



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

AUDILENE DANTAS DA SILVA

**EFEITOS DE DILUIÇÕES DE ÁGUA PRODUZIDA DO PETRÓLEO NO  
DESENVOLVIMENTO DO GIRASSOL CULTIVADO EM CASA DE VEGETAÇÃO**

MOSSORÓ  
2018

AUDILENE DANTAS DA SILVA

**EFEITOS DE DILUIÇÕES DE ÁGUA PRODUZIDA DO PETRÓLEO NO  
DESENVOLVIMENTO DO GIRASSOL CULTIVADO EM CASA DE VEGETAÇÃO**

Monografia apresentada ao curso de Engenharia Agrícola e Ambiental da Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Engenheira Agrícola e Ambiental.

Orientador: Prof. Rafael Oliveira Batista.

Co-orientadora: Fabrícia Gratyelli Bezerra Costa

MOSSORÓ - RN  
SETEMBRO DE 2018

© Todos os direitos estão reservados a 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. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

S Silva, Audilene Dantas.  
586 EFEITOS DE DILUIÇÕES DE ÁGUA PRODUZIDA DO  
PETRÓLEO NO DESENVOLVIMENTO DO GIRASSOL CULTIVADO  
Silve EM CASA DE VEGETAÇÃO / Audilene Dantas Silva. -  
2018.  
56 f. : il.

Orientador: Rafael Oliviera Batista.  
Coorientador: Fabrícia Gratyelli Bezerra costa.  
Monografia (graduação) - Universidade Federal  
Rural do Semi-árido, Curso de , 2018.

1. Resíduo líquido. 2. Reúso. 3. Irrigação. 4.  
Oleaginosa. 5. Escassez hídrica. I. Batista,  
Rafael Oliviera , orient. II. costa, Fabrícia  
Gratyelli Bezerra , co-orient. III. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

AUDILENE DANTAS DA SILVA

**EFEITOS DE DILUIÇÕES DE ÁGUA PRODUZIDA DO PETRÓLEO NO  
DESENVOLVIMENTO DO GIRASSOL CULTIVADO EM CASA DE VEGETAÇÃO**

Monografia apresentada ao curso de Engenharia Agrícola e Ambiental da Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Engenheira Agrícola e Ambiental.

Defendida em: 06/09/2018

**BANCA EXAMINADORA**



Prof. Dr. Rafael Oliveira Batista - UFERSA  
Presidente e orientador



Fabrícia Gratyelli Bezerra Costa - UFERSA  
Primeiro Membro



Hudson Salatiel Marques Vale - UFERSA  
Segundo Membro

*Ao meu Deus por todos os dias que cuidares  
de mim e por Teu amor que me conduz pelos  
melhores caminhos.*

*À minha mãe Francisca Teresinha da Silva, a  
minha filha Lavínia Varela da Silva, pela força e  
companheirismo e toda a minha família e amigos.*

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus, primeiramente, por todas as bênçãos, pela fé que me motiva a nunca desistir dos meus sonhos e por guiar meus caminhos.

Aos meus familiares, em especial a minha mãe e melhor amiga, Francisca Teresinha da Silva, pelo apoio nos momentos de dificuldade e pelo companheirismo, a minha filha Lavínia Varela Silva Gomes por ser à base da minha vida e me mostrar o verdadeiro significado do amor incondicional, e ao meu pai, Aldi Dantas da Silva por todo seu amor e carinho.

Ao meu namorado, Wanielson Max pelo amor, companheirismo, e dedicação durante essa jornada.

A minhas amigas e irmãs de coração Keila Danila e Yanne Michele por toda amizade e vivência desde a infância até esta data.

Aos meus amigos que conquistei durante o curso: Raionara Fonseca, Leonardo Cordeiro, Carlos Henrique, Elioneide Sales, Ana Clara, Charlene Câmara, Antônio Osmar, Mariângela Pinheiro, Wellyda Lavor, André Moreira, Bruno Matos, Rita de Cássia, Emilla Nascimento, Antônio Diego, Francisca (chica), Sérgio e aos outros colegas da universidade, a vocês só tenho a agradecer pela convivência, amizade e pelos momentos de alegria. Vocês me ajudaram a não desistir, me deram conselhos preciosos e me fizeram crescer, tenham certeza que os levo no meu coração todos os dias. E aos demais amigos que fazem parte dessa conquista.

Agradeço a meu professor e orientador Rafael Oliveira pela sua paciência, disponibilidade e ajuda para que esse trabalho pudesse ser finalizado.

A Doutaranda Fabrícia Gratyelli pela ajuda e conhecimento passado ao longo do experimento realizado.

E aos professores do curso Engenharia Agrícola e Ambiental, Joaquim Odilon, Marineide Jussara, Rafael Oliveira e Suedêmio de Lima pela paciência, pelos ensinamentos, por compartilharem suas experiências e por fazer de nós alunos um profissional de caráter.

“Não precisamos apagar a luz do próximo para  
que a nossa brilhe.”

Mahatma Gandhi

## RESUMO

A escassez hídrica em algumas regiões, principalmente as áridas e semiáridas, fez gerar a procura de fontes alternativas de água para uso na irrigação, e dentre estas está a água residuária do petróleo, recentemente utilizada em pesquisas com oleaginosas. Este trabalho objetivou estudar os efeitos de diluições de água residuária do petróleo tratada sobre o número de folhas, diâmetro de caule, diâmetro do capítulo, altura de plantas e produção do girassol H-360 no semiárido potiguar. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, no Departamento de Ciências Agrárias e Florestais da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, em Mossoró-RN. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados com cinco tratamentos e cinco repetições, totalizando 25 parcelas. O experimento foi conduzido em vasos com capacidade para 32L, contendo uma planta por vaso, aos quais foram preenchidos com solo proveniente da Fazenda Experimental Rafael Fernandes em Mossoró, classificado como Latossolo, e irrigados por microtubos com vazão de  $1,5\text{L h}^{-1}$ . Os tratamentos foram constituídos por diluições de água residuária do petróleo tratada (APT) em água de abastecimento (AA): T1 - 100% AA e 0% de APT; T2 - 75% AA e 25% de APT; T3 - 50% AA e 50% de APT; T4 - 25% AA e 75% de APT; e T5 - 0% AA e 100% de APT. Ao longo do período experimental foi aplicada uma lâmina bruta de irrigação de 435,35mm em todos os tratamentos. Realizou-se também a caracterização físico-química das diluições (pH, condutividade elétrica,  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{CO}_3^-$ ,  $\text{HCO}_3^{2-}$ , Cu, Zn, Mn, Fe, Ni, Cd, Pb, Cr, Al, As e Ba). As análises físico-químicas das diluições de AP em AA revelaram que os valores médios dos atributos pH,  $\text{CO}_3^-$  (Carbonato) e  $\text{K}^+$  (Potássio) estão acima dos limites usuais para fins de irrigação, enquanto os demais atributos atendem aos padrões para reúso agrícola. Os dados das coletas das características morfogênicas e de produtividade foram submetidos a análises de variância pelo Teste F a 1 e 5 % de probabilidade e a Tukey 5% de probabilidade. Não houve diferença estatística entre as diluições de água residuária do petróleo tratada em relação às características número de folhas, diâmetro de caule, altura de planta e produção do girassol, enquanto a diluição T1 diferiu estatisticamente de T2 em relação ao diâmetro de capítulo. Esses resultados evidenciaram que a água produzida do petróleo tratada não interferiu no desempenho agrônômico do girassol, sendo esta uma alternativa que merece mais estudos para fins de reúso agrícola e florestal no semiárido potiguar. Em geral, a diluição T2 foi a mais adequada para o cultivo do girassol, devido aos melhores resultados em relação ao diâmetro de capítulo, diâmetro de caule e número de folhas e com menor potencial de impacto ambiental em relação às demais diluições.

**Palavras-chave:** Resíduo líquido. Reúso. Irrigação. Oleaginosa.



## ABSTRACT

Water scarcity in some regions, especially arid and semi-arid regions, has led to the search for alternative sources of water for use in irrigation, among which is the wastewater from oil, recently used in oilseed research. The objective of this work was to study the effects of dilutions of wastewater of the treated oil on the number of leaves, stem diameter, diameter of the chapter, height of plants and production of sunflower H-360 in the semiarid potiguar. The experiment was carried out in a greenhouse at the Department of Agrarian and Forestry Sciences of the Universidade Federal Rural do Semi-Árido in Mossoró-RN. The experimental design was a randomized block with five treatments and five replications, totaling 25 plots. The experiment was carried out in pots with 32L capacity, containing one plant per pot, which were filled with soil from the Rafael Fernandes Experimental Farm in Mossoró, classified as Latossolo, and irrigated by 1.5L h<sup>-1</sup> microtubes. The treatments were constituted by dilutions of wastewater of treated oil (APT) in water supply (AA): T1 - 100% AA and 0% APT; T2 - 75% AA and 25% APT; T3 - 50% AA and 50% APT; T4 - 25% AA and 75% APT; and T5 - 0% AA and 100% APT. A crude irrigation depth of 435.35mm was applied throughout the experimental period in all treatments. The physical-chemical characterization of the dilutions (pH, electrical conductivity, Ca<sup>+2</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>, CO<sub>3</sub><sup>-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>2-</sup>, Cu, Zn, Mn, Fe, Ni, Cr, Al, As and Ba). The physico-chemical analyzes of the dilutions of PA in AA revealed that the mean values of the attributes pH, CO<sub>3</sub><sup>-</sup> (Carbonate) and K<sup>+</sup> (Potassium) are above the usual limits for irrigation purposes, while the other attributes meet the standards for agricultural reuse. Data from the morphogenic and productivity data collection were submitted to analysis of variance using the F test at 1 and 5% probability and Tukey 5% probability. There was no statistical difference between the dilutions of wastewater of the treated oil in relation to the number of leaves, stem diameter, plant height and sunflower production, while T1 dilution statistically differed from T2 in relation to the chapter diameter. These results showed that the water produced from the treated oil did not interfere in the agronomic performance of the sunflower, which is an alternative that deserves further studies for the purpose of agricultural and forest reuse in the semi - arid region of. In general, the T2 dilution was the most adequate for sunflower cultivation, due to the best results regarding the chapter diameter, stem diameter and number of leaves and with less potential of environmental impact in relation to the other dilutions.

**Keywords:** Liquid waste. Reuse. Irrigation. Oleaginous.

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                                                                          |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1: Mapa de produção agrícola no Brasil. ....                                                                                                      | 22 |
| Figura 2: Precipitação no Rio Grande do Norte em 2016. ....                                                                                              | 33 |
| Figura 3: Precipitação no Rio Grande do Norte até junho de 2018.....                                                                                     | 33 |
| Figura 4: Localização da casa de vegetação na UFERSA, campus Mossoró.....                                                                                | 36 |
| Figura 5: Croqui vista superior da casa de vegetação do experimento. ....                                                                                | 37 |
| Figura 6: Croqui da área útil do experimento com Girassol.....                                                                                           | 37 |
| Figura 7: Reservatório de água produzida tratada. ....                                                                                                   | 38 |
| Figura 8: Reservatório de irrigação da APT e eletrobombas (a), linhas principais de irrigação (b) e linhas laterais de irrigação (c) .....               | 39 |
| Figura 9: Girassol H-360. ....                                                                                                                           | 41 |
| Figura 10: Aparcimento do broto floral do Girassol H-360 (a), florescimento do girassol H-360 (b) e detalhameto do DCA em diferentes diluições (c) ..... | 50 |

## LISTA DE TABELAS

|                                                                                                                                              |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1: Variação de percentagem de produção de petróleo no RN de 2011 a 2017.....                                                          | 18 |
| Tabela 2: Produção de petróleo, água produzida e razão água:óleo para diversos campos marítimos em produção no Brasil no ano de 2013 .....   | 19 |
| Tabela 3: Análise de laboratório necessárias para avaliar a água de irrigação.....                                                           | 27 |
| Tabela 4: Concentrações máximas de microelementos recomendáveis para a irrigação. ....                                                       | 28 |
| Tabela 5: Alguns parâmetros específicos para lançamento de efluentes.....                                                                    | 31 |
| Tabela 6: Parâmetros específicos por tipologia do empreendimento. ....                                                                       | 31 |
| Tabela 7: Lâminas de AA e APT utilizadas na irrigação do girassol H-360.....                                                                 | 43 |
| Tabela 8: Características físico-químicas da AA e das diluições da APT na irrigação do girassol H- 360, valores médios e desvio padrão ..... | 46 |
| Tabela 9: Resultado das características morfogênicas e de produtividade de girassol irrigado com AA e APT em diferentes diluições.. ....     | 49 |

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

|           |                                                              |
|-----------|--------------------------------------------------------------|
| AA        | Água de Abastecimento                                        |
| ANP       | Agência Nacional de Petróleo                                 |
| AP        | Altura da Planta                                             |
| APT       | Água Produzida Tratada                                       |
| BTEX      | Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno e Xileno                       |
| CE        | Condutividade Elétrica                                       |
| COEMA     | Conselho Estadual de Meio Ambiente                           |
| CONAB     | Companhia Nacional de Abastecimento                          |
| CONAMA    | Conselho Nacional do Meio Ambiente                           |
| CT        | Coliformes Termotolerantes                                   |
| DAT       | Dias Após Transplântio                                       |
| DBC       | Delineamento em Blocos Casualizados                          |
| DC        | Diâmetro do Caule                                            |
| DCA       | Diâmetro do Capítulo                                         |
| DP        | Desvio Padrão                                                |
| DQO       | Demanda Química de Oxigênio                                  |
| EMBRAPA   | Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária                  |
| EMPARN    | Empresa de Pesquisa Agropecuária do RN                       |
| ETC       | Evapotranspiração de Cultura                                 |
| ETO       | Evapotranspiração de Referência                              |
| FAO       | Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura |
| GLP       | Gás Liquefeito                                               |
| LASAP     | Laboratório de Análises de Solo, Água e Planta               |
| MMA       | Ministério do Meio Ambiente                                  |
| MNP       | Número Mais Provável                                         |
| NF        | Número de Folhas                                             |
| OD        | Oxigênio dissolvido                                          |
| PETROBRÁS | Companhia Brasileira de Petróleo                             |
| PH        | Potencial Hidrogeniônico                                     |
| PROD      | Produtividade                                                |
| PVC       | Policloreto de Polivinila                                    |

|         |                                                                        |
|---------|------------------------------------------------------------------------|
| RN      | Rio Grande do Norte                                                    |
| RAS     | Razão de Adsorção de Sódio                                             |
| SEMACE  | Superintendência Estadual do Meio Ambiente do Ceará                    |
| SIPETRO | Setor de Petróleo, Gás e Combustíveis do Estado do Rio Grande do Norte |
| SISVAR  | Sistema para Análises de Variância                                     |
| TSD     | Total de Sais Dissolvidos                                              |
| UFERSA  | Universidade Federal Rural do Semi-árido                               |
| UNESCO  | Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura   |

## SUMÁRIO

|                                                                                                                           |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. INTRODUÇÃO .....</b>                                                                                                | <b>14</b> |
| <b>2. REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>                                                                                        | <b>16</b> |
| <b>2.1. Características da água produzida do petróleo .....</b>                                                           | <b>16</b> |
| <b>2.2. Volumes gerados de água produzida .....</b>                                                                       | <b>18</b> |
| <b>2.3. Impactos ambientais causados pela água produzida .....</b>                                                        | <b>19</b> |
| <b>2.4. Importância do girassol .....</b>                                                                                 | <b>20</b> |
| 2.4.1 Botânica e utilização do girassol .....                                                                             | 20        |
| 2.4.2 Importância econômica do girassol .....                                                                             | 23        |
| <b>2.5 Regulamentação para reúso e práticas brasileiras.....</b>                                                          | <b>24</b> |
| 2.5.1 Reúso agrícola no Brasil .....                                                                                      | 24        |
| 2.5.2 COEMA Nº02 de 02/2017 .....                                                                                         | 28        |
| <b>2.6 Irrigação de girassol com água produzida tratada .....</b>                                                         | <b>32</b> |
| 2.6.1 Utilização da água produzida tratada para irrigação .....                                                           | 32        |
| <b>3. MATERIAL E MÉTODOS.....</b>                                                                                         | <b>35</b> |
| <b>3.1 Localização e caracterização da área experimental .....</b>                                                        | <b>35</b> |
| <b>3.2 Origem e coleta do efluente utilizado .....</b>                                                                    | <b>36</b> |
| <b>3.3 Caracterização da cultura .....</b>                                                                                | <b>37</b> |
| <b>3.4 Caracterização da irrigação .....</b>                                                                              | <b>37</b> |
| <b>3.5 Caracterização da água produzida tratada e da água de abastecimento .....</b>                                      | <b>39</b> |
| <b>3.6 Condução do experimento .....</b>                                                                                  | <b>39</b> |
| 3.6.1 Implantação da cultura .....                                                                                        | 39        |
| <b>3.7 Tratamentos experimentais e demanda hídrica .....</b>                                                              | <b>41</b> |
| <b>3.8 Determinação de características produtivas e biométricas do girassol irrigado com proporções de APT e AA. ....</b> | <b>43</b> |
| 3.8.1 Altura da planta .....                                                                                              | 43        |
| 3.8.2 Número de folhas .....                                                                                              | 43        |
| 3.8.3 Diâmetro do caule .....                                                                                             | 43        |
| 3.8.4 Diâmetro do capítulo .....                                                                                          | 43        |

|       |                                                                                                                                                          |    |
|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.8.5 | Produtividade .....                                                                                                                                      | 43 |
| 3.9   | Análise estatística .....                                                                                                                                | 44 |
| 4.    | RESULTADOS E DISCUSSÃO .....                                                                                                                             | 45 |
| 4.1   | Caracterização da água de abastecimento e da água produzida tratada.....                                                                                 | 45 |
| 4.2   | Efeitos da água de abastecimento e da água produzida tratada em distintas diluições nas características vegetativas e de produtividade do girassol ..... | 47 |
| 5.    | CONCLUSÕES .....                                                                                                                                         | 50 |
|       | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....                                                                                                                         | 51 |

## 1. INTRODUÇÃO

Pode-se dizer que é indispensável o uso da água para sobrevivência da sociedade, em efeito do crescimento populacional acelerado junto com um consumismo desenfreado. O consumo desse bem vem aumentando consideravelmente junto com as preocupações com o meio ambiente. Aliado a esse aumento de consumo de água está à escassez hídrica, correspondendo um desequilíbrio entre a oferta e a demanda de água em algumas regiões.

O petróleo é uma fonte energética fundamental para muitos países, uma vez que serve de insumo para inúmeros setores industriais (automobilístico, têxtil, agrícola, químico, dentre outros). Devido aos seus diversos derivados, como o gás liquefeito (GLP), gasolina, óleo diesel, querosene, nafta, óleos combustíveis e lubrificante, combustível marinho, coque de petróleo, dentre outros, inclusive usos na indústria petroquímica, possui vasta aplicabilidade, tornando-se uma matéria prima de difícil substituição, em curto prazo, na matriz energética mundial (GOMES, 2014).

Na extração do petróleo ocorre a retirada de subprodutos, dentre eles o gás e a água produzida, este último pode possuir os mesmos sais e metais presentes na água do mar, no entanto em concentrações e razões muito superiores (cerca de até 1.000 vezes maior), que caracterizam a idade do poço (FIGUEREDO, 2010). Devido à presença destes sais, podem conter certa quantidade de toxinas, metais pesados e radioatividade, dependendo da formação geológica de onde foi retirada (FARAG e HARPER, 2014). Por isso é necessário realizar um levantamento dos possíveis impactos no solo e na água subterrânea, assim como os efeitos que podem causar nas culturas. (PINHEIRO et al., 2014).

O cultivo de plantas com reúso de água produzida tratada vem sendo uma alternativa para o reaproveitamento dessa água, acrescentado a facilidade de adaptação de várias oleaginosas ao semiárido do Nordeste brasileiro, o que oferece uma opção econômica para as regiões pobres. Uma oleaginosa que se adapta a essas condições é o girassol sendo uma planta com atributos especiais, pelo seu potencial para aproveitamento econômico, devido ao fato de se aproveitar todas as suas partes (SOUZA et al., 2013a; LIRA et al., 2011; CARRÃO-PANIZZI e MANDARINO, 2005) (apud LEITE, 2016, p.39). No Brasil, essa cultura encontra-se entre as principais espécies vegetais de maior potencial produtivo de energia renovável, devido ao fornecimento de matéria-prima para produção de biocombustíveis (SILVA et al., 2013b).



Visto que o semiárido é um lugar adequado para cultivo dessa oleaginosa e que se tem uma grande produção de água produzida, o presente trabalho busca mostrar que a irrigação com esse resíduo pode ser uma alternativa para enfrentar a escassez hídrica e gerar renda ao pequeno produtor, sem que seu uso comprometa as características morfogênicas e a produtividades da cultura a ser irrigada na região semiárida, tendo como objetivo geral avaliar efeitos de diluições de água produzida do petróleo no desenvolvimento do girassol cultivado em casa de vegetação.

O objetivo geral do trabalho foi avaliar os efeitos de diluições de água produzida do petróleo no desenvolvimento do girassol cultivado em casa de vegetação. Tendo como objetivos específicos: a). Determinar as características físico-químicas da água produzida tratada e água de abastecimento, utilizadas na irrigação do girassol H-360; b). Definir a dosagem de água produzida tratada que cause menor potencial poluidor e que maximize o desenvolvimento e produção do girassol H-360; e c). Obter informações sobre a produção e características biométricas do girassol H-360 irrigado com água produzida tratada e água de abastecimento.

## **2. REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1. Características da água produzida do petróleo**

O petróleo se origina pela deposição de matéria orgânica com sedimentos, e sua formação é caracterizada pelo acúmulo de material orgânico sob condições específicas de pressão e isolamento em camadas do subsolo de bacias sedimentares, sofrendo transformações por milhares de anos. De localização restrita em uma bacia sedimentar, os requisitos primários para que se venha eventualmente a localizar um reservatório de petróleo é a presença de algum tipo de rocha reservatório, geralmente porosa, coberta por uma rocha seladora (que impede o escape do óleo para a superfície, vindo a se dissipar) (GOMES, 2014). Nessas bacias se encontram o petróleo, gás e água, o mais pesado a água, se encontra na parte inferior da rocha, sobre ela o petróleo e acima destes o gás.

Um dos subprodutos mais importantes obtido no processo de extração do petróleo é a água de produção. De acordo com MOTTA et al. (2013), água produzida é a água aprisionada nas formações subterrâneas que é trazida à superfície juntamente com petróleo e gás, ainda a mesma é caracterizada como subproduto durante o processo de separação destes fluidos para que possam ser transformados em produtos comerciais. Além dessa água já existente nas formações subterrâneas, existe águas de aquíferos e também a água injetada nos poços. O MANUAL DE INJEÇÃO DE ÁGUA (1998) diz que essa última é injetada nos poços para manter a pressão e auxiliar o fluxo do petróleo para a superfície, aumentando sua produção. A água a ser injetada na rocha pode ser doce, salgada ou aquela produzida juntamente com o óleo depois de separada. Seja qual for o tipo de água injetada no reservatório, ela é tratada para garantir o não entupimento dos poros da rocha, que dificulta a migração do óleo para os poços (SILVA, 2000).

A qualidade da água produzida está intimamente ligada à composição do petróleo, tendo como principais compostos constituintes o óleo, minerais dissolvidos da formação, compostos químicos residuais da produção, sólidos da produção, gases dissolvidos e microrganismos (MOTTA et al., 2013). Fazem parte da sua constituição sais inorgânicos dissolvidos, incluindo sulfetos e sais de amônio, compostos orgânicos dissolvidos e dispersos, dentre eles hidrocarbonetos, ácidos orgânicos e fenóis, e produtos químicos adicionados nos diversos processos de produção como, coagulantes, floculantes, inibidores de incrustação e corrosão, biocidas, estes, utilizados para reduzir o crescimento microbiano e quebradores de

emulsão e de espuma. Sua composição apresenta ainda grandes concentrações e diversidade de metais pesados, sólidos em suspensão como areia, lodo, argila e outros silicatos, e traços de radionuclídeos (FIGUEREDO, 2010).

Na água produzida encontram-se em grande abundância compostos orgânicos, sendo estes causadores de preocupação sobre o ponto de vista ambiental em relação ao seu descarte. Nestes compostos orgânico presente na água produzida pode encontrar em grande quantidade hidrocarbonetos de petróleo, ácidos carboxílicos e fenóis (NEFF et al., 2011). De acordo com ELKINS et al. (2005), os hidrocarbonetos de petróleo que são compostos químicos orgânicos constituídos apenas de hidrogênio e carbono, são os que merecem maior preocupação quando presentes na água produzida, e NEFF et al. (2011) menciona que nesta água produzida os hidrocarbonetos de petróleo podem aparecer tanto na forma dissolvida, quanto na forma dispersa (gotículas de óleo) e são divididos em dois grupos: hidrocarbonetos aromáticos e hidrocarbonetos saturados. Sua solubilidade na água decresce conforme aumenta seu peso molecular e de maneira geral, compostos aromáticos são mais solúveis do que compostos saturados de mesmo peso molecular.

O tipo de processo a ser adotado para o tratamento da água produzida depende dos compostos que se deseja remover. Os compostos a serem removidos, por sua vez, dependem do destino final a ser adotada para a água produzida tratada (APT) que pode ser descarte, injeção ou reúso (MOTTA et al., 2013). O tratamento da água produzida tem como principal objetivo atingir os parâmetros necessários para descarte, reinjeção no poço produtor ou em alguma outra estrutura geológica para disposição (OGP, 2012).

A exploração das atividades no mar (*offshore*) no Brasil, assim como também no restante do mundo, são as de maiores descartes de água produzida tratada e onde há limitação de espaço, vários equipamentos são utilizados para fazer a separação água/óleo/gás. Combinação de ações mecânicas e químicas é eficiente para remoção do óleo disperso e de compostos voláteis, porém, é ineficiente para remoção de compostos orgânicos dissolvidos, íons e metais. De acordo com NEFF et al. (2011) é relevante destacar que por mais avançado que seja o sistema de tratamento e os equipamentos utilizados, a separação água/óleo dificilmente será 100% eficiente.

## 2.2. Volumes gerados de água produzida

De acordo com Sindicato das Empresas do Setor de Petróleo, Gás e Combustíveis do Estado do Rio Grande do Norte (SIPETRO, 2017), a extração de petróleo na bacia potiguar caiu cerca de 15,3% ao longo do ano de 2017, esse percentual chega a ser quase oito vezes maior que 2016. Essa redução pode ter sido ocasionada, pois na bacia potiguar existir vários campos maduros, assim como também pela escassez hídrica. A Tabela 1 mostra a variação da produção de petróleo no Rio Grande do Norte nos anos de 2001 para 2017, onde inicialmente produzia cerca de 30 milhões barris/dia para menos de 20 milhões barris/dia.

**Tabela 1- Variação de percentagem de produção de petróleo no RN de 2001 para 2017.**

| Ano  | Variação % |
|------|------------|
| 2001 | -6,8       |
| 2002 | -2,5       |
| 2003 | -0,9       |
| 2004 | 1,8        |
| 2005 | -6,6       |
| 2006 | -11,1      |
| 2007 | -5,6       |
| 2008 | -2,1       |
| 2009 | 4,6        |
| 2010 | -2,5       |
| 2011 | 3,0        |
| 2012 | 1,6        |
| 2013 | 0,3        |
| 2014 | -4,0       |
| 2015 | -0,6       |
| 2016 | -2,0       |
| 2017 | -15,3      |

Fonte: SIPETRO, 2017

De acordo com GOMES (2014) no Brasil, as operações de produção *offshore* no ano de 2013 registraram a geração de cerca de 95 milhões de m<sup>3</sup> de água produzida, para uma produção de 107 milhões de m<sup>3</sup> de petróleo, resultando em uma razão água: óleo de 0,89:1. Vale ressaltar, que a diferença observada entre a atividade brasileira e a média reportada para o restante do mundo (3:1), esse fato pode estar relacionado à idade da maior parte dos campos brasileiros e início da atividade de exploração e produção no Brasil, mais recente do que em diversos outros países (MORAIS, 2013). Podemos ver na Tabela 2 a geração de água produzida na região potiguar, levando-se em consideração a elevada razão água: óleo 2,64:1

no ano de 2013 na bacia potiguar. A tabela ainda traz maiores volumes de água produzida, situados nos campos de Serra e Aratum, tendo este último apresentado a maior razão água: óleo dentre todos os empreendimentos do Brasil no ano de 2013 (GOMES, 2014).

**Tabela 2- Produção de petróleo água de produzida e a razão água: óleo para os diversos campos marítimos em produção no Brasil, no ano de 2013.**

| <b>Bacia</b> | <b>Campo</b>     | <b>Produção de petróleo (m<sup>3</sup>)</b> | <b>Produção de água produzida (m<sup>3</sup>)</b> | <b>Razão Água: Óleo</b> |
|--------------|------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------------|-------------------------|
| Potiguar     | Agulha           | 16.865,19                                   | 66.706,91                                         | 3,96                    |
|              | Arabainana       | 8.639,11                                    | 4.337,59                                          | 0,50                    |
|              | Aratum           | 12.601,07                                   | 258.901,39                                        | 20,55                   |
|              | Cioba            | 31.715,40                                   | 310,32                                            | 0,01                    |
|              | Oeste de Ubarana | 5.755,11                                    | 8,30                                              | 0,00                    |
|              | Pescada          | 16.896,54                                   | 692,58                                            | 0,04                    |
|              | Serra            | 226.210,92                                  | 782.625,21                                        | 3,46                    |
|              | Ubarana          | 111.892,56                                  | 23.934,15                                         | 0,21                    |
|              | <b>Total</b>     | <b>430.575,89</b>                           | <b>1.137.516,44</b>                               | <b>2,64</b>             |

Fonte: GOMES, 2014. ADAPTADO

### 2.3. Impactos ambientais causados pela água produzida

Após conhecer como surge a água produzida e seus volumes gerados, deve-se saber que sua indevida utilização pode ocasionar danos ao meio ambiente, desde a poluição das águas dos mares, rios, aquíferos, a contaminação do solo, até danos à saúde humana, entre outros.

A exploração e produção de petróleo *onshore* (Terra) e *offshore* (Mar) podem causar ainda significativa poluição atmosférica, devido às diversas fontes de emissões de gases de efeito estufa (O'ROURKE e CONNOLLY, 2003). De acordo IFC (2007) os principais poluentes das emissões para a atmosfera são: dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), compostos orgânicos voláteis (VOC), dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>) e óxidos de nitrogênio (NOX) (OGP, 2012), ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>S), compostos BTEX (benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno), glicóis e hidrocarbonetos poliaromáticos (HPA). No meio marinho, os íons inorgânicos, como sódio e cloreto, não são vistos como uma preocupação quando descartados junto à água produzida, entretanto, quando se trata de descarte em terra ou na superfície de corpos hídricos de água doce ou salobra, são um dos principais causadores de desequilíbrios

(NEFF et al., 2011), o mesmo ainda relata que a maior parte dos compostos aromáticos presente na água produzida é de baixo peso molecular, desta forma, apesar de se tratarem dos componentes que causariam maiores danos ao meio ambiente, a maior parte é bastante volátil, reduzindo bruscamente suas concentrações no momento do descarte, através da solubilização, mistura na água do mar e perda para a atmosfera, caso dos compostos BTEX.

A água produzida possui os mesmos sais e metais presentes na água do mar, porém em concentrações e razões muito superiores (cerca de até 1.000 vezes maior), que caracterizam a idade do poço (FIGUEREDO, 2010). Geralmente devido a essa salinidade podem conter certa quantidade de toxinas, metais pesados e radioatividade, dependendo da formação geológica de onde foi retirada (FARAG e HARPER, 2014).

Caso essa água produzida seja descartada no mar sem passar por tratamentos adequados podem alterar a qualidade da água, e aumentar a concentração de poluentes, poluindo o habitat marinho existente naquela região, o contato pode causar toxicidade aos animais podendo levar até a morte, pois a ingestão dessa água é mais comum entre eles. E aos seres humanos, caso tenha contato poderá causar doenças de pele, irritações e até intoxicação graves caso venha a ser ingerida.

Pode-se ainda mencionar que por sua complexidade química, os descartes de água produzida podem ser responsáveis pela alteração da qualidade da água do mar, aumentando a concentração de poluentes na coluna d'água e contaminando o sedimento marinho, inclusive causando danos a comunidade bentônica e seu habitat e indiretamente aos peixes (FRASER e ELLIS, 2009). Já os descartes *onshore*, a composição deste efluente pode acarretar danos irreversíveis a corpos hídricos mais sensíveis, contaminação do solo e emissões atmosféricas (IFC, 2007).

Tanto nas operações *onshore*, quanto *offshore*, espera-se que o volume de água produzida gerada aumente ao longo dos anos, devido ao envelhecimento dos poços de produção e ao aumento do número de empreendimentos.

## **2.4. Importância do girassol**

### **2.4.1 Botânica e utilização do girassol**

O girassol (*Helianthus annuus L.*) é uma cultura dicotiledônea anual da família Asteraceae, pertencente ao gênero *Helianthus*, a qual faz referência ao movimento da flor em

relação ao sol, fenômeno conhecido como heliotropismo (SOUSA et al., 2012; COSTA, 2012; OLIVEIRA et al., 2005; CASTRO e FARIAS, 2005)(apud LEITE, 2016, p.37).

OLIVEIRA et al. (2005) relata que o girassol é uma planta herbácea, dicotiledônea, pertencente à família das compostas, que possui um sistema radicular profundo, chegando a 2m de profundidade, geralmente com inúmeras raízes secundárias; caule tipicamente não ramificado, ereto e cilíndrico; altura variando de 1,0 a 3,0 m; diâmetro da haste de 2,0 a 5,0 cm; folhas inferiores opostas e superiores, geralmente, alternadas com três nervuras principais de coloração variando de verde escuro a verde amarelo; inflorescência em capítulos, formados por inúmeras flores, situados em um receptáculo discoidal; flores do tipo lingulada e tubulosa; o fruto apresenta coloração diversificada; planta alógoma de polinização entomófila.

A inflorescência do girassol é do tipo capítulo, variando de 6 a 50 cm de diâmetro, onde são desenvolvidos os grãos, também denominados de aquênios, podendo variar de 100 a 8.000 flores por capítulo (SANTOS, 2010; COSTA, 2012; CASTRO et al., 1997; CASTIGLIONI et al., 1997).

O girassol apresenta um ciclo vegetativo variando entre 90 a 130 dias, dependendo da cultivar, da época de semeadura, das condições ambientais características de cada região e ano (CASTRO et al., 1997; CASTIGLIONI et al., 1997). A colheita deve ser iniciada quando a umidade dos aquênios estiver entre 14 a 16 %, em torno de 90 a 130 dias após emergência das plantas, dependendo das condições climáticas do local, onde nesta fase as folhas estão totalmente secas, com o caule e o capítulo apresentando coloração castanha escuro a marrom (CASTRO et al., 1997). Por apresentar um sistema radicular pivotante, o girassol proporciona melhorias na estrutura e fertilidade dos solos por meio da ciclagem de nutrientes e uma reduzida taxa de exportação de nutrientes, porém, para esta cultura, são indicados solos de textura média com boa drenagem, profundos, com fertilidade razoável e pH superior a 5,2, variando de ácido a neutro (LIRA et al., 2011; SANTOS, 2010).

De acordo com a Embrapa a cultura do girassol é semeada no Centro-Oeste (Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Goiás), Sudeste (Minas Gerais) e Sul (Rio Grande do Sul) do Brasil. Segundo dados da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2018) o girassol foi semeado em 62,3 mil hectares, resultando em uma produção de 102 mil toneladas, na safra 2016/2017 (Figura 1). Os estados de Mato Grosso do Sul, Goiás e Minas Gerais, foram os que menos sofreram com a estiagem, vez que obtiveram bons aumentos em suas produtividades, se comparados com a safra passada, fato ocorrido devido às boas condições climáticas nas

regiões produtoras, propiciando boa produtividade. Não houve aumento de área e sim aumento de produtividade que propiciou acréscimo na produção, em torno de 14,9%, se comparada com a safra passada.

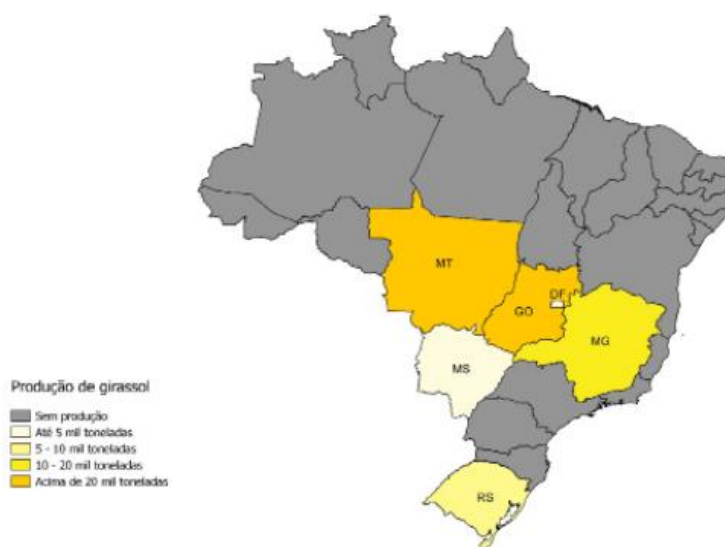


Figura 1- Mapa da produção agrícola no Brasil – Girassol

**Fonte:** CONAB, 2018.

O estado de Mato Grosso foi responsável por 54% da produção nacional da oleaginosa. O interesse pelo cultivo de girassol cresce, devido à busca por alternativas agrícolas e pelo interesse em óleos vegetais de melhor qualidade (EMBRAPA, 2017).

O girassol é principalmente cultivado no mundo como fonte de óleo comestível, sendo a terceira cultura anual com maior produção de óleo no mundo. Entre as culturas anuais, o girassol é responsável por 16% da produção mundial de óleo, enquanto a soja atende por 46% da produção este óleo contém inúmeras características nutricionais e funcionais à dieta humana. Sendo uma cultura com fonte de proteínas para alimentação animal na forma de farelo e até como silagem, os farelos constituem importante fonte de proteína para a alimentação animal, formados por aproximadamente 44% de proteína bruta. No Brasil, o girassol demonstra um grande potencial de expansão, isso se deve a diversidade de aplicações em diferentes áreas como produção de ração, silagem, óleo para consumo humano, floricultura, alimentação animal, além de ser uma excelente alternativa de matéria-prima para a produção de biodiesel (QUEIROGA, 2011).



Estudos realizados no Brasil e demais países produtores de girassol têm comprovado a eficiência nutricional da torta de girassol na formulação de rações para nutrição animal. Seus grãos têm um mercado bem aberto na alimentação de pássaros, no ramo de confeitaria é usado em pães, biscoitos, etc. Outro mercado que vem despertando grande interesse entre a população é o de girassol ornamental, que pode ser utilizado em jardins ou como flor de corte, com grande aceitação no mercado de floricultura (EMBRAPA, 2018).

A utilização dessa oleaginosa pode-se gerar um combustível conhecido como Biodiesel formado pela mistura em diferentes concentrações, de éster (nome científico dado para um tipo de gordura) de óleos vegetais com o óleo diesel derivado do petróleo (BIODIESELBR, 2004). A produção do biodiesel vegetal pode vir de várias matérias primas como: soja, girassol, mamona ou até mesmo de óleo de fritura residencial. Existem dois métodos mais usuais para produção do biodiesel, a transesterificação e o craqueamento. Sendo o processo de transesterificação o mais utilizado, que consiste na reação de um óleo vegetal com um álcool (metanol ou etanol que é o álcool mais comum utilizado em automóveis e produzido da cana-de-açúcar) junto com um catalisador, produzindo assim o biodiesel e de resíduos a glicerina, produto usado na fabricação de sabonetes. No processo de transesterificação a glicerina é removida do óleo vegetal, o que o torna mais fino e reduzindo sua viscosidade (BIODIESELBR, 2004).

O Ministério da Ciência e Tecnologia incluiu o girassol em seu programa de biodiesel, porém o mesmo ministério através de estudos vê pouco futuro para o girassol no biocombustível. Outros estudos comprovam que o biodiesel é viável, sem a necessidade de adaptação de motores, as máquinas apresentam um rendimento 10% maior por litro consumido em relação ao diesel convencional e não há sinais de desgaste além do normal nos equipamentos, sendo também um ganho ambiental, pois o óleo de girassol não tem componentes de chumbo e enxofre que poluem a natureza, como o diesel proveniente do petróleo. (AEAGRI/DEA/UFV, 2007).

#### **2.4.2 Importância econômica do girassol**

O girassol (*Helianthus annuus L.*) é uma planta com atributos especiais, pelo seu potencial para aproveitamento econômico, devido ao fato de se aproveitar todas as suas partes (SOUZA et al., 2013; LIRA et al., 2011; CARRÃO-PANIZZI e MANDARINO, 2005) (apud LEITE, 2016, p.39).

O girassol é quarta oleaginosa mais consumida no mundo, ficando atrás da soja, da palma e da canola de acordo com LIRA et al. (2011).

No Brasil, essa cultura encontra-se entre as principais espécies vegetais de maior potencial produtivo de energia renovável, devido ao fornecimento de matéria-prima para produção de biocombustíveis (SILVA et al., 2013). O óleo de girassol tem uma viabilidade técnico-ambiental (BONACIN et al., 2009). Além de ser utilizado para produção de biodiesel possui qualidade excepcional, principalmente por não apresentar derivados do petróleo e reduzir as emissões de poluentes para atmosfera, onde, experiências realizadas em São Paulo demonstraram que o biodiesel originado dessa espécie vegetal é viável sem a necessidade de adaptação dos motores (LIRA et al., 2011), ainda destacando que a cultura do girassol vem apresentando um bom desempenho na região Nordeste brasileira, fazendo com que a mesma seja vista como mais uma alternativa de exploração comercial, principalmente para a agricultura familiar.

## **2.5 Regulamentação para reúso e práticas brasileiras**

### **2.5.1 Reúso agrícola no Brasil**

Não existem muitas regulamentações específicas aplicáveis sobre o gerenciamento, tratamento e padronização da água produzida tratada (APT) e seus descartes no ambiente, apesar dos grandes volumes gerados deste efluente e do seu potencial de danos ao meio ambiente.

A lei do petróleo (9.478/97) dispõe sobre a Política Energética Nacional, as atividades relativas ao monopólio de petróleo, institui o Conselho Nacional de Política Energética, órgão de assessoria e consulta da Presidência da República, com atribuição de propor políticas para o setor petrolífero e a Agência Nacional do Petróleo (ANP), atualmente denominada Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (BRASIL, 1997). Esta lei sofreu algumas alterações pela lei 12.351/2010 (BRASIL, 2010), logo após a descoberta do pré-sal, mas, não alterou seu fundamento no que diz respeito às obrigações do setor com relação às questões ambientais, sobre as quais fica definido na referida lei que é objetivo da Política Energética Nacional proteger o meio ambiente e garantir a conservação de energia e cabe aos concessionários adotar as medidas necessárias para preservação dos reservatórios e outros recursos naturais para proteção do meio ambiente.

A implantação do reúso está vinculada a especificações locais, devendo respeitar a condição do país relacionada à gestão administrativa e de recursos hídricos, à proteção à saúde e ao meio ambiente, e baseando-se nos órgãos competentes (CUNHA et al., 2011). De acordo com a UNESCO no Relatório Mundial das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento dos Recursos Hídricos 2017, é necessário modificar a gestão das águas, passando de um modelo de tratamento e eliminação, para um modelo de redução, reutilização, reciclagem e recuperação dos recursos hídricos (VERDÉLIO, 2017).

De acordo com CUNHA et al. (2011), os padrões para cada tipo de reúso e as diretrizes para sua implantação são as questões a serem consideradas em relação à regulamentação do reúso, o mesmo ainda relata que no Brasil, diferente dos outros países, o reúso da água é uma experiência atual. No momento não se pode estabelecer padrões, o que pode ser feito é um ajuste à realidade nacional através de estudos sobre os riscos associados e os conhecimentos das condições específicas das regiões.

Já ROCHA (2013) relata que apesar de não termos normas para este tipo de uso, devemos seguir os padrões estabelecidos pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), a Resolução 430, de 13 de maio de 2011, dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes e a Resolução CONAMA 357, de 17 de março de 2005 que dispõe sobre a classificação dos corpos d'água (MMA, 2005). Segundo ele a qualidade da água para agricultura envolve variáveis, formando um conjunto de características físicas, químicas e biológicas. Normalmente as análises que se realizam na água são: pH (acidez ou alcalinidade), a salinidade tal como condutividade elétrica ou total de sais dissolvidos, íons: sódio, cálcio, magnésio, cloretos, sulfatos, carbonatos e bicarbonatos, além dos nutrientes tais como nitrato.

A Resolução CONAMA 430/2011, trata dos padrões de qualidade dos efluentes que serão lançados, descrevendo os padrões que devem ser monitorados e respeitados no efluente previamente ao descarte (MMA, 2011). Ficando estabelecido que o enquadramento e o automonitoramento dos efluentes para descarte devem ser realizados pelos responsáveis do empreendimento, conforme disposto no artigo 24 da Resolução CONAMA 430/2011.

Para determinação das concentrações máximas permitidas de poluentes no meio hídrico, superficial e subterrâneo, as Resoluções CONAMA nº 357 e nº 430 são as principais normatizações que regem esses padrões (LEITE, 2016), fazendo com que a água produzida para a irrigação se enquadre primeiro à resolução 430/2011, removendo todos os

contaminantes orgânicos e tóxicos, para só depois tentá-la enquadrar na resolução 357/2005, podendo assim utilizá-la para irrigação.

Na Resolução nº 430/2011, destaca-se os seguintes artigos sobre a disposição final de efluentes tratados:

- Artigo 3º. Os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados diretamente nos corpos receptores após o devido tratamento e desde que obedeçam às condições, padrões e exigências dispostos nesta Resolução e em outras normas aplicáveis.

- Artigo 5º. Os efluentes não poderão conferir ao corpo receptor características de qualidade em desacordo com as metas obrigatórias progressivas, intermediárias e finais, do seu enquadramento.

Ainda segundo a Resolução CONAMA nº 430/2011, as concentrações máximas de alguns principais elementos químicos em um efluente a ser lançado em um corpo receptor são: chumbo total =  $0,5 \text{ mg L}^{-1}$ ; cobre dissolvido =  $1,0 \text{ mg L}^{-1}$ ; ferro dissolvido =  $15,0 \text{ mg L}^{-1}$ ; manganês dissolvido =  $1,0 \text{ mg L}^{-1}$ ; níquel total =  $2,0 \text{ mg L}^{-1}$ ; nitrogênio amoniacal total =  $20,0 \text{ mg L}^{-1}$ ; e zinco total =  $5,0 \text{ mg L}^{-1}$  (MMA, 2011).

De acordo com ALMEIDA (2010) são vários parâmetros são considerados na avaliação da qualidade da água para a irrigação, estes devem contemplar um conjunto de características físicas, químicas e biológicas que definem sua adequação ou não para o uso. As determinações realizadas na água são: Potencial Hidrogeniônico (pH), Condutividade Elétrica (CE), Total de Sais Dissolvidos (TSD), íons: sódio ( $\text{Na}^+$ ), potássio ( $\text{K}^+$ ), cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ), magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ), cloretos ( $\text{Cl}^-$ ), sulfatos ( $\text{SO}_4^{2+}$ ), carbonatos ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) e bicarbonatos ( $\text{HCO}_3$ ). A Tabela 3 mostra alguns parâmetros avaliados, assim como, o intervalo usual em água de irrigação.

**Tabela 3- Análises de laboratório necessárias para avaliar a água para irrigação**

| Parâmetros             | Unidade <sup>1</sup> | Intervalo usual na<br>água de irrigação | Fatores de<br>conversão                    |
|------------------------|----------------------|-----------------------------------------|--------------------------------------------|
| <b>SALINIDADE</b>      |                      |                                         |                                            |
| Condutividade Elétrica | $\text{dS.m}^{-1}$   | 0 – 3                                   | $\text{Po}=0,36 \text{ CE}$<br>(atm)(dS/m) |
| <b>CÁTIONS E ÂNIOS</b> |                      |                                         |                                            |
| Cálcio                 | $\text{meq.L}^{-1}$  | 0 – 20                                  | <b>Pe<sup>2</sup></b><br>20,04             |
| Magnésio               | $\text{meq.L}^{-1}$  | 0 – 5                                   | 12,16                                      |

|                       |                     |         |       |
|-----------------------|---------------------|---------|-------|
| Sódio                 | meq.L <sup>-1</sup> | 0 – 40  | 22,99 |
| Carbonatos            | meq.L <sup>-1</sup> | 0 – 10  | 30,00 |
| Bicarbonatos          | meq.L <sup>-1</sup> | 0 – 10  | 61,02 |
| Cloretos              | meq.L <sup>-1</sup> | 0 – 30  | 35,45 |
| Sulfatos              | meq.L <sup>-1</sup> | 0 – 20  | 48,03 |
| <b>NUTRIENTES</b>     |                     |         |       |
| Nitrato – Nitrogênio  | mg.L <sup>-1</sup>  | 0 – 10  | 62,00 |
| Amoníaco – Nitrogênio | mg.L <sup>-1</sup>  | 0 – 5   | 18,04 |
| Fosfato – Fósforo     | mg.L <sup>-1</sup>  | 0 – 2   | 31,66 |
| Potássio              | mg.L <sup>-1</sup>  | 0 – 2   | 39,10 |
| <b>pH</b>             |                     | 6 – 8,5 |       |

**Fonte:** ALMEIDA, 2010. ADAPTADA

Po = Pressão Osmótica

1 – dS m = deciSiemes por metro em unidade do sistema internacional (SI) (1 mmho cm<sup>-1</sup> = 1 dS m<sup>-1</sup>)

mg L<sup>-1</sup> = miligrama por litro = partes por milhão (ppm)

meq L<sup>-1</sup> = mili equivalente por litro (meq L<sup>-1</sup> x Pe = mg L<sup>-1</sup>).

Em unidade do Sistema Internacional (SI), 1 meq L<sup>-1</sup> = 1 mmol L<sup>-1</sup> corrigido segundo a carga elétrica.

2 – Pe = Peso equivalente = Peso atômico ÷ valência

Os valores máximos de concentrações dos poluentes permitidas para alguns elementos químicos presentes em águas residuária para aplicação em culturas agrícolas são citados na Tabela 4, sendo valores que podem ser utilizados como referencial também para a água produzida tratada. Nenhum dos elementos que aparecem na Tabela 4 é fitotóxico quando sua concentração é inferior ao valor indicado. Deste modo, a água é considerada satisfatória apresentando essas características, sendo utilizada para qualquer tipo de cultivo em qualquer tipo de solo. Isso não significa que, ao exceder o limite recomendado, chegue necessariamente a produzir-se fitotoxicidade, pois a maior parte dos elementos indicados é adsorvida ou retida facilmente pelo solo, onde se acumulam com o tempo. Porém, a utilização repetida de uma água cujas características excedam os valores recomendados poderá causar um aumento progressivo desses elementos no solo, até alcançar um nível capaz de provocar fitotoxicidade (ALMEIDA, 2010).

**Tabela 4 - Concentrações máximas de microelementos recomendáveis para a irrigação**

| <b>Elemento</b> | <b>Concentração<br/>(mg.L<sup>-1</sup>)</b> | <b>Toxicidade</b>                                                                                                                         |
|-----------------|---------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Alumínio        | 5,00                                        | Pode tornar improdutivos solos ácidos (pH < 5,5); porém em solos com pH > 7 o Al é precipitado, sendo eliminada a toxicidade.             |
| Arsênico        | 0,10                                        | O nível tóxico varia amplamente nas plantas, desde 12 mg L <sup>-1</sup> para a pastagem até menos de 0,05 mg L <sup>-1</sup> para arroz. |

|          |      |                                                                                                                                                                                                                                          |
|----------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Cádmio   | 0,01 | Tóxico para os feijões, beterraba e nabo em concentrações tão baixas como 0,1 mg L <sup>-1</sup> em soluções nutritivas. Recomendam-se limites baixos devido a sua acumulação potencial em solos e plantas. Perigoso para seres humanos. |
| Cromo    | 0,10 | Geralmente não é conhecido como elemento essencial. Valores baixos recomendados por falta de conhecimento sobre sua toxicidade às plantas.                                                                                               |
| Cobre    | 0,20 | Entre 0,1 a 1,0 mg L <sup>-1</sup> é tóxico às plantas em soluções nutritivas.                                                                                                                                                           |
| Ferro    | 5,00 | Não é tóxico em solos com boa aeração, porém contribui para a acidez e a indisponibilidade do fósforo e do molibdênio. A aspersão pode causar a formação dos depósitos nas folhas.                                                       |
| Manganês | 0,20 | No geral, tóxico só em solos ácidos desde alguns décimos até uns poucos mg L <sup>-1</sup> .                                                                                                                                             |
| Níquel   | 0,20 | Entre 0,5 e 1,0 mg L <sup>-1</sup> tóxico para certas plantas. Sua toxicidade é reduzida em pH neutro ou alcalino.                                                                                                                       |
| Chumbo   | 5,00 | Em altas concentrações pode inibir crescimento celular.                                                                                                                                                                                  |
| Zinco    | 2,00 | Tóxico para muitas plantas em concentrações bastante variadas. Sua toxicidade é reduzida em pH > 6 em solos de textura fina.                                                                                                             |

**Fonte:** ALMEIDA, 2010.ADAPTADA.

### 2.5.2 COEMA N°02 de 02/2017

Recentemente foi elaborada a Resolução COEMA N°02, de 02 de fevereiro de 2017 do Estado do Ceará, onde de 02 de fevereiro de 2017. Dispõe sobre padrões e condições para lançamento de efluentes líquidos gerados por fontes poluidoras (SEMACE, 2017).

Dentre alguns pontos importantes da Resolução COEMA nº 02/2017, pode-se considerar:

- A necessidade de estabelecerem-se os padrões de lançamento nos corpos receptores, para os efluentes industriais e de outras fontes de poluição hídrica.
- O regime de intermitência dos corpos receptores dos efluentes líquidos industriais e domésticos e a escassez das reservas de água do Estado.

- O potencial impacto do lançamento de efluentes no solo e águas superficiais e subterrâneas;
- A escassez de recursos hídricos no Estado do Ceará, a qual está relacionada aos aspectos de quantidade e qualidade; e
- Que o reúso de água se constitui em prática de racionalização e de conservação de recursos hídricos.

A resolução presente trata sobre as condições, parâmetros, padrões e diretrizes para gestão do lançamento de efluentes em corpos receptores e em rede coletora de esgoto, em atendimento aos princípios e respectivos objetivos da Política Nacional de Meio Ambiente, e complementando a Resolução CONAMA nº357, de 17 de março de 2005, e Resolução CONAMA nº430, de 13 de maio de 2011. Nesta Resolução pose-se ressaltar os seguintes artigos sobre os padrões e condições para lançamento de efluentes líquidos:

- Artigo 2º. Estabelecer diretrizes, critérios e parâmetros específicos para o reúso não potável de água de acordo com as modalidades regulamentadas nesta Resolução.
- Artigo 4º. Adotam-se algumas definições, destacando-se as seguintes:

V. Água de reúso: efluente que se encontra dentro dos padrões exigidos para sua utilização nas modalidades pretendidas.

XV. Efluentes tratados: efluentes submetidos a um tratamento parcial ou completo, com a finalidade de conseguir a remoção de substâncias indesejáveis e a estabilização da matéria orgânica;

- Artigo 9º. As indústrias deverão instalar, às suas expensas, medidores de vazão dotados da função de totalização de volume contínua dos seus efluentes lançados, os quais deverão gerar dados instantâneos e históricos, que poderão ser solicitados a qualquer tempo pelo órgão ambiental ou, quando do lançamento indireto dos efluentes, pelas operadoras de serviços de esgoto.

- Artigo 11º. Os efluentes não sanitários, somente poderão ser lançados diretamente no corpo hídrico desde que obedeçam resguardadas outras exigências cabíveis, as seguintes condições e padrões específicos:

I - pH: entre 5,0 e 9,0;

II - Temperatura: inferior a 40°C;

III - materiais sedimentáveis: até 1 mL.L<sup>-1</sup> em teste de 1 hora em cone Imhoff;

IV - Substâncias solúveis em hexano:

a) óleos minerais: até 20 mg.L<sup>-1</sup>; e,

b) óleos vegetais e gorduras animais: até 50 mg.L<sup>-1</sup>.

V - Ausência de materiais flutuantes;

VI - Cor aparente: presença de corantes e pigmentos virtualmente ausentes;

VII - sólidos suspensos totais: até 100,0 mg.L<sup>-1</sup>;

VIII - NMP de coliformes termotolerantes: até 5000 NMP/ 100ml;

IX - Sulfeto: até 1 mg.L<sup>-1</sup>;

X - Nitrogênio amoniacal total, da seguinte forma:

a) até 20 mg/L, quando o pH for menor ou igual a 8,0; ou,

b) até 5 mg/L, quando o pH for maior que 8,0.

XI - sulfato: até 500 mg.L<sup>-1</sup>; XII - Demanda Química de Oxigênio (DQO): até 200,0 mg.L<sup>-1</sup>;

XII - Demanda Química de Oxigênio (DQO): até 200,0 mg.L<sup>-1</sup>;

XIII - para os efluentes provenientes de lagoas de estabilização: OD > 3 mg.L<sup>-1</sup>; e

XIV - cianeto total: até 1,0 mg.L<sup>-1</sup>; XV - cianeto livre: até 0,2 mg.L<sup>-1</sup>.

XVI - valores máximos admissíveis das substâncias constantes da Tabela 5 encontrado no anexo I da Resolução, e de acordo com o enquadramento do empreendimento, conforme Tabela 6 encontrado no anexo III da Resolução.

**Tabela 5- Alguns parâmetros específicos para lançamento de efluentes**

| <b>Parâmetros Inorgânicos e orgânicos</b> | <b>Valores Máximos</b>    |
|-------------------------------------------|---------------------------|
| Alumínio                                  | 10 mg Al.L <sup>-1</sup>  |
| Arsênio Total                             | 0,5 mg As.L <sup>-1</sup> |
| Cádmio                                    | 0,2 mg Cd.L <sup>-1</sup> |



|                   |                                   |
|-------------------|-----------------------------------|
| Chumbo            | 0,5 mg Pb.L <sup>-1</sup>         |
| Cromo hexavalente | 0,1 mg Cr.L <sup>-1</sup>         |
| Cobre dissolvido  | 1 mg Cu.L <sup>-1</sup>           |
| Ferro solúvel     | 15 mg Fe.L <sup>-1</sup>          |
| Manganês solúvel  | 1,0 mg Mn.L <sup>-1</sup>         |
| Níquel            | 2,0 mg Ni.L <sup>-1</sup>         |
| Zinco             | 5,0 mg Zn.L <sup>-1</sup>         |
| Carbonatos totais | 1,0mg.L <sup>-1</sup> em Paration |

**Fonte:** SEMACE,2017. ADAPTADA.

**Tabela 06: Parâmetros específicos por tipologia do empreendimento.**

| <b>COMBUSTÍVEIS/DERIVADOS DE PETRÓLEO</b>           |               |
|-----------------------------------------------------|---------------|
| Refinaria e Indústria de beneficiamento de petróleo |               |
| Níquel                                              | Ferro Solúvel |
| Zinco                                               | Cádmio        |
| Benzeno                                             | Chumbo        |
| Tolueno                                             | Cobre         |
| Xileno                                              | Mercúrio      |
| Estireno                                            |               |

**Fonte:** SEMACE, 2017. ADAPTADA.

- Artigo 16°. Para disposição no solo, os efluentes tratados deverão seguir os mesmos parâmetros e limites estabelecidos no Art.11, quando para efluentes não sanitários, incluindo ainda os seguintes padrões:

I - Condutividade elétrica até 1.000  $\mu\text{S.cm}^{-1}$ ;

II - Razão de Adsorção de Sódio – RAS até 10  $(\text{mmolc L}^{-1})^{1/2}$

O artigo ainda menciona que quanto ao lançamento de efluentes no solo, deverá ser apresentado o monitoramento deste corpo receptor quando este for lançado diretamente no solo, as amostras representativas do solo deverão ser compostas por no mínimo cinco subamostras por hectare, com coletas de profundidade de 0-20 cm e periodicidade de no mínimo seis meses.

- Artigo 18°. Os efluentes especiais só poderão ser lançados diretamente no corpo receptor após tratamento e deverão atender aos parâmetros estabelecidos no Art.11 da seção I, além de serem submetidos à desinfecção para remoção de agentes patogênicos.

O capítulo III da Resolução COEMA 02/2017 relata as condições e padrões para reúso, evidenciando os artigos abaixo:

- Artigo 36°. As modalidades de reúso estabelecidas neste capítulo, serão realizados após submissão e análise do órgão ambiental competente.

- Artigo 37°. O reúso direto de água não potável, para efeito desta Resolução, abrange as seguintes modalidades:

I – Reúso para fins urbanos: utilização de água de reúso para fins de irrigação paisagística, lavagem de logradouros públicos e veículos, desobstrução de tubulações, construção civil, edificações e combate de incêndio dentro da área urbana;

II – Reúso para fins agrícolas e florestais: Aplicação de águas de reúso para a produção agrícola e cultivo de florestas plantadas;

III – Reúso para fins ambientais: utilização de água de reúso para a implantação de projetos de recuperação do meio ambiente;

IV – Reúso para fins industriais: utilização de reúso em processos, atividades e operações industriais;

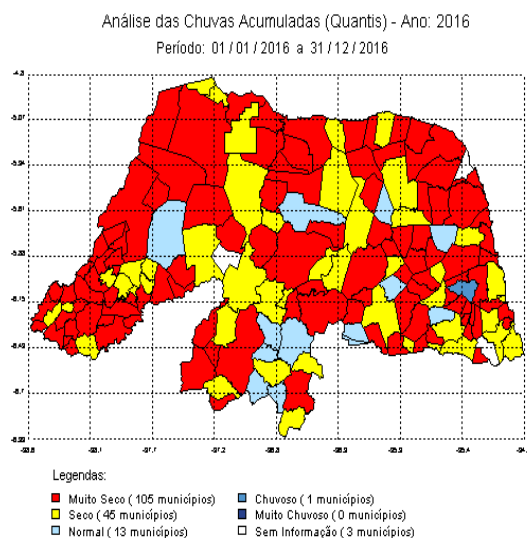
V – Reúso na aquicultura: utilização de água de reúso para a criação de animais ou para o cultivo de vegetais aquáticos.

## **2.6 Irrigação de girassol com água produzida tratada**

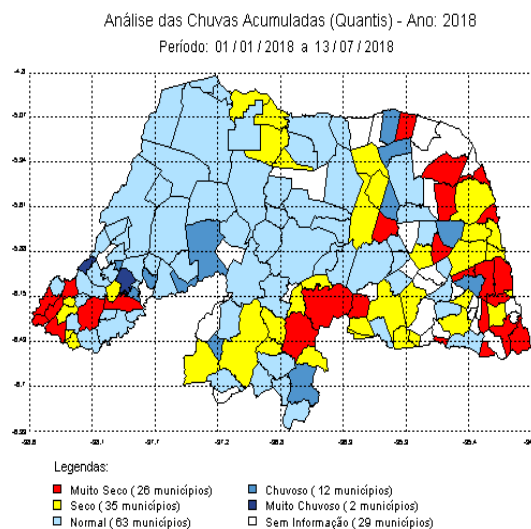
### **2.6.1 Utilização da água produzida tratada para irrigação**

O Brasil possui 12% das reservas de água doce do mundo, contudo 70% deste volume localizam-se na bacia amazônica, sendo o restante distribuído de forma desigual por todo o Brasil, atendendo a população brasileira. O Nordeste possui menos de 5% das reservas, em que boa parte é formada de águas subterrâneas com teores de sais acima do recomendado para consumo humano (INÁCIO, 2013)

A água é um bem bastante valioso e escasso na região Nordeste, e no decorrer dos últimos anos o estado do Rio Grande do Norte (RN) vem sofrendo com crise hídrica, devido aos baixos índices pluviométricos (Figura 2). Desde 2011 que o Nordeste sofria com a falta de chuva, tendo uma significativa melhora no ano de 2018 (Figura 3).



**Figura 2- Precipitação RN (Ano: 2016)**  
**Fonte:** EMPARN, 2018.



**Figura 3- Precipitação no RN (Ano: 2018)**  
**Fonte:** EMPARN, 2018.

Considerando a crise hídrica dos anos anteriores onde cerca de mais de 105 municípios sofreram com a seca, apenas um município teve período chuvoso, e que o RN vem produzindo bastante água dos poços de petróleo, verificando a destinação desta água produzida, ocorre à possibilidade de reaproveitamento, destinando a mesma para irrigação de plantações no semiárido nordestino (EMPARN, 2018).

Nas unidades de produção do Rio Grande do Norte e Ceará, a falta de destinação da água produzida é um fator preocupante, a qualidade desta possui baixa salinidade se comparada a outras de estados brasileiros, tornando-se uma alternativa a utilização da água produzida para fins de irrigação e produção de oleaginosas. No entanto, é preciso realizar levantamento dos possíveis impactos no solo e na água subterrânea, assim como os efeitos que podem causar nas culturas. A Petrobrás vem elaborando um projeto piloto, que tem como objetivo principal estudar o reúso da água produzida na irrigação, esse projeto se localiza na Fazenda Belém no Ceará, e busca avaliar os efeitos da água produzida no solo, nas águas subterrâneas e no desenvolvimento de oleaginosas e flores ornamentais. O projeto ainda intenciona que água produzida receba vários tratamentos, incluindo processos avançados de dessalinização e filtração, tornando a mesma apta para o reúso (PINHEIRO et al., 2014).

A cultura do girassol na região Nordeste brasileira vem ganhando um papel de suma importância, sendo vista como mais uma alternativa de exploração comercial, principalmente para a agricultura familiar (LIRA et al., 2011). A área colhida, produtividade e produção de

girassol das regiões Norte e Nordeste encontram-se consideravelmente baixas quando comparadas com as demais regiões (CONAB, 2014).

Com relação ao Estado do Rio Grande do Norte, constata-se que as primeiras pesquisas desenvolvidas com o girassol foram iniciadas no ano de 2006, em diferentes mesorregiões do Estado, onde alguns resultados obtidos demonstram o alto potencial produtivo desta cultura para rendimentos de grãos e óleo, com valores superiores a 2.700 kg ha<sup>-1</sup> e a 44 %, respectivamente (LIRA et al., 2011).

Existem vários trabalhos realizados com água produzida tratada para fins de irrigação com girassol, dentre eles pode-se citar o de OLIVEIRA et al.(2016) que busca avaliar a qualidade da germinação do girassol irrigado com água produzida tratada por sistemas microemulsionados, reutilizando a água tratada e aplicando esse efluente tratado para germinação do girassol, foi observado que as plantas que emergiram da irrigação da água produzida tratada eram mais eretas e mais vigorosas, mostrando que a água produzida tratada com sistemas microemulsionados pode ser uma alternativa no processo de germinação do girassol.

SOUSA et al.(2016) no seu trabalho que avalia os teores de nutrientes em girassol com água da indústria de petróleo, mostra que uso de água produzida tratada por osmose reversa favorece a cultura, melhorando o estado nutricional das plantas (Cálcio, Nitrogênio, Fósforo e Magnésio), e se houver condições controladas é possível reutilizar a água produzida tratada por osmose reversa na agricultura.

BANDEIRA (2017) mostra que a água produzida tratada pode ser reutilizada para irrigação de plantas oleaginosas como mamona e girassol para uso na produção de Biodiesel, gerando um desenvolvimento econômico e social das comunidades próximas às regiões produtoras, e ao avaliar as duas culturas oleaginosas (mamona e girassol), o mesmo concluiu que o girassol teve um maior destaque, pois necessita de maior quantidade de água em seu ciclo e possui maior lucratividade em seu valor de revenda para os agricultores.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Localização e caracterização da área experimental

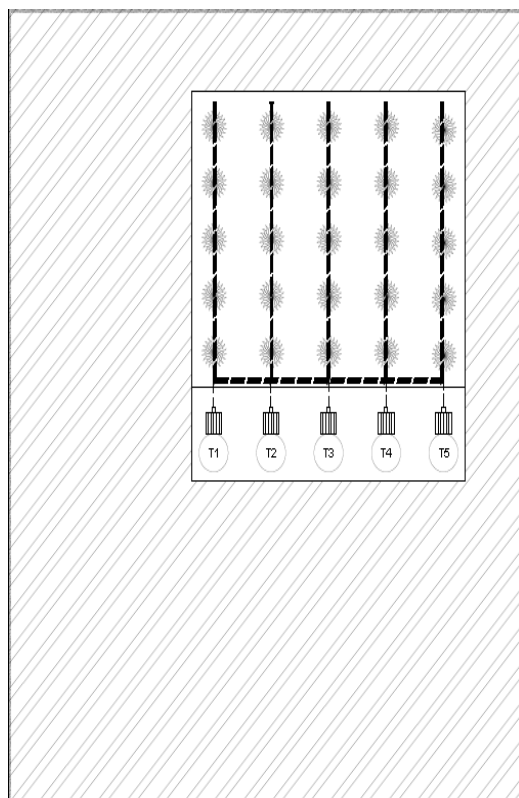
O presente trabalho foi conduzido em casa de vegetação, localizada no Departamento de Ciências Agrárias e Florestais da Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, localizada na BR 110 – km 47, Bairro Presidente Costa e Silva, em Mossoró – RN. A casa de vegetação no qual se encontra o experimento ocupou área total de aproximadamente 129,4 m<sup>2</sup> (7,15 m x 18,10 m), sendo a área útil experimental de 13,65 m<sup>2</sup> (3,5 m x 3,90 m) sob coordenadas geográficas 5° 12' 03,9" de latitude sul, 37° 19' 37,98" de longitude oeste, e altitude de 13 m (Figura 4, 5 e 6).

O clima da região, segundo a classificação de Köppen-Geiger, é do tipo BSwh, tratando-se de um clima seco, muito quente com estação chuvosa no verão atrasando-se para o outono, com precipitação pluviométrica bastante irregular, com média anual de 673,9 mm, temperatura média de 27,4 °C, umidade relativa do ar média de 68,9%, e velocidade média do vento de 0,84 m.s<sup>-1</sup> (ALVARES et al., 2013).



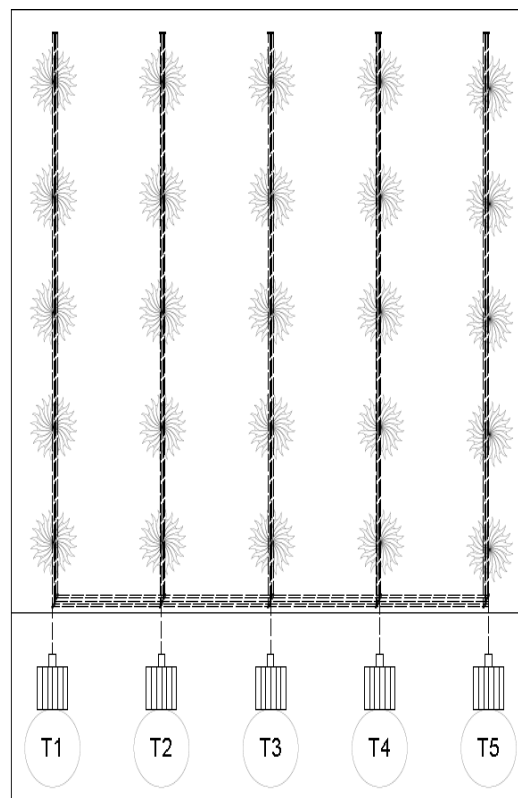
**Figura 4- Localização da casa de vegetação na UFERSA, campus Mossoró.**

**Fonte:** Googler Earth, 2018.



**Figura 5- Croqui vista superior da casa de vegetação do experimento.**

**Fonte:** Autoria própria, 2018.



**Figura 6- Croqui da área útil do experimento com Girassol.**

**Fonte:** Autoria própria, 2018.

### 3.2 Origem e coleta do efluente utilizado

O presente trabalho foi desenvolvido com uma empresa situada dentro da Bacia Potiguar. De acordo com PETROBRÁS (2018) a Bacia Potiguar é conhecida por ter campos em águas rasas e campos terrestres, abrange a região de Rio Grande do Norte e do Ceará e que está entre as maiores produtoras de petróleo *onshore* (em terra) do Brasil.

A partir da realização da coleta água produzida (APT) disponibilizada pela empresa, a mesma foi transferida para o local do experimento na UFERSA, ficando ao lado da casa de vegetação, e sendo armazenada em um reservatório com capacidade de 500 litros (Figura 7).

Foi utilizado um polímero, substância capaz de aglomerar partículas em suspensão, que estavam presentes na água produzida tratada (APT), transformando as substâncias em flocos maiores, permitindo a fácil separação desses sólidos da APT.



**Figura 7- Reservatório de água produzida tratada**

**Fonte:** Autoria própria, 2017.

### **3.3 Caracterização da cultura**

A cultura utilizada foi o girassol (*Heliantus annus*), cultivar H-360 da Embrapa semiárido. De acordo com OLIVEIRA et al (2011) a cultivar H-360 é caracterizada como híbrido triplo, com porcentagem de óleo entre 43 e 47 %, altura média das plantas de 180 a 220 cm de maturação fisiológica entre 90 e 115 dias.

### **3.4 Caracterização da irrigação**

No sistema de aplicação de água da rede de abastecimento (AA) e da água produzida tratada (APT) foi utilizado um sistema de irrigação pressurizado, composto por:

- Um reservatório de polietileno com capacidade de 500 litros, para armazenamento de água produzida tratada não diluída, localizado na área externa da casa de vegetação, a água de abastecimento não era armazenada, a mesma era retirada diretamente da rede de abastecimento e direcionada os reservatórios internos de irrigação do experimento;
- Cinco reservatórios de PVC (60L), para armazenar a AA e APT diluída para irrigação do girassol (Figura 8a);



- Cinco eletrobombas de circulação Metalcorte/Eberle, autoventilada, modelo EBD 250076(Figura 8a);
- Linhas principais e laterais de irrigação de 16 mm de diâmetro cada, cada linha referente a um tipo de tratamento utilizado (Figura 8b e 8c); e
- Emissores de tipo microtubos, com vazão média de  $1,5 \text{ L h}^{-1}$ (Figura 8c).



**Figura 8a: Reservatórios de irrigação e Eletrobombas.**

**Fonte:** Autoria própria, 2017.



**Figura 8b: Linhas principais de irrigação.**

**Fonte:** Autoria própria, 2017.



**Figura 8c: Linhas laterais e microtubos de irrigação**

**Fonte:** Autoria própria, 2017.



### 3.5 Caracterização da água produzida tratada e da água de abastecimento

Durante o período experimental foi realizado a caracterização química da água produzida tratada e da água de abastecimento, mensalmente, por meio da coleta de três amostras no período de setembro a dezembro de 2017. As amostras foram identificadas e conservadas em caixa isotérmica à temperatura de 4° C, sendo estas encaminhadas para laboratórios específicos para realização das análises físico-químicas seguindo as recomendações da EMBRAPA (1997). No laboratório de Análise de Solo, Água e Planta (LASAP) da UFERSA foram determinadas as seguintes análises:

- Potencial hidrogeniônico (pH), medição realizada por um pHmetro;
- Condutividade elétrica, medição realizada por um condutivímetro;
- Cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) e magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ), obtido pelo método titulométrico, expressos em  $\text{mmolc L}^{-1}$ ;
- Sódio ( $\text{Na}^+$ ) e potássio ( $\text{K}^+$ ), empregando fotometria de emissão de chama, expressos em  $\text{mmolc L}^{-1}$ ;
- Cloreto ( $\text{Cl}^-$ ), carbonato ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) e bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ) pelo método titulométrico, expressos em  $\text{mmolc L}^{-1}$ ; e
- Concentrações de cobre (Cu), zinco (Zn), manganês (Mn), ferro (Fe), níquel (Ni), chumbo (Pb) e cádmio (Cd) por espectrofotometria de absorção atômica, expressas em  $\text{mg L}^{-1}$

Assim como outras determinações físico-químicas, tais como: cromo (Cr), Alumínio (Al), arsênio (As) e bário (Ba).

### 3.6 Condução do experimento

#### 3.6.1 Implantação da cultura

Para implantação da cultura foram utilizados vasos de 32L, aos quais foram preenchidos com brita (nº zero) cobrindo a base do vaso e solo (Latossolo) proveniente Fazenda Experimental Rafael Fernandes em Mossoró, cada vaso contendo uma planta por vaso.

O plantio da cultura do girassol variedade H-360 da Embrapa Semiárido, foi realizado no dia 02 de setembro de 2017, onde foram semeadas em bandejas de polietileno de 200 células, preenchidas com substrato comercial GOLDEN MIX a base de fibra de coco. Após 12 dias, no dia 14 de setembro de 2018 as mudas do girassol foram transplantadas em vasos na casa de vegetação. O espaçamento utilizado no experimento foi de 1,0 m entre vasos de plantas por 0,60 m entre plantas na mesma linha, como mostra a Figura 9.

Para favorecer o pegamento das mudas de girassol, a irrigação foi realizada somente com água de abastecimento de maneira uniforme em toda a área experimental, durante os primeiros 20 dias. Acontecendo somente depois do dia 10 de outubro de 2017 a primeira irrigação com a água produzida tratada (APT).



Figura 9- Girassol H-360

**Fonte:** Autoria própria, 2017

Todas as parcelas receberam adubação de fundação com uma única aplicação de uréia, MAP, cloreto de potássio e ácido bórico seguindo as recomendações de RIBEIRO et al. (1999). Ainda, foi realizado controle químico para pragas e doenças. As diluições da água produzida tratada em água de abastecimento eram realizadas com baldes graduados e em seguida eram armazenadas dentro de cada reservatório correspondente ao tratamento, os tratamentos foram baseados na diluição da água produzida tratada em água de abastecimento.

### 3.7 Tratamentos experimentais e demanda hídrica

O experimento foi montado no delineamento em blocos casualizados (DBC), com cinco tratamentos e cinco repetições. As diluições eram realizadas com baldes graduados e em seguida eram armazenadas dentro de cada reservatório correspondente ao tratamento. Os tratamentos foram definidos de modo que houvesse um tratamento irrigado somente com água de abastecimento (AA) e um somente com água produzida tratada (APT), constituindo-se de cinco distintas proporções:

- T1 - 100% de água de abastecimento (AA) e 0% de água produzida (APT);
- T2 - 75% de água de abastecimento (AA) e 25% de água produzida (APT);
- T3 - 50% de água de abastecimento (AA) e 50% de água produzida (APT);
- T4 - 25% de água de abastecimento (AA) e 75% água produzida (APT); e
- T5 - 0% de água de abastecimento (AA) e 100% de água produzida (APT).

Para determinação da demanda hídrica do girassol utilizando-se coeficientes de ajuste sobre a evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>). A lâmina bruta de irrigação foi calculada por meio de um balanço hídrico, em que a entrada de água foi a irrigação e a saída, a evapotranspiração da cultura (ET<sub>c</sub>). Utilizou-se a Equação 1, proposta por DOORENBOS e PRUITT (1977), modificada por MANTOVANI e COSTA (1998), para estimar a ET<sub>c</sub>:

Equação (1)

$$ET_c = ET_o \cdot K_c \text{ (Eq. 1)}$$

Em que;

ET<sub>c</sub> - evapotranspiração da cultura, em mm d<sup>-1</sup>;

ET<sub>o</sub> – evapotranspiração de referência, em mm d<sup>-1</sup>; e

K<sub>c</sub> - coeficiente de cultura, adimensional.

A necessidade hídrica foi estimada com base na evapotranspiração de referência, empregando a equação de Penman-Monteith (ALLEN et al., 2006), descrita na Equação 2.

$$ET_o = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 U_2)} \quad (\text{Eq.2})$$

Em que:

$ET_o$  - evapotranspiração de referência, em  $\text{mm d}^{-1}$ ;

$R_n$  - saldo de radiação à superfície, em  $\text{MJ m}^{-2}\text{d}^{-1}$ ;

$G$  - Fluxo de calor no solo, em  $\text{MJ m}^{-2}\text{d}^{-1}$ ;

$T$  - Temperatura do ar a 2 m de altura, em  $^{\circ}\text{C}$ ;

$U_2$  - velocidade do vento à altura de 2 m, em  $\text{m s}^{-1}$ ;

$e_s$  - pressão de saturação de vapor, em kPa;

$e_a$  - pressão de vapor atual do ar, em kPa;

$(e_s - e_a)$  - déficit de pressão de vapor, em kPa;

$\Delta$  - declividade da curva de pressão de vapor de saturação, em  $\text{kPa}^{\circ}\text{C}^{-1}$ ; e

$\gamma$  - Constante psicrométrica, em  $\text{kPa}^{\circ}\text{C}^{-1}$ .

Os dados meteorológicos que foram utilizados na estimativa da evapotranspiração de referência ( $ET_o$ ) foram: velocidade do vento, umidade relativa do ar, insolação, radiação solar e temperatura, obtidos de uma estação meteorológica instalada na casa de vegetação.

Para estimar a evapotranspiração da cultura ( $ET_c$ ) utilizaram-se os valores de coeficiente de cultura ( $K_c$ ) obtidos por (CAVALCANTE JÚNIOR, 2011) no município de Apodi-RN. Segundo o autor, os valores de  $K_c$  obtidos para os diferentes estádios de desenvolvimento do girassol foram de 0,52; 0,70; 0,98 e 0,81 para as respectivas fases I, II, III e IV. Os valores de  $K_c$  mencionados pelo autor ficaram próximos aos aconselhados pela FAO (Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura), no seu manual 56, para a cultura do girassol.

Durante o ciclo do girassol em campo (90 dias após o transplântio - DAT) foi aplicada uma lâmina bruta de irrigação de 435,35 mm dividida nas distintas proporções de água produzida tratada (APT) e de água de abastecimento (AA), como evidenciado na Tabela 6.

**Tabela 7- Lâminas de (AA) e (APT) utilizadas na irrigação do girassol H-360.**

| Tratamentos | Água Produzida Tratada | Água de Abastecimento | APT+AA |
|-------------|------------------------|-----------------------|--------|
| T1          | 0                      | 435,35                | 435,35 |
| T2          | 108,84                 | 326,51                | 435,35 |
| T3          | 217,675                | 217,675               | 435,35 |
| T4          | 326,51                 | 108,84                | 435,35 |
| T5          | 435,35                 | 0                     | 435,35 |

**Fonte:** Autoria própria, 2018.

### **3.8 Determinação de características produtivas e biométricas do girassol irrigado com proporções de APT e AA.**

A colheita do girassol H-360 foi realizada manualmente, 90 dias após do transplântio. Para a análise de desenvolvimento da planta foram determinadas as características altura de planta (AP), número de folhas (NF), diâmetro de caule (DC) e diâmetro do capítulo (DCA) e produtividade (PROD).

#### **3.8.1 Altura da planta**

Com o auxílio de uma fita métrica graduada em centímetros, foi mensurada a altura de plantas aos 20, 40,80 após a transplântio, onde foi considerada como altura da planta a distância vertical do nível do solo até a altura da inserção do capítulo, expressa em centímetros.

#### **3.8.2 Número de folhas**

Foi avaliado o número de folhas totalmente abertas por plantas emitidas aos 20, 40 e 80 dias após o transplântio (DAT), por meio da contagem direta das folhas.

#### **3.8.3 Diâmetro do caule**

Com o auxílio de um paquímetro, foi mensurado o diâmetro basal do caule, a uma altura de aproximadamente 5 cm da superfície do solo conforme metodologia utilizada por (COSTA,2012). As coletas foram realizadas aos 20, 40 e 80 dias após o transplântio (DAT).

#### **3.8.4 Diâmetro do capítulo**

Aos 20, 40 e 80 dias após o transplântio (DAT), com auxílio de uma fita métrica mensurou-se a distância de uma extremidade à outra do capítulo, expressa em centímetros.

#### **3.8.5 Produtividade**

O girassol atingiu o ponto de colheita 90 dias após o transplântio. Os capítulos foram colhidos em cada parcela e em seguida os grãos foram separados manualmente e pesados em uma balança de precisão, obtendo-se a produtividade do girassol.

### 3.9 Análise estatística

Os dados das características físico-químicas da água produzida tratada (APT) e água de abastecimento (AA) foram submetidos à análise estatística descritiva, por meio da determinação da média e desvio padrão. Já os dados relacionados às características agronômicas e de produtividade do girassol H-360 foram submetidos à análise de variância pelo programa computacional SISVAR (Sistemas para Análises de Variância) desenvolvido por (FERREIRA, 2011), realizando teste de Tukey e contrastes ortogonais para comparação múltipla das médias.

Os contrastes foram:

- Contraste 1- T5 Vs (T1 + T2 + T3 + T4)
- Contraste 2- T4 Vs (T1 + T2 + T3)
- Contraste 3- T3 Vs (T1 + T2)
- Contraste 4- T2 Vs T1

A combinação dos contrastes com as médias dos tratamentos foi expressa da seguinte forma:

- $C1 = 12 m1 + 12 m2 + 8 m3 + 10 m4 - 42 m5;$
- $C2 = 30 m1 + 30 m2 + 20 m3 - 80 m4;$
- $C3 = 6 m1 + 6 m2 - 12 m3;$
- $C4 = 6 m1 - 6 m2$

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Caracterização da água de abastecimento e da água produzida tratada.

A Tabela 7 mostra as características físico-químicas da água de abastecimento e das diluições da água produzida tratada utilizada na irrigação do girassol H-360, e seus respectivos valores médios (M) e desvios padrão (DP).

**Tabela 8- Características físico-químicas da AA e das diluições da APT na irrigação do girassol H-360, valores médios e desvio padrão.**

| Características                                                     | TRATAMENTOS UTILIZADOS |       |       |       |       |                |
|---------------------------------------------------------------------|------------------------|-------|-------|-------|-------|----------------|
|                                                                     | T1                     | T2    | T3    | T4    | T5    | M ± DP         |
| pH                                                                  | 8,6                    | 8,73  | 8,64  | 8,46  | 8,56  | 8,60 ± 0,10    |
| CE (dS.m <sup>-1</sup> )                                            | 0,56                   | 0,66  | 0,66  | 0,70  | 0,71  | 0,66 ± 0,06    |
| Ca <sup>2+</sup> (mmol <sub>c</sub> .L <sup>-1</sup> )              | 1,39                   | 1,40  | 1,2   | 1,0   | 2,0   | 1,39 ± 0,37    |
| Mg <sup>2+</sup> (mmol <sub>c</sub> .L <sup>-1</sup> )              | 0,11                   | 0,60  | 0,80  | 0,70  | 0,50  | 0,60 ± 0,27    |
| Na <sup>+</sup> (mmol <sub>c</sub> .L <sup>-1</sup> )               | 2,3                    | 3,8   | 3,3   | 3,0   | 4,0   | 3,32 ± 0,69    |
| K <sup>+</sup> (mmol <sub>c</sub> .L <sup>-1</sup> )                | 0,30                   | 0,30  | 0,40  | 0,40  | 0,50  | 0,38 ± 0,09    |
| Cl <sup>-</sup> (mmol <sub>c</sub> .L <sup>-1</sup> )               | 2,4                    | 4,0   | 5,0   | 3,0   | 3,0   | 3,0 ± 1,03     |
| CO <sub>3</sub> <sup>-2</sup> (mmol <sub>c</sub> .L <sup>-1</sup> ) | 0,5                    | 0,6   | 0,7   | 0,7   | 0,6   | 0,60 ± 0,08    |
| HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mmol <sub>c</sub> .L <sup>-1</sup> ) | 2,0                    | 3,5   | 4,0   | 3,0   | 4,0   | 3,50 ± 0,84    |
| Cu (mg.L <sup>-1</sup> )                                            | 0,07                   | 0,08  | 0,09  | 0,075 | 0,085 | 0,08± 0,01     |
| Zn (mg.L <sup>-1</sup> )                                            | 0,027                  | 0,024 | 0,028 | 0,019 | 0,054 | 0,027± 0,01    |
| Mn (mg.L <sup>-1</sup> )                                            | 0,007                  | 0,008 | 0,013 | 0,012 | 0,069 | 0,012± 0,03    |
| Fe (mg.L <sup>-1</sup> )                                            | 0,008                  | 0,035 | 0,018 | 0,022 | 0,038 | 0,022± 0,01    |
| Ni (mg.L <sup>-1</sup> )                                            | 0,011                  | 0,017 | 0,009 | 0,014 | 0,007 | 0,011± 0,0     |
| Cd (mg.L <sup>-1</sup> )                                            | 0,006                  | 0,013 | 0,008 | 0,008 | 0,012 | 0,008± 0,0     |
| Pb (mg.L <sup>-1</sup> )                                            | 0,11                   | 0,13  | 0,28  | 0,24  | 0,13  | 0,13± 0,08     |
| Cr (mg.L <sup>-1</sup> )                                            | 0,011                  | 0,022 | 0,043 | 0,056 | 0,055 | 0,043 ± 0,02   |
| Al (mg.L <sup>-1</sup> )                                            | 0,076                  | 0,029 | 0,131 | 0,036 | 0,005 | 0,055 ± 0,049  |
| As (mg.L <sup>-1</sup> )                                            | 0,000                  | 0,006 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,0012 ± 0,002 |
| Ba (mg.L <sup>-1</sup> )                                            | 0,619                  | 2,673 | 3,191 | 3,903 | 5,219 | 3,1208 ± 1,694 |

Nota: pH - potencial hidrogeniônico; CE - condutividade elétrica; Ca<sup>2+</sup> - cálcio; Mg<sup>2+</sup> - magnésio; Na<sup>+</sup> - sódio; K<sup>+</sup> - potássio; Cl<sup>-</sup> - cloreto; CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> - carbonato; HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> - bicarbonato; Cu - cobre; Zn - zinco; Mn - manganês; Fe - ferro; Ni - níquel; Cd - cádmio; Pb - chumbo; Cr - Cromo; Al - Alumínio; As - Arsênio e Ba- Bário.

O valor médio para o pH encontrado durante o período experimental foi de 8,6, onde os tratamentos que receberam APT o pH variou de 8,46 - 8,73. De acordo a Resolução do CONAMA nº 430/2011 (MMA, 2011) a qual dispõe sobre as condições e padrões de lançamentos de efluentes tratados em corpos hídricos, o valor médio do pH encontra-se dentro da faixa especificada de 5,0 e 9,0. No entanto de acordo com ALMEIDA (2010) e a Resolução COEMA nº 2 02/2017 (SEMACE, 2017) que trás no capítulo III as condições e padrões para reúso, mostra que o pH se encontra ente 6,0 e 8,5, deixando o pH do experimento minimamente fora da faixa.

A água de abastecimento teve um pH de 8,6, ALMEIDA (2010) relata que o pH normal está compreendido entre 6,5 e 8,4 para irrigação, e que um pH fora deste intervalo, é um bom indicador de uma qualidade anormal da água ou de presença de um íon tóxico, podendo danificar o sistema radicular das plantas (GÓMEZ LUCAS e PEDRENÕ,1992). Devido o pH está fora do padrão estabelecido, faz-se necessário realizar uma avaliação detalhada e efetuar as correspondentes correções, pois esse valor poderá causar possíveis problemas de deterioração do equipamento de irrigação (ALMEIDA,2010).

A condutividade elétrica (CE) apresentou um valor de  $0,56 \text{ dS m}^{-1}$  para AA e ao adicionar APT nos tratamentos houve aumento nos valores referentes a CE ( $0,56$  a  $0,71 \text{ dS m}^{-1}$ ), ficando o valor médio de  $0,66 \text{ dS m}^{-1}$ , mesmo com esse acréscimo a CE não ficou fora do padrão estabelecido pela Resolução COEMA nº 2 02/2017 (SEMACE,2017), especificando que o valor não pode ultrapassar  $3,0 \text{ dS m}^{-1}$ . ALMEIDA (2010) detalha a CE em graus de restrição de uso, em que se o resultado da CE for menor que  $0,7 \text{ dS m}^{-1}$ , não afetará a disponibilidade de água para o cultivo, caso a CE esteja entre  $0,7$  e  $3,0 \text{ dS m}^{-1}$  há uma afeta moderadamente a disponibilidade e se a CE for maior que  $3,0 \text{ dS m}^{-1}$  ocorre um severo risco do cultivo não absorver água.

Com relação ao potássio ( $\text{K}^+$ ), este apresentou concentração média igual  $0,38 \text{ mmol L}^{-1}$ , dentre o  $\text{K}^+$  da AA e das APT diluídas, ambas não se enquadravam na recomendação de ALMEIDA (2010) que sugere valores de  $0$  a  $0,13 \text{ mmol L}^{-1}$  para qualidade da água de irrigação.

O carbonato apresentou valor de  $0,60 \text{ mmol L}^{-1}$ , sendo este valor elevado para qualidade da água de irrigação, que de acordo com ALMEIDA (2010) os valores adequados devem ser inferiores a  $0,1 \text{ mmol L}^{-1}$ , ainda de acordo com autor o excesso de carbonatos pode causas entupimentos no sistema de irrigação.



Para os elementos,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^{2+}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  e  $\text{Cl}^-$  cujos valores médios encontrados foram de 1,39; 0,60; 3,32; 3,50 e 3,0  $\text{mmol L}^{-1}$  respectivamente, tendo como base a tabela de análises necessárias para avaliação da água de irrigação (ALMEIDA, 2010) os elementos avaliados ficaram abaixo dos valores estabelecidos, 20,0; 5,0; 40,0; 10,0 e 30,0  $\text{mmol L}^{-1}$ , respectivamente.

Para os elementos Cu, Zn, Mn, Fe, Ni, Cd, Pb, Cr, Al, As e Ba, obteve os seguintes valores médios, 0,08  $\text{mgL}^{-1}$ ; 0,027  $\text{mgL}^{-1}$ ; 0,012  $\text{mgL}^{-1}$ ; 0,022  $\text{mgL}^{-1}$ ; 0,011  $\text{mgL}^{-1}$ ; 0,008  $\text{mgL}^{-1}$ ; 0,13  $\text{mgL}^{-1}$ ; 0,043  $\text{mgL}^{-1}$ ; 0,055  $\text{mgL}^{-1}$ ; 0,0012  $\text{mgL}^{-1}$  e 3,12  $\text{mgL}^{-1}$ .

Comparando os valores encontrados para o arsênico, cádmio, ferro, manganês, cobre, zinco, chumbo e níquel, com os valores máximos permitidos pela Resolução do CONAMA nº 430/2011 (MMA, 2011), para lançamento de efluentes tratados em corpos hídricos, observou-se que todos estão abaixo dos valores de 0,5  $\text{mgL}^{-1}$ , 0,2  $\text{mgL}^{-1}$ , 15,0  $\text{mg L}^{-1}$ , 1,0  $\text{mg L}^{-1}$ , 1,0  $\text{mg L}^{-1}$ , 5,0  $\text{mg L}^{-1}$ , 0,5  $\text{mg L}^{-1}$ , e 2,0  $\text{mg L}^{-1}$ , respectivamente. E ainda estes ficaram com valores inferiores se comparados as valores estabelecidos por ALMEIDA (2010) para Cu, Zn, Mn, Fe, Ni, Cd, Pb, Cr, Al e As, em que estabelecia valores de 0,20  $\text{mgL}^{-1}$ , 2,0  $\text{mgL}^{-1}$ , 0,20  $\text{mgL}^{-1}$ , 5,0  $\text{mgL}^{-1}$ , 0,20  $\text{mgL}^{-1}$ , 0,01  $\text{mgL}^{-1}$ , 5,0  $\text{mgL}^{-1}$ , 0,10  $\text{mgL}^{-1}$ , 5,0  $\text{mgL}^{-1}$  e 0,1  $\text{mgL}^{-1}$ .

#### **4.2 Efeitos da água de abastecimento e da água produzida tratada em distintas diluições nas características vegetativas e de produtividade do girassol**

Os dados coletados das características vegetativas e de produtividade com relação aos tratamentos utilizados no experimento foram submetidos análise de variância pelo Teste F a 1% e 5% de probabilidade e ao teste de Tukey a 5% de probabilidade.

As variáveis PROD, ALT obtiveram melhor resultado no tratamento T1 irrigado com 100% de APT. O tratamento T2 causou maior efeito nas demais variáveis, NF, DC e DCA. A única variável que apresentou diferença estatística significativa foi apenas diâmetro do capítulo (DCA) a 5% de probabilidade do Teste F, e que as outras variáveis AP, NF, PROD e DC não tiveram diferenças significativas como pode ser observado na parte superior da Tabela 8.

Através dos contrastes ortogonais foi visto que ao comparar o tratamento T2 (75% de AA e 2% de APT) com o T1 (100% de AA) na variável DCA houve um efeito significativo a 1% de probabilidade do Teste F, como mostra a parte inferior Tabela 8.

**Tabela 8- Resultado das características morfológicas e de produtividade do girassol irrigado com AA e APT em diferentes diluições.**

| Tratamentos   | Características morfológicas e produtividade |                     |                     |                     |             |
|---------------|----------------------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|-------------|
|               | PROD<br>(Kg.ha <sup>-1</sup> )               | ALT<br>(cm)         | NF<br>(uni)         | DC<br>(cm)          | DCA<br>(cm) |
| T1            | 348,73                                       | 54,30               | 14,60               | 0,54                | 3,98a       |
| T2            | 527,60                                       | 63,70               | 15,40               | 0,68                | 6,64b       |
| T3            | 429,85                                       | 61,60               | 14,00               | 0,66                | 5,68ab      |
| T4            | 392,67                                       | 65,10               | 14,20               | 0,58                | 5,24ab      |
| T5            | 565,35                                       | 67,00               | 14,40               | 0,64                | 5,38ab      |
| Média         | 452,84                                       | 62,34               | 14,68               | 0,62                | 5,38        |
| CV (%)        | 56,39                                        | 16,64               | 8,02                | 18,74               | 20,86       |
| Erro-padrão   | 114,203                                      | 4,63                | 0,526               | 0,051               | 0,502       |
| Probabilidade | 0,643 <sup>NS</sup>                          | 0,381 <sup>NS</sup> | 0,563 <sup>NS</sup> | 0,326 <sup>NS</sup> | 0,027*      |

| Probabilidade dos contrastes (decimal)               |                     |                      |                      |                      |                      |
|------------------------------------------------------|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Contraste C <sub>1</sub> : T5 Vs (T1 + T2 + T3 + T4) | 0,291 <sup>NS</sup> | 0,2615 <sup>NS</sup> | 0,5378 <sup>NS</sup> | 0,6417 <sup>NS</sup> | 0,9774 <sup>NS</sup> |
| Contraste C <sub>2</sub> : T4 Vs (T1 + T2 + T3)      | 0,747 <sup>NS</sup> | 0,3260 <sup>NS</sup> | 0,2367 <sup>NS</sup> | 0,4906 <sup>NS</sup> | 0,7837 <sup>NS</sup> |
| Contraste C <sub>3</sub> : T3 Vs (T1 + T2)           | 0,953 <sup>NS</sup> | 0,6534 <sup>NS</sup> | 0,7604 <sup>NS</sup> | 0,4435 <sup>NS</sup> | 0,5559 <sup>NS</sup> |
| Contraste C <sub>4</sub> : T2 Vs T1                  | 0,284 <sup>NS</sup> | 0,1712 <sup>NS</sup> | 0,2984 <sup>NS</sup> | 0,0749 <sup>NS</sup> | 0,001**              |

**Nota:** T1 – somente AA, T2 – 75% AA e 25% APT, T3 - 50% AA e 50% APT, T4 – 25% AA e 75% APT, e T5 – somente APT; C<sub>1</sub> = 12 m<sub>1</sub> + 12 m<sub>2</sub> + 8 m<sub>3</sub> + 10 m<sub>4</sub> – 42 m<sub>5</sub>; C<sub>2</sub> = 30 m<sub>1</sub> + 30 m<sub>2</sub> + 20 m<sub>3</sub> – 80 m<sub>4</sub>; C<sub>3</sub> = 6 m<sub>1</sub> + 6 m<sub>2</sub> – 12 m<sub>3</sub>; C<sub>4</sub> = 6 m<sub>1</sub> – 6 m<sub>2</sub>.

<sup>1</sup> Médias seguidas de letras iguais, na coluna, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey à 5% de probabilidade.

\*\* e \* Significativos a 1 e 5 % de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

<sup>NS</sup> - não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

A variável diâmetro de capítulo (DCA) do girassol H-360 veio a formar o capítulo no decorrer do seu ciclo vegetativo (Figura 10a e 10b), com a floração e maturação fisiológica. Após o seu surgimento, e que os valores de diâmetro foram observados nos tratamentos, de acordo com as análises realizadas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade na variável DCA. O

tratamento T2 diferiu estatisticamente do tratamento T1 nossa testemunha (Figura 10c), no entanto ambos os tratamentos (T1 e T2) não diferiram dos tratamentos T3, T4 e T5.



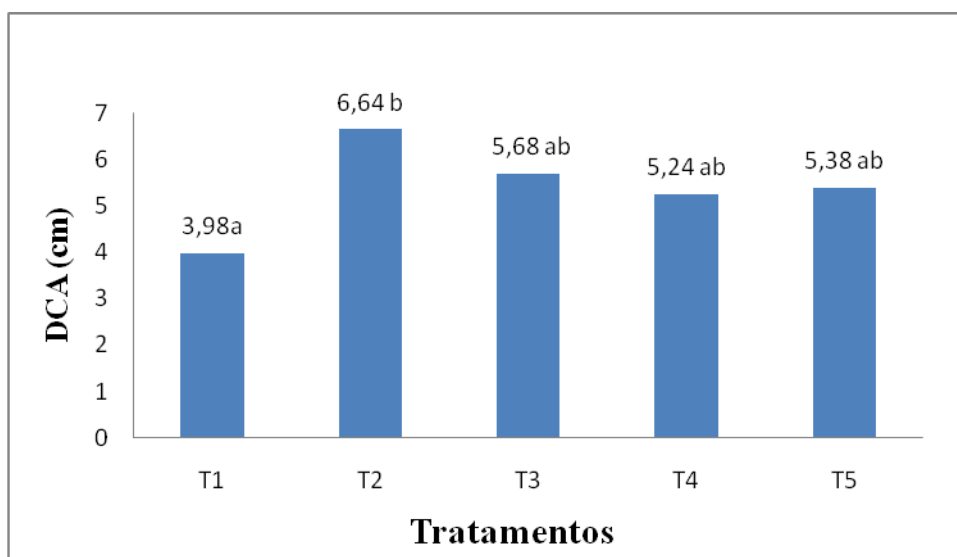
**Figura 10a- Aparecimento do botão floral do girassol H-360.**

**Fonte:** Autoria própria, 2018.



**Figura 10b- Florescimento do girassol H-360.**

**Fonte:** Autoria própria, 2018.



**Figura 10c- Detalhamento do DCA em diferentes diluições.**

**Nota:** T1 – somente AA, T2 – 75% AA e 25% APT, T3 - 50% AA e 50% APT, T4 – 25% AA e 75% APT, e T5 –somente APT.

<sup>1</sup> Médias seguidas de letras iguais, na coluna, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey à 5% de probabilidade.

## 5. CONCLUSÕES

O uso da APT para fins de irrigação ainda necessita de mais estudos, a fim de tornar possível a sua utilização com segurança.

O tratamento T5 proporcionou maior altura da planta e produtividade, no entanto não houve diferença estatística entre os tratamentos para estas duas variáveis. Já os maiores valores de número de folhas, diâmetro do caule e diâmetro do capítulo foram observados para o tratamento T2.

O tratamento T2 (75% de AA e 25% de APT) é o mais adequado para irrigação do girassol H-360, pois nesse tratamento a diluição de APT (25%) é menor que nos outros tratamentos, que foram utilizados APT, gerando um potencial poluidor menor, tendo um bom resultado nas características morfogênicas e produtivas do girassol em todas as variáveis se comparado ao tratamento T1(100% de AA).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AEAGRI/DEA/UFV **Engenharia na Agricultura Caderno 55**, 2007.

ALLEN, R. G.; Pereira, L. S.; Raes, D.; Smith, M. **Evapotranspiración del cultivo, Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos**. Roma: FAO, 2006. 298p.

ALMEIDA, O. A. **Qualidade da água de irrigação**. 1 ed. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2010.

ALVARES, C. A.; Stape, J. L.; Sentelhas, P. C.; Gonçalves, J. L. M.; Sparovek, G. **Köppen's climate classification map for Brazil**. Meteorologische Zeitschrift, v.22, p. 711-728, 2013.

BANDEIRA, Vinícius Arthur. **Tratamento de água produzida visando a irrigação de plantas oleaginosas para uso na produção de biodiesel**. 2017. 60 p. Conclusão de curso (Graduação Engenheiro de Petróleo)- Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017.

BIODIESELBR, **Entenda como é Produzido o Biodiesel**, 2004. Disponível em: <<https://www.biodieselbr.com/noticias/biodiesel/entenda-como-e-produzido-o-biodiesel-11-11-04.htm>>. Acesso em 17 de maio 2017.

Bonacin, G. A.; Rodrigues, T. J. D.; Cruz, M. C. P.; Banzatto, D. A. **Características morfofisiológicas de sementes e produção de girassol em função de boro no solo**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.13, n.2, p.111-116, 2009.

BRASIL, 2010. **Lei 12.351 de 22 de dezembro de 2010**. Dispõe sobre a exploração e a produção de petróleo, de gás natural e de outros hidrocarbonetos fluidos, sob o regime de partilha de produção, em áreas do pré-sal e em áreas estratégicas; cria o Fundo Social - FS e dispõe sobre sua estrutura e fontes de recursos; altera dispositivos da Lei no 9.478, de 6 de agosto de 1997; e dá outras providências. Brasília – Brasil. Disponível em: <<http://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/2010/lei-12351-22-dezembro-2010-609797-norma-pl.html>>. Acesso em: 17 maio 2018.

BRASIL. **Lei n. 9.478, de 06 de ago. de 1997**. Dispõe sobre a política energética nacional, as atividades relativas ao monopólio do petróleo, institui o Conselho Nacional de Política Energética e a Agência Nacional do Petróleo e dá outras providências. **Lei do Petróleo**. Brasil, p. 01-01, ago. 1997. Disponível em: <[http://www.normasbrasil.com.br/norma/lei-9478-1997\\_84265.html](http://www.normasbrasil.com.br/norma/lei-9478-1997_84265.html)>. Acesso em: 17 maio 2018.

CARRÃO-PANIZZI, M. C.; MANDARINO, J. M. G. **Produtos Protéicos do girassol In: \_Girassol no Brasil**. Editores, Regina Maria Villas Bôas de Campo Leite, Alexandre Magno Brighenti, César de Castro. Londrina: Embrapa Soja, 2005. cap. 4 p. 51-68.

CASTIGLIONI, V. B. R.; Balla, A.; Castro, C.; Silveira, J. M. **Fases de desenvolvimento da planta de girassol**. Londrina: Embrapa-CNPSO (Embrapa-CNPSO. Documentos, 59), 1997. 24p.

CASTRO, C.; Castiglioni, V. B. R.; Balla, A.; Leite, R. M. V. B. C.; Karam, D.; Mello, H. C.; Guedes, L. C. A.; Farias, J. R. B. **A cultura do girassol**. Londrina: Embrapa-CNPSO (Embrapa-CNPSO. Circular Técnica, 13), 1997. 36p.

CASTRO, C. de & FARIAS, J. R. B. **Ecofisiologia do Girassol**. In: **Girassol no Brasil**. Editores, Regina Maria Villas Bôas de Campo Leite, Alexandre Magno Brighenti, César de Castro. Londrina: Embrapa Soja, 2005. cap. 9 p. 163-218.

CAVALCANTE JÚNIOR, E. G. **Produção e necessidade hídrica da cultura do girassol irrigado na chapada do Apodi**. 2011. 61f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró-RN, 2011.

CONAB 2018- Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra bras. grãos, v. 6 Safra 2017/18** - Sexto levantamento, Brasília, p. 1-140 março 2018.

CONAB 2014- Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira. Terceiro levantamento safras 2012/2013 e 2013/2014**. 2014. Disponível em: < <http://www.conab.gov.br> >. Acesso em: 27 mai. 2016.

COSTA, F. G. B. **Uso de água resíduária de origem doméstica no cultivo do girassol no assentamento Milagres**. Mossoró: UFERSA, 2012. 92f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró.

CUNHA, A. H. N.; Oliveira, T. H. D.; Ferreira, R. B.; Milhardes, A. L. M. & Silva, S. M. D. C. **O reuso de água no Brasil: a importância da reutilização de água no país**. ENCICLOPÉDIA BIOSFERA, Centro Científico Conhecer-Goiânia, 7(13), 2011.

DOORENBOS, J.; PRUITT, J. O. **Guidlines for predicting crop water requirements**. Rome, IT: FAO, 1977. 179 p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 24).

ELKINS, P.; Vanner, R.; Firebrace, J. 2005. **Management of produce dwateron offshore oilinstallations: A comparativeassessmentusingflowanalysis**. PolicyStudiesInstitute (PSI) WorkingPaper, London, 89p.

EMPARN, RN. **Monitoramento Pluviométrico**. 2018. Disponível em: <<http://187.60.73.143:8181/monitoramento/2018/mapas/mapaRN.htm>>. Acesso em: 01 ago. 2018.

EMBRAPA- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária 2018. **Girassol – diferentes usos**. Disponível em:< <https://www.embrapa.br/soja/cultivos/girassol>> . Acesso em: 17 maio 2018.

EMBRAPA- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária 1997. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212p.

EMBRAPA- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária 2017. **Cadeia produtiva debate cultura do girassol no Brasil**. 2017. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/soja/busca-de-noticias/-/noticia/28630944/cadeia-produtiva-debate-cultura-do-girassol-no-brasil>>. Acesso em: 17 maio 2018.

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

FERREIRA, D. F. **Sisvar: a computer statistical analysis system**. Ciência e Agrotecnologia (UFLA), v. 35, n.6, p. 1039-1042, 2011.

FIGUEREDO, K.S.L. 2010. **Estudo da água produzida em diferentes zonas de produção de petróleo, utilizando a hidroquímica e a análise estatística de parâmetros químicos**. Dissertação de Mestrado em Química. Natal: Programa de Pós-Graduação em Química – UFRN, 123p.

FRASER, G.S. & ELLIS, J. 2009. **The Canada-Newfoundland Atlantic Accord Implementation Act: Transparency of the environmental management of the offshore oil and gas industry**. Marine Policy, 33: pp. 312-316.

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

GÓMEZ LUCAS, N.; PEDREÑO, M.B. **Aguas de riego: Análisis e interpretación**. Alicante: Universidad de Alicante. 1992. 63p.

GOOGLE EARTH. Disponível em: <<http://maps.google.com.br/maps>>. Acesso em: 04 junho de 2018.

IFC, 2007-b. **Environmental, health and safety guidelines for onshore oil and gas development**. International Finance Corporation – World Bank Group, 27p.

INÁCIO. **Brasil possui 12% das reservas de água doce disponíveis no mundo**, 2013. Disponível em: <<http://inacio.com.br/2013/03/brasil-possui-12-das-reservas-de-agua-doce-disponiveis-nomundo/>> Acesso em: 15 de junho. 2018.

LEITE, D. da C. COELHO. **Aplicação de percolado de aterro sanitário no cultivo de girassol no semiárido brasileiro**. 2016. 181 p. Tese (Doutorado em Manejo de Solo e Água)- Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFRSA, Mossoró, 2016.

LIRA, M. A.; Carvalho, H. W. L.; Chagas, M. C. M.; Bristot, G.; Dantas, J. A.; Lima, J. M. P. **Avaliação das potencialidades da cultura do girassol, como alternativa de cultivo no semiárido nordestino**. Natal: EMPARN (Documentos, 40), 2011. 40p.

MANTOVANI, E.C.; COSTA, L.C. **MANUAL DO SISDA 2.0 – Workshop Internacional sobre Manejo Integrado das Culturas e Recursos Hídricos**. Viçosa, 1998. 153p.

**MANUAL DE INJEÇÃO DE ÁGUA**, E&P/GERPRO/GETINP/GEFAP e CENPES, Petrobras, Brasil, novembro de 1998.

MMA. 2005. **Resolução CONAMA 357, de 17 de março de 2005**. Ministério do Meio Ambiente, Brasil.

MMA. 2011. **Resolução CONAMA 430, de 13 de maio de 2011**. Ministério do Meio Ambiente, Brasil.

MORAIS, J.M. 2013. **Petróleo em águas profundas – Uma história tecnológica da Petrobras na exploração e produção offshore**. IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada : Petrobras, Brasília, 424p.

MOTTA, A. R. P. da; Borges, C. P.; Kiperstok, A.; Esquerre, K. P.; Araujo, P. M.; Branco, L. da P. N. **Tratamento de água produzida de petróleo para remoção de óleo por processos de separação por membranas: revisão**. Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, v.18, n. 1, p. 15-26, 2013.

NEFF, J.; Lee, K.; DeBlois, E.M. 2011. **Producedwater: Overview of composition, fates and effects**. Cap. 1 In: Producedwater, environmental risks and advances in mitigation technologies. Lee, K. & Neff, J. (eds.). Springer Science, 608p.

O'ROURKE, D. & CONNOLLY, S. **The distribution of environmental and social impacts of oil production and consumption**. Annual Reviews Environmental Resources, 28: pp. 567-617. 2003.

OGP, 2012. **Environmental performance indicators**. International Association of Oil and Gas Producers, Report n. 2011e, 62p.

OLIVEIRA, G. V. B. de; Nascimento, Y. I. F. do; Alves, J. D. de B.; Dantas, T. N. de C. **Avaliação qualitativa da germinação do girassol**. In: II congresso nacional de engenharia de petróleo, gás natural e biocombustíveis, 2016, Natal – RN. Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN): [s.n.], 2016. p. 01-07. Disponível em: <[http://www.editorarealize.com.br/revistas/conepetro/trabalhos/TRABALHO\\_EV052\\_MD4\\_SA13\\_ID1657\\_04072016150419.pdf](http://www.editorarealize.com.br/revistas/conepetro/trabalhos/TRABALHO_EV052_MD4_SA13_ID1657_04072016150419.pdf)>. Acesso em: 13 jun. 2018.

OLIVEIRA, M. F.; Castiglioni, V. B. R.; Carvalho, C. G. P. **Melhoramento do Girassol**. In: LEITE, R. M. V. B. C.; BRIGHENTI, A. M.; CASTRO, C. (Ed.). Girassol no Brasil. Londrina: EMBRAPA, 2005. cap. 11, p. 269-297.

OLIVEIRA, R. B. de; Ranal, M. A.; Lopes, F. C.; Olivato, A. V. D. **Qualidade fisiológica de cipselas de girassol em função de largura e época de semeadura**. Revista Brasileira de sementes vol.33, no.3, Londrina 2011.

PETROBRAS- PETROLEO BRASILEIRO S.A, PETROBRAS- Brasil. **Bacia Potiguar**. 2018. Disponível em: <<http://www.petrobras.com.br/pt/nossas-atividades/principais-operacoes/bacias/bacia-potiguar.htm>>. Acesso em: 13 jun. 2018.



PINHEIRO, R.; Travalloni, A. M.; Júnior, G. M.; Crisostomo, L. A.; Aquino, O.; Orlando, A. E. IBP 1010/14 **Projeto Piloto de Irrigação com Água Produzida no Campo de Fazenda Belém**. Rio Oil & Gas Expo and Conference, 2014.

QUEIROGA, F. M. **Resposta da cultura do girassol a doses de potássio, magnésio, boro, zinco, cobre e a fontes de nitrogênio**. 2011. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2011.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. H. **Recomendações para uso de corretivo e fertilizantes de Minas Gerais – 5a Aproximação**. Viçosa: CFSEMG, 1999. 359p

ROCHA, E. L. **Reúso de águas residuárias na agricultura irrigada**. Faculdade Metropolitana de Camaçari (FAMEC), bacharelado em Engenharia Ambiental, 2013.

SANTOS, A. R. **Avaliação de genótipos de girassol sob irrigação nas condições do semiárido**. Montes Claros: Unimontes, Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Estadual de Montes Claros, Montes Claros. 2010. 91f.

SEMACE. 2017. **Resolução COEMA 02, de 02 de fevereiro de 2017**. Superintendência Estadual do Meio Ambiente do Ceará, Brasil.

SILVA, C. R.R. **Água Produzida na Extração de Petróleo**. Monografia. Escola politécnica Departamento Hidráulica e Saneamento, UFBA, Salvador/BA. 13 jul. 2000. Disponível em: <<http://www.teclim.ufba.br/site/materialonline/monografias/monoremirsilva.pdf>>. Acesso em: 17 de Março de 2018.

SILVA, Y. G. F.; Souza, L. D.; Alves, S. M. C.; Costa, F. G. B.; Batista, R. O. **Qualidade de óleo de girassol irrigado com esgoto doméstico tratado**. Química: ciência, tecnologia e sociedade, Mossoró, v. 2, n. 2, p. 46-56, 2013.

SIPETRO, Sindicato das Empresas do Setor de Petróleo, Gás e Combustíveis do Estado do Rio Grande do Norte. **Produção de petróleo no Rio Grande do Norte cai 15,3% em 2017**. 2017. Disponível em: <<http://sipetro.com.br/producao-de-petroleo-no-rio-grande-do-norte-cai-153-em-2017/>>. Acesso em: 20 mar. 2018.

SOUSA, A. F.; Crisostomo, L. A.; Weber, O. B.; Escobal, M. E. O.; Oliveira, T. S. de. **Nutrient content in sunflowers irrigated with oil exploration water**. 2016. 7 p. Tese de doutorado do primeiro autor (Doutorado em Ecologia e Recursos Naturais) - Universidade Estadual do Ceará, 2016.

SOUSA, J. R. M.; Soares, L. A. A.; Sousa Júnior, J. R.; Maia, P. M. E.; Silva, S. S.; Maracajá, P. B. **Germinação de sementes de girassol cv. BRS 324 submetidas a estresse salino simulado por NaCl**. Agropecuária Científica no Semiárido. Campina Grande, v. 8, n. 3, p. 123-127, 2012.

SOUZA, P. S.; Rigo, M. M.; Cerqueira, A. A.; Ferreira, A. A.; Marques, M. R.; Perez, D. V. **Efeito de diferentes dosagens de Fe<sup>3+</sup> na germinação do girassol**. Revista Internacional de Ciências. Rio de Janeiro, v. 3, n. 2, p. 73-82, 2013.

VERDÉLIO, Andreia. **Brasil carece de legislação para reúso de água**. 2017. Disponível em: <<http://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2017-03/brasil-carece-de-legislacao-para-reuso-de-agua-diz-coordenador-da-ana>>. Acesso em: 17 maio 2018.