de 0, 80 e 160 h das unidades gotejadoras e os respectivos riscos de entupimento dos emissores.

Tabela 3. Valores e médias das características físico-químicas e microbiológicas da água produzida tratada diluída em água de poço.

Atributos	Tempo de operação (h)			Média	Risco de obstrução
	0	80	160		
pH	7,10	7,79	7,74	7,54	SEVERO ¹
CE (dS m ⁻¹)	2,83	7,31	7,52	5,89	SEVERO ²
Na ⁺ (mmol _c L ⁻¹)	59,70	51,86	47,18	52,91	
K ⁺ (mmol _c L ⁻¹)	1,80	1,88	1,81	1,83	
RAS (mmol _c L ⁻¹)	15,30	8,30	7,30	10,30	
Ca ²⁺ (mmol _c L ⁻¹)	28,83	75,20	80,25	61,43	SEVERO ²
Mg ²⁺ (mmol _c L ⁻¹)	1,63	3,65	2,55	2,61	MODERADO ²
Cl ⁻ (mmol _c L ⁻¹)	30,40	74,00	75,00	59,80	
CO ₃ ²⁻ (mmol _c L ⁻¹)	0,00	0,00	0,00	0,00	
HCO ₃ ⁻ (mmol _c L ⁻¹)	3,70	0,50	0,50	1,57	
Mn (mg L ⁻¹)	0,069	0,046	0,037	0,051	MENOR ²
Fe (mg L ⁻¹)	0,168	0,034	0,062	0,088	MENOR ²
CT (NMP 100 mL ⁻¹)*	10.000	7.500	13.000	9.920	MENOR ¹
SD (mg L ⁻¹)	-	-	-	5447,50	SEVERO ²
SS(mg L ⁻¹)	-	-	-	47,5	MENOR ²

Nota: CE – Condutividade elétrica; RAS – Razão de adsorção de sódio; CTe – Coliformes termotolerantes; CT – Coliformes totais; SD – Sólidos dissolvidos; e SS - Sólidos suspensos. ⁽¹⁾Nakayama, Boman e Pitts (2006) ⁽²⁾ Capra e Scicolone (1998) * Média geométrica. - sem classificação.

Fonte: Arquivo da Autora (2019).

O valor médio do pH tomando como base a classificação proposta por Nakayama, Boman e Pitts (2006) ficou acima da faixa de 7,5. Sendo assim o efluente foi classificado com risco severo quanto à obstrução dos gotejadores, devido à suscetibilidade da precipitação dos elementos químicos. Diante de condições experimentais distintas, de acordo com Batista et al.

(2013) em seu trabalho com água residuária da suinocultura, obteve-se o resultado do pH de 7,53 classificado como risco severo de obstrução de gotejadores. Esse valor médio se enquadra dentro da faixa limite de 5,0 a 9,0, apresentada na Resolução COEMA nº 2/2017 (CEARÁ, 2017) sobre o reuso de efluentes não sanitários para fins agrícolas. Este resultado corrobora com o encontrado por Vale (2019) operando com diluições de água produzida tratada onde o pH obtido também foi classificado com risco severo ao entupimento. Já no trabalho de Mesquita et al. (2015) utilizando percolado de aterro sanitário diluído, houve risco de obstrução dos emissores para o pH de 7,45 classificado como moderado.

Em relação à média da condutividade elétrica (CE) nota-se que foi superior ao valor limite de $3,0 \text{ dS m}^{-1}$ estabelecido na Resolução COEMA nº 2/2017 (CEARÁ, 2017), indicando risco de salinização do solo quando da aplicação prolongada no solo. Além disso, o valor médio da CE de $5,89 \text{ dS m}^{-1}$ indica risco severo de obstrução de emissores, conforme a classificação de Capra e Scicolone (1998). Entretanto no trabalho de Vale (2019) para o atributo da condutividade elétrica que variou de 0,63 a $0,78 \text{ dS m}^{-1}$ conforme a recomendação de Capra e Scicolone (1998) foi classificado com baixo risco de obstrução dos gotejadores.

O valor médio do sódio (Na) obtido foi superior ao limite de $40 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ recomendado por Almeida (2010), desta forma não atendeu as recomendações para água de irrigação, diferentemente desse resultado, Vale (2019) obteve teores de sódio inferior a esse limite atendendo a recomendação.

A média do potássio (K) encontrada está fora do intervalo recomendado por Almeida (2010) de 0,0 a $0,05 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ para o uso de água em atividades agrícolas. Resultado semelhante é encontrado por Vale (2019) que também obteve valores fora do que foi recomendado.

Quanto à razão de adsorção de sódio (RAS) do efluente tratado foram encontrados valores dentro da faixa estabelecida por Almeida (2010) de 0,0 a $15,0 (\text{mmol}_c \text{ L}^{-1})^{0,5}$, considerada propícia para a irrigação. No trabalho de Vale (2019) o valor da RAS variou de 3,69 a $9,0 (\text{mmol}_c \text{ L}^{-1})^{0,5}$, valores estes que também se encontraram dentro da faixa recomendada.

O teor médio de cálcio (Ca) foi superior a $22,5 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ conforme Capra e Scicolone (1998) apresentando risco severo de entupimento dos gotejadores. Já o resultado encontrado por Vale (2019) seguindo a mesma recomendação citada anteriormente, os teores foram inferiores a $12,5$ sendo classificado com baixo risco de entupimento. Os resultados médios do cálcio do trabalho de Vale (2019) atenderam os padrões para o uso na agricultura conforme

Almeida (2010) já o valor obtido no presente trabalho foi superior por isso não atendeu o recomendado de $10 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$.

O magnésio (Mg) teve concentração média entre a faixa de $2 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ e $7,3 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ onde o risco de obstrução é classificado como moderado de acordo com Capra e Scicolone (1998). De acordo com Almeida (2010) o teor de magnésio encontrado foi superior a $2,5 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$, desta forma não atende os padrões para a água de irrigação. Vale (2019) em seu trabalho foi encontrado valor abaixo do limite de $2,0 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ sendo classificado como baixo risco de obstrução de acordo com Capra e Scicolone (1998) e atendeu os padrões para o uso agrícola como o recomendado por Almeida (2010).

O teor médio do cloro (Cl) foi superior ao limite de $30 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ estabelecido por Almeida (2010), que é o indicado para o uso da água na irrigação, já no trabalho de Vale (2019) o resultado encontrado foi inferior a esse limite.

A média do carbonato encontrado na água produzida tratada e diluída está dentro da faixa 0 a $0,05 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$, sendo apontado como usual para a irrigação, assim como também a média do bicarbonato encontrado no efluente está dentro faixa de 0,0 a $10,0 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ ambas conforme Almeida (2010).

A concentração média de manganês (Mn) segundo a classificação de Capra e Scicolone (1998) foi de baixo risco de entupimento, no qual seu resultado foi inferior a $0,7 \text{ mg L}^{-1}$. No resultado encontrado por Mesquita et al. (2015) com teor de $0,03 \text{ mg L}^{-1}$ de Mn foi classificado com baixo risco de obstrução e em Batista et al. (2014) com água da suinocultura em condições experimentais distintas foi classificado com risco moderado já que o valor médio de Mn foi de $0,84 \text{ mg L}^{-1}$ que se encontra dentro da faixa limite de 0,7 e $1,0 \text{ mg L}^{-1}$.

Com relação à média do ferrototal (Fe) seguindo o recomendado por Capra e Scicolone (1998), obteve-se resultado inferior a $0,5 \text{ mg L}^{-1}$ sendo classificado com menor risco de entupimento. Em trabalhos com condições experimentais distintas como o de Cunha et al., (2017) que utiliza efluente de laticínios diluído, obteve teor de ferro de $0,2 \text{ mg L}^{-1}$ classificado com menor risco. Batista et. al. (2013, 2014) com água residuária da suinocultura, obteve resultado de ferro total de $5,14 \text{ mg L}^{-1}$ e $5,50 \text{ mg L}^{-1}$ respectivamente, estes resultados são superiores a $1,2 \text{ mg L}^{-1}$ como proposto por Capra e Scicolone (1998) sendo classificando com risco severo de entupimento.

De acordo com a classificação proposta por Nakayama, Boman e Pitts (2006), a média de coliformes totais (CT) encontrados foi de $99,20 \text{ UFC mL}^{-1}$ resultado inferior a $10000 \text{ UFC mL}^{-1}$, com isto é classificado com menor risco de entupimento dos gotejadores. No trabalho feito por Cunha et al. (2017) operando com efluente de laticínio diluído tiveram classificação

de baixo risco por apresentar nível populacional inferior ao limite. Com água residuária da suinocultura, Batista et al. (2014) teve o risco de obstrução dos gotejadores classificado como severo.

Em concordância com a Resolução COEMA nº 2/2017 (CEARÁ, 2017) as concentrações de sólidos suspensos foram inferiores ao limite de 100 mg L^{-1} , desta forma o efluente esta dentro dos padrões usuais para fins agrícolas e florestais.

Quanto ao resultado dos sólidos dissolvidos (SD) presentes na água produzida tratada e diluída os valores foram superiores ao limite de 2000 mg L^{-1} estabelecido por Almeida (2010) propício para a água de irrigação. Seguindo as recomendações proposta por Capra e Scicolone (1998) os sólidos dissolvidos obtiveram teores superiores a 2900 mg L^{-1} , indicando risco severo de obstrução, enquanto que no trabalho de Vale (2019) o risco de obstrução para o atributo de sólidos dissolvidos foi baixo segundo Nakayama, Boman e Pitts (2006), pois obteve valor inferior a 2000 mg L^{-1} .

O resultado quanto aos sólidos suspensos (SS) obteve teores inferiores a 200 mg L^{-1} indicando menor risco de obstrução dos gotejadores conforme as recomendações de Capra e Scicolone (1998), o mesmo aconteceu no trabalho de Vale (2019) que também obteve classificação de risco de obstrução de gotejadores baixo, de acordo com o autor os menores valores de sólidos suspensos apresentados nos resultados se deu devido as coletas serem realizadas após o sistema de filtragem o que reduz os sedimentos presentes na água produzida tratada e diluída.

Em condições experimentais diferentes Batista et al. (2005) utilizando água residuária da despolpa dos frutos do cafeeiro apresentaram valores médios dos sólidos suspensos de 23 mg L^{-1} com menor risco e sólidos dissolvidos de 3685 mg L^{-1} apresentando risco severo de entupimento conforme Capra e Scicolone (1998).

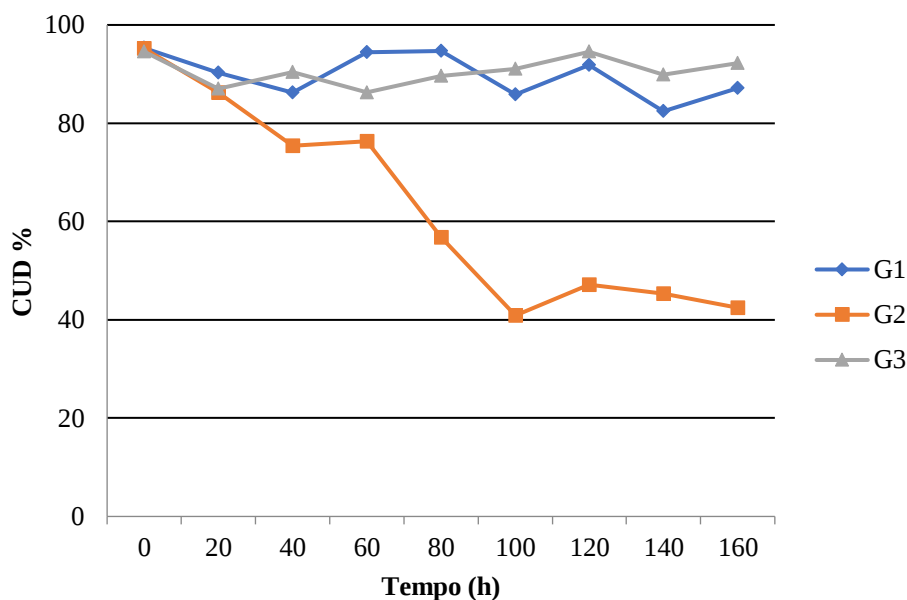
Diante dos atributos físico químicos apresentados a água residuária de petróleo tratada e diluída apresentou risco de entupimento severo para os atributos de pH, CE, Ca e SD, risco moderado para Mg e menor risco para os atributos de Mn, Fe, CT e SS.

5.2 Desempenho do Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD)

O Gráfico 1 representa os valores que sofreram alterações no coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) em função do tempo de funcionamento das unidades gotejadoras. Pode-se notar que ocorreu um decréscimo na uniformidade da água residuária de petróleo tratada e diluída, onde foi identificado que o gotejador Netafim Streamline (G2) foi o

que apresentou maior sensibilidade ao entupimento do que o NetafimSuperTyphoon (G1) e o NaanDanJainTalDrip (G3).

Figura 7. Desempenho do CUD em função do tempo



Fonte: Arquivo da autora (2019).

Observa-se que no tempo de operação de 0 h da avaliação inicial os gotejadores G1, G2 e G3 obtiveram CUD nessa ordem de 95,30, 95,21 e 94,53%. Como o CUD foi superior a 90% os gotejadores obtiveram classificação excelente, seguindo as orientações propostas por Merriam e Keller (1978). Já no tempo de operação de 160 h a avaliação final obteve CUD de G1, G2 e G3 de 87, 43 e 92% respectivamente, recebendo classificação de bom para o G1 com CUD inferior a 90%, o G2 de ruim devido o CUD ser inferior a 70% e o G3 continuou classificado como excelente por conter o CUD superior aos 90% (MERRIAM; KELLER,1978). Desta forma entre o período inicial e final de operação ocorreram reduções nos valores médios do CUD aproximadamente de 8,3, 52,21 e 2,53 % para G1, G2 e G3 respectivamente. Sendo assim o gotejador G2 (NetafimStreamline) foi o que teve maior suscetibilidade de entupimento.

No trabalho de Vale (2019), em que os gotejadores operaram em diferentes diluições de água produzida tratada, observou-se que o gotejador G2 (NetafimStreamline), quando submetido ao tratamento T5 (100% de água produzida tratada) apresentou a maior redução (72,92%) ao se comparar os tempos de operação inicial (0h) e final (160h).

Batista et. al. (2013) com água da suinocultura obteve CUD após as 160 h de operação para G1, G2 e G3 respectivamente de 16, 61 e 67%, classificados como ruim, de acordo com as recomendações de Merriam e Keller (1978).

Marques et al. (2016) em seu trabalho com água residuária de laticínios em escala laboratorial foi encontrado valores de CUD após as 200 h de operação para G1 de 88%, G2 de 70%, G3 de 88%, G4 de 87% e G5 de 83%, sendo classificado conforme Merriam e Keller (1978), respectivamente de bons os gotejadores G1,G3,G4 e G5 por ter o CUD entre a faixa de 80 e 90%, já o gotejador G2 foi classificado de razoável, devido ao CUD estar entre 70 e 80%.

Sendo assim o decréscimo do CUD ao longo do tempo é atribuída obstrução dos gotejadores, onde ocorre o desenvolvimento do biofilme dentro dos emissores proporcionando diminuição da uniformidade de aplicação da água e consequentemente um decréscimo da uniformidade e da vazão (BATISTA et al.,2010).

Mesmo quando acontece de poucos gotejadores de uma linha do sistema de irrigação entupir, as reduções na uniformidade de distribuição do efluente podem ocorrer de forma considerável(NAKAYAMA; BOMAN; PITTS,2006).

A Tabela 4 apresenta a análise da variância (ANOVA) da variável CUD de cada unidade gotejadora. Diante do resultado da análise da variância em parcelas subdivididas, verificou-se que tanto os tipos de gotejadores (TG), como o tempo de operação (TO) e a interação entre eles (TG x TO) foram significativos a 1% de probabilidade pelo teste F obtendo valor do coeficiente de variação na subparcela de 13,29%. Esse resultado se assemelha com o encontrado por Vale (2019) em que as interações também foram significativas a 1% de probabilidade pelo teste F em um esquema de parcela subdividida, em que o coeficiente de variação na subsubparcela encontrado foi de aproximadamente 6%.

Tabela 4. Análise de variância do coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) de um sistema de irrigação por gotejamento que operou com água produzida tratada e diluída, durante 160 h.

Fontes de Variação	Graus de Liberdade	Quadrado Medio
		CUD
Tipos de Gotejadores (TG)	2	6.630,62**
Resíduo (a)	4	706,05
Tempos de operação (TO)	8	524,11**
TG x TO	16	419,97**
Resíduo (b)	50	115,72
Coeficiente de variação da parcela (%)		32,82
Coeficiente de variação da subparcela (%)		13,29

Fonte: Arquivo da Autora (2019).

Nota: ** Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

O resultado do coeficiente de variação na subparcela é um indicador de que o CUD apresenta uma maior sensibilidade para detectar entupimento de gotejadores operando com água produzida de petróleo tratada e diluída.

Na Tabela 5 mostra os valores médios de CUD nas unidades gotejadoras. Observa-se que as variáveis estudadas obtiveram diferenças estatísticas significativas a 5% de probabilidade pelo teste Tukey. Ou seja, os valores do CUD para os três tipos de gotejadores estudados obtiveram uma diferença estatística dos gotejadores G1 e G3 em relação ao gotejador G2, sendo este o que teve desempenho hidráulico inferior aos demais gotejadores, por apresentar uma maior sensibilidade ao entupimento.

Tabela 5. Teste de Tukey, a 5% de probabilidade, para a variável coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) do sistema de irrigação por gotejo trabalhando com água produzida tratada diluída, durante 160 h.

Tipos de Gotejadores	CUD
G1	89,42a
G2	62,89b
G3	90,60a
DMS	17,47

Fonte: Arquivo da Autora (2019).

As equações de regressão ajustadas à variável CUD em função dos tempos de operação em cada unidade gotejadora estão sendo representadas na tabela 6.

Tabela 6. Equações de regressão da variável CUD em função do tempo de operação da unidade de irrigação operando com água produzida tratada diluída.

Tipos de Gotejadores	Equação de regressão	R ²
G1	CUD = 89,423	-
G2	CUD = 98,002 - 0,643** T + 0,00180* T ²	0,93
G3	CUD = 90,601	-

Fonte: Arquivo da Autora (2019).

Nota: ** e * Significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo teste “t”, respectivamente.

Observando a relação do CUD entre o tempo de operação T das unidades gotejadoras, observa-se que houve um decréscimo do desempenho hidráulico ao longo do tempo, e apenas o gotejador G2 foi o que melhor se ajustou ao modelo de regressão quadrático que apresentou valor de R² de 0,93, já para as unidades gotejadoras dotada dos emissores G1 e G3 a media ajustou-se melhor a relação entre os dados CUD e tempo de operação, indicando maior resistência à obstrução nessas situações.

No trabalho de Marques et al., (2016) com água residuária de laticínios em escala laboratorial obteve como modelo de regressão que melhor representou a relação de CUD com o T o modelo linear, onde os gotejadores G1, G2, G3 e G4 apresentaram valores de R² de 0,85, 0,85, 0,88 e 0,80, respectivamente e para o gotejador G5 apresentou modelo nulo.

5.3 Caracterização do material de ocasionador de obstrução nos gotejadores

Com a utilização da água produzida de petróleo tratada e diluída ocorreu o surgimento de biofilme no interior dos gotejadores proporcionando a obstrução de forma parcial ou total dos emissores. A Figura 7 mostra de forma detalhada a acumulação de precipitados químicos que favoreceram o desenvolvimento do biofilme presente nos emissores.

Figura 8. Imagens do biofilme no interior dos gotejadores G1 (A), G2 (B) e G3 (C) que aplicaram água produzida de petróleo diluída, durante 160 h.

A.



B.



C.



Fonte: Arquivo da autora (2019).

O resultado do experimento identificou que o gotejador G3 foi o que teve menor e o G2 maior suscetibilidade de entupimento. A obstrução dos gotejadores pode ocorrer devido às especificações construtivas dos emissores ou quanto aos elementos presentes na água residuária (BATISTA et al., 2010)

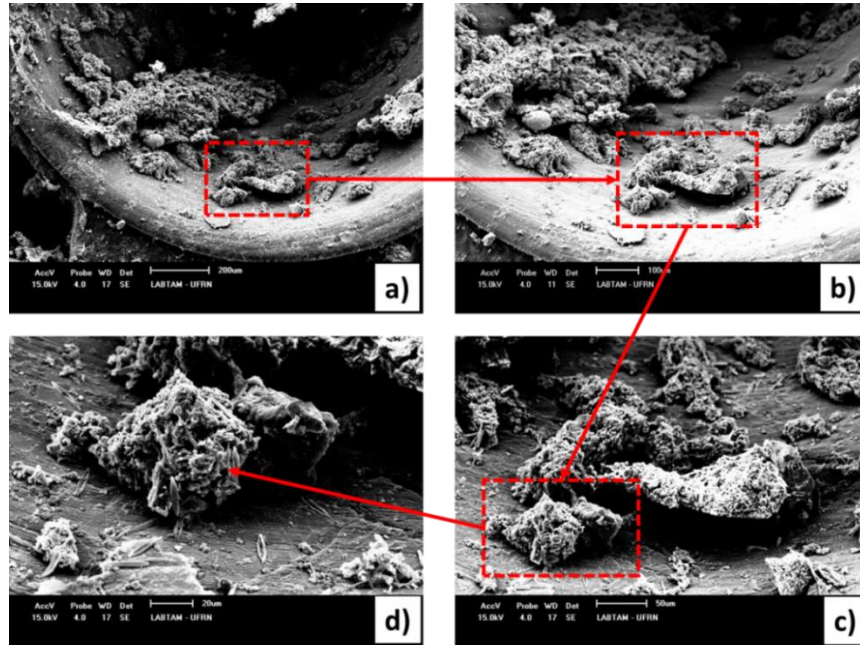
Em alguns trabalhos vistos na literatura eles explicam a ocorrência de entupimento observando os dados característicos dos emissores como a vazão, o comprimento do labirinto, a velocidade de escoamento do fluido, e a área de filtração entre outras. De acordo com Batista et. al. (2013) a maior suscetibilidade de entupimento de um gotejador ocorre quando se tem menor velocidade de escoamento do fluido e maior comprimento de labirinto. Diante esta forma de avaliação o presente trabalho não conseguiu identificar o motivo do gotejador G2 ter apresentado a maior suscetibilidade ao entupimento quando levado em consideração as especificações construtivas dos gotejadores.

A obstrução de gotejadores pode ocorrer através da presença dos atributos físicoquímicos e biológicos do efluente. A obstrução causada pelos fatores físico químicos em sua maioria resulta da precipitação de sais, cálcio, magnésio, ferro ou manganês, responsáveis pela formação de incrustações que podem impedir a passagem de água de forma parcial ou total. Já as ocorrências biológicas, são originadas por pequenos organismos aquáticos como larvas, fungos e algas que passam pelos filtros e acabam se desenvolvendo e crescendo no interior das tubulações, este favorecimento ocorre devido às condições de repouso, iluminação e temperatura disponíveis (CARVALHO et al., 2015).

Na figura 8 estão apresentadosos resultados da análise de Microscopia Eletrônica por Varredura (MEV) com Espectroscopia de Energia Dispersiva (EDS - Energy-dispersive X-rayspectroscopy) é uma análise realizada para avaliar a morfologia e a composição química de uma amostra do biofilme geradas nas regiões dos gotejadores. Os resultados apresentam uma micrografia da bioincrustação sobre os emissores com predominância de elementos químicos como silício, alumínio, magnésio, ferro e cálcio, elementos causadores da obstrução parcial ou total dos gotejadores.

A análise por meio do MEV também foi utilizada por Marques (2016) em seu trabalho com efluentes de laticínios diluídas em água de abastecimento, onde apresentou obstrução dos gotejadores após as 200 h de operação. O resultado apresentado pelo MEV identificou a presença predominante de substâncias químicas como: Alumínio, Sódio, Nitrogênio e Oxigênio.

Figura 9. Morfologias obtidas por microscopia eletrônica de varredura: (a) escalas de 200 μm , (b) 100 μm , (c) 50 μm e (d) 20 μm .



Fonte:Arquivo da Autora(2019).

Existem algumas alternativas que são recomendadas para minimizar o entupimento dos emissores que operam com águas residuárias, como por exemplo, a injeção de produtos químicos a base de ácidos com a finalidade de desobstrução dos emissores, a implantação de unidade de filtragem para reduzir a presença de sólidos suspensos, e desenvolver sistema de gotejamento específico para operar com águas residuárias (BATISTA et al., 2013; SILVA et al., 2013).

6 CONCLUSÕES

Houve alteração significativa do coeficiente de uniformidade de distribuição, ao longo do tempo, apenas na unidade gotejadora dotada do emissor NetafimStreamline, o que indicou a maior suscetibilidade ao entupimento desse tipo de emissor em função da relação de suas características construtivas e dos atributos físico-químicos do efluente.

Com base nos atributos físico-químicos e microbiológicos, a água produzida de petróleo tratada e diluída em água de poço apresentou níveis severo de entupimento de gotejares para os atributos de pH, condutividade elétrica, sólidos dissolvidos e cálcio.

A microscopia eletrônica de varredura indicou que o entupimento dos gotejadores ocorreu pela interação entre os agentes físico-químicos e biológicos presentes no efluente, sendo que as substâncias predominantes constituintes do biofilme foram osilício, alumínio, magnésio, ferro e cálcio.

7 REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, O. A. **Qualidade da água de irrigação**. Cruz das Almas: EMBRAPA, 2010. 234 p.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Koppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, p. 711-728, 2013.
- AMINI, S.; MOWLA, D.; GOLKAR, M.; ESMAEILZADEH, F. Mathematical modelling of a hydrocyclone for the down-hole oil-water separation (DOWS). **Chemical Engineering Research and Design**, v. 90, p. 2186-2195, 2012.
- ANDRADE, B. G.; ANDRADE, V. T.; COSTA, B. R. S.; CAMPOS, J. C.; DEZ, M. Distillation of oil field produced water for reuse on irrigation water: evaluation of pollutants removal and ecotoxicity. **Journal of Water Reuse and Desalination**, v. 1, p. 224-236, 2011.
- ANP. AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO GÁS NATURAL E BIOCOMUSTÍVEL. **Petróleo e Derivados**. 2019. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/petroleo-e-derivados2?view=default>>. Acesso em: 22 maio 2019.
- ANP. AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. **Anuário estatístico brasileiro do petróleo, gás natural e biocombustíveis**. 2016. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/images/publicacoes/Anuario_Estatistico_ANP_2016.pdf>. Acesso em: 23 maio 2019.
- ANP. AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. **Produção por poço**. 2017. Disponível em <<http://www.anp.gov.br/wwwanp/dados-estatisticos>> Acesso em: 30 de maio de 2019.
- ANP. AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. **Anuário estatístico brasileiro do petróleo, gás natural e biocombustíveis**: 2015. Rio de Janeiro: ANP, 2015. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/wwwanp/publicacoes/anuario-estatistico/2440-anuario-estatistico-2015>>. Acesso em: 22 maio 2019.
- ANP. AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. **Anuário estatístico brasileiro do petróleo, gás natural e biocombustíveis**: 2019. Rio de Janeiro: ANP, 2019. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/wwwanp/publicacoes/anuario-estatistico/2440-anuario-estatistico-2015>>. Acesso em: 22 maio 2019.
- ARTHUR, J. D.; LANGHUS, B.G.; PATEL, C. **Technical summary of oil and gas produced water treatment technologies**. Tulsa: ALL CONSULTING-LLC, 2005. 53p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR ISO 9261**: equipamentos de irrigação agrícola: emissores e tubos emissores: especificações e métodos de ensaio. São Paulo, 2006. 17 p.

BATISTA, R. O. **Influência da aplicação de esgoto sanitário tratado sobre sistemas de irrigação por gotejamento**. 2004. 97f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2004.

BATISTA, R.O.; COSTA, F. G. B. ; VALE, H. S. M. ; SOUZA, D. I. M. ; MENDES, H. C. ; MEDEIROS, I. E. S. ; RODRIGUES FILHO, R. A. ; SILVA, A. D. . Panorama da água residuária do petróleo no estado do Rio Grande do Norte, Brasil. In: SILVA, A. P; ALBUQUERQUE JÚNIOR, D. M; BRAGA, R. A. P; LIMA, R. A; MEDEIROS. S. S (Org.). **O encolhimento das águas: o que se vê e o que se diz sobre crise hídrica e convivência com o semiárido**. 1 ed.Campina Grande: INSA, 2018, v. 1, p. 278-295.

BATISTA, R.O.; OLIVEIRA, R.A.; FIGUEIREDO, V.B.; SILVA, K.B.; FERREIRA, D.C. Vazão de gotejadores com distintos tempos de irrigação aplicando água residuária de suinocultura e água de abastecimento. **Engenharia Agrícola**, p.1283-1295, 2014.

BATISTA, R.O.; SOUZA, J.A.R.; FERREIRA, D.C. Influência da aplicação de esgoto doméstico tratado no desempenho de um sistema de irrigação. **Revista Ceres**, v. 57, p.18-22, 2010.

BATISTA, R.O.; SOARES, A.A.S.; MATOS, A.T.M.; MANTOVANI, E.C. Influência da aplicação de esgoto sanitário tratado no desempenho de um sistema de irrigação por gotejamento montado em campo. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 28, p.213-217, 2006.

BATISTA, R. O.; SOARES, A. A.; MARIN, O. L. Z.; SOUZA, J. A. R.; LEITE, C. V.; MOREIRA, D. A. Taponamiento de goteros y del filtro de discos con agua residual sanitaria de una laguna de maduración. **Revista Facultad Nacional de Agronomía**, v. 62, p. 4957-4966, 2009.

BATISTA, R.O.; MATOS, A.T.; CUNHA, F.F.; MONACO, P.A. Obstrução de gotejadores utilizados para a aplicação de água residuária da despolpa dos frutos do cafeeiro. **Irriga**, v. 10, p.299-305, 2005.

BATISTA, R.O.; OLIVEIRA, R.A.; SANTOS, D.B.; MESQUITA, F.O; SILVA, K.B. Suscetibilidade ao entupimento de gotejadores operando com água residuária de suinocultura. **Water Resources And Irrigation Management**, v. 2, p.19-25, 2013.

BATISTA, R.O; OLIVEIRA, R. A; SANTOS, D. B. Suscetibilidade ao entupimento de gotejadores operando com água residuária de suinocultura. **Water Resources And Irrigation Management**, v. 2, p.19-25, 2013.

BISCARO, G.A.**Sistemas de irrigação localizada**. Dourados, MS: UFGD, 2014. 256p.

BORGES, B.B.G. **Tratamento da água produzida do petróleo para injeção em mananciais**. 2017. 78 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Petróleo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017.

BRASIL.**Resolução Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA nº 420, de 28 de dezembro de 2009**. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de

áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de 293 atividades antrópicas. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 28 dez. 2009.

BRASIL. Resolução Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes complementam e alteram a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 13 mai. 2011.

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

CAPRA, A.; SCICOLONE, B. Water quality and distribution uniformity in drip/trickle irrigation systems. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 70, p. 355-365, 1998.

CARVALHO, L.C.C.C.; COELHO, D.C.; TEIXEIRA, M.B., SOARES, F.A.L.; CUNHA, F.N.; SILVA, N.F. Tubos gotejadores convencionais submetidos a aplicação de óxido de ferro via água com carga orgânica e sólidos suspensos. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 9, p.32-41, 2015.

CEARÁ. **Resolução COEMA Nº 2 de 2 de fevereiro de 2017.** Dispõe sobre padrões e condições para lançamento de efluentes líquidos gerados por fontes poluidoras, revoga as Portarias SEMACE nº 154, de 22 de julho de 2002 e nº 111, de 05 de abril de 2011, e altera a Portaria SEMACE nº 151, de 21 de fevereiro de 2017. Diário Oficial do Estado do Ceará, Fortaleza, 2017.

CUNHA, M.E.; MARQUES, B.C.D.; BATISTA, R.O.; COSTA, A.G.; CUNHA, R.R.; ANDRADE, A.T.S. Obstrução de gotejadores operando com efluente de laticínios diluído. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 11, p.1517-1527, 2017.

DALRI, A.B.; GARCIA, C.J.B.; ZANINI, J.R.; FARIA, R.T.; PALARETTI, L.F. Caracterização técnica e desempenho hidráulico de quatro gotejadores autocompensantes utilizados no Brasil. **Ciência Rural**, v. 45, p. 1439-1444, 2015.

DOMINGOS, F. M. M. **As rendas do petróleo e o desenvolvimento socioeconômico do município de Alto do Rodrigues/RN.** 2017. 116 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências Econômicas, Universidade do Estado do Rio Grande do Norte – Uern, Assu/RN, 2017 Orientador: Prof.Ms. Joacir Rufino de Aquino

ELKINS, P.; VANNER, R.; FIREBRACE, J. **Management of produced water on offshore oil installations:** a comparative assessment using flow analysis. London: PSI, 2005.89p.

ESTEVES, B.S.; SILVA, D.G.; PAES, H.M.F.; SOUZA, E.F. **Irrigação por gotejamento.** Niterói-RJ: Programa Rio Rural, 2012.18p. (Manual Técnico, nº 32).

FAKHU'L-RAZIA, A.; PENDASHTENA, A.; ABDULLAHA, L.; BIAK, D.; MADAENIC, S. ABIDINA, Z. Review of technologies for oil and gas produced water treatment. **Journal of Hazardous Materials**. v. 170,p. 530–551, 2009.

FARAG, A. M.; HARPER, D. D. A review of environmental impacts of salts from produced water on aquatic resources. **International Journal of Coal Geology**, v. 126, p. 157-161, 2014.

FERREIRA, B. H. **Estudo dos processos de tratamento de água produzida de petróleo**. 2016. 48 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Petróleo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2016.

GOMES, A. P. P. **Gestão ambiental da água produzida na indústria de petróleo: melhores práticas e experiências internacionais**. 2014. 120 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

GOMES, A. W. A. **Perda localizada de carga em gotejadores integrados em tubos de polietileno**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, ESALQ/USP, 2009, 61p. Dissertação Mestrado

GOOGLE. **Google SketchUpFree. Versão 8.0.16846**. 2012. Editora: Google Inc. Mossoró/RN. Disponível em: < <http://www.baixaki.com.br/mac/download/google-sketchup-free.htm>>. Acesso em: 23 Fev. 2019.

HOSSEINI, A.; BROWN, J.E.; GWINN, J.P.; DOWDALL, M. Review of research on impacts to biota of discharges of naturally occurring radionuclides in produced water to the marine environment. **Science of the Total Environment**, v. 438, p. 325-333, 2012.

LIMA, M.G.M.; FERREIRA, D.J.L.; GOMES, A.H.S.; VASCONCELOS, G.N.; LIMA, V.L.A. Efeito do uso de água residuária no desempenho de sistema de irrigação por gotejamento. **Revista Espacios**, v. 38, p.21-31, 2016.

LIMA, V. A. B. **Tratamento de água produzida visando a irrigação de plantas oleaginosas para uso na produção de biodiesel**. 2017. 60 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Petróleo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017.

LOPES, A. S. **Manual Internacional de Fertilidade do Solo**. Lavras: Associação Brasileira Para Pesquisa de Potassa e do Fósforo, 1995. 186 p.

MARQUES, B. C. D. **Desempenho de unidades gotejadoras operando com diluições de efluentes de laticínios e de água de abastecimento público em escala laboratorial**. 2016. 138 f. Tese (Doutorado) - Curso de Doutor em Manejo de Solo e Água, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2016.

MARQUES, B. C. D.; CUNHA, V. T.; SILVA, K. B.; BATISTA, R. O. Desempenho de gotejadores operando com água residuária de laticínios em escala laboratorial. **Irriga**, v. 21, p. 140-155, 2016.

MATOS, A.T. Tratamento e destinação final dos resíduos gerados no beneficiamento do fruto do cafeeiro. In: ZAMBOLIM, L. **Produção integrada de café**. Viçosa, MG: UFV, 2003. p.647-708.

MERRIAM, J. L.; KELLER, J. **Farm irrigation system evaluation**: a guide for management. Logan: Utah State University, 1978. 271p.

MESQUITA, F.O.; ALVES, S. M. C.; BATISTA, R. O.; DANTAS, T. B.; SOUZA, L. Desempenho de gotejadores aplicando percolado de aterro sanitário diluído. **Irriga**, v. 21, p. 156-171, 2016.

MESQUITA, F.O.; SILVA, K.B.; SOUZA, L.; DANTAS, T.B.; BATISTA, R.O. Uniformidade de aplicação de percolado de aterro sanitário diluído em unidades de irrigação por gotejamento. **Revista Agropecuária Científica do Semiárido**, v. 11, p.145-156, 2015.

MILLIOLI, V. S. **Avaliação da potencialidade da utilização de surfactantes na biorremediação de solo contaminado com hidrocarbonetos de petróleo**. 2009. 200 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos da Escola de Química, UFRJ, Rio de Janeiro, 2009.

MOTTA, A. R. P.; BORGES, C. P.; ARAUJO, K. P.; BRANCO, L. P. N. Tratamento de água produzida de petróleo para remoção de óleo por processos de separação por membranas: revisão. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 18, p.15-26, 2013.

NAKAYAMA, F. S.; BOMAN, B. J.; PITTS, D. Maintenance. In: LAMM, F. R.; AYARS, J. E.; NAKAYAMA, F. S. (Ed.). **Microirrigation for crop production**: Design, Operation, and Management. Amsterdam: Elsevier, 2006. cap. 11, p. 389 - 430.

NASCIMENTO, L. M. **O principio constitucional da eficiência aplicado a outorga e a cobrança da água produzida na exploração petrolífera**. 2009. 218 f. Tese (Mestrado) - Curso Direito Constitucional, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal- RN, 2009.

NEFF, J.; LEE, K.; DEBLOIS, E. M. Produced water: **Overview of composition, fates and effects**. Cap. 1 In: Produced water, environmental risks and advances in mitigation technologies. Springer Science, 2011. 608p.

NUVOLARI, A; COSTA, R. H. P. **Tratamento de efluentes**. In: TELLES, Dirceu D; COSTA, R. H. P. (Org). Reúso da água: conceitos, teoria e práticas. São Paulo: Blucher, Cap. 6. 2010. p. 51-153.

PIZARRO CABELLO, F. **Riegos localizados de alta frecuencia** (RLAF) goteo, microaspersión, exudación. 2. ed. Madrid: Mundi-Prensa, 1990. 471p.

PIZARRO CABELLO, F. **Riegos localizados de alta frecuencia** (RLAF): goteo, microaspersión, exudación. 3.ed. rev. ampl. Madrid: Mundi Prensa, 1996. 513p.

PROVENZANO, G.; PUMO, D. Experimental analysis of local pressure losses for microirrigation laterals. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v.130, p.318-324, 2004.

RICE, E. W.; BAIRD, R. B.; CLESCERI, A. D. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 22. ed. Washington: APHA, AWWA, WPCR, 2012. 1496p.

RAVINA, I.; PAZ, E.; SOFER, Z.; MARCU, A.; SHISHA, A.; SAGI, G. Control of emitter clogging in drip irrigation with reclaimer wastewater. **Irrigation Science**, v.13, p.129-139, 1992.

ROCHA, A. P. B. **A atividade petrolífera e a dinâmica territorial no Rio Grande do Norte**: uma análise dos municípios de Alto do Rodrigues, Guamaré e Mossoró. 279f. Tese (Doutorado em Geografia) – Programa de Pós Graduação em Geografia, Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Recife/PE, 2013.

SCHAER-BARBOSA, M.; SANTOS, M. E. P.; MEDEIROS, Y. D. P. Viabilidade do reúso de água como elemento mitigador dos efeitos da seca no semiárido da Bahia. **Ambiente & Sociedade**, v. 17, p.17-32, 2014.

SERRA, R. Concentração espacial das rendas petrolíferas e sobrefinanciamento das esferas de governo locais. In: PIQUET, R.; SERRA, R. (Orgs.). **Petróleo e região no Brasil**: o desafio da abundância. Rio de Janeiro: Garamond, 2007.

SILVA, C. R. R. **Água Produzida na Extração de Petróleo**. 2000. 27 f. Monografia (Curso de Especialização em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais na Indústria) – Departamento de Hidráulica e Saneamento, Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, 2000.

SILVA, K. B.; SILVA JUNIOR, M.J.; BATISTA, R.O.; SANTOS, D.B.; FILHO, S.B. Desempenho de gotejadores operando com efluente da castanha de caju sob distintas pressões de serviço. **Revista Ceres**, v. 60, p.339-346, 2013.

SOUZA, L. O. C.; MANTOVANI, E.C.; SOARES, A.A.; RAMOS, M.M.; FREITAS, P.S.L. Avaliação de sistemas de irrigação por gotejamento, utilizados na cafeicultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, p.541-548, 2006.

TESTEZLAF, R. **Irrigação**: métodos, sistemas e aplicações. Campinas-SP: Unicamp/Feagri, 2017. 215p.

THOMAS, J. E. **Fundamentos de engenharia de petróleo**. Rio de Janeiro: Interciência, 2004, 271p.

THOMAS, J.E. **Fundamentos de refino do petróleo**. Rio de Janeiro: Ed. Interciência, 2001. 208p.

VALE, H.S.M. **Análise do nível de obstrução em gotejadores operando com diluições de água produzida tratada**. 2019. 133 f. Tese (Doutorado) - Curso de Doutorado em Manejo de Solo e Água do Programa de Pós-graduação em Manejo de Solo, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2019.

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

XAVIER, Y. M. de A.; GUIMARÃES, P. B. V.; SILVA, M. dos R. F. **Recursos Hídricos e Atividade Econômica na Perspectiva Jurídica do Desenvolvimento Sustentável**. Ed. AnjaCzymmeck, Ceará, 2010. 231p.

ZHANGZHONG, L.; YANG, P.; REN, S.; LIU, Y.; LI, Y. Flow characteristics and pressure-compensating mechanism of non-pressure-compensating drip irrigation emitters. **Irrigation and Drainage**, v. 64, p.637-646, 2015.