



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

FRANCISCO LEANDRO BARBOSA DA SILVA

**REÚSO DA ÁGUA PRODUZIDA NA EXPLORAÇÃO DE PETRÓLEO E TRATADA,
NA PARA IRRIGAÇÃO DA CULTURA DA MAMONA**

FORTALEZA-CE

2016

FRANCISCO LEANDRO BARBOSA DA SILVA

**REÚSO DA ÁGUA PRODUZIDA NA EXPLORAÇÃO DE PETRÓLEO E TRATADA,
NA PARA IRRIGAÇÃO DA CULTURA DA MAMONA**

Tese apresentada ao curso de Doutorado em Engenharia Agrícola do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia Agrícola. Área de concentração: Irrigação e Drenagem

Orientador: Prof^o. Dr^o. Fábio Rodrigues de Miranda.

FORTALEZA-CE

2016

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- S58r Silva, Francisco Leandro Barbosa da Silva.
Reuso da água produzida na exploração de petróleo e tratada na irrigação da cultura da mamona. /
Francisco Leandro Barbosa da Silva Silva. – 2016.
93 f. : il. color.
- Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-
Graduação em Engenharia Agrícola, Fortaleza, 2016.
Orientação: Prof. Dr. Fábio Rodrigues de Miranda.
1. rejeito petrolífero. 2. reuso de água. 3. oleaginoso. 4. balanço hídrico. 5. rejeito de dessalinização. I.
Título.

CDD 630

FRANCISCO LEANDRO BARBOSA DA SILVA

**REÚSO DA ÁGUA PRODUZIDA NA EXPLORAÇÃO DE PETRÓLEO E TRATADA,
NA PARA IRRIGAÇÃO DA CULTURA DA MAMONA**

Tese apresentada ao curso de Doutorado em Engenharia Agrícola do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia Agrícola. Área de concentração: Irrigação e Drenagem

Aprovada em: ___/___/___

BANCA EXAMINADORA

D.r Fábio Rodrigues de Miranda
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA

D.r Carlos Alexandre Gomes da Costa
Universidade Federal do Ceará – UFC

D.r Olmar Baller Weber
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA

D.r Antônia Leila Rocha Neves
Universidade Federal do Ceará – UFC

D.r Geocleber Gomes de Sousa
Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira – UNILAB

Aos meus pais Regina Célia Barbosa da Silva e Antônio Venício Pereira da Silva, pelo amor, carinho, compreensão e dedicação na minha formação como pessoa. Aos meus irmãos, pelo amor fraternal. À minha branquinha, Sabriny Marques, pelo amor, incentivo, compreensão, paciência e dedicação.

OFEREÇO

Ao Professor Fábio Rodrigues de Miranda, pela orientação, ensinamento e paciência, e compreensão.

AGRADEÇO

A **DEUS**, por tudo, por tudo mesmo. Pois tudo que consegui até aqui, agradeço especialmente a Ele. Agradeço por ter me guiado e ter colocado pessoas maravilhosas no decorrer da minha caminhada.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Agradeço imensamente a Deus;

Aos meus pais;

À Universidade Federal do Ceará;

Ao Professor Fábio Rodrigues de Miranda, que orientou-me durante o doutorado;

Ao Professor Lindberg Crisóstomo, onde muitas vezes orientou-me. Agradeço a paciência e compreensão.

Ao professor Claudivan, que me orientou toda a graduação e mestrado, agradeço por tudo, pois tudo ensinou-me, no decorrer desses anos me serviu de ensinamento.

Ao Departamento de Engenharia Agrícola e professores, que trabalham incessantemente para melhoria do curso;

À Leila Rocha, que nas horas mais difíceis, mesmo ocupada, sempre se dispusera a ajudar-me;

Aos conselheiros que muito colaboraram no desenvolvimento deste trabalho: Geoclber Gomes de Sousa; Carlos Alexandre Gomes da Costa e Olmar Baller Weber;

Aos funcionários do DENA, em especial, a Ana Maria (Aninha), Maurício Chocolate, e em especial ao Jacó (Conterrâneo).

Aos amigos de trabalho: Camboim Neto, Alan Diniz, Buno Mesquita, Andrezão, Gislaine, Luizinho; Inez e Ana Paula.

A UFC e a CAPES pela concessão de bolsa durante a minha pós-graduação.

A todos que deram sua contribuição para que eu chegasse até aqui.

Livre-se dos bajuladores. Mantenha perto de
você pessoas que te avisem quando você erra.

Barack Obama.

RESUMO

SILVA, F. L. B. **Reuso da água produzida na exploração de petróleo e tratada na irrigação da cultura da mamona.** Orientador: D.r Fábio Rodrigues de Miranda. Fortaleza: UFC. 93f. (Tese. Doutorado em Engenharia Agrícola). 2016.

O objetivo do trabalho foi avaliar os efeitos da irrigação com água produzida e tratada, proveniente da exploração do petróleo nas características físico-químicas do solo, atributos químicos na planta, balanço hídrico, produção na cultura da mamona BRS-Energia. A pesquisa foi realizada na Fazenda Belém, em Aracati-CE, em solo Neossolo Quartzarênico. O delineamento utilizado foi em blocos casualizados com três repetições. Os tratamentos consistiram da irrigação com água produzida tratada por osmose reversa (APO), água produzida tratada por filtração (APF) e água do aquífero Assu (ACA), em dois ciclos de cultivos sucessivos. As parcelas apresentavam dimensões de 20m por 20m (400 m²). Ao final foram coletadas amostras de solo e de plantas para quantificação dos teores de nutrientes (Ca, Mg, Na, K, Cu, Zn, Mn). A produção foram de forma aleatória separadas 30 plantas de cada parcela para avaliação do peso de racemo; comprimento; e peso de grãos. Para avaliação do balanço hídrico foram instaladas nove minilímetros de drenagem, o manejo da irrigação foi realizado através da evapotranspiração da cultura (ETc) medida por lisimetria em escala diária. Os resultados foram submetidos à análise de variância. Observou-se que a irrigação com a APF reduziu a altura de plantas da mamoneira 'BRS Energia' em relação à irrigação com a ACA e a APO. A (APF) apresenta valores mais elevados de Na⁺ na parte aérea, quando comparados aos tratamentos (ACA) e (APO). A aplicação de (APF) não aumentou os níveis de Ca, Mg, K, Zn, Mn e Fe nas raízes, parte aérea e sementes, quando comparada aos demais tratamentos. Após dois ciclos de cultivo da mamoneira, o solo irrigado com a APF apresenta níveis mais elevados de salinidade e sodicidade (CEs, Na⁺ e PST) em relação à irrigação com a ACA e APO. Após a estação chuvosa o solo irrigado com a APF apresenta redução dos níveis de salinidade e sodicidade.

Palavras-chave: rejeito petrolífero, reuso de água, oleaginosas, Balanço hídrico; Rejeito de dessalinização.

ABSTRACT

SILVA, F. L. B. Reuse the water produced in oil exploration and treated in the castor crop irrigation. Advisor: Dr. Fabio Rodrigues Miranda. Fortaleza: UFC. 93f. (D.Sc. Thesis). 2016.

The objective was to evaluate the effects of irrigation water produced and treated from the exploitation of oil in the physicochemical characteristics of soil chemical attributes in the plant, water balance, production in the BRS-Energy castor bean. The survey was conducted at ranch Belém in Aracati-CE, in soil Quartzarenic Neosol. The design was a randomized complete block design with three replications. Treatments consisted of irrigation with treated water produced by reverse osmosis (APO), produced water treated by filtration (APF) and water from the aquifer Assu (ACA) in two cycles of successive crops. The plots had dimensions of 20 m by 20 m (400 m²). At the end Soil samples were collected for quantification and plant nutrients (Ca, Mg, Na, K, Cu, Zn, Mn). The production were randomly separated 30 plants per plot for evaluation of cluster weight; length; and grain weight. To evaluate the water balance were installed nine small lysimeters drainage, irrigation management was carried out by crop evapotranspiration (ET_c) measured by lysimeter in daily scale. The results were submitted to analysis of variance. It was observed that irrigation with APF reduced plant height of castor bean 'BRS Energy' to the irrigation with the ACA and the APO. The (APF) has higher values of Na⁺ the shoot, when compared to treatments (ACA) and (APO). The application of (APF) did not increase the levels of Ca, Mg, K, Zn, Mn and Fe in the roots, shoots and seeds compared to the other treatments. After two crop cycles of castor bean, the soil irrigated with the APF has higher levels of salinity and sodicity (ECs, Na⁺ and PST) in relation to irrigation with the ACA and APO. After the rainy season the soil irrigated with the APF has reduced levels of salinity and sodicity.

Keywords: waste oil, water reuse, oil, water balance; Tailings desalination.

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - Granulometria e atributos físicos e químicos do solo da área experimental da fazenda Belém, Aracati-CE.....	38
Tabela 02 - Análise química das diferentes qualidades de água da área experimental, município de Aracati-CE.....	39
Tabela 03 - Análise dos nutricionais na adubação orgânica e mineral aplicado na área experimental durante os três ciclos de cultivo.....	41
Tabela 04 - Temperaturas máxima, mínima e média (T), Umidades relativas máxima, mínima e média (RH), radiação (Rs), velocidade do vento (Uz) e evapotranspiração total (ET) nos meses de condução do experimento.....	49
Tabela 05 - Resumo da análise de variância dos dados de pH, condutividade elétrica (CE_{es}), razão de adsorção de sódio (RAS) no extrato saturado, teor de sódio trocável (Na^+) e porcentagem de sódio trocável (PST) em diferentes camadas do solo.....	56
Tabela 06 - Médias de pH, condutividade elétrica (CE_{es}), teor de sódio (Na) e razão de adsorção de sódio (RAS) no extrato saturado do solo e de porcentagem de sódio trocável (PST), na camada de 0,0 m a 0,2 m, antes do plantio (T_0) e após dois ciclos de cultivo de mamoneira irrigado com três tipos de água.....	57
Tabela 07 - Médias de pH, condutividade elétrica (CE_{es}), teor de sódio (Na) e razão de adsorção de sódio (RAS) no extrato saturado do solo e de porcentagem de sódio trocável (PST), na camada de 0,2 m a 0,4 m, antes do plantio (T_0) e após dois ciclos de cultivo de mamoneira irrigado com três tipos de água.....	58
Tabela 08 - Médias de pH, condutividade elétrica (CE_{es}), teor de sódio (Na) e razão de adsorção de sódio (RAS) no extrato saturado do solo e de porcentagem de sódio trocável (PST), na camada de 0,4 m a 0,6 m, antes do plantio (T_0) e após dois ciclos de cultivo de mamoneira irrigado com três tipos de água.....	59
Tabela 09 - Médias de pH, condutividade elétrica (CE_{es}), teor de sódio (Na) e razão de adsorção de sódio (RAS) no extrato saturado do solo e de porcentagem de sódio trocável (PST), na camada de 0,6 m a 0,8 m, antes do plantio (T_0) e após dois ciclos de cultivo de mamoneira irrigado com três tipos de água.....	60
Tabela 10 - Médias de pH, condutividade elétrica (CE_{es}), teor de sódio (Na) e razão de adsorção de sódio (RAS) no extrato saturado do solo e de porcentagem de sódio trocável (PST), na camada de 0,8 m a 1,0 m, antes do plantio (T_0) e após dois ciclos de cultivo de mamoneira irrigado com três tipos de água.....	61
Tabela 11 - Resumo da análise de variância para os teores de elementos minerais na raiz, parte aérea e sementes do segundo ciclo de mamona, variedade BRS energia irrigadas com três qualidades de água, água produzida filtrada (APF), osmose reversa (APO) e a água do subsolo captada do aquífero Açu (ACA).....	66

Tabela 12 - Teores médios de cálcio (Ca^{2+}), sódio (Na^+), magnésio (Mg^{2+}), potássio (K^+), zinco (Zn^{2+}), manganês (Mn^{2+}) e ferro (Fe^{2+}) em raiz, parte aérea e semente do segundo ciclo de mamona, variedade BRS energia irrigadas com três qualidades de água, água produzida filtrada (APF), osmose reversa (APO) e a água do subsolo captada do aquífero Açu (ACA).....67

Tabela 13 - Resumo da análise de variância do peso de racemo (g), peso de grãos (g) e altura de plantas (cm) do segundo ciclo de mamona, variedade BRS energia irrigadas com três qualidades de água, água produzida filtrada (APF), osmose reversa (APO) e a água do subsolo captada do aquífero Açu (ACA).....69

Tabela 14 - Médias do peso de racemo (g), peso de grãos (g) e altura de plantas (cm) do segundo ciclo de mamona, variedade BRS energia irrigadas com três qualidades de água, água produzida filtrada (APF), osmose reversa (APO) e a água do subsolo captada do aquífero Açu (ACA).....70

Tabela 15 - Médias de produtividade e massa de 1.000 sementes, em dois ciclos de produção da mamoneira 'BRS Energia', irrigada com diferentes tipos de água.....71

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 - Esquema do reservatório de petróleo bruto no solo (FIGUEIREDO, 2000).....	26
Figura 02 - Imagem por satélite da área experimental na Fazenda Belém (Petrobrás), no Município de Aracati-CE. Fonte: <i>Google Earth</i> (2015).....	37
Figura 03 - Plantas de Mamona BRS energia irrigadas com água de diferentes qualidades, em Aracati, Ceará, Brasil.....	39
Figura 04 Capina da área (A), transplântio (B), adubação orgânica (C) e química (D) da área experimental, município de Aracati, Ceará, Brasil.....	41
Figura 05 Sistema de distribuição das águas produzida, captada e filtrada da Fazenda Belém, Aracati, Ceará, Brasil.....	42
Figura 06 Sistema de distribuição de água da área experimental, com adutoras de água para irrigação (A), válvula solenoide (B) e controladores de irrigação (C), Aracati, Ceará, Brasil....	43
Figura 07 Avaliação da uniformidade de distribuição do sistema de irrigação, Aracati, Ceará, Brasil.....	44
Figura 08 Detalhes da instalação dos minilísímetros na área experimental, município de Aracati, Ceará, Brasil.....	45
Figura 09 Bomba de sucção manual e coleta do volume de água drenada dos minilísímetros, Aracati, Ceará, Brasil.....	46
Figura 10 Disposição dos minilísímetros nas parcelas, Aracati, Ceará, Brasil.....	47
Figura 11 Estação meteorológica automática HOBO U-30 NRC instalada no local do experimento.....	48
Figura 12 Procedimento de coleta da amostra indeformada (A- Trado para coleta de amostras indeformadas em anéis cilíndricos; B - amostras coletadas).....	50
Figura 13 Amostras indeformadas devidamente preparadas (A); Amostras de solo submetidas à tensão de 6 kPa, Aracati, Ceará, Brasil.....	51
Figura 14 Amostras de solos indeformadas submetidas à pressão de 1000 e 1500 kPa, laboratório de Física do solo, Universidade Federal do Ceará, Ceará, Brasil.....	52
Figura 15 Curva de retenção de água no solo.....	53
Figura 16 - Variações do pH e da condutividade elétrica do extrato de solo saturado (CE_{es}), em função da profundidade e do tipo de água utilizado na irrigação, em dois ciclos de cultivo de mamoneira.....	63

Figura 17 - Variações do teor de sódio trocável e da porcentagem de sódio trocável (PST) em função da profundidade e do tipo de água utilizado na irrigação, em dois ciclos de cultivo de mamona.....64

Figura 18 - Balanço hídrico da cultura da mamona, sob irrigação com água captada do aquífero Açu (ACA), água produzida tratada por osmose reversa (APO) e água produzida filtrada (APF), em dois ciclos (A – primeiro ciclo) e (B – segundo ciclo) de cultivos..... 74

SUMARIO

1 INTRODUÇÃO.....	16
2 OBJETIVO E HIPÓTESE.....	18
2.1 OBJETIVO GERAL.....	18
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	18
2.3 HIPÓTESE.....	18
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	19
3.1 QUALIDADE DA ÁGUA PARA IRRIGAÇÃO	19
3.2 LEGISLAÇÃO PARA O USO DA ÁGUA.....	21
3.3 ÁGUA DE REUSO.....	22
3.3.1 Efeito da água de reuso no solo.....	27
3.3.2 Efeito da água de reuso na planta.....	29
3.4 MAMONA.....	29
3.5 BALANÇO HÍDRICO.....	31
3.5.1 Variáveis do Balanço hídrico.....	33
3.5.1.1 Precipitação.....	34
3.5.1.2 Infiltração de água no solo.....	34
3.5.1.3 Escoamento da água no solo.....	34
3.5.1.4 Armazenamento de água no solo.....	34
3.5.1.5 Evapotranspiração.....	35
3.6 NUTRIENTES NA PLANTA.....	35
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	37
4.1 LOCAL DO EXPERIMENTO, CLIMA E SOLO.....	37
4.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL, TRATAMENTO E DISPOSIÇÃO DAS PARCELAS.....	38
4.3	MATERIAL
VEGETAL.....	43
9	
4.4 PLANTIO E OUTROS TRATOS CULTURAIS.....	40
4.5 SISTEMA DE IRRIGAÇÃO.....	42

4.6 BALANÇO HÍDRICO DA CULTURA E MANEJO DA IRRIGAÇÃO.....	45
4.7 ESTAÇÃO METEOROLÓGICA AUTOMÁTICA.....	48
4.8 DETERMINAÇÃO DA CAPACIDADE DE ARMAZENAMENTO DE ÁGUA NO SOLO.....	53
4.9 CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS E QUÍMICAS DO SOLO.....	53
4.10 NUTRIENTES NA PLANTA E NO SOLO.....	54
4.11 CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DA MAMONA.....	54
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	55
5.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DO SOLO.....	55
5.2 ANÁLISE DE CRESCIMENTO DE MAMONA.....	66
5.3 NUTRIENTES EM RAÍZES, PARTE AÉREA E SEMENTES.....	66
5.4 PRODUÇÃO NA CULTURA DA MAMONA BRS ENERGIA.....	69
5.5 BALANÇO HÍDRICO	73
CONCLUSÃO.....	76
REFERÊNCIAS.....	77

1 INTRODUÇÃO

Na atualidade, a situação da água é preocupante, não somente quanto à quantidade de recursos hídricos disponíveis, quanto à sua qualidade. Várias atividades do processo produtivo, dentre elas, a agricultura através da irrigação, a indústria, a mineração, requerem grandes quantidades de água de boa qualidade com relação a sua potabilidade, e o descarte de resíduos humanos, o elevado crescimento demográfico, a urbanização e as mudanças climáticas têm provocado impacto sobre a qualidade da água (UN WWAP, 2009).

Em países nos quais a falta de água é um fator limitante de crescimento e produtividade das culturas, percebe-se a dependência externa de produtos agrícolas, como grãos e frutíferas por exemplo, que requerem grandes volumes hídricos. Portanto, o problema de escassez hídrica está diretamente relacionado ao problema de escassez de alimentos, ratificando a necessidade do uso de água de baixa qualidade. (BERNARDI 2003)

Em função da escassez de água que atinge várias regiões do Brasil, inclusive na região Nordeste, associado aos índices pluviométricos, como também a qualidade da água, devido à má utilização, mostra-se importante a racionalização desse bem natural com a reutilização da água para vários usos, inclusive a irrigação agrícola, que representa aproximadamente 70% do consumo hídrico no mundo. Assim, a reutilização da água mostra-se como um eficiente instrumento para a gestão dos recursos hídricos no Brasil (BERNARDI, 2003). A água em pouca quantidade e de má qualidade utilizada na irrigação estão diretamente relacionada à possíveis efeitos prejudiciais ao solo e às culturas, requerendo muitas vezes técnicas especiais de manejo para controlar ou compensar eventuais problemas associados a sua utilização. Segundo Ayers e Westcot (1991), a qualidade da água para irrigação está relacionada a seus efeitos prejudiciais aos solos e às culturas, requerendo muitas vezes técnicas especiais de manejo para controlar ou compensar eventuais problemas associados a sua utilização. Os problemas causados pela qualidade da água podem ser resumidos nos seguintes efeitos principais: salinidade, permeabilidade do solo e toxidez às plantas cultivadas (AYERS; WESTCOT 1976).

A utilização desta água de baixa qualidade, na agricultura tem grande importância, pois o reuso de água na agricultura é um meio de proteção ambiental já que pode promover a diminuição do efluente no meio ambiente, disponibilizando água de boa qualidade para outros ramos da economia.

Sabe-se que a qualidade da água de irrigação é de grande importância para o consumo na agricultura irrigada, devido a vários fatores que podem ser prejudiciais ao solo, tais

como a salinização, aumentando o potencial osmótico, a sodificação, prejudicando a infiltração da água no solo e a toxidez, pela presença de metais tóxicos. Algumas variáveis, tais como, pH, CE (condutividade elétrica) e PST (Potencial de sódio trocável) podem ser verificados na água e no solo para a avaliação da qualidade desta.

Os estudos da água visando determinar sua qualidade para utilização na agricultura irrigada são muito antigos. Entretanto, a definição favorável ou contrária à utilização de uma água para fins de irrigação depende, não somente das condições químicas que apresenta no momento que é analisada, como também, das características físico-químicas dos solos em que vão ser aplicadas, assim como da susceptibilidade e resistência dos cultivos que vão ser irrigados (ALMEIDA, 2010).

Enfim, um bom planejamento na prática do reuso de água de baixa qualidade, principalmente água produzida, permite que haja continuidade das atividades exercidas pelo homem, sobretudo na agricultura, já que tal atividade vem sendo diretamente afetada pela grande escassez de água. Além disso, o reuso de água produzida na agricultura pode proporcionar grandes volumes de água requerido pelas plantas, aumentando a oferta de água e economia de água de qualidade superior.

2 OBJETIVOS E HIPÓTESES

2.1 OBJETIVO GERAL

Analisar os efeitos da irrigação com água produzida e tratada, proveniente da exploração do petróleo nas características físico-químicas do solo, atributos químicos na planta, balanço hídrico e produção na cultura da mamona BRS-Energia.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar os efeitos da irrigação com água produzida tratada sobre a produção e o teor de nutrientes de plantas de mamoneira.
- Verificar os efeitos da irrigação com água produzida tratada sobre a salinidade e o teor de nutrientes do solo, cultivado com mamoneira.
- Determinar o balanço hídrico de cultivos da mamona irrigados com água produzida tratada.

2.3 HIPÓTESE

A utilização da água produzida na extração de petróleo para a irrigação da mamoneira, além de não causar prejuízos ao solo, é agronomicamente viável, dando uma finalidade para a água de rejeito dos poços petrolíferos.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 QUALIDADE DA ÁGUA PARA IRRIGAÇÃO

Na atualidade, a situação da água é preocupante, não somente quanto à quantidade de recursos hídricos disponíveis, quanto à sua qualidade (MORENO CASELLES *et al.*, 1996). Os estudos da água visando determinar sua qualidade para utilização na agricultura irrigada são muito antigos. Entretanto, a definição favorável ou contrária à utilização de uma água para fins de irrigação depende, não somente das condições químicas que apresenta no momento que é analisada, como também, das características físico-químicas dos solos em que vão ser aplicadas, assim como da susceptibilidade e resistência dos cultivos que vão ser irrigados (ALMEIDA, 2010).

Para a avaliação da qualidade química da água para a irrigação, são habitualmente usados critérios determinantes para o seu uso, tais como: Potencial Hidrogeniônico (pH), Condutividade Elétrica (CE), Total de Sais Dissolvidos (TSD), íons: sódio (Na^+), potássio (K^+), cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), cloretos (Cl^-), sulfatos (SO_4^{2+}), carbonatos (CO_3^{2-}) e bicarbonatos (HCO_3^-). Por sua toxicidade manifesta, é conveniente analisar o íon boro (B^+) (AYERS; WESTCOT, 1999). Os sais mais comumente encontrados na água e na solução do solo são compostos por cátions de sódio, cálcio, potássio, magnésio e ânions de cloro, sulfato (SO_4^{2-}) e carbonato na forma de bicarbonato (EL-SWAIFY, 2000).

A agricultura irrigada depende tanto da quantidade como da qualidade da água. No entanto, o aspecto qualidade tem sido desprezado devido, principalmente a escassez de água, que no passado, as fontes de água, no geral, eram abundantes, de boa qualidade e de fácil utilização. Esta situação, todavia, está se alterando em muitas localidades. O uso intensivo de praticamente todas as águas de boa qualidade implica, tanto para os projetos novos como para os antigos que requerem águas adicionais, em ter que se recorrer às águas de qualidade inferior (AYERS; WESTCOT, 1999).

Ayers e Westcot, (1999) citado por Andrade (2009) a água para irrigação deve ser avaliada em especial sob três aspectos: salinidade, sodicidade e toxicidade aos íons, variáveis fundamentais na determinação da sua qualidade agrônômica. Segundo Ayers e Westcot (1991) as águas que apresentam condutividade elétrica abaixo de $0,7 \text{ dS m}^{-1}$ podem ser utilizadas para irrigação sem nenhuma restrição ao uso.

O efeito da salinidade é de natureza osmótica podendo afetar diretamente o rendimento das culturas. A sodicidade, determinada pela razão de adsorção de sódio (RAS) da

água de irrigação, se refere ao efeito do sódio contido na água de irrigação, que tende a elevar a porcentagem de sódio trocável no solo (PST), afetando a sua capacidade de infiltração (PIZARRO, 1985; VASCONCELOS, 2009).

Com relação à qualidade da água de irrigação, a classificação e o uso se julgam tendo em conta os seguintes aspectos: Características químicas, condições agronômicas e condições edafoclimáticas (CORDEIRO, 2001).

Em função da escassez de água que atinge várias regiões do Brasil, associada aos problemas de qualidade da água, torna-se uma alternativa potencial de racionalização desse bem natural a reutilização da água para vários usos, inclusive a irrigação agrícola, que representa aproximadamente 70% do consumo hídrico no mundo. Assim, a técnica de reuso tende a ser um eficiente instrumento para a gestão dos recursos hídricos no Brasil (BERNARDI, 2003).

No caso específico do Nordeste, as águas usadas na irrigação são provenientes de rios, açudes e poços tubulares apresentando, com algumas exceções, valores de CE abaixo de 0,75 mmhos/cm e percentual de sódio abaixo de 60%. São águas consideradas de boa qualidade e não apresentam maiores problemas para irrigação sob condições adequadas de manejo. Todavia, em decorrência do inadequado balanço de sais, comumente verificado por falta de drenagem, observa-se uma gradativa salinização do perfil do solo irrigado e progressivo aumento das áreas problemas (CORDEIRO, 2001).

No Estado do Ceará, também se evidencia esta preocupação com a qualidade da água utilizada para a irrigação. Vasconcelos *et al.* (2009), avaliando a qualidade da água utilizada para irrigação na extensão da microbacia do Baixo Acaraú, verificou que a utilização da água da microbacia do Baixo Acaraú para fins de irrigação tanto no período chuvoso, como seco não tem restrições no que diz respeito à salinidade e sodicidade.

Alguns autores comentam sobre o efeito nutricional que tem a água residuária. Santos *et al.* (2010), relata que plantas de gergelim irrigadas com água residuária tratada tiveram produção superior a plantas irrigadas com água de abastecimento. Resultados semelhantes foram encontrados por Souza *et al.* (2010), os quais relataram que houve um aumento produtividade da mamona quando irrigada com esgoto doméstico tratado.

Yadav *et al.* (2002) citado por Santos, (2004) observaram maior acúmulo de sais em superfície, do que em camadas subsuperficiais do solo após irrigação com efluentes de esgoto domésticos.

3.2 LEGISLAÇÃO PARA O USO DA ÁGUA

A partir da promulgação da Lei nº 9.433/97, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos, é dado um novo enfoque para a questão hídrica e gestão do uso da água por bacias hidrográficas. A ênfase legislativa incide na racionalização do uso da água, estabelecendo princípios e instrumentos para sua utilização. Porém, pouca preocupação legislativa ocorreu para fixação de princípios e critérios para a reutilização da água no Brasil (BERNARDI, 2003).

As águas subterrâneas são de uma importância ímpar, em razão da sua significativa parcela de contribuição para a formação do ciclo hidrológico. Representam 97% dos recursos hídricos disponíveis e servem a mais da metade das populações mundiais, especialmente nas regiões semiáridas (MIERZWA; HESPANHOL, 2005).

No tocante à extração de água subterrânea na produção de petróleo e gás, existe regulamentação específica sobre o tema, caracterizando não só a água de injeção como a água produzida. A Resolução impõe o tratamento de efluentes na extração de petróleo e gás em plataformas marítimas e conceitua a água produzida no Art 2º, I como “a água normalmente produzida junto com o petróleo” (CONAMA, 2007), também denominada água de processo ou de produção.

O lançamento de efluentes de água produzida deve ser tratado em consonância com a legislação ambiental, em função de problemas como o elevado volume, pois em média para cada m³ de petróleo produzido são gerados 3 a 4 m³ de água, podendo chegar a 7 ou mais. Nas atividades de exploração, perfuração e produção, a água produzida corresponde a 98% de todos os efluentes gerados; da presença de sais, óleos e outros elementos nocivos; da temperatura elevada; ausência de oxigênio (THOMAS, 2004).

A água produzida (AP), considerada como um efluente a ser disposto (descartado), tem de passar por tratamentos eficazes de modo a se enquadrar na legislação vigente (CONAMA, nº 20/86) tendo em vista o destino que lhe será dado. Se for reutilizada (reciclada), precisará ser tratada de modo a atingir os padrões necessários ao processo em que será utilizada. A mesma resolução delimita o enquadramento dos corpos d'água e que o mesmo deve estar baseado não necessariamente no seu estado atual, mas nos níveis de qualidade que deveriam possuir para atender às necessidades da comunidade.

A Resolução (CONAMA, nº 20/1986) que dispõe sobre a classificação das águas doces, salobras e salinas do território nacional, Resolução (CONAMA, nº 357/2005) que dispõe sobre a classificação de corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem

como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes e Resolução (CONAMA, nº 396/2008) que dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas.

Embora o território nacional tenha grande disponibilidade de recursos hídricos, as atuais formas de gestão, dentre elas normas constitucionais e infraconstitucionais, recomendam a valoração econômica desse bem com vistas à sua proteção contra degradação e usos indevidos. Esta é uma prática de gestão, baseada em regulamentos muito específicos, instrumentos e princípios de natureza já consagrada no Direito Ambiental, como o princípio da precaução, do usuário-pagador e do poluidor-pagador (GUIMARÃES; RIBEIRO, 2007).

Os mesmos autores também comentam que os estados do Rio Grande do Norte e Ceará têm avançado na implantação dos instrumentos da PNRH, especialmente no tocante à outorga dos direitos de uso e, em especial o Ceará já pratica em seu domínio territorial a cobrança pelo uso da água. Entretanto, não se registra ainda situações de cobrança pelo uso da água bruta na indústria de petróleo, gás e biocombustíveis.

Apesar desse fato, a PETROBRAS realiza desde 2004 experimentos nas bacias produtoras coincidentes com os aquíferos da região, baseados no reuso de água produzida. Nas usinas experimentais de Guamaré-RN e no campos produtivos de Canto Amaro-CE, situados sobre a Bacia Potiguar, a água produzida é reinjetada no aquífero, ou processada para retirada de impurezas e reutilizada na irrigação de campos de produção de biomassa para produção de biocombustíveis (PETROBRAS, 2006). Deve ser considerado também que a outorga do direito de uso abrange igualmente o lançamento de efluentes (CNRH, 2001), fato que atinge sobremaneira a gestão da água produzida no Brasil. Outra problemática se faz presente nesse ambiente de discussão, representada pela participação dos Comitês de bacias hidrográficas como entes de Estado no processo de gestão participativa e descentralizada, consoante os princípios da lei nº 9.433/97.

3.3 ÁGUA DE REUSO

O termo água de reuso passou a ser utilizado com maior frequência nos anos 80, quando as águas de abastecimento tornaram-se cada vez mais caras, onerando o produto final quando usadas no processo de fabricação (MANCUSO; SANTOS, 2003).

Como havia a necessidade de reduzir os custos, a solução era reaproveitar os efluentes gerados, o reuso da água passou a ser utilizado em vários países e para diversas aplicações; por exemplo, agrícolas, recreativos, domésticos, industriais, manutenção de vazões

e recarga de aquíferos subterrâneos (WESTERHOFF, 1984). Nesta perspectiva era uma redução no consumo de água potável e conseqüentemente uma preservação do recurso.

Segundo a definição do Centro Internacional de Referência em Reuso de Água, o reaproveitamento ou reuso da água é o processo pelo qual a água, tratada ou não, é reutilizada para o mesmo ou outro fim. Essa reutilização pode ser direta ou indireta, decorrente de ações planejadas ou não.

De acordo com a (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 1973), o reuso indireto não planejado da água: ocorre quando a água, utilizada em alguma atividade humana é descarregada no meio ambiente e novamente utilizada a jusante, em sua forma diluída, de maneira não intencional e não controlada. O reuso direto planejado das águas ocorre quando os efluentes, depois de tratados, são encaminhados diretamente de seu ponto de descarga até o local do reuso, não sendo descarregados no meio ambiente. É o caso com maior ocorrência, destinando-se a uso em indústria ou irrigação (Duarte et al., 2008).

As águas de qualidade inferior, tais como efluentes de processos industriais e de esgotos, particularmente as de origem doméstica, águas de drenagem agrícola e águas salobras devem, sempre que possível, ser consideradas fontes alternativas para usos menos restritivos. O uso de tecnologias apropriadas para o desenvolvimento dessas fontes se constitui, hoje, em conjunção com a melhoria da eficiência do uso e o controle da demanda, na estratégia básica para a solução do problema da falta universal de água (HESPANHOL, 2003).

Mancuso e Santos (2003) classificam o reuso de água em duas grandes categorias: potável e não potável. Por sua praticidade e facilidade, essa classificação, que é apresentada a seguir foi adotada pela Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES). Segundo os autores, quanto a qualidade de água potável está subdividida nas seguintes categorias: a) direto, quando o esgoto recuperado por meio de tratamento avançado é diretamente reutilizado no sistema de água potável; b) Indireto, quando o esgoto após tratamento é disposto na coleção de água superficial, para diluição, purificação natural e conseqüentemente captação, tratamento e utilização da água. A água não potável é subdividida em cinco categorias: para fins agrícolas (aplicada também à dessedentação animal); para fins industriais (refrigeração); para fins domésticos (jardins e descargas sanitárias); para manutenção de vazões (manter vazões mínimas na estiagem), aquicultura (peixes e plantas aquáticas) e recarga de aquífero subterrâneo.

Para o controle da água potável e não potável, em 1997 foi instituída a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), a lei indica os princípios e parâmetros para utilização

da água. Tendo como fundamentos básicos do PNRH, a água como bem de domínio público, como recurso natural limitado dotado de valor econômico, prioridade de utilização do recurso para consumo humano e dessedentação animal, uso múltiplo da água, bacia hidrográfica como unidade territorial básica e gestão descentralizada (MANCUSO; SANTOS, 2003).

A classificação das águas é outro instrumento utilizado pela política de recursos hídricos, intimamente ligados ao reuso. Em primeiro lugar, porque, se, o reuso é o reaproveitamento de águas já utilizadas, qualquer utilização que não seja primária, constitui reuso. Em segundo, porque, se, as águas comportam classes definidas, segundo os usos preponderantes, se leva em consideração o reuso para estabelecer classes (MANCUSO; SANTOS, 2003). Segundo Brega Filho e Mancuso (2003), a prática de reuso de água no meio agrícola, pode garantir a recarga do lençol freático, garantir a dessedentação de animais além de servir para fertirrigação de diversas culturas.

Padrões de qualidade para águas em sistema de abastecimento público são geralmente estabelecido por lei. A legislação Brasileira estabelece padrões de qualidade para a água potável e para águas superficiais (Portaria 36/GM e portaria 518/GM de 25 março de 2004).

De acordo com Ayers e Westcot (1984), a agricultura utiliza uma maior quantidade de água, quando comparadas a outros setores da economia e pode tolerar águas de qualidade mais baixa que a indústria e o uso doméstico por exemplo, sendo inevitável a crescente tendência para se encontrar na agricultura a solução dos problemas relacionados com efluentes.

O emprego de água residuária na irrigação pode reduzir os custos de fertilização das culturas, bem como o nível requerido de purificação do efluente e, conseqüentemente, os custos de seu tratamento, já que as águas residuárias contêm nutrientes, e o solo e as culturas comportam-se como biofiltros naturais (BRANDÃO *et al.*, 2000; DUARTE, 2006). Já Bahri (1998), comenta que na Tunísia a reutilização da água é uma fonte potencial de elementos fertilizantes.

Duarte (2006), avaliando o reuso de água residuária tratada na irrigação da cultura do pimentão (*Capisicum annun L.*) verificou que, a irrigação com água residuária não alterou os teores de macro e micronutrientes do solo. Em contrapartida, Brandão *et al.* (2000), observou um leve acréscimo do sódio (Na^+) no solo, contudo, o reuso da água também contribuiu para a contaminação microbiológica do solo cultivado.

O reuso da água para diversos fins tornou-se uma alternativa viável de racionalização desse bem natural no contexto da questão abrangente de escassez de recursos hídricos. No Brasil, o setor agrícola consome cerca de 70% da água doce, seguido pelo

industrial (20%) e pela água destinada ao abastecimento (10%). Essa demanda significativa, associada à escassez de recursos hídricos leva a ponderar que as atividades agrícolas devem ser consideradas como prioritária em termos de reuso de efluentes tratados (ANDRADE, 2009).

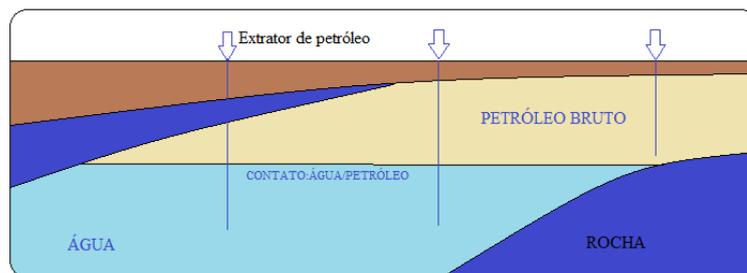
Segundo o mesmo autor, as águas de qualidade inferior, tais como esgotos domésticos, águas de drenagem agrícola e águas salobras (salinas), podendo ainda ser incluídas, as águas produzidas pela indústria do petróleo devem, sempre que possível, ser consideradas como fontes alternativas de água para usos menos restritivos. A utilização de tecnologias e metodologias apropriadas para o aproveitamento dessas fontes, junto com a melhoria da eficiência de uso e controle da demanda podem ser consideradas estratégias básicas para a solução do problema da falta universal de água.

Santos (2004), estudando o efeito da irrigação com efluentes de esgoto tratado, rico em sódio em propriedades químicas e físicas de um argissolo vermelho distrófico cultivado com capim-Tifton 85, afirma que as concentrações de sódio foram observadas tanto em camadas superficiais quanto em camadas profundas em tratamentos de irrigação com efluentes e água.

Duarte (2006), estudando o reuso de água residuária tratada na irrigação da cultura do pimentão (*Capsicum annun* L.) mostrou que a água residuária após passar pelas unidades de pós-tratamento (filtro de areia e filtro lento) apresentou boa qualidade física, químicas e microbiológicas sendo, portanto, adequada para a cultura do pimentão. De maneira geral, a irrigação com água residuária não alterou significativamente os teores de macronutrientes, apesar disto, obteve um aumento nos parâmetros de crescimento.

A origem básica da água produzida, juntamente com o petróleo, está relacionada às condições ambientais existentes durante a gênese deste óleo. Um ambiente geológico marinho ou lacustre, em que tenha havido intensa deposição de matéria orgânica, associada com posterior soterramento, e condições físico-químicas apropriadas tende a reunir os condicionantes necessários para o aparecimento do petróleo nas rochas matrizes. O petróleo gerado migra então para rochas permeáveis adjacentes que, trapeadas estruturalmente por rochas impermeáveis, resultam em acumulações nas rochas reservatório. Durante milhares de anos o petróleo se concentra, segregando-se da água, mas, mantendo muitas vezes, contato com os aquíferos (FIGUEIREDO, 2000). A (Figura 1) mostra tal fato.

Figura 1- Esquema do reservatório de petróleo bruto no solo (FIGUEIREDO, 2000)



Fonte: (FIGUEIREDO, 2000)

A água produzida é a maior fonte de poluição relacionada às atividades petrolíferas, pois contém muitos contaminantes, incluindo hidrocarbonetos, metais pesados e aditivos químicos (SILVA 1998; ANDRADE *et al.*, 2009). Dentre as espécies mais solúveis e tóxicas presentes na água produzida, destacam-se os compostos aromáticos, tais como o benzeno, o tolueno, o etilbenzeno, isômeros de xileno, fenóis, etc. A remoção desses compostos é extremamente difícil e, devido à sua toxicidade, a utilização direta de um tratamento biológico pode não ser recomendada (VEIL *et al.*, 2004; BADER, 2007, citado por ANDRADE, 2009).

Guerra, Dahm e Dundorf (2011) em seu trabalho intitulado, gestão da água produzida de petróleo e gás, seu uso e benefícios no oeste dos EUA, afirmam que, a água produzida pode ser usada para aumentar o abastecimento de águas convencionais para uso em irrigação e consumo do gado, aumento de vazões, e aplicações industriais. Para fins agrícolas, fontes de água produzidas contêm níveis elevados de sódio e alta condutividade e necessitam de tratamento para eliminar a possibilidade de danos à agricultura e à pecuária.

Thomas (2004), relata que águas oriundas de formações de hidrocarbonetos apresentam sais, microrganismos e gases dissolvidos, além de material em suspensão. Os teores de sais dissolvidos encontrados nessas águas são extremamente variáveis, sendo, em média, três a quatro vezes superiores aos normalmente existentes na água do mar (35 g L^{-1}).

Conforme descrevem Campos *et al.* (2005), as principais técnicas a serem aplicadas na lapidação e obtenção de uma água com qualidade suficiente para uma irrigação segura são os processos que envolvem: tratamento preliminar (com os separadores água-óleo gravitacionais), o sistema primário (flotação com ar dissolvido) e o polimento complementar que deve ser realizada por técnicas de osmose reversa ou ultrafiltração, a depender da concentração de sais presentes nas referidas águas.

3.3.1 Efeito da água de reuso no solo

A agricultura está enfrentando um grande problema em todo o mundo com a falta de recursos hídricos adequados, forçando muitos produtores a utilizar água salobra para a irrigação das culturas (REED, 1996). Em muitas áreas de produção, o uso de água de baixa qualidade para irrigação, associado a aplicação de quantidades excessivas de fertilizantes são as principais razões para o problema do aumento da salinidade do solo. Em se tratando de regiões áridas e semiáridas irrigadas, constitui um sério problema, limitando a produção agrícola e reduzindo a produtividade das culturas a níveis antieconômicos (DIAS; BLANCO, 2010).

A disposição de águas residuais no solo pode provocar contaminação do lençol freático ou acúmulo de produtos tóxicos em plantas e animais. Se lançados em cursos de água, esses efluentes podem provocar a destruição da vida aquática ali existente. Segundo Lima *et al.* (2001), os componentes que podem provocar poluição em águas naturais, quando nelas lançadas sem tratamento adequado, são principalmente: a) matéria orgânica que, ao ser degradada, reduz o nível de oxigênio dissolvido na água; b) compostos tóxicos como metais pesados, cianetos, sulfatos e etc.; c) sais orgânicos que aumentam a dureza da água e o pH do solo, dentre outros.

As características químicas dos efluentes utilizados para irrigação são também de grande importância. Diversos parâmetros químicos são extremamente importantes para a agricultura, no que concerne a produtividade e qualidade das culturas, a manutenção da capacidade produtiva do solo, assim como a proteção do meio ambiente e da saúde dos consumidores. Essas variáveis são, principalmente, os sólidos dissolvidos totais, a condutividade elétrica, o índice de adsorção de sódio, íons específicos, elementos traço e metais pesados. Uma discussão dos aspectos químicos associados à irrigação, particularmente com esgotos é encontrada na literatura especializada (MIEZAWA; HESPANHOL, 2005).

Existem parâmetros relacionados às águas de baixa qualidade que podem ser prejudiciais ao solo, dentre eles encontra-se a salinidade da água (MARQUES *et al.*, 2003). Para USEPA (1992), este é um dos parâmetros mais importantes a ser determinado com vistas à garantia de sustentabilidade do sistema (água, solo e planta).

No nordeste semiárido, as maiores incidências de áreas salinizadas se encontram nas terras mais intensamente cultivadas com o uso da irrigação, nos chamados Perímetros Irrigados. Souza, Queiroz e Gheyi (2000), citado por Sousa (2012), afirmam que, em áreas

irrigadas, o processo de salinização pode acontecer mesmo em solos com bons atributos, em especial nas situações em que não existe manejo de solo e água adequados.

Outro fator é o efeito do sódio excessivo na água da irrigação (quando o sódio excede o cálcio por mais do que uma relação de 3:1) contribuindo para a dispersão dos minerais de argila em partículas finas, que passam a ocupar muito dos espaços de poros menores, ou se movimentam descendente (eluviação), selando a superfície e reduzindo as taxas de infiltração da água (MARQUES *et al.*, 2003; USEPA, 1992).

Mas existem métodos para minorar o efeito dos sais no solo. A drenagem superficial e a subterrânea são fatores chaves para o sucesso do manejo da salinidade. O nivelamento da área é necessário em terras irrigadas para prevenir o acúmulo de água na superfície do solo, além disso, uma aração profunda e subsolagem são necessárias para aumentar a condutividade hidráulica do solo e para prover a infiltração e percolação da água de irrigação. Se a quantidade de sódio é alta, melhoradores, como o gesso, são recomendados para manter a estabilidade da estrutura e a taxa de infiltração do solo (SOUSA, 2012).

Há também a presença de metais pesados. A maioria dos metais pesados fica retida no solo, sobretudo se ele for rico em matéria orgânica e tiver pH superior a 7,0. Elementos como o Zinco (Zn), Cobre (Cu) e B (Boro) em pequenas concentrações são benéficos às culturas, contudo, podem causar problemas de toxicidade devido ao seu poder acumulativo. (FOLEGATI *et al.*, 2005).

Apesar das possibilidades para a indisponibilidade dos metais no solo e dos mecanismos de proteção das plantas, a absorção de metais pesados, dependendo das condições, pode ocorrer em quantidades suficientes para o surgimento de sintomas de fitotoxicidade (CAMIOTTI *et al.*, 2007).

Shannon *et al.* (1997) considera que o maior fator de degradação quanto ao reuso de águas na agricultura é a elevada concentração de íons, que quando do aumento da salinidade, podem se tornar tóxicos ou interferir na absorção de outros nutrientes, uma vez que seu acúmulo eleva o potencial osmótico oposto ao da extração das plantas, e desestruturar o solo. Por sua vez, para compensar essa variação, a planta usa uma parcela grande de sua energia para ajustar a concentração de sal dentro de seu tecido a fim obter a água adequada, o que resulta em menos energia disponível (USEPA, 1992).

3.3.2 Efeito da água de reuso na planta

O reuso de águas para a irrigação é uma prática amplamente estudada e recomendada por diversos pesquisadores como alternativa viável para suprir as necessidades hídricas e, em grande parte, nutricionais das plantas (HERPIN *et al.*, 2007 citado por REBOUÇAS *et al.*, 2010). Além de recuperar o efluente, reduzir a poluição ambiental e promover a formação de húmus (WHO, 1973), viabilizando a atividade agrícola, bem como a sustentabilidade humana em áreas de difícil sobrevivência.

Nas águas de reuso, em especial a produzida, a presença de sais na solução do solo faz com que aumentem as forças de retenção por seu efeito osmótico e, portanto, a magnitude do problema de escassez de água na planta (GROENEVELT; BOLT, 1971). O aumento da pressão osmótica (PO) causado pelo excesso de sais solúveis poderá atingir níveis em que as plantas não terão forças de sucção suficiente para superar esse PO e, em consequência, a planta não irá absorver água, mesmo de um solo aparentemente úmido (seca fisiológica) (DIAS; BLANCO, 2010).

Os mesmos autores também comentam que há também, o efeito tóxico. Esses efeitos acontecem quando as plantas absorvem os sais do solo, juntamente com a água, permitindo que haja toxidez na planta por excesso de sais absorvidos.

Filho *et al.* (2005), comparando o efeito da água da água residuária e do poço no crescimento e desenvolvimento do algodoeiro, concluiu que a alta produtividade do algodão irrigado com esgotos domésticos evidencia a viabilidade de uso água de esgotos tratados na agricultura.

3.4 MAMONA

A mamona (*Ricinus communis* L.) tem possivelmente sua origem na antiga Abissínia, hoje Etiópia, no continente africano, a mesma pertence à família *Euphorbiaceae*, que engloba vasto número de tipos de plantas nativas da região tropical (FORNAZIER JUNIOR, 1986).

A mamoneira é uma cultura industrial explorada em função do óleo contido em suas sementes. Os grandes consumidores de nossos dias são as indústrias químicas e de lubrificantes. No entanto, Barbieri; Stumpf (2008) ressaltam a particularidade do óleo e dos grãos de não aptidão para ingestão por animais e humanos.

Com a crise mundial de energia, a procura por fontes alternativas e limpas de energia, nos últimos anos, tem priorizado as fontes renováveis que não causem impacto

negativo ao meio ambiente, destacando-se a mamoneira, pela possibilidade do uso de seu óleo como biodiesel (CAVALCANTE *et al.*, 2005).

A mamoneira é uma cultura industrial explorada em função do óleo contido em suas sementes. Os grandes consumidores de nossos dias são as indústrias químicas e de lubrificantes. Entretanto, a produção do biodiesel a partir da mamoneira incentivará o seu cultivo, principalmente, em regiões semiáridas (BELTRÃO, 2003). Como a maior parte das plantas tropicais, a cultura da mamona é bem adaptada a temperaturas compreendidas entre 20°C e 30°C e sob forte insolação.

Um ponto importante a considerar é o correto suprimento hídrico, pois, apesar de sua reconhecida capacidade de adaptação à seca, necessita de uma precipitação pluvial mínima de 500 mm, bem distribuídos, sendo mais importante durante a fase inicial do crescimento, já na maturação dos frutos e na colheita são requeridos períodos secos (BELTRÃO, 2003). Na prática isto nem sempre acontece e as irregularidades climáticas provocam redução de produtividade.

Essa planta exporta da área de cultivo cerca de 80 kg ha⁻¹ de N, 18 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 32 kg ha⁻¹ de K₂O, 13 kg ha⁻¹ de CaO e 10 kg ha⁻¹ de MgO para cada 2.000 kg ha⁻¹ de baga produzida, no entanto, a quantidade de nutriente absorvida aos 133 dias da germinação chega a 156, 12, 206, 19 e 21 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅, K₂O, CaO e MgO, respectivamente (FREIRE *et al.*, 2005).

De acordo com Santos *et al.* (2007) citado por Barreto e Medeiros (2012), sua grande vantagem competitiva está relacionada ao custo de produção baixo, facilidade de manejo e geração de renda para agricultores familiares, além de sua tolerância ao estresse hídrico.

Cavalcante *et al.* (2005), avaliando índices ecofisiológicos da mamoneira sob estresse salino, verificou que, a área foliar é afetada pela salinidade, com decréscimo de 6,55% por aumento unitário da condutividade elétrica da água.

Barreto e Medeiros (2012), estudando o crescimento e produtividade de acessos de mamona cultivada sob irrigação no semiárido verificou que a cultivar BRS energia apresentou menor porte, porém maior produtividade, sendo indicada para o cultivo na região, quando relacionada com outras cultivares, tais como a CNPAM- 2001/42 e CNPAM- 2001/48.

Chatzakis *et al.* (2011), afirma que a aplicação do efluente pode reduzir a competição entre culturas energéticas e as culturas tradicionais no que diz respeito à utilização de água doce, e também pode reduzir o custo de produção, devido à substituição de água e fertilizantes. Estes mesmos autores avaliando a irrigação da Mamona (*Ricinus communis* L.) e girassol (*Helianthus annuus* L.) de espécies de plantas com águas residuais de efluentes, seus

impactos sobre as propriedades do solo e produção de sementes, verificou que a irrigação com efluente não resultou em mudanças significativas no pH do solo.

Com relação à condutividade elétrica do solo (CE), este variou ligeiramente ao longo da experiência em vasos irrigados com efluentes, mas nenhuma alteração foi detectada no final da experiência em relação ao valor inicial. Pequenas diferenças entre os vasos irrigados com efluentes e de água doce foram observados em relação aos parâmetros de solo analisados neste estudo (CHATZAKIS *et al.*, 2011).

Lima *et al.*, (2012) avaliando a utilização de água salina e doses de adubação nitrogenada no cultivo da mamoneira cv. BRS energia observou que a salinidade suprimiu o crescimento da mamoneira e que a altura das plantas foi afetada pela interação na utilização de água salina e a adubação nitrogenada.

3.5 BALANÇO HÍDRICO

O balanço hídrico é um sistema agrometeorológico que permite avaliar conjuntamente as variáveis meteorológicas como a temperatura do ar, precipitação, evapotranspiração potencial e de referência, além de outras, e incluir nesta análise as variáveis de solo como: água disponível, profundidade do perfil e outras características físicas (BISCARO, 2007). Além da inclusão dos componentes do solo e clima, as características da planta como coeficiente cultural, evapotranspiração máxima da cultura, fases fenológicas e suas relações com as variáveis meteorológicas, são devidamente analisadas e referenciadas PEREIRA; ANGELOCCI; SENTELHA, 2002).

De acordo com Brito *et al.* (2009), o método do balanço hídrico mostra que durante dado período a soma algébrica de todas as entradas (consideradas positivas) e saídas (negativas) de água em um volume de controle de solo submetido às peculiaridades dos fenômenos meteorológicos, dos atributos do solo e das características genéticas da espécie ou mesmo da variedade vegetal, resulta no saldo ou no balanço de água no solo, no período. No campo considera-se este volume delimitado por duas superfícies paralelas: pela interface solo-atmosfera (limite superior do volume ou simplesmente superfície do solo) por uma superfície horizontal localizada na profundidade do sistema radicular do cultivo (limite inferior do volume).

Em condições de pouca disponibilidade hídrica, o sistema radicular se desenvolve a grandes profundidades, com as raízes laterais explorando um grande volume de solo. Sob irrigação ou em condições de elevada disponibilidade de umidade, o sistema radicular é menos

desenvolvido e mais compactado (TÁVORA, 1982; CARVALHO, 2005). Para Beltrão (2004), a mamoneira é bastante exigente quanto à umidade do solo, em especial no período de enchimento dos frutos. O manejo da irrigação deve ser ministrado com pouca água em intervalos curtos, devendo ser suspensa um mês antes da colheita.

Xavier (2007), estudou os efeitos de águas residuárias provenientes de três indústrias diferentes, repondo a umidade do solo aos níveis de 100, 80 e 70% da água disponível, sobre crescimento e produção da cultivar BRS Nordestina; com uma das fontes, foram registrados acréscimos de 66% na altura das plantas, 98% no diâmetro caulinar e de 97% na área foliar, em relação à testemunha absoluta (água de abastecimento sem adubação NPK), nos três níveis de água disponível no solo.

O manejo da irrigação constitui uma técnica muito importante do ponto de vista econômico e ambiental numa atividade agrícola. Através do manejo adequado da irrigação, pode-se economizar água, energia, aumentar a produtividade da cultura e melhorar a qualidade do produto. Para isso se faz necessário um controle rigoroso na aplicação de água, sabendo o momento e quantidade correta, para não haver desperdícios e falta de água no desenvolvimento da cultura (CORREIA *et al.*, 2008).

As entradas e saídas de água no solo são determinadas pelos fenômenos que ocorrem na interface entre solo-vegetação-atmosfera. Esses fenômenos exercem forte influência no balanço hídrico. A maior dificuldade em representar os processos hidrológicos, é a grande heterogeneidade dos sistemas envolvidos, ou seja, a grande variabilidade do solo e a cobertura vegetal (TUCCI, 2004). Em bacias agrícolas, conforme demonstra Libardi (2005), o balanço hídrico no solo com cultura é definido como a contabilização dos fluxos de entradas e de saídas de água em um dado volume de controle, durante determinado intervalo de tempo. O volume de solo a ser considerado depende da cultura, devendo englobar o seu sistema radicular.

O balanço hídrico no campo, além de constituir uma importante forma de ajudar no manejo da cultura, permite medir “*in situ*” os vários processos que envolvem a dinâmica da água no sistema solo-planta-atmosfera. Autores como, Cruz (2003) e Tim (2002), têm aplicado essa metodologia para estimativa do consumo de água de uma determinada cultura, para bacias hidrográficas.

O estabelecimento de balanços hídricos no campo é difícil e dispendioso, sendo a variabilidade de seus componentes o maior problema para se obter resultados confiáveis. Entre as variáveis do balanço hídrico, a de mais difícil obtenção, por procedimentos práticos de medição, é a evapotranspiração (PERUCHI, 2009; MEDEIROS, 2008). Assim, a determinação

do balanço hídrico através de métodos lisimétricos, permite de estabelecer, além de outras variáveis, a evapotranspiração real (MEDEIROS, 2008).

Os lisímetros são equipamentos que consistem de uma caixa impermeável, contendo um volume de solo representativo, permitindo o conhecimento com detalhes de alguns termos do balanço hídrico do volume amostrado (PEREIRA *et al.*, 1997). Conforme Tucci (1993), as variáveis controladas junto ao lisímetro são a precipitação, o escoamento, a infiltração e o armazenamento permitindo dessa forma a obtenção da evapotranspiração real e/ou potencial.

O balanço hídrico por meio do lisímetro pode ser dado pela equação da continuidade:

$$ET = P - I - ES \pm \Delta A$$

Sendo: ET = Evapotranspiração; P = Precipitação; I = Infiltração; ES = Escoamento superficial; ΔA = Variação no armazenamento entre o início e o fim do intervalo de tempo considerado.

Allen, Howell e Pruitt (1991), apresentam extensa revisão sobre diversos tipos de lisímetros, destacando os de pesagem como os mais precisos. Os lisímetros de drenagem caracterizam-se por serem os mais baratos e funcionam adequadamente apenas em períodos longos de observação (7 a 10 dias), devendo ser conduzidas irrigações periódicas para manter a variação do armazenamento nula, com conseqüente drenagem. A quantidade de água que ultrapassa o valor da capacidade de campo é drenada para o fundo do tanque, e conduzida para um poço coletor onde é medida em um recipiente graduado (BÍSCARO, 2007).

A determinação do consumo hídrico, por meio da estimativa da evapotranspiração, é de fundamental importância para o correto manejo da irrigação (SILVA; FOLEGATTI, 1999). A evapotranspiração pode ser obtida de diferentes maneiras: de forma indireta, a partir de fórmulas teóricas ou empíricas baseadas em dados meteorológicos; ou de forma direta, por meio de lisímetros e do balanço hídrico do solo.

Miranda; Yoder; Souza (1999) avaliando a instalação e calibração de um lisímetro de pesagem no projeto de irrigação, observou que, o lisímetro de pesagem calibrado adequadamente mostrou-se adequado para estudos diários de evapotranspiração.

3.5.1 Variáveis do balanço hídrico

3.5.1.1 Precipitação

A precipitação é a principal entrada do sistema constituinte de uma bacia hidrográfica, sendo a partir dela obtidas as outras variáveis do sistema, a exemplo do escoamento superficial e da infiltração. Assim, a precipitação pode ser definida como toda a água proveniente da atmosfera que atinge a superfície terrestre, sendo a sua disponibilidade anual em uma região o fator determinante para quantificar a necessidade de irrigação e abastecimento de água (TUCCI, 1993).

3.5.1.2 Infiltração de água no solo

O processo de infiltração de água no solo corresponde a penetração, através da superfície, da água proveniente da precipitação, que se move para o interior do solo sob a ação da gravidade, até atingir uma camada suporte, que a retém, formando a água armazenada do solo (PINTO *et al.*, 1997).

A capacidade de infiltração pode ser definida como a quantidade máxima de água que um solo em determinadas condições pode absorver, na unidade de tempo por unidade de área horizontal (LIBARDI, 1995).

3.5.1.3 Escoamento da água no solo

O escoamento superficial pode ser quantificado por meio da coleta de água que escoar em uma dada área. Seu fluxo é considerado positivo quando a contribuição é proveniente de montante, e negativo quando se trata de uma perda a jusante; sendo complexa a sua representação detalhada, em função da grande variabilidade das condições físicas das bacias (declividade, rugosidade, seção de escoamento e obstruções ao fluxo), do estado de umidade do sistema e da intensidade de chuva (REICHARDT; TIMM, 2012; TUCCI, 1993).

3.5.1.4 Armazenamento de água no solo

Se a quantidade de água que entra em um volume de solo num período de tempo for maior que a quantidade que dele sai, haverá reposição hídrica, e se sair mais do que entrar, haverá retirada. O saldo de água no solo é obtido pela variação no armazenamento de água do perfil, podendo a água sair deste sistema pelos processos de drenagem profunda, evapotranspiração e escoamento superficial (MENDES, 2006).

3.5.1.5 Evapotranspiração

A evapotranspiração (ET) é o termo mais comum usado para definir a perda de vapor d'água para a atmosfera através de efeito combinado dos processos de evaporação da água das superfícies do solo e da planta e de transpiração da água pela planta (DOORENBOS; PRUITT, 1977).

Segundo Raudkivi (1979), a evapotranspiração assume papel importante no ciclo hidrológico, sendo responsável pelo retorno à atmosfera de aproximadamente 70% da precipitação anual na superfície terrestre, representando assim uma parcela significativa nos estudos de balanço hídrico e nos projetos de recursos hídricos. Informações quantitativas deste processo podem ser utilizadas na resolução de numerosos problemas que envolvem o manejo da água.

3.6 NUTRIENTES NA PLANTA

Os nutrientes disponíveis para as plantas estão nas formas solúveis na solução do solo, e grande parte deles estão adsorvidos aos colóides, ou na fase mineral ou orgânica como elemento lentamente disponível. Para a diagnose da fertilidade de um solo é necessário conhecer: a disponibilidade dos macronutrientes, a relação entre os nutrientes e as condições de acidez do meio. (Referenciar tudo)

A princípio, para um melhor entendimento do comportamento dos nutrientes no solo convém sempre ter em mente a sua carga, isto é, se são cátions ou ânions. Os cátions macronutrientes são o potássio (K^+), o cálcio (Ca^{2+}), o magnésio (Mg^{2+}) e o nitrogênio (NH_4^+). Os ânions macronutrientes são o nitrogênio (NO_3^-), o fósforo ($H_2PO_4^-$) e o enxofre (SO_4^{2-}). O potássio, o cálcio, o magnésio e parte do nitrogênio, comportam-se como cátions e os solos, em geral, possuem saldos de cargas negativas beneficiando a adsorção de íons de cargas positivas, por isso os cátions, de uma maneira geral, possuem menos problemas de lixiviação ou de deficiência aguda como de alguns ânions em algumas situações particulares.

Soares et al., (2012) estudando os componentes de crescimento da mamoneira cultivada com águas salinas e doses de nitrogênio, concluiu que, As características mais afetadas pelo aumento da salinidade da água de irrigação foram a taxa de crescimento absoluto e relativo do diâmetro caulinar da mamoneira cv. BRS Energia. Essa planta é sensível à acidez do solo e

exigente em fertilidade, sendo possível aumentar sua produtividade pelo adequado fornecimento de nutrientes por meio da adubação (SEVERINO *et al.*, 2006).

Severino *et al.* (2006) estudando o crescimento e a produtividade da mamoneira adubada com macronutrientes e micronutrientes, verificou que, a adubação da mamoneira, cultivar BRS Nordestina, com alguns dos macronutrientes, promove considerável aumento da produtividade e que a adubação mineral com N e K promove mudança na expressão sexual da mamoneira, favorecendo o aumento de produtividade.

Os micronutrientes presentes no solo são nutrientes essenciais na absorção pelas plantas em pequenas quantidades, geralmente em mg kg⁻¹. Entre os micronutrientes essenciais estão oito elementos: B, Cl, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni e Zn. A deficiência de micronutrientes nos solos acontece principalmente devido ao aumento da demanda pela utilização de cultivares mais produtivas; maior uso de fertilizantes concentrados com baixo teor de nutrientes e a diminuição de compostos orgânicos e outros resíduos de culturas.

Os micronutrientes são tão importantes quanto os macronutrientes para a nutrição das plantas, embora as plantas não necessitem deles em grandes quantidades. A falta de qualquer um dos micronutrientes no solo pode limitar o crescimento e a produção das plantas, mesmo quando todos os outros nutrientes essenciais estão presentes em quantidades adequadas.

Tem sido sugerido que a maior disponibilidade de resíduos, decorrente da adoção de sistemas conservacionistas, pode aumentar o teor de matéria orgânica do solo (BAYER *et al.*, 2004; SÁ *et al.*, 2001). Isso pode influenciar a disponibilidade de micronutrientes pelo aumento da formação de complexos solúveis com a matéria orgânica do solo e seus produtos de decomposição (JONES *et al.*, 2003). O sucesso de um sistema agroflorestal está relacionado à quantidade de nutrientes fornecida pelo processo de decomposição, decorrente das podas realizadas no local, e como esses nutrientes lançados satisfazem as necessidades da colheita (MENDONÇA; STOTT, 2003).

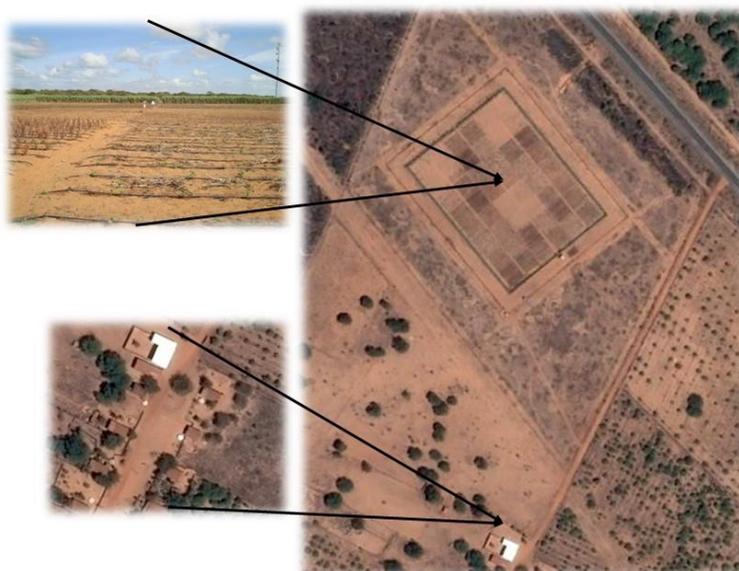
Quanto aos micronutrientes, alguns trabalhos já foram conduzidos, como por exemplo, Paulo *et al.* (1989) e Souza e Natale (1997). Segundo Azevedo e Lima (2001), a mamona é uma cultura que responde relativamente bem à adubação com micronutrientes. Essa importância dos micronutrientes na mamoneira também foi confirmada por Lange *et al.* (2005), quando estudaram a influência do B, do Mn e do Fe no estado nutricional desta cultura.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 LOCAL DO EXPERIMENTO, CLIMA E SOLO

A pesquisa foi realizada na Fazenda Belém, pertencente à Petrobras (Petróleo Brasileiro S/A), no Município de Aracati, Ceará ($4^{\circ} 44,7'$ latitude sul, $37^{\circ} 32,3'$ longitude Oeste e altitude de 82 m) (Figura 02).

Figura 02 - Imagem por satélite da área experimental na Fazenda Belém, no Município de Aracati-CE. Fonte: *Google Earth* (2015).



Fonte: Google Earth (2015).

De acordo com a classificação de Köppen, a área experimental está localizada numa região de clima do tipo BSw'h', que se caracteriza por possuir um clima tropical com estação seca (FUNCEME/IPECE, 2012; VIANA, AZEVEDO, 2008) temperatura média entre 28 e 29°C, com período chuvoso de janeiro a maio e precipitação pluvial média de 1.103 mm.

Segundo EMBRAPA (2006), o solo predominante da área em estudo é o Neossolo Quartzarênico. Antes de iniciar o experimento foram coletadas amostras de solo na área para avaliação da granulometria e dos seus atributos químicos (Tabela 01).

Tabela 01 - Granulometria e atributos químicos do solo da área experimental da fazenda Belém, Aracati-CE

Parâmetros	Unidade	Profundidade (cm)		
		0-15	16-60	61-100
Areia	(g kg ⁻¹)	942,3	945,3	956,0
Silte	(g kg ⁻¹)	40,1	32,3	18,4
Argila	(g kg ⁻¹)	17,6	22,4	25,6
pH		6,3	6,8	7,2
Ca	(mmolc kg ⁻¹)	16,0	22,0	12,0
Mg	(mmolc kg ⁻¹)	16,0	16,0	22,0
K	(mmolc kg ⁻¹)	1,0	0,0	0,0
Na	(mmolc kg ⁻¹)	1,0	1,0	1,0
Cu	(mg kg ⁻¹)	0,12	0,13	0,11
Fe	(mg kg ⁻¹)	7,60	9,65	9,58
Mn	(mg kg ⁻¹)	26,8	15,4	10,41
Zn	(mg kg ⁻¹)	0,93	0,23	0,18
H ⁺ Al ³⁺	(mmolc kg ⁻¹)	16,0	6,0	6,0
CTC	(mmolc kg ⁻¹)	50,0	45,0	41,0
V	(%)	67,9	86,7	85,4

4.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL, TRATAMENTOS E DISPOSIÇÃO DAS PARCELAS

O delineamento utilizado foi em blocos casualizados com três repetições. Os tratamentos consistiram da irrigação com água produzida tratada por osmose reversa (APO), água produzida tratada por filtração (APF) e água do aquífero Assu (ACA), em dois ciclos de cultivos sucessivos. As parcelas apresentavam dimensões de 20m por 20m (400 m²). No decorrer do experimento foram coletadas amostras de água utilizadas na irrigação para análise químicas (Tabela 02). Os resultados de crescimento, produção e nutrientes de solo e planta foram submetidos à análise de variância, realizando a comparação entre médias pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, através do software “ASSISTAT 7.5 BETA” (SILVA; AZEVEDO 2002).

Tabela 02 - Análise química das diferentes qualidades de água utilizados na irrigação nos dois ciclos de cultivo da mamoneira.

Período	Água*	CEa	pH	Ca	Mg	Na	RAS	Classe**
		dS/m			mmolc L ⁻¹			
Ciclo 1	APO	0,34	6,7	0,10	0,07	3,23	5,24	C2S1
	ACA	0,65	8,30	0,19	0,12	5,77	5,42	C2S1
	APF	1,99	9,12	0,11	0,17	18,05	17,19	C3S2
Ciclo 2	APO	0,50	7,35	0,14	0,07	4,19	5,57	C2S1
	ACA	0,69	8,34	0,25	0,13	7,75	6,41	C2S1
	APF	2,37	9,18	0,15	0,27	24,16	20,16	C4S3

*APO - Água produzida tratada por osmose reversa, ACA - água do aquífero Assu, APF - água produzida tratada por filtração. ** Com relação ao risco de salinidade temos C1: Baixo; C2: Médio; C3: Alto e C4: Muito Alto C5: Excepcionalmente alto, e sodicidade S1: Baixo S2: Médio S3: Forte S4: Muito Forte proposto por Richard (1954).

4.3 MATERIAL VEGETAL

A cultura utilizada foi a mamona (*Ricinus communis*), variedade BRS energia, que tem porte baixo, em torno de 1,40 m, ciclo entre 120 e 150 dias, caule verde com cera, cachos cônicos com tamanho médio de 60 cm, frutos verdes com cera e indeiscentes EMBRAPA (2011) (Figura 03).

Figura 03 - Plantas de Mamona BRS energia irrigadas com água de diferentes qualidades, em Aracati, Ceará, Brasil



Fonte: Autor

4.4 PLANTIO E OUTROS TRATOS CULTURAIS

Antes de iniciar o plantio, o solo foi gradado com posterior capinada para retirada do excesso de ervas daninha existentes. Logo após a área experimental foi dividida em blocos, com suas respectivas parcelas, para posterior adubação química e orgânica. A adubação, esta foi baseada na análise química do solo e exigências nutricionais da cultura. Foram aplicados na fundação $7,5 \text{ kg m}^{-1}$ linear de composto orgânico (polefertil) em sulcos de aproximadamente 15 cm profundidade, seguido da aplicação de $00-80-40 \text{ kg ha}^{-1}$ de $\text{N-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O}$ (EMBRAPA, 1997), com posterior incorporação com auxílio de enxadas (Figura 04 A e C).

A adubação de cobertura foi realizada trinta dias após o transplântio, utilizado 30 g de ureia por planta (Figura 04 D). Ao final do primeiro cultivo e antes do início do segundo cultivo aplicou-se calcário dolomítico na proporção de 1000 kg ha^{-1} . Para o controle de pragas foram utilizados defensivos a base de glutaraldeído a 10%. Para combater as plantas daninhas, foram feitas capinas semanais.

O plantio da mamona foi realizado utilizando mudas preparadas em bandejas de isopor contendo 200 células, preenchidas com substrato 3:1:1, contendo solo da área em estudo, composto polefertil peneirado a 4 mm e vermiculita granulometria média. Foram semeadas 3 sementes por célula e coberta com uma manta TNT (tecido não tecido), sendo irrigadas frequentemente (Figura 04 B).

A mamona foi transplântada em agosto de 2012 (primeiro ciclo) e em abril de 2013 (segundo ciclo). As plantas de mamona foram espaçadas em $1,0 \times 1,0 \text{ m}$. Após fixação das plantas no campo, as mesmas foram desbastadas deixando apenas uma planta por cova.

Figura 04 - Capina da área (A), transplântio (B), adubação orgânica (C) e química (D) da área experimental, município de Aracati, Ceará, Brasil.



Fonte: Autor

No início do experimento foram coletadas amostras dos adubos mineral (N-P₂O₅-K₂O), composto orgânico (polefértil) e calcário dolomítico para avaliação do conteúdo nutricional. A análise do adubo aplicado seguiu a metodologia usada no estudo da EMBRAPA (2006) e seus resultados encontram-se na Tabela 03.

Tabela 03 - Análise nutricional da adubação orgânica e mineral aplicada na área experimental durante os dois ciclos de cultivo da mamona, BRS energia, Aracati, Ceará, Brasil.

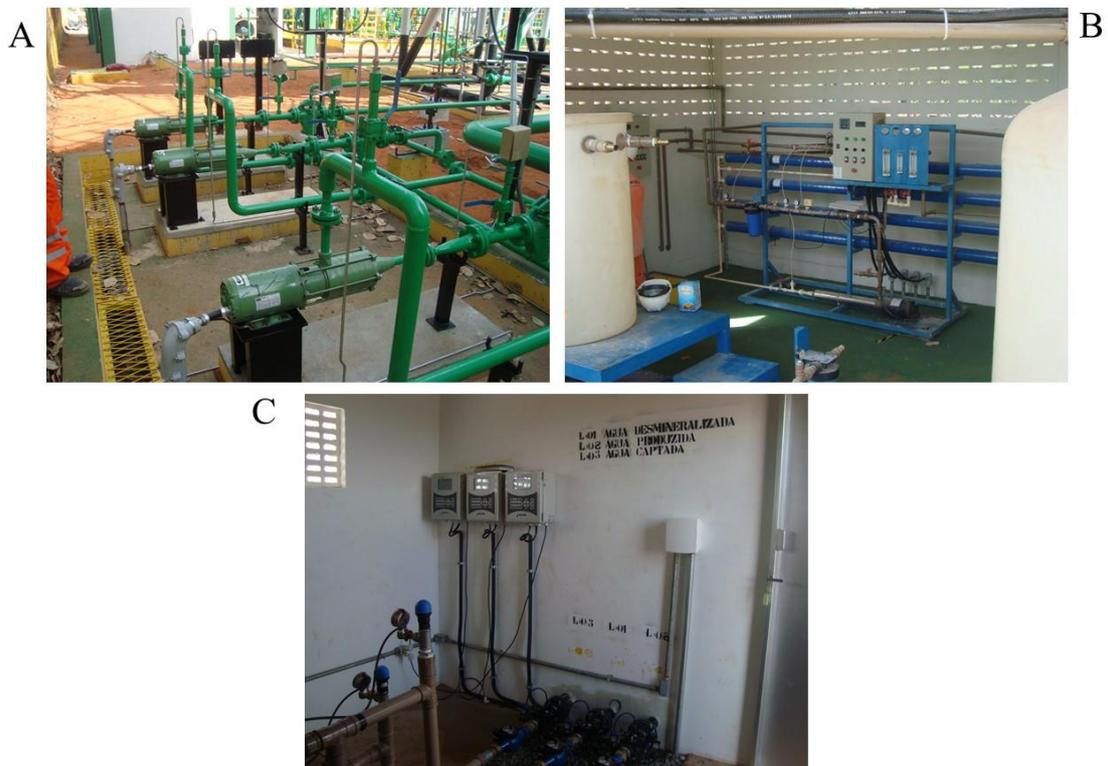
Elementos	Unidade	Adubo				
		Composto orgânico	Superfosfato Simples	Cloreto de Potássio	Calcário Dolomítico	Uréia
N	g kg ⁻¹	7,3	NA	NA	NA	426,0
P	g kg ⁻¹	71,3	87,6	0,1	0,3	0,0
K	g kg ⁻¹	73,6	2,5	485,0	0,1	0,0
Ca	g kg ⁻¹	179,2	251,6	2,1	278,7	ND
Mg	g kg ⁻¹	22,6	2,3	0,5	58,3	0,2
Na	g kg ⁻¹	22,5	2,7	21,7	0,2	ND
Cu	mg kg ⁻¹	79,7	2683,0	21655,7	246,7	ND
Fe	mg kg ⁻¹	2766,0	1313,3	ND	ND	ND
Mn	mg kg ⁻¹	185,3	25,3	4,9	135,5	0,4
Zn	mg kg ⁻¹	142,6	ND	ND	ND	0,0
pH		7,76	NA	NA	NA	NA

NA = Não analisado ND= Não detectado. Segundo (Embrapa, 2006)

4.5 SISTEMA DE IRRIGAÇÃO

Utilizou-se um sistema de irrigação por gotejamento, contendo três unidades, uma para cada qualidade de água a ser aplicada. O sistema de irrigação foi constituído por um conjunto motobomba elétrico, situado na Fazenda Belém, de onde foram derivadas as três qualidades de água (Figura 05 A e B), através de adutoras de 2” de diâmetro até a área experimental. Para derivação das diferentes água, foram inseridos cabeçal de controle com sistema de filtragem e hidrômetros, para mensuração da quantidade de água (Figura 05 C).

Figura 05 - Sistema de distribuição das águas produzida (A, B e C), captada e filtrada da Fazenda Belém, Aracati, Ceará, Brasil



Fonte: Autor

Nas linhas principais e secundárias foram utilizados tubos de PVC com diâmetros de 50 mm e 35 mm, respectivamente, para a derivação da água de irrigação. O sistema foi automatizado, utilizando controladores e válvulas solenoides (Figura 06 B e C).

Figura 06 - Sistema de distribuição de água da área experimental, com adutoras de água para irrigação (A), válvulas solenoides (B) e controladores de irrigação (C), Aracati, Ceará, Brasil



Fonte: Autor

Foram utilizadas tubogotejadores, modelo UNIRAM 16009 CNL NETAFIM™, com diâmetro de 16 mm, vazão nominal de 1 L h^{-1} e espaçamento de 0,3 m entre emissores. As laterais tinham comprimento de 20 m e espaçamento de 1,0 m entre linhas, totalizando 1340 emissores por parcela. Antes de iniciar a irrigação das culturas, o sistema de irrigação foi avaliado quanto à sua uniformidade de distribuição, segundo a metodologia proposta por Deniculi *et al.* (1980). As vazões foram determinadas em 32 gotejadores de cada tratamento, selecionando-se quatro linhas laterais ao longo da linha de derivação (a primeira, as situadas a $1/3$ e $2/3$ do comprimento e a última linha lateral) e, em cada uma delas, foram selecionados oito gotejadores por linha lateral: o primeiro gotejador, os gotejadores situados a $1/7$, $2/7$, $3/7$, $4/7$, $5/7$, $6/7$ e o último gotejador (Figura 07).

Figura 07 - Avaliação da uniformidade de distribuição do sistema de irrigação, Aracati, Ceará, Brasil



Fonte: Autor

Na avaliação da uniformidade de distribuição, a vazão foi obtida pela razão entre o volume e o tempo. O volume foi coletado com auxílio de coletores posicionados embaixo dos emissores selecionados, pelo período de 4 minutos, medido com cronômetros digitais. O processo de coleta teve três repetições por setor, feito de maneira individual para cada setor. Antes do início de cada coleta, foi feita a limpeza do filtro e, logo após, o acionamento da bomba. Antes de iniciar o teste, as linhas laterais foram lavadas (pela abertura do final da linha) para saída de ar e sujeira. Após alguns minutos com as linhas fechadas, e com a estabilização da pressão a coleta foi iniciada. No cálculo do coeficiente de uniformidade de distribuição utilizou-se a equação:

$$CUD = 100 \cdot \frac{q_{25\%}}{q_{média}} \quad 01$$

Em que:

$q_{25\%}$ = média do menor quartil das vazões observadas, em $L h^{-1}$; e

$q_{média}$ = vazão média dos gotejadores, em $L h^{-1}$.

4.6 BALANÇO HÍDRICO DO SOLO E MANEJO DA IRRIGAÇÃO

Para avaliação das perdas por drenagem e do balanço hídrico da cultura foram instaladas nove minilísímetros de drenagem (um em cada parcela), que consistiram em tambores plásticos com diâmetro nominal de 0,365 m, profundidade de 0,58 m e volume de 0,060 m³, contendo solo representativo da área. No fundo dos tambores foi colocada uma camada de 0,1 m de brita n° 2, coberta com manta bidim, para que a brita não entrasse em contato com o solo. Em cada minilísímetro foi plantada uma muda de mamona.

Para instalação dos minilísímetros foram abertas trincheiras, com dimensões de 0,4 m de diâmetro e 0,6 m de profundidade, separando o solo em camadas de 20 cm (Figura 08).

Figura 08 – Detalhes da instalação dos minilísímetros na área experimental, município de Aracati, Ceará, Brasil.



Fonte: Autor

As camadas de solo foram retiradas cuidadosamente e preenchidas nos minilísímetros na ordem original que se encontravam no perfil (Figura 08 C). Os tambores de

plástico foram enterrados, deixando uma borda de ± 3 cm acima do nível do solo. Na coleta da água drenada utilizou-se uma bomba artesanal de sucção (Figura 09).

Figura 09 - Bomba de sucção manual e coleta do volume de água drenada dos minilísímetros, Aracati, Ceará, Brasil



Fonte: Autor

A evapotranspiração da cultura foi obtida pela diferença entre as leituras diárias dos volumes de água aplicados nas irrigações e os volumes drenados. Os valores de *runnof* (escoamento superficial) foram desconsiderados no cálculo do balanço hídrico (Figura 10).

O manejo da irrigação foi realizado regando diariamente a cultura e medida por lisimetria em escala diária, sendo a reposição da água procedida de modo a gerar uma drenagem correspondente a 10-20% da água aplicada, para evitar o acúmulo de sais na zona radicular.

Figura 10 - Disposição dos minilísímetros nas parcelas, Aracati, Ceará, Brasil



Fonte: Autor

Para determinação dos componentes do balanço hídrico, durante a irrigação, foram medidos os volumes totais irrigados, com auxílio de hidrômetros, instalados no cabeçal de controle de cada tratamento. A precipitação foi medida com um pluviômetro, instalado em uma estação meteorológica automática, modelo U30-NRC/HOBO® (Figura 11).

Os volumes drenados dos minilísímetros foram coletados diariamente, com o auxílio de uma bomba de sucção manual. O valor da evapotranspiração no período considerado foi calculado pela seguinte equação 03:

$$ET_C = ((I+P) - D) / A \quad 03$$

Em que: ET_C = Evapotranspiração da cultura (mm / período considerado); I = Volume de água de irrigação (L); P= Precipitação (mm); D = Volume de água drenada após a irrigação (L); A = Área da planta (m^2).

Uma semana antes do plantio, a área foi irrigada durante uma hora com vazão de $1L\ h^{-1}$, visando elevar a umidade do solo à capacidade de campo na camada de 0-60 cm. A partir da segunda semana pós-plantio, o manejo da irrigação foi realizado pela reposição da drenagem em minilísímetros, sendo aferida através dos mesmos, a evapotranspiração da cultura.

O tempo de irrigação aplicado foi calculado de acordo com a equação 02.

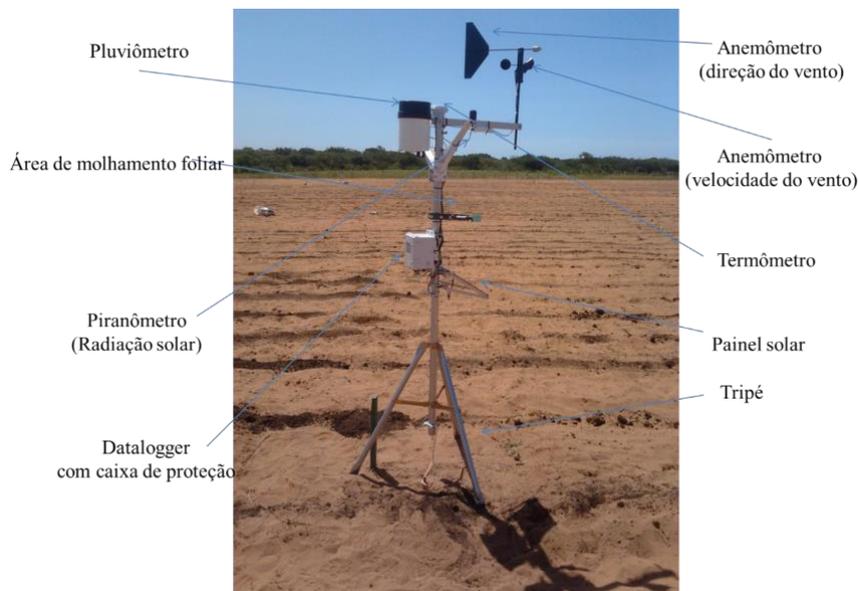
$$T_{Irrigação} = \frac{(ETc \times A)}{(Q \times n) \times EA} \quad 02$$

Em que: T: é o tempo de irrigação, em horas; ETc é a evapotranspiração da cultura em (mm); A é a área irrigada por planta (1,0 x 1,0 m); Q é a vazão do gotejador em L h⁻¹; n: número de gotejadores por planta e EA é a eficiência de aplicação, avaliada a partir do coeficiente de uniformidade de distribuição.

4.8 ESTAÇÃO METEOROLÓGICA AUTOMÁTICA

Para avaliação dos dados climáticos, foi instalada na área do experimento, uma estação meteorológica U30-Remote monitoring SystemNRC (Onset HOBO Data loggers), com sensores de temperatura e umidade relativa do ar, velocidade e direção do vento, radiação solar e precipitação (Figura 11).

Figura 11 - Estação meteorológica automática HOBO U-30 NRC instalada no local do experimento



Fonte: Autor

Os dados meteorológicos coletados durante o experimento são apresentados na Tabela 04. A evapotranspiração de referência (ET_o) diária foi estimada pelo método de Penman-Monteith-FAO (ET_oPM), de acordo com Allen *et al.* (1998), sendo:

$$ET_0 = \frac{0,408\Delta(Rn-G) + \gamma \frac{900}{T+273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1+0,34U_2)} \quad 04$$

Em que; Rn e G têm as mesmas unidades ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$); T é a temperatura média diária ($^{\circ}\text{C}$); U_2 é a velocidade média do vento medida a 2 m (m s^{-1}); 0,408 corresponde a $1/\lambda$, sendo λ o calor latente de evaporação da água igual a $2,45 \text{ MJ kg}^{-1}$ a 20°C ; 900 é um coeficiente gerado para a condição de uma cultura de referência ($\text{kJ}^{-1} \text{ kg K d}^{-1}$), que envolve os valores constantes da equação.

Tabela 04 – Médias mensais de Temperaturas máxima (Tmax) e mínima (Tmin), radiação (Rs), Umidades relativas máxima (RHmax) e mínima (RHmin), velocidade do vento (Vv), evapotranspiração de referência (ET_0) e precipitação (P), coletados com estação meteorológica HOBO nos meses de condução do experimento.

Meses	Tmax ($^{\circ}\text{C}$)	Tmin ($^{\circ}\text{C}$)	Rs ($\text{MJ m}^{-2}\text{d}^{-1}$)	RHmax (%)	RHmin (%)	Vv (m s^{-1})	ET_0 Média (mm dia^{-1})	P mm
Maio/12	32,79	22,90	16,81	90,59	49,73	2,09	6,30	0,12
Junho/12	32,90	22,93	16,15	87,62	46,73	2,18	6,40	0,23
Julho/12	33,27	22,22	16,13	81,73	41,62	2,24	6,78	0,21
Agosto/12	33,90	21,52	18,99	80,89	37,80	1,58	6,73	0,0
Setembro/12	33,30	22,11	20,93	81,44	41,75	1,57	6,95	0,0
Outubro/12	33,16	22,79	22,41	82,80	45,61	1,56	7,06	0,0
Novembro/12	32,29	23,26	19,61	87,06	51,56	1,99	6,73	0,08
Dezembro/12	33,17	24,22	19,64	86,85	49,42	2,04	6,98	0,12
Janeiro/13	33,11	24,38	18,99	87,57	52,10	1,97	6,79	1,63
Fevereiro/13	33,81	24,12	18,97	88,13	51,21	1,98	6,98	2,70
Março/13	32,38	24,87	18,38	91,76	59,08	1,38	5,95	76,93
Abril/13	33,01	23,63	19,27	94,74	55,09	1,10	5,90	331,44
Maio/13	33,33	23,56	16,64	93,10	55,17	2,25	6,35	33,20
Junho/13	32,70	22,88	16,21	93,88	55,72	1,99	5,97	1,55

4.8 DETERMINAÇÃO DA CAPACIDADE DE ARMAZENAMENTO DE ÁGUA NO SOLO

Para avaliar a capacidade de retenção da água no solo, foram coletadas amostras de solos indeformados nas subparcelas 3, 13, 22 e 31, da área experimental, utilizando um trado

de amostras indeformadas tipo Uhland, nas profundidades 0-15 e 15-40. As amostras foram coletadas nas camadas médias, ou seja, para a camada de 0-15 cm, coletou-se a uma profundidade de 12,5 cm e para 15-40 cm, coletou-se a uma profundidade de 30 cm. As amostras foram coletadas em diagonal, para que as mesmas tivessem uma maior representatividade da área. Estas foram coletadas em anéis cilíndricos com volume de 100 cm^3 , preservando ao máximo a estrutura original do solo (Figuras 12 A e B).

Figura 12 - Procedimento de coleta da amostra indeformada (A- Trado para coleta de amostras indeformadas em anéis cilíndricos; B - amostras coletadas).



Fonte: Autor

Para a coleta, um orifício foi aberto com um trado tipo caneca de 3” de diâmetro. Depois de nivelado e limpo, foi coletada a amostra de solo com auxílio do trado tipo Uhland. Na inserção do cilindro ao solo, foi utilizada uma marreta, batendo no trado até encher o anel, tomando cuidado para que o solo não atingisse a parte superior do coletor, a fim de não provocar compactação da amostra no cilindro.

No cilindro, as amostras de solos foram ajustadas com o auxílio de uma espátula, para que o volume de solo fosse o mais próximo possível do volume do anel. Em seguida, a parte inferior do anel foi envolvida com um pano poroso e presa com uma liga de borracha e levadas para o laboratório de física dos Solos da Universidade Federal do Ceará (Figura 13).

Figura 13 - Amostras indeformadas devidamente preparadas (A e C); Amostras de solo submetidas à tensão de 6 kPa (B), Aracati, Ceará, Brasil.



Fonte: Autor

Para saturação das amostras, as mesmas foram colocadas numa bandeja com água a 2/3 da altura do anel cilíndrico, até saturação do solo amostrado (Figura 14), para que ocorresse a saturação do meio (amostra + membrana). O tempo para saturação foi de 24 horas, variando com a classificação textural do solo. Após a saturação as amostras foram pesadas para a determinação do conteúdo de água no ponto de saturação.

Na determinação da curva de retenção de água no solo foram utilizadas mesa de tensão de água no solo para as tensões de 6 kPa, 8 kPa, 10 kPa (capacidade de campo) e painéis de tensão de Richard para as tensões de 1000 kPa e 1500 kPa (Ponto de murcha permanente) (Figura 14). A umidade do solo para determinada tensão foi obtida por diferença de peso (solo úmido após ser submetido à pressão - solo seco em estufa a 105 °C por 48 horas, para determinação da umidade gravitacional em (kg kg^{-1})) (EMBRAPA, 1997).

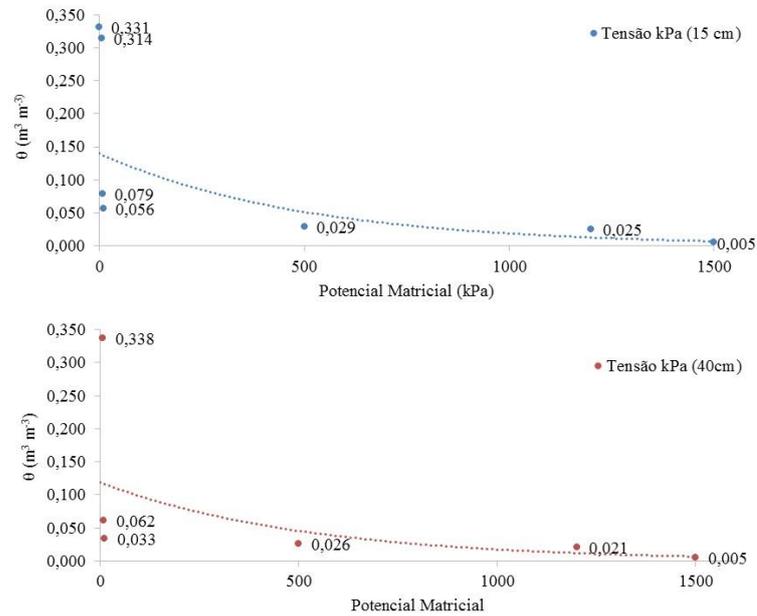
Figura 14 - Amostras de solos indeformadas submetidas à pressão de 1000 e 1500 kPa, laboratório de Física do solo, Universidade Federal do Ceará, Ceará, Brasil



Fonte: Autor

Nas amostras sob alta pressão (1000kPa e 1500kPa), após a saturação e pesagem das amostras, estas foram levadas, sobre a membrana porosa, para o interior da câmara de pressão. A cada tensão aplicada (sempre na ordem crescente), foram retiradas as amostras da câmara, após cessar a drenagem do excedente de umidade (equilíbrio entre a tensão aplicada e a umidade relacionada). Foram pesadas as amostras, voltando-as para a câmara de pressão, ajustando-se o ponto de tensão seguinte. Ao final de todas as tensões aplicadas, têm-se as umidades (por diferença de peso), que correspondem a cada potencial mátrico. Após todo este processo a curva de retenção de água no solo foi determinada, como pode ser verificada na (Figura 15).

Figura 15 - Curva de retenção de água no solo



Fonte: Autor

4.9 CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS E QUÍMICAS DO SOLO

Em todas as parcelas, antes do primeiro plantio (T_0) e ao final de cada ciclo de cultivo (C_1 e C_2), foram retiradas amostras de solo em cinco camadas (0-0,2 m; 0,2-0,4 m; 0,4-0,6 m; 0,6-0,8 m e 0,8-1,0 m). Cada amostra era composta de 10 subamostras simples, coletadas ao longo das fileiras de cultivo. As amostras foram analisadas no Laboratório de Solos da Embrapa Agroindústria Tropical, quanto aos valores de pH em água (1:2,5), condutividade elétrica do extrato saturado (CE_{es}), razão de adsorção de sódio no extrato saturado, teor de Na^+ trocável e porcentagem de sódio trocável (PST) (EMBRAPA, 2009).

Na avaliação do pH em água, colocou-se 10 cm^3 de TFSA em copo plástico, numerado, de 100 mL. Adicionou-se 25 mL de água destilada, agitando a mistura com o auxílio de um bastão individual, e logo após deixou-se em repouso durante uma hora. Agitou-se novamente cada mistura com o bastão de vidro, mergulhando o eletrodo na suspensão homogeneizada efetuando a leitura do pH através de leitura direta no peagômetro.

Para avaliação da condutividade elétrica do solo, utilizou-se o método da pasta saturada, proposta por Richards (1954). O procedimento envolveu a preparação de uma pasta de saturação, por agitação, utilizando amostras de solo em uma quantidade que permitia a preparação do extrato de saturação de acordo com as normas de análise laboratorial de solo da

EMBRAPA Agroindústria Tropical, sendo utilizadas água destilada; espátula e bastão de vidro; copo plástico e becker de 50 mL; filtração à vácuo (funil de buchner, papel filtro, kitasato e bomba de sucção) e condutivímetro e balança analítica, usados para se obter uma quantidade suficiente do extrato para fazer a medição de condutividade (RABELLO, 2009).

4.10 NUTRIENTES NA PLANTA

Para avaliação dos nutrientes nas plantas, foram colhidas seis plantas por parcela, totalizando 18 subamostras, as quais foram separadas em raízes, parte aérea (caules+ folhas) e sementes. Os caules e folhas foram triturados utilizando-se triturador de galhos e, em seguida, postos para secar ao sol e homogeneizados. Cada subamostra foi seca em estufa com circulação forçada de ar até peso constante. As raízes, após lavadas, receberam tratamento similar ao da parte aérea. Para a quantificação dos nutrientes Ca, Mg, Na, K, Cu, Zn, Mn e Fe alíquotas de cada parte foram digeridas à seco e solubilizadas com ácido nítrico 1,0 mol L⁻¹ (EMBRAPA, 2009).

Os elementos de Na e K foram determinados, por fotometria de chama (EMBRAPA, 2009) e Cl (GAINES; PARKER; GASCHO, 1984) e Ca; Mg; e Cl por colorimetria e extraídos por KCl e Fe, Cu, Zn e Mn extraído com duplo ácido Melish 1.

4.11 PRODUÇÃO DA MAMONA

Aos 145 dias após o plantio, na avaliação da altura das plantas, utilizou-se uma trena para mensuração da altura de 30 plantas, e ao final calculado a média de altura em cm. A produtividade da mamoneira foi estimada com base na produção de grãos da área útil de cada parcela (256 m²). Os racemos com as bagas foram colhidos manualmente, aos 145 dias após o plantio, secos ao ar, descascados manualmente e pesados os grãos. Além da produção, foi quantificada a massa de 1000 sementes.

Os dados das análises de solo, por camada, de planta, crescimento e de produtividade da cultura foram submetidos à análise de variância, considerando parcelas subdivididas no tempo, sendo três tipos de água de irrigação (parcela) e dois ciclos de cultivo (subparcela). As médias foram comparadas entre si pelo teste Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DO SOLO.

Na Tabela 05 é apresentada o resumo da análise de variância dos dados de pH, condutividade elétrica (CE_{es}), razão de adsorção de sódio (RAS) no extrato saturado, teor de sódio trocável (Na^+) e porcentagem de sódio trocável (PST) em diferentes camadas do solo e nas Tabelas 06, 07, 08, 09, 10 as médias de Médias de pH, condutividade elétrica (CE_{es}), teor de sódio (Na) e razão de adsorção de sódio (RAS) no extrato saturado do solo e de porcentagem de sódio trocável (PST), nas camadas de 0,0 m a 0,2 m, 0,0 m a 0,2 m, 0,2 m a 0,4 m, 0,4 m a 0,6 m, 0,6 m a 0,8 m, 0,8 m a 1,0 m antes do plantio (T_0) e após dois ciclos de cultivo de mamoneira irrigado com três tipos de água.

Nos dois ciclos de cultivo da mamoneira, foram detectadas diferenças significativas ($p < 0,01$) entre os tratamentos, em diferentes camadas do solo, para as variáveis pH, condutividade elétrica do extrato saturado (CE_{es}), teor de sódio trocável (Na^+), razão de adsorção de sódio (RAS) e porcentagem de sódio trocável (PST) (Tabela 4). Houve interação significativa entre os tratamentos de irrigação e os ciclos de cultivo para as variáveis pH (em todas as camadas do solo), Na^+ (todas as camadas, com exceção de 0,4 m-0,6 m) e PST (apenas na camada de 0,2 m-0,4 m).

A resposta do pH do solo à irrigação com as diferentes águas variou com o ciclo de cultivo (Tabelas 5 a 9). No primeiro ciclo, o solo irrigado com a APO apresentou valores mais baixos de pH em relação aos tratamentos APF e ACA, em todas as camadas de solo. Nas camadas de 0,0 m a 0,4 m não houve diferença de pH entre o tratamento APF e a testemunha (ACA). No entanto, nas camadas de 0,4 m a 1,0 m, o solo irrigado com APF apresentou maior valor de pH em relação à testemunha.

No segundo ciclo de cultivo, não foram observadas diferenças significativas no pH do solo entre os tratamentos de irrigação. O solo irrigado com APF apresentou redução significativa do pH em todas as camadas em relação ao primeiro ciclo. Por outro lado, no solo irrigado com APO ocorreu aumento do pH em todas as camadas, quando comparado ao primeiro ciclo.

Tabela 05. Resumo da análise de variância dos dados de pH, condutividade elétrica (CE_{es}), razão de adsorção de sódio (RAS) no extrato saturado, teor de sódio trocável (Na^+) e porcentagem de sódio trocável (PST) em diferentes camadas do solo.

Profundidade 0 m – 0,2 m						
F						
F.V.	GL	pH	CE _{es}	RAS	Na ⁺	PST
Água	2	25,53**	12,64**	51,76**	48,66**	15,64**
Ciclo	1	2,52 ^{ns}	42,53**	2,75 ^{ns}	27,04**	63,47**
A x C	2	9,83**	1,50 ^{ns}	1,20 ^{ns}	5,11*	3,01 ^{ns}
Resíduo	10					
Profundidade 0,2 m – 0,4 m						
F						
F.V.	GL	pH	CE _{es}	RAS	Na ⁺	PST
Água	2	13,54**	16,64**	69,50**	141,66**	118,90**
Ciclo	1	0,93 ^{ns}	13,52**	2,23 ^{ns}	37,43**	41,55**
A x C	2	14,33**	0,23 ^{ns}	3,17 ^{ns}	17,15**	13,93**
Resíduo	10					
Profundidade 0,4 m – 0,6 m						
F						
F.V.	GL	pH	CE _{es}	RAS	Na ⁺	PST
Água	2	22,12**	22,80**	231,62**	78,58**	73,51**
Ciclo	1	0,90 ^{ns}	11,70**	33,59**	13,11**	14,83**
A x C	2	11,66**	0,53 ^{ns}	2,62 ^{ns}	2,85 ^{ns}	4,09 ^{ns}
Resíduo	10					
Profundidade 0,6 m – 0,8 m						
F						
F.V.	GL	pH	CE _{es}	RAS	Na ⁺	PST
Água	2	27,99**	33,68**	42,72**	95,69**	43,97**
Ciclo	1	1,29 ^{ns}	1,28 ^{ns}	4,93 ^{ns}	4,27 ^{ns}	5,10*
A x C	2	19,19**	1,06 ^{ns}	1,36 ^{ns}	5,52*	4,05 ^{ns}
Resíduo	10					
Profundidade 0,8 m – 1,0 m						
F						
F.V.	GL	pH	CE _{es}	RAS	Na ⁺	PST
Água	2	27,62**	38,43**	80,63**	156,60**	55,36**
Ciclo	1	9,36*	2,08 ^{ns}	5,60*	1,15 ^{ns}	2,94 ^{ns}
A x C	2	22,88**	1,14 ^{ns}	0,27 ^{ns}	8,78**	5,57 ^{ns}
Resíduo	10					

Não significativo (^{ns}) e significativo a 0,05 (*) e 0,01 (**) de probabilidade pelo teste F.

Tabela 06. Médias de pH, condutividade elétrica (CE_{es}), teor de sódio (Na) e razão de adsorção de sódio (RAS) no extrato saturado do solo e de porcentagem de sódio trocável (PST), na camada de 0,0 m a 0,2 m, antes do plantio (T_0) e após dois ciclos de cultivo de mamoneira irrigado com três tipos de água.

Tipo de água	Ciclo de cultivo			
	T_0	1	2	Média
pH				
APO	6,42	7,67 bB	8,09 aA	7,88
APF	6,37	8,81 aA	8,40 bA	8,61
ACA	6,49	8,68 aA	8,26 bA	8,47
Média		8,39	8,25	
CE_{es} ($dS\ m^{-1}$)				
APO	0,20	1,80	0,65	1,44 B
APF	0,20	3,46	1,49	2,48 A
ACA	0,18	1,98	0,79	1,39 B
Média		2,42 a	0,98 b	
Na ($mmol_c\ kg^{-1}$)				
APO	0,12	1,55 aC	1,33 aB	1,44
APF	0,11	5,76 aA	3,54 bA	4,65
ACA	0,12	3,61 aB	1,87 bB	2,74
Média		3,64	2,25	
RAS ($mmol_c\ L^{-1}$) ^{0,5}				
APO	0,45	2,77	3,14	2,95 C
APF	0,38	17,26	15,24	16,25 A
ACA	0,40	9,99	6,30	8,14 B
Média		10,00 a	8,23 a	
PST (%)				
APO	0,38	4,09	3,65	3,87 C
APF	0,52	18,30	13,08	15,69 A
ACA	0,40	11,24	6,71	8,98 B
Média		11,21 a	7,81 b	

*Médias seguidas de mesma letra minúscula nas linhas e maiúscula nas colunas não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Tabela 07. Médias de pH, condutividade elétrica (CE_{es}), teor de sódio (Na) e razão de adsorção de sódio (RAS) no extrato saturado do solo e de porcentagem de sódio trocável (PST), na camada de 0,2 m a 0,4 m, antes do plantio (T_0) e após dois ciclos de cultivo de mamoneira irrigado com três tipos de água.

Tipo de água	Ciclo de cultivo			
	T_0	1	2	Média
pH				
APO	6,82	7,48 bB	8,24 aA	7,86
APF	6,78	8,87 aA	8,29 bA	8,58
ACA	6,80	8,58 aA	8,08 bA	8,33
Média		8,31	8,20	
CE_{es} ($dS\ m^{-1}$)				
APO	0,11	0,70	0,43	0,56 B
APF	0,11	1,40	1,00	1,20 A
ACA	0,12	0,86	0,45	0,65 B
Média		0,99 a	0,63 b	
Na ($mmol_c\ kg^{-1}$)				
APO	0,12	0,54 aC	0,82 aC	0,68
APF	0,11	5,05 aA	3,03 bA	4,04
ACA	0,12	3,00 aB	1,76 bB	2,38
Média		2,87	1,87	
RAS ($mmol_c\ L^{-1}$) ^{0,5}				
APO	0,67	3,57	4,94	4,26 C
APF	0,77	13,07	16,22	14,65 A
ACA	0,45	9,50	8,23	8,87 B
Média		8,72 a	9,79 a	
PST (%)				
APO	0,55	3,57 aC	4,23 aC	3,90
APF	0,57	29,95 aA	17,24 bA	23,60
ACA	0,63	20,50 aB	12,15 bB	16,32
Média		18,00	11,21	

*Médias seguidas de mesma letra minúscula nas linhas e maiúscula nas colunas não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Tabela 08. Médias de pH, condutividade elétrica (CE_{es}), teor de sódio (Na) e razão de adsorção de sódio (RAS) no extrato saturado do solo e de porcentagem de sódio trocável (PST), na camada de 0,4 m a 0,6 m, antes do plantio (T_0) e após dois ciclos de cultivo de mamoneira irrigado com três tipos de água.

Tipo de água	Ciclo de cultivo			
	T_0	1	2	Média
pH				
APO	6,77	7,38 bC	8,04 aA	7,71
APF	6,78	8,69 aA	8,23 bA	8,46
ACA	6,84	8,23 aB	8,30 aA	8,26
Média		8,10	8,19	
CE_{es} ($dS\ m^{-1}$)				
APO	0,08	0,59	0,35	0,47 B
APF	0,09	1,20	0,87	1,03 A
ACA	0,07	0,67	0,52	0,60 B
Média		0,82 a	0,58 b	
Na ($mmol_c\ kg^{-1}$)				
APO	0,12	0,72	0,60	0,66 C
APF	0,15	4,13	2,89	3,51 A
ACA	0,15	1,84	1,13	1,49 B
Média		2,23 a	1,54 b	
RAS ($mmol_c\ L^{-1}$) ^{0,5}				
APO	0,75	0,96	3,44	2,20 C
APF	0,77	12,30	16,37	14,34 A
ACA	0,34	8,61	10,10	9,34 B
Média		7,29 b	9,97 a	
PST (%)				
APO	0,71	4,73	3,91	4,32 C
APF	0,96	32,11	20,78	26,45 A
ACA	1,02	15,15	9,90	12,52 B
Média		17,33 a	11,53 b	

*Médias seguidas de mesma letra minúscula nas linhas e maiúscula nas colunas não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Tabela 09. Médias de pH, condutividade elétrica (CE_{es}), teor de sódio (Na) e razão de adsorção de sódio (RAS) no extrato saturado do solo e de porcentagem de sódio trocável (PST), na camada de 0,6 m a 0,8 m, antes do plantio (T_0) e após dois ciclos de cultivo de mamoneira irrigado com três tipos de água.

Tipo de água	Ciclo de cultivo			
	T_0	1	2	Média
pH				
APO	6,93	7,12 bC	7,96 aA	7,54
APF	6,89	8,60 aA	8,11 bA	8,36
ACA	6,85	7,99 aB	7,95 aA	7,97
Média		7,90	8,01	
CE_{es} ($dS\ m^{-1}$)				
APO	0,10	0,41	0,37	0,38 B
APF	0,09	1,18	0,94	1,06 A
ACA	0,09	0,37	0,40	0,39 B
Média		0,65 a	0,57 a	
Na ($mmol_c\ kg^{-1}$)				
APO	0,12	0,28 aC	0,56 aC	0,42
APF	0,12	3,26 aA	2,37 bA	2,81
ACA	0,15	1,31 aB	1,03 aB	1,17
Média		1,62	1,32	
RAS ($mmol_c\ L^{-1}$) ^{0,5}				
APO	0,72	2,13	2,60	2,36 C
APF	0,54	12,35	17,21	14,78 A
ACA	0,50	6,60	8,61	7,60 B
Média		7,02 a	9,47 a	
PST (%)				
APO	0,91	2,67	3,72	3,19 C
APF	0,86	29,09	18,11	23,60 A
ACA	1,05	12,76	10,59	11,68 B
Média		14,84 a	10,81 b	

*Médias seguidas de mesma letra minúscula nas linhas e maiúscula nas colunas não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Tabela 10. Médias de pH, condutividade elétrica (CE_{es}), teor de sódio (Na) e razão de adsorção de sódio (RAS) no extrato saturado do solo e de porcentagem de sódio trocável (PST), na camada de 0,8 m a 1,0 m, antes do plantio (T_0) e após dois ciclos de cultivo de mamoneira irrigado com três tipos de água.

Tipo de água	T_0	Ciclo de cultivo		Média
		1	2	
			pH	
APO	6,93	7,18 bC	7,99 aA	7,58
APF	6,91	8,50 aA	8,05 bA	8,28
ACA	6,87	7,71 bB	8,05 aA	7,87
Média		7,79	8,03	
			CE_{es} ($dS\ m^{-1}$)	
APO	0,08	0,39	0,32	0,36 B
APF	0,08	1,03	0,81	0,92 A
ACA	0,07	0,32	0,33	0,32 B
Média		0,58 a	0,49 a	
			Na ($mmol_c\ kg^{-1}$)	
APO	0,11	0,22 aC	0,48 aC	0,35
APF	0,11	3,03 aA	2,27 bA	2,65
ACA	0,13	0,99 aB	1,13 aB	1,06
Média		1,41	1,29	
			RAS ($mmol_c\ L^{-1}$) ^{0,5}	
APO	0,67	1,09	2,36	1,73 C
APF	0,49	13,83	15,78	14,80 A
ACA	0,62	5,81	8,59	7,20 B
Média		6,91 b	8,91 a	
			PST (%)	
APO	0,85	2,25	3,18	2,71 C
APF	0,85	30,45	19,29	24,87 A
ACA	1,16	10,43	11,73	11,07 B
Média		14,37 a	11,40 a	

*Médias seguidas de mesma letra minúscula nas linhas e maiúscula nas colunas não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

O tratamento APF apresentou valores de condutividade elétrica do extrato saturado (CE_{es}) mais elevados que os demais, em todas as camadas analisadas, não se observando diferenças significativas entre o tratamento APO e a testemunha. Ao final do segundo ciclo de cultivo, foram observadas reduções significativas da CE_{es} nas camadas de solo de 0,0 m a 0,6 m, em todos os tratamentos, em relação ao primeiro ciclo.

De acordo com Pizarro (1985), para valores de CE_{es} abaixo de $2\ dS\ m^{-1}$, como os observados em todos os tratamentos no segundo ciclo de cultivo, os efeitos sobre as culturas em geral são desprezíveis. Quando a CE_{es} encontra-se na faixa de $2\ dS\ m^{-1}$ a $4\ dS\ m^{-1}$, como

verificado na camada de 0,0 m–0,2 m do solo irrigado com a APF após o primeiro ciclo de cultivo, os rendimentos das culturas sensíveis à salinidade são afetados.

Segundo os índices de qualidade de águas salinas adotados por Rhoades et al. (1992) e considerando-se a condutividade elétrica (CE_a) da APF e do extrato saturado do solo (CE_{es}), tal água poderia ser utilizada na irrigação de culturas moderadamente tolerantes ou tolerantes à salinidade, em solos arenosos com boa drenagem, enquanto as águas APO e ACA poderiam ser utilizadas na irrigação de qualquer tipo de cultivo.

Schlüter (2007) trabalhando com a caracterização e amostragem da água produzida do campo de fazenda Belém, bacia potiguar, para níveis de potabilidade, afirmou que, as águas não tratadas continham valores de pH entorno de 9,2. Tais valores encontra-se em conformidade com os dados obtidos, contudo, águas com tais teores podem ser utilizadas após tratamento para diminuição do pH à valores toleráveis para as plantas e o solo.

Após o primeiro e o segundo ciclos de cultivo, o teor trocável de Na^+ foi mais elevado no solo irrigado com APF, comparado ao solo irrigado com ACA e APO, em todas as camadas de solo avaliadas. Por sua vez, o solo irrigado com APO apresentou menor teor de sódio trocável que a testemunha. Ao final do segundo ciclo de cultivo, os teores de Na^+ trocável diminuíram em todas as camadas de solo no tratamento APF e nas camadas de 0,0 m–0,4 m no tratamento ACA. No tratamento APO não houve redução significativa dos teores de Na^+ trocável nas camadas de solo analisadas entre o primeiro e o segundo ciclo.

Com relação à RAS do extrato saturado do solo, o tratamento APF apresentou valores mais altos que a testemunha (ACA), e o tratamento APO apresentou valores mais baixos que os dos demais nas camadas de solo analisadas. Entre o primeiro e o segundo ciclos de cultivo, houve tendência de aumento da RAS na camada de 0,6 m a 1,0 m em todos os tratamentos.

A porcentagem de sódio trocável (PST) do solo foi mais elevada no solo irrigado com a APF em relação aos demais tratamentos em todas as camadas de solo. Isso se deve a maior concentração salina da APF e, principalmente, ao maior teor de sódio trocável em relação às demais águas. Houve uma redução do valor da PST quando se compara o ciclo 1 com o ciclo 2, que pode ser atribuída a lavagem e lixiviação dos sais pela água da precipitação ocorrida no segundo ciclo. Por sua vez, o solo irrigado com a APO apresentou valores de PST inferiores aos demais tratamentos em todas as camadas, fato atribuído ao seu menor teor de sódio e menor RAS em relação às demais águas.

Em geral, houve redução da PST ao final do segundo ciclo em relação ao primeiro ciclo nos tratamentos APF e ACA, tendência não observada no tratamento com água de menor

teor de sais (APO). Levando-se em consideração a textura arenosa do solo e a profundidade do lençol freático (abaixo de 50 m), as reduções dos valores de pH, CE_{es} , Na^+ trocável e PST ao final do segundo ciclo de cultivo, em relação ao primeiro ciclo podem ser explicadas pela lixiviação dos sais para as camadas inferiores no perfil do solo, ocorrida durante a estação chuvosa de 2013. Entre o final do primeiro ciclo de cultivo (dezembro de 2012) e o final do segundo (agosto de 2013) foram registrados 646 mm de precipitação na área experimental. Com a lixiviação dos sais houve uma tendência de uniformização dos valores de pH, CE_{es} , Na^+ trocável e PST nas diferentes camadas do solo e de redução das diferenças entre os tratamentos de irrigação no segundo ciclo de cultivo (Figuras 16 e 17).

Figura 16. Variações do pH e da condutividade elétrica do extrato de solo saturado (CE_{es}), em função da profundidade e do tipo de água utilizado na irrigação, em dois ciclos de cultivo de mamoneira.

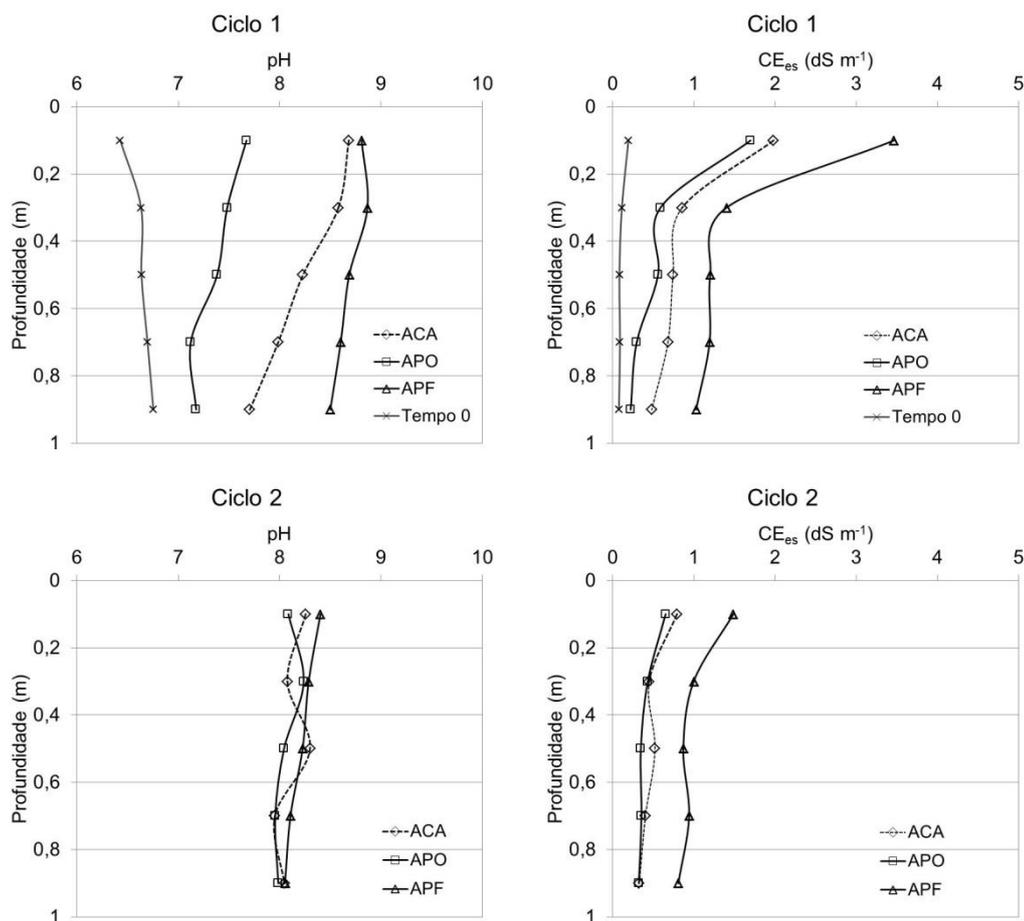
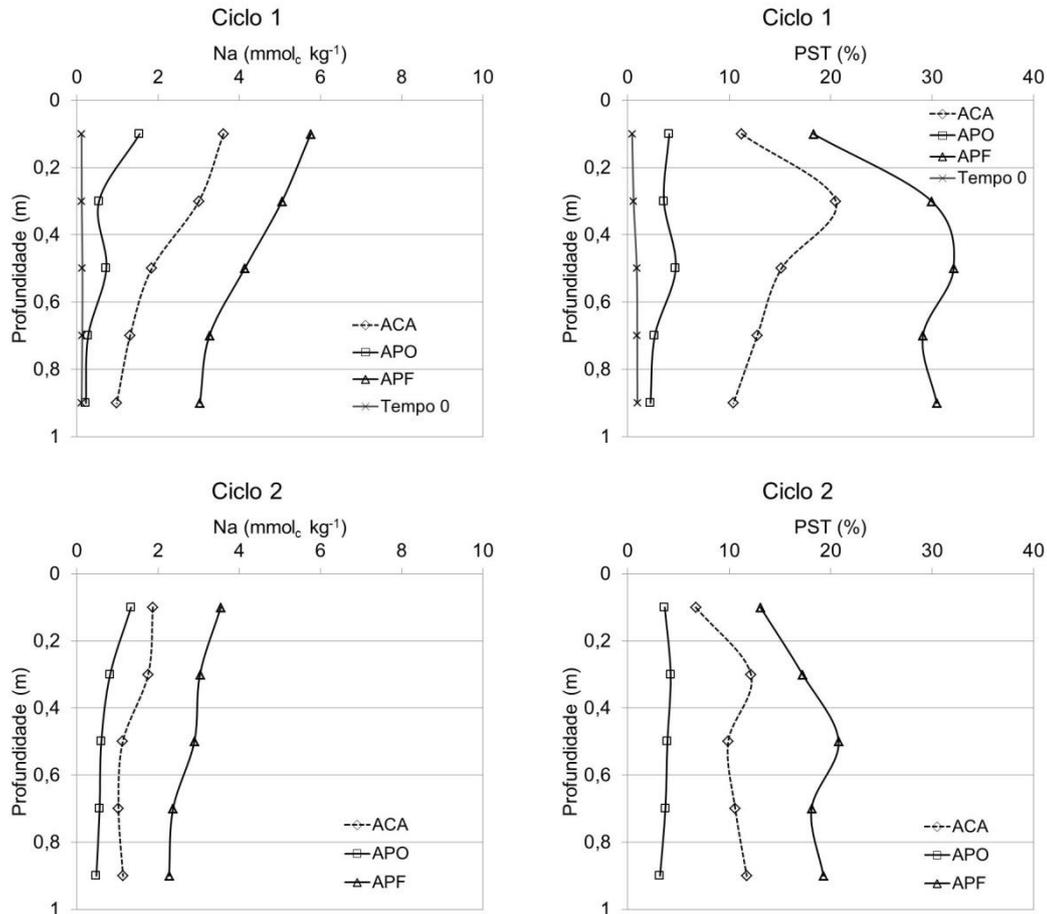


Figura 17. Variações do teor de sódio trocável e da porcentagem de sódio trocável (PST) em função da profundidade e do tipo de água utilizado na irrigação, em dois ciclos de cultivo de mamona.



De acordo com a classificação apresentada por Rhoades, Kandiah; Mashali (1992), as águas APO e ACA foram classificadas como não salinas, em termos da concentração total de sais, enquanto APF foi classificada com moderadamente salina. Esta última, de acordo com as diretrizes da FAO (AYERS; WESTCOT, 1984), apresentou grau de restrição severo para a irrigação quanto ao risco de sodicidade do solo ($RAS = 39,82 \text{ (mmol}_c \text{ L}^{-1})^{0,5}$), e grau de restrição moderado quanto ao risco de salinidade ($CE_a = 2,67 \text{ dS m}^{-1}$). Por sua vez, ACA e APO também apresentaram grau de restrição severo quanto ao risco de sodicidade, valores médios de RAS iguais a 22,61 e 20,89 $(\text{mmol}_c \text{ L}^{-1})^{0,5}$ respectivamente, e restrição moderada ($CE_a = 0,72 \text{ dS m}^{-1}$) e nenhuma restrição ($CE_a = 0,53 \text{ dS m}^{-1}$), respectivamente, quanto ao risco de salinidade para as culturas.

O grau de restrição severo com relação à sodicidade indica que, embora a água possa ser usada para a irrigação, podem ocorrer problemas de redução da infiltração da água no

solo, havendo necessidade da adoção de práticas de manejo adequadas para a manutenção da estrutura do solo. No caso da restrição moderada quanto à salinidade, o alcance do potencial máximo de rendimento do cultivo exige cuidado maior na escolha de culturas e cultivares adaptadas a essa condição e uso de práticas de manejo da irrigação adequadas (AYERS; WESTCOT, 1984).

De acordo com a classificação proposta por Pizarro (1985), após dois ciclos de cultivo da mamoneira, o solo irrigado com a APO pode ser classificado como normal quanto à salinidade e sodicidade, podendo ser utilizado para o cultivo de qualquer tipo de cultura. Por outro lado, o solo irrigado com APF tornou-se sódico ($CE_{es} < 2 \text{ dS m}^{-1}$ e $PST > 7\%$), ou seja, contem teores de sódio (adsorvido no complexo de troca e solúvel no extrato saturado) suficientes para desenvolver propriedades físicas e químicas desfavoráveis ao crescimento de algumas culturas. O mesmo ocorreu com o solo irrigado com a ACA, a qual também apresenta alto teor de sódio ($11 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$). Nessas condições o solo poderia ser cultivado apenas com espécies mais tolerantes ao sódio e requer, para sua recuperação, a aplicação de corretivos e a lixiviação de sais. Moraes (2005) estudando a dinâmica de um novo separador líquido-líquido, com aplicação ao óleo bruto/água produzida, afirmou que a água produzida é salina. Também apresentadas no referido trabalho.

A redução da PST nos solos irrigados com ACA e APF no segundo ciclo de cultivo em relação ao primeiro permite supor que, em virtude da boa drenagem natural do solo, a aplicação de gesso, aliada à lixiviação do sódio poderia manter a salinidade e a sodicidade do solo em níveis aceitáveis, mesmo utilizando a APF na irrigação. Uma alternativa a ser analisada seria a aplicação de fertilizantes solúveis contendo cálcio e magnésio via fertirrigação, que, segundo Arthur et al. (2005), podem ser utilizados para o ajuste da RAS da água produzida, visando melhorar sua qualidade para o uso na irrigação.

Alguns exemplos de utilização de água produzida no processo de exploração de carvão na irrigação, em que a salinidade e a sodicidade do solo foram mantidas em níveis toleráveis por meio da lixiviação de sais e da aplicação de corretivos (geralmente gesso), proporcionando produções satisfatórias de espécies forrageiras, são relatados por All (2003). Nesses casos, o cultivo em solos arenosos facilitou a aplicação de grandes volumes de água produzida e a manutenção da permeabilidade do solo.

5.2 NUTRIENTES EM RAÍZES, PARTE AÉREA E SEMENTES.

Na Tabela 11, é apresentada a análise de variância para os teores de elementos minerais, como o cálcio, magnésio, sódio, potássio, zinco, manganês e ferro, na raiz, parte aérea e sementes de mamona, variedade BRS energia irrigada com três qualidades de água. O sódio foi significativo a 1 e 5% de probabilidade entre os tratamentos para a raiz e parte aérea, respectivamente. O manganês foi significativo a 1% de probabilidade para a parte aérea e o ferro apresentou significância de 5% de probabilidade para a semente.

Tabela 11 - Resumo da análise de variância para os teores de elementos minerais na raiz, parte aérea e sementes do segundo ciclo de mamona, variedade BRS energia irrigadas com três qualidades de água, água produzida filtrada (APF), osmose reversa (APO) e a água do subsolo captada do aquífero Açu (ACA).

Elementos Minerais	Quadrados médios			
	Tratamentos	Blocos	Resíduo	CV (%)
	Raiz			
Ca ²⁺	0,62ns	8,54ns	2,04	16,71
Mg ²⁺	0,12ns	0,70*	0,09	10,07
Na ⁺	9,96**	0,45ns	0,14	11,78
K ⁺	0,24ns	0,14ns	1,27	12,64
Zn ²⁺	117,15ns	45,78ns	28,15	17,50
Mn ²⁺	34,10ns	12,13ns	11,53	10,37
Fe ²⁺	2862,34ns	1573,94ns	4341,72	16,06
	Parte Aérea			
Ca ²⁺	28,84ns	1,35ns	5,26	10,00
Mg ²⁺	0,12ns	0,70*	0,09	10,07
Na ⁺	0,37*	0,00**	0,04	38,27
K ⁺	4,35ns	12,00ns	6,78	9,31
Zn ²⁺	180,56ns	258,79ns	65,59	28,15
Mn ²⁺	628,55**	506,16**	20,59	5,29
Fe ²⁺	52,32ns	81,93ns	27,51	12,66
	Semente			
Ca ²⁺	1,87ns	0,38ns	0,41	7,32
Mg ²⁺	0,40ns	0,05ns	0,06	7,31
Na ⁺	3,0E ⁻⁴ ns	7,0E ⁻⁴ ns	3,5E ⁻⁴	46,77
K ⁺	0,62ns	0,01ns	1,83	4,56
Zn ²⁺	130,77ns	397,66ns	265,66	32,45
Mn ²⁺	2,80ns	10,15,03ns	1218,76	8,94
Fe ²⁺	50,84*	9,48ns	5,68	5,80

*Significativo pelo teste de Tukey a 5%; ** Significativo pelo teste Tukey a 1%; ns = não significativo

Na Tabela 12 encontram-se os teores médios de cálcio, sódio, magnésio, potássio, zinco, manganês e ferro em raiz, parte aérea e semente de mamona, submetido a três qualidades de água, ou seja, água produzida filtrada (APF), osmose reversa (APO) e a água do subsolo captada do aquífero Açú (ACA). A água produzida filtrada (APF) apresentou o maior valor para o teor de sódio na raiz, não apresentando diferença significativa para os demais elementos minerais analisados. Para os demais elementos nas águas de osmose reversa (APO) e a água do subsolo captada do aquífero Açú (ACA) não apresentou diferença significativa na raiz.

A água produzida filtrada (APF) apresentou o maior valor para o teor de sódio e manganês na parte aérea. Para os demais elementos nas águas de osmose reversa (APO) e a água do subsolo captada do aquífero Açú (ACA) não apresentou diferença significativa na parte aérea (Tabela 12). A água produzida filtrada (APF) apresentou o maior valor para o teor de sódio e de ferro nas sementes (Tabela 14). Para os demais elementos nas águas de osmose reversa (APO) e a água do subsolo captada do aquífero Açú (ACA) não apresentou diferença significativa.

Tabela 12 - Teores médios de cálcio (Ca^{2+}), sódio (Na^+), magnésio (Mg^{2+}), potássio (K^+), zinco (Zn^{2+}), manganês (Mn^{2+}) e ferro (Fe^{2+}) em raiz, parte aérea e semente do segundo ciclo de mamona, variedade BRS energia irrigadas com três qualidades de água, água produzida filtrada (APF), osmose reversa (APO) e a água do subsolo captada do aquífero Açú (ACA).

Tipo de água	Ca	Mg	Na	K	Zn	Mn	Fe
	(g kg ⁻¹)			(mg kg ⁻¹)			
Raiz							
APF	8,49a	2,75a	5,31a	8,59a	23,23a	30,30a	50,49a
ACA	8,15a	2,61a	2,76b	9,09a	32,63a	31,36a	53,55a
APO	9,05a	3,65a	1,78b	9,09a	35,06a	36,6a	48,28a
Média	8,56	3,00	3,28	8,92	30,30	32,75	50,77
Parte aérea							
APF	26,47 a	3,22 a	0,93 a	26,89 a	23,43 a	102,53 a	45,90 a
ACA	21,66 a	2,81 a	0,41 ab	27,77 a	25,20 a	77,20 b	37,63 a
APO	20,68 a	2,98 a	0,26 b	29,27 a	37,66 a	77,73 b	40,73 a
Média	22,93	3,00	0,53	27,97	28,76	85,82	41,42
Semente							
APF	7,89 a	3,19 a	0,06 a	6,59 a	23,70 a	23,26 a	45,20 a
ACA	9,37 a	3,88 a	0,04 b	7,40 a	25,63 a	57,36 a	36,96 b
APO	9,11 a	3,73 a	0,03 b	6,45 a	24,73 a	26,76 a	41,10 ab
Média	8,79	3,60	0,04	6,81	24,68	35,79	41,08

*Médias seguidas de mesma letra minúscula nas linhas não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Observaram-se valores médios superiores nos teores de Na⁺ da APF em relação aos tratamentos APO e a testemunha ACA nas raízes de mamona. Um acréscimo de 192% quando comparado com a testemunha ACA (Tabela 14). Quando verificados os teores de Na⁺ nos tratamentos (APF e ACA e APO) observou-se valores médios superiores nos teores de Na⁺ da APF em relação aos tratamentos APO e a testemunha ACA e na parte aérea da mamona.

Lima *et al.* (2015), estudando o crescimento, teores de sódio, cloro e relação iônica na mamoneira sob estresse salino e adubação nitrogenada, concluíram que, os teores de sódio aumentaram com o incremento da salinidade da água de irrigação em todas as partes da planta, corroborando com os dados obtidos, onde foram evidenciados efeitos significativos nas raízes e parte aérea.

Esta acumulação de íons salinos pode causar problemas de toxicidade iônica, deficiências nutricionais ou ambos. Diversos trabalhos na literatura demonstram que a salinidade promove um aumento nos teores de sódio, tanto em glicófitas como em halófitas (SILVA *et al.*, 2009; FREIRE *et al.*, 2005). A injúria provocada pelo acúmulo excessivo de íons tóxicos como o sódio se manifesta como clorose marginal e causa o surgimento de zonas necróticas, o que contribui para aceleração dos processos de senescência e abscisão foliar (MUNNS; TESTER, 2008).

Os teores de sódio nas sementes de mamona deste trabalho são inferiores aos encontrados no trabalho de Neves *et al.* (2008), que estudando os efeitos da aplicação de água salina nos diferentes estádios de desenvolvimento do feijão-de-corda sobre as características qualitativas e quantitativas das sementes, encontraram teores de 1,27 e 1,23 g kg⁻¹ de sódio nos tratamentos em que se utilizaram água com nível salino de 0,8 a 5,0 dS m⁻¹, respectivamente.

Já para Sampaio Junior (2012), avaliando o efeitos da aplicação de resíduos de perfuração de poços de petróleo no desenvolvimento de plantas e no risco de lixiviação de metais confirmou que, dentre os elementos presentes na composição dos resíduos, o sódio se mostrou o mais crítico. E que algumas plantas apresentam maior tolerância às condições elevadas de salinidade em relação à mamona, dentre as elas destaca-se o girassol, como uma das mais tolerantes.

Com relação aos níveis de Na⁺ Fakhru'l-Razi *et al.* (2009) afirmaram que, a salinidade da água dos poços de extração de petróleo é devido principalmente ao sódio dissolvido e cloretos, com menor número de contribuições de cálcio, magnésio e potássio. Enquanto isso, Rice e Nuccio (2000) relataram que as concentrações de sódio trocável nos poços podem variar de 370 a 1940 mg L⁻¹, geralmente um resultado do aumento de sódio e bicarbonato.

O excesso de sais solúveis e/ou sódio trocável, que caracterizam os solos como: salino, salino-sódico ou sódico, dificulta a absorção de água pelas plantas, induz à toxicidade de íons específicos (sódio e cloreto, principalmente), causa desequilíbrio nutricional e impede a infiltração de água no solo, provocando redução do crescimento e diminuição do rendimento das culturas (AMORIM *et al.*, 2008).

Para os demais nutrientes Ca^{2+} , Mg^{+} , K^{+} , Zn^{2+} , Mn^{2+} , Fe^{2+} , não foram evidenciados efeitos com a aplicação das diferentes qualidades de água (APF, APO e ACA). Resultados similares aos obtidos por Lacerda *et al.* (2009), avaliando a eficiência de utilização de água e nutrientes em plantas de feijão-de-corda irrigadas com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento, foi observado neste estudo que, após irrigação com água salina de $5,0 \text{ dS m}^{-1}$, não foram encontradas variações significativas nos teores dos íons Zn^{2+} , Mn^{2+} e Fe^{2+} , mostrando que a irrigação com água salina não contribui para o aumento destes teores de íons na planta.

5.3 PRODUÇÃO NA CULTURA DA MAMONA BRS ENERGIA

Na Tabela 13, é apresentada a análise de variância para os do peso de racemo (g), peso de grãos (g) e altura de plantas (cm) do segundo ciclo de mamona, variedade BRS energia irrigada com três qualidades de água. Observou-se que, apenas a altura de plantas foi significativo a 1 e 5% de probabilidade entre os tratamentos, não sendo observados tal efeito para os demais.

Tabela 13 - Resumo da análise de variância do peso de racemo (g), peso de grãos (g) e altura de plantas (cm) do segundo ciclo de mamona, variedade BRS energia irrigadas com três qualidades de água, água produzida filtrada (APF), osmose reversa (APO) e a água do subsolo captada do aquífero Açú (ACA).

Crescimento	Quadrados médios			
	Tratamentos	Blocos	Resíduo	CV (%)
Peso dos Racemos	183,47 ^{ns}	183,47 ^{ns}	141,63	15,72
Peso dos Grãos	29,35 ^{ns}	152,13 ^{ns}	120,7	16,21
Altura de plantas	706,87 ^{**}	44,33 ^{ns}	33,39	7,08

Apesar de não haver efeito significativo ($p>0,05$) nos pesos do racemos e grãos, observou-se medias superiores na ACA, entorno de 8,5 e 10,57%, quando comparadas com APO e APF, respectivamente. A altura de planta obtidos no tratamento APF no segundo ciclos de cultivo foram semelhantes entre si e significativamente mais baixos ($p<0,05$) que os obtidos no tratamento ACA e APO (Tabela 14). Considerando-se a média dos dois ciclos de cultivo, a produtividade da mamoneira irrigada com APF foi 31% inferior àquela obtida com ACA.

Os resultados de crescimento da mamoneira refletem os níveis de salinidade do solo após as irrigações e os teores de íons potencialmente tóxicos para as plantas, como Na^+ e Cl^- , encontrados em maiores níveis em APF em relação às águas ACA e APO.

Tabela 14 - Médias do peso de racemo (g), peso de grãos (g) e altura de plantas (cm) do segundo ciclo de mamona, variedade BRS energia irrigadas com três qualidades de água, água produzida filtrada (APF), osmose reversa (APO) e a água do subsolo captada do aquífero Açú (ACA).

Tipo de água	Peso dos Racemos (g)	Peso dos Grãos (g)	Altura de plantas (cm)
ACA	80,87 a	71,42 a	97,02 a
APO	73,93 a	66,06 a	81,62 ab
APF	72,32 a	65,94 a	66,32 b
Média	75,71	67,81	81,65

Os efeitos adversos dos sais dissolvidos nas águas ou nos solos, na maioria dos casos, refletem se na inibição e desuniformidade do crescimento, declínio na capacidade produtiva e na qualidade dos produtos obtidos das plantas cultivadas (AYERS; WESTCOT, 1999; ARRUDA et al., 2002) devido aos efeitos diretos sobre o potencial osmótico, desbalanceamento nutricional e efeito tóxico de íons, principalmente o cloro e o sódio (LACERDA et al., 2003).

Nobre et al. (2013), avaliaram o crescimento e produção da mamoneira cultivada sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação e doses de nitrogênio, observaram que, parâmetros como, a altura de plantas, o diâmetro caulinar, a fitomassa seca de folhas e de caule, e o número de frutos no racemo da mamoneira cv. BRS Energia decrescem de forma linear a partir da salinidade da água de irrigação de $0,4 \text{ dS m}^{-1}$, confirmando o efeito negativo da salinidade no crescimento das plantas.

Cavalcanti et al. (2005), estudando a tolerância da mamoneira BRS 149 à salinidade: germinação e características de crescimento, verificaram que, o estresse salino

provocado pela água de condutividade elétrica de até $4,7 \text{ dS m}^{-1}$ não influencia na porcentagem de germinação da mamoneira. Já a altura das plantas diminui, linearmente com o aumento da salinidade. Carvalho et al., (2007) observou resultados semelhantes nas culturas do sorgo feijão-de-corda e Algodão.

Não apenas a mamona responde ao efeito negativo da salinidade, Vale et al. (2006), estudando o estresse salino em mudas de pinhão-manso, afirmaram que as plantas irrigadas com água de condutividade elétrica de $0,06$ e $4,2 \text{ dS.m}^{-1}$, apresentaram redução da altura da planta, do diâmetro do caule, do número de folhas, sugerindo então, que as mesmas não podem ser cultivadas em solos salinos. Andréo-Souza et al. (2010), analisaram o efeito da salinidade na germinação de sementes e no crescimento inicial de mudas de pinhão-manso, afirmaram que, sementes de pinhão-manso sofrem atraso no processo germinativo, quando submetidas à condição de estresse salino.

Souza et al., (2010) estudando a respostas morfofisiológicas de plantas de sorgo, feijão-de-corda e algodão sob estresse salino, verificou que, as plantas de sorgo, feijão-de-corda e algodão que receberam irrigação com $8,0 \text{ dS}^{-1}$ tiveram seus índices de crescimento, matéria seca da parte aérea e área foliar reduzidos em 50%.

Os rendimentos obtidos no tratamento APF no primeiro e no segundo ciclos de cultivo foram semelhantes entre si e significativamente mais baixos ($p < 0,05$) que os obtidos no tratamento ACA (Tabela 15). Considerando-se a média dos dois ciclos de cultivo, a produtividade da mamoneira irrigada com APF foi 31% inferior àquela obtida com ACA. Com relação à massa de 1.000 sementes, não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos em ambos os ciclos.

Tabela 15. Médias de produtividade e massa de 1.000 sementes, em dois ciclos de produção da mamoneira 'BRS Energia', irrigada com diferentes tipos de água.

Tipo de água	Ciclo de cultivo		Média
	1	2	
	Produtividade (kg ha^{-1})		
APO	599,0 bC	1.386,3 aA	992,7
APF	826,7 aB	891,7 aB	859,2
ACA	1.211,0 aA	1.273,3 aA	1.242,2
Média	878,9	1.183,8	
	Massa de 1.000 sementes (g)		
APO	296,7	315,0	305,8

APF	301,7	319,0	310,3
ACA	310,0	312,3	311,2
Média	302,8	315,4	

*Médias seguidas de mesma letra minúscula nas linhas e maiúscula nas colunas não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

No primeiro ciclo de cultivo, a produtividade da mamoneira irrigada com APO foi prejudicada em relação aos demais tratamentos, em virtude de falhas no fornecimento dessa água ao longo do ciclo da cultura. Considerando-se apenas os resultados do segundo ciclo de cultivo, a produtividade do tratamento APO foi superior a do tratamento APF e não apresentou diferença significativa em relação à testemunha (ACA).

Os resultados de rendimento da mamoneira refletem os níveis de salinidade do solo após as irrigações e os teores de íons potencialmente tóxicos para as plantas, como Na^+ e Cl^- , encontrados em maiores níveis em APF em relação às águas ACA e APO. A presença desses íons, aliada à baixa capacidade de ajustamento osmótico da cultura e à redução do potencial total da água provocada pelo aumento da concentração salina, provavelmente comprometeu a capacidade produtiva da mamoneira irrigada com APF (LIMA et al., 2015).

De acordo com as análises de água realizadas ao longo do experimento (Tabela 15), a APO apresentou grau de restrição leve a moderado quanto ao risco de toxicidade do íon Na^+ ($4,54 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$) e nenhum para o íon cloreto ($2,50 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$), segundo a classificação proposta por Ayers e Westcot (1984). Já APF apresentou níveis elevados de íons Na^+ e Cl^- , não sendo recomendado seu uso na irrigação por aspersão, podendo causar danos a várias culturas, dependendo da tolerância a esses íons. No entanto, os sintomas típicos de toxidez por Na^+ e Cl^- , como necroses e queimaduras nas folhas, não foram observados nos cultivos de mamona em nenhum dos tratamentos.

Segundo Ayers e Westcot (1984), a mamoneira é considerada uma planta moderadamente sensível à salinidade, ou seja, é esperada uma redução do rendimento da cultura quando irrigada com água com CE_a acima de $1,0 \text{ dS m}^{-1}$. Para uma CE_a de $2,7 \text{ dS m}^{-1}$, caso de APF, a queda de rendimento pode variar de 10% a 40%.

Segundo Lima et al. (2015), a irrigação com água de CE_a igual a $2,7 \text{ dS m}^{-1}$ reduziu a produção de grãos da mamoneira em 32% em relação à irrigação com água de salinidade igual a $0,7 \text{ dS m}^{-1}$, índice semelhante ao encontrado no presente estudo.

Por sua vez, Silva et al. (2008), observaram redução de 61% na área foliar de plantas de mamoneira da cultivar BRS Energia irrigadas com água cuja CE_a era de $2,7 \text{ dS m}^{-1}$ (semelhante a APF), em relação à irrigação com água de CE_a de $0,7 \text{ dS m}^{-1}$. Nobre et al. (2012),

relataram a resposta linear negativa sobre a produção de fitomassa de mamoneira ‘BRS Energia’ ao aumento da salinidade da água de irrigação, com uma redução média de 15,6%, para cada acréscimo de $1,0 \text{ dS m}^{-1}$ na CE_a .

Observou-se no presente estudo que não ocorreram reduções da produtividade e da massa das sementes no segundo ciclo de cultivo em relação ao primeiro ciclo em todos os tratamentos. Esse dado confirma os resultados das análises de solo, as quais mostraram que não houve aumento da salinidade do solo no segundo ciclo de cultivo em relação ao primeiro ciclo, fato que provavelmente se deve à lixiviação dos sais, em virtude da maior taxa de precipitação que ocorreu no segundo ciclo de cultivo em relação ao primeiro.

Os resultados de rendimento da mamoneira refletem os níveis de salinidade do solo após as irrigações e os teores de íons potencialmente tóxicos para as plantas, como Na^+ e Cl^- , encontrados em maiores níveis na APF em relação às águas ACA e APO. A presença desses íons aliada à baixa capacidade de ajustamento osmótico da cultura e à redução do potencial total da água provocada pelo aumento da concentração salina, provavelmente comprometeu a capacidade produtiva da mamoneira irrigada com a APF (LIMA *et al.*, 2015).

Nobre *et al.* (2014), avaliando a produção da mamoneira com águas salinas e adubação nitrogenada em diferentes estádios fenológicos verificou que o uso de águas salinas na irrigação independentemente da estratégia de manejo adotada afeta a produção da mamoneira, observado através de redução no comprimento total, a massa de sementes, a massa de cem sementes e o teor de óleo nas sementes do racemo primário das plantas de mamoneira.

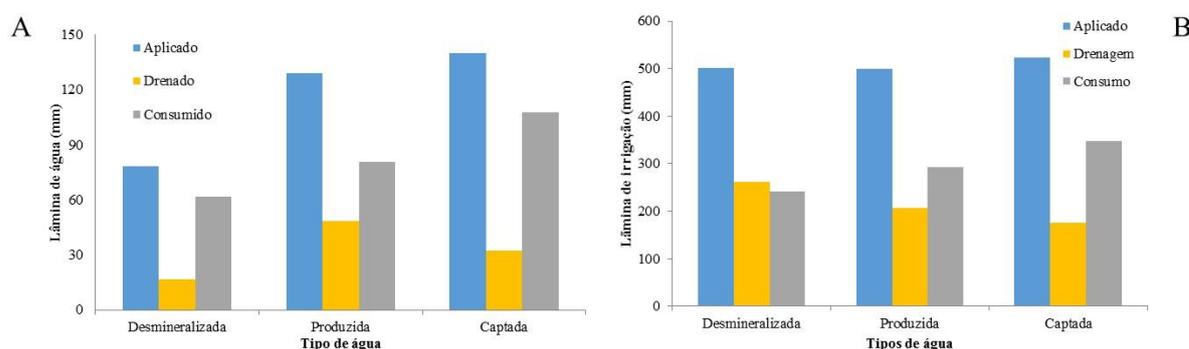
5.5 BALANÇO HÍDRICO E PRODUTIVIDADE NA CULTURA DA MAMONA

No primeiro ciclo de cultivo da mamoneira as lâminas de água aplicadas nos três tratamentos apresentaram grande variação, em virtude de falhas no fornecimento das águas pelas estações de tratamento, principalmente da APO (Figura 18). No período de irrigação da cultura (136 dias), houve interrupção do fornecimento das águas APO, APF e ACA, de 46, 11 e 6 dias, respectivamente. Esse fato prejudicou tanto o desenvolvimento da cultura, quanto o balanço hídrico, fazendo com que os consumos de água das plantas irrigadas com a APO e a APF fossem inferiores ao consumo de água das plantas irrigadas com a ACA.

No segundo ciclo de cultivo o fornecimento das diferentes águas foi mais regular, ocorrendo interrupção no fornecimento das águas de 11, 17 e 2 dias, das águas ACA, APF e APO, respectivamente. Contudo, as lâminas de água aplicadas na cultura da mamona foram semelhantes (524, 499 e 502 mm, para as águas ACA, APF e APO, respectivamente). No

entanto, foram observadas perdas por drenagem distintas e valores de consumo de água de 348 mm, 293 mm e 241 mm, em plantas irrigadas com os tipos de água APO, APF e ACA, respectivamente.

Figura 18 - Balanço hídrico da cultura da mamona, sob irrigação com água captada do aquífero Açu (ACA), água produzida tratada por osmose reversa (APO) e água produzida filtrada (APF), em dois ciclos (A – primeiro ciclo) e (B – segundo ciclo) de cultivos.



Observou-se que o balanço de água para cada qualidade de água aplicada é influenciada pela quantidade de sais existentes, devido a uma maior drenagem na água produzida, causada pela menor absorção de água pela planta. Diante disto, algumas estratégias podem ser usadas para minimizar os impactos negativos do aproveitamento de água salina na irrigação, entre elas: escolha de espécies ou cultivares mais tolerantes, utilização dessas fontes de água nos estádios de maior tolerância das culturas, mistura de águas de diferentes qualidades, uso cíclico de fontes de água com diferentes concentrações salinas, além de diversas outras práticas visando à obtenção de boa produção vegetal com controle da salinização/sodificação do solo (LACERDA *et al.*, 2009).

A salinidade é um dos principais fatores ambientais limitantes ao crescimento e produtividade das culturas (LV *et al.*, 2008), uma vez que as altas concentrações de sais no solo, além de reduzir o seu potencial hídrico, podem provocar efeitos tóxicos nas plantas, causando distúrbios funcionais e injúrias no metabolismo (SILVA *et al.*, 2009).

Silva *et al.* (2008), estudando desenvolvimento e produção de duas cultivares da mamoneira sob estresse salino, afirma que, com o aumento da salinidade da água, o consumo diário de água pelas cultivares diminuiu. Isto ocorre devido ao efeito osmótico que os sais provocam, fazendo com que as plantas absorvam menos água, induzindo o irrigante diminuir a quantidade de água aplicada desta.

Com relação à demanda hídrica da cultura da mamona, Centeno et al., (2012) determinado o coeficiente de cultivo da mamona BRS energia irrigada com água salina verificou uma diminuição no consumo de água pela planta. Outros autores relatam resultados semelhantes. FIGUEIRÊDO et al. (2009), em experimento com a cultura da melancia irrigada com água de diferentes salinidades, constatam uma evidente diminuição do consumo d'água com o aumento da salinidade da água de irrigação, isto comprovadamente pelos dados de Kc encontrados.

De acordo com SILVA et al. (2008), estudando duas cultivares de mamoneira sob estresse salino, observaram que houve decréscimo no consumo de água, de 93,2 e 87,8% para as cultivares BRS Paraguaçu e BRS Energia, respectivamente. A tendência geral foi de redução no consumo de água, sobretudo nos níveis salinos mais elevados, com o avanço do ciclo, ou seja, com o aumento da salinidade da água, o consumo diário de água pelas cultivares diminuiu.

Já Medeiros *et al.* (2005), avaliando a necessidade hídrica do meloeiro irrigado com água de diferentes salinidades e cultivado com ou sem cobertura do solo, verificou que, a evapotranspiração do meloeiro diminuiu quando a salinidade da água de irrigação cresceu entre 1,2 e 4,4 dS m⁻¹, confirmando que, a qualidade da água de irrigação está diretamente relacionada a absorção desta pela planta.

CONCLUSÕES

A irrigação com a APF reduziu a altura de plantas da mamoneira ‘BRS Energia’ em cerca de 8,58 e 10,57%, em relação à irrigação com a ACA e a APO, respectivamente.

A irrigação com a APF reduz a produtividade da mamoneira ‘BRS Energia’ em cerca de 30%, em relação à irrigação com a ACA e a APO.

A irrigação com água produzida filtrada (APF) aumentou os teores de Na nas raízes, parte aérea e sementes, quando comparados aos tratamentos (ACA), água captada do aquífero Açu e água produzida tratada por osmose reversa (APO).

A aplicação de água produzida filtrada (APF) não aumentou os níveis de Ca, Mg, K, Zn, Mn e Fe nas raízes, parte aérea e sementes, quando comparada aos demais tratamentos.

Após dois ciclos de cultivo da mamoneira, o solo irrigado com a APF apresenta níveis mais elevados de salinidade e sodicidade (CEs, Na⁺ e PST) em relação à irrigação com a ACA e APO.

Após a estação chuvosa o solo irrigado com a APF apresenta redução dos níveis de salinidade e sodicidade.

REFERÊNCIAS

ALL CONSULTING. **Handbook on Coal Bed Methane Produced Water: Management and Beneficial Use Alternatives**. Tulsa: United States Department of Energy, National Energy Technology Laboratory, 2003, 322 p.

ALLEN, R.G., HOWELL, T. A., PRUITT, *et al.* **Lysimeters for evapotranspiration and environmental measurements**. New York: American Society of Civil Engineers, 444 p. 1991.

ALLEN, R. G. *et al.* **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO Irrigation and Drainage Paper, 1998. 300 p.

ALMEIDA, O. A. Qualidade da água de irrigação. Embrapa Mandioca e Fruticultura, Cruz das Almas-BA 2010. Disponibilizado em: http://www.embrapa.br/a_embrapa/unidades-de-pesquisa-e-de-servicos/cnpmf/, Acesso em 12/07/2013.

AMORIM, J. R. A. de; HOLANDA, J. S. de; FERNANDES, P. D. Qualidade da água na agricultura irrigada. In: Albuquerque, P. E. P. de; Durães, F. O. M. (Ed.). *Uso e manejo de irrigação*. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. cap. 6, p. 255 316.

ASANO, T. ECKENFELDER, W. W.; MALINA, J. F.; Jr. W. *Wasterwater reclamation and reuse*. Califórnia: CRC, 1998, 1135p.

ANDRADE, Y. G.; FILGUEIRA, H. J. A.; SILANS A. M. B. P. S. Avaliação da influência da salinidade na determinação da umidade de solo via sonda TDR (timedomain reflectometry) em laboratório. **XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, 2007.

ANDRADE, V.T. **Avaliação da toxicidade de água produzida tratada por processo evaporativo com a finalidade de reuso em solo**. Tese de Doutorado (Programa de Pós-graduação em Engenharia Química) Universidade Federal do Rio de Janeiro, 144p, 2009.

ANDRÉO-SOUZA, Y.; PEREIRA, A. L.; SILVA, F. F. S.; RIEBEIRO-REIS, R. C.; EVANGELISTA, M. R. V.; CASTRO, R. D.; DANTAS, B. F. Efeito da salinidade na

germinação de sementes e no crescimento inicial de mudas de pinhão-manso. **Revista Brasileira de Sementes**, v.32, p.83-92, 2010.

ARANTES, E. M.; NOGUEIRA, F. D. Efeito da relação Ca/Mg do corretivo e níveis de potássio na produção de matéria seca, nas concentrações de K, Ca e Mg, e nas relações catiônicas da parte aérea. **Ciência Prática**, v. 10, p. 136-145, 1986.

ARRUDA, F. P. de; ANDRADE, A. P. de; SILVA, I. F. da; PEREIRA, I. E.; GUIMARÃES, M. A. M. Efeito do estresse hídrico na emissão/abscisão de estruturas reprodutivas do algodoeiro herbáceo cv. CNPA 7H. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 1, p. 21-27, 2002.

ARTHUR, J.D.; LANGHUS, B.D.; PATEL, C. **Technical summary of oil & gas produced water treatment technologies**. ALL Consulting, LLC, 2005, 53 p.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. 2.ed. Campina Grande: UFPB, 1991. 153p.

AYERS, R.S.; WESTCOT, D.W. **Water quality for agriculture**. Rome: FAO, 1976. 97p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 29).

AYERS, R.S.; WESTCOT, D. W. **Calidad del agua para la agricultura**. Roma: FAO, Estudio FAO Riego y Drenaje, n. 29, 1984. 85p.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. Campina Grande: UFPB, 218 p, 1999.

AZEVEDO, D. M. P.; LIMA, E. F. **O agronegócio da mamona no Brasil**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2001.

BAHRI, A. Fertilizing value and polluting load of reclaimed water Tunísia. **Water Resource**, Bethesda, v.32, 3484-3489, 1998.

BADER, M. S. H., 2007, "Seawater versus produced water in oil-fields water injection operations", *Desalination*, v. 208, pp. 159–168.

BARBIERI, R.L.; STUMPF, E.R.T. Origem e evolução de plantas cultivadas. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica 2008. 909p

BARBOSA, M. A. G. **Calibração e uso de sensores FDR para determinação da umidade e salinidade em dois tipos de solos.** Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural do Semiárido. Departamento de Ciências Ambientais. Mossoró-RN, 90 p. 2011.

BARRETO, H. B. F.; MEDEIROS, J. F. Crescimento e Produtividade de Acessos de Mamona Cultivada Sob Irrigação no Semiárido. **Agropecuária Científica no Semiárido** – ISSN 1808-6845, V. 8, n. 3, p. 56-61, 2012.

BAYER, C. *et al.* Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.39, p.677-683, 2004.

BELTRÃO, N. E. de M. Sistema de produção de mamona em condições irrigadas: considerações gerais. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2004. 14 p. (Comunicado Técnico, 132).

BELTRÃO, N. E. M. Fisiologia da mamoneira, cultivar BRS-149 Nordestina na fase inicial de crescimento, submetida a estresse hídrico. **Revista Brasileira Oleaginosa e fibrosa**, v. 7, n. 1, p. 659-664, 2003.

BERNARDI, C. C. **Reuso de água para a irrigação.** Monografia (Especialização Lato Sensu: Gestão Sustentável da Agricultura Irrigada), ISEA-FGV/ ECOBUSINESS SCHOOL, 63 p., Distrito Federal-DF, 2003.

BISCARO, G. A. **Meteorologia Agrícola Básica.** 1. ed. Cassilândia: UNI-GRAF Gráfica e Editora União Ltda., 86 p., 2007.

BOUYOUCOS, G. J. and MICK, A. H., An Electrical Resistance Method for the Continuous Measurement of Soil Moisture under Field Conditions. Tech. Bull. Mich. (St. Coll.) **Agric. Exp. Stn**, 1(172):18, Apr 1940.

BRANDÃO, V. S. *et al.* Tratamento de águas residuária da Suinocultura utilizando-se filtros orgânicos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**, v.4, n. 3, p. 327-333, 2000.

BRASIL. **Política Nacional de Recursos Hídricos (1997)**. Lei promulgada em nº 9.433 de 8 de janeiro de 1997. Define a Política Nacional de Recursos Hídricos, os princípios e instrumentos da sua gestão, Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/19433.htm Acesso em: 31/10/2012.

BREGA FILHO, D; MANCUSO, P. C. S. Conceito de reuso de água. In: **Reuso de água; Capítulo 2**. Eds. P. C. Sanches Mancuso e H. Felício dos Santos. Universidade de São Paulo – Faculdade de Saúde Pública, Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental – ABES. São Paulo, 2002.

BRITO, A. S.; LIBARDI, P. L.; GHIBERTO, P. J. Componentes do balanço de água no solo com cana-de-açúcar, com e sem adubação nitrogenada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.295-303, 2009.

CAMILOTTI, F. *et al.* Acúmulo de metais pesados em cana-de-açúcar mediante a aplicação de lodo de esgoto e vinhaça. **Engenharia Agrícola**, v. 27, n. 1, p. 284-293, 2007.

CAMPOS, A. L. O. *et al.* Produção mais limpa na indústria de petróleo: O caso da água produzida no campo de Carmópolis-SE, **Anais do 23º congresso Brasileiro de engenharia sanitária e ambiental**. 7p., 2005.

CARVALHO, B. C. L. Manual do cultivo da mamona. Salvador: EBDA, 2005. 65 p.

CARVALHO, C. F. de; BEZERRA, F. M. L.; GOMES FILHO, E; GHEYI, H. R.. Participação em banca de Carlos Henrique Carvalho de Sousa. **Análise da tolerância à salinidade em plantas de sorgo, feijão-de-corda e algodão**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal do Ceará.

CAVALCANTI, M. L. F.; FERNANDES, P. D.; GHEYI, H. R.; BARROS JÚNIOR, G.; SOARES, F. A. L.; SIQUEIRA, E. C. Tolerância da mamoneira BRS 149 à salinidade:

germinação e características de crescimento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, p. 57-61, 2005. Suplemento.

CAVALCANTI, M. L. F. *et al.* Índices ecofisiológicos da mamoneira sob estresse salino. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** (Suplemento), Campina Grande, PB, 2005.

CENTENO, C. R. M., DE AZEVEDO, C. A. V., DOS SANTOS, D. B., LIRAA, V. M., & DOS SANTOS, J. B. Determinação do coeficiente de cultivo da mamona BRS energia irrigada com água salina. 2012, **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, 7(4), 147-153.

CHATZAKIS, M. K. *et al.* Irrigation of Castor Bean (*Ricinus communis* L.) and Sunflower (*Helianthus annuus* L.) Plant Species with Municipal Wastewater Effluent: Impacts on Soil Properties and Seed Yield. **Water**, 2011.

CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS - CNRH (2001) **Resolução nº 15, de 11 de janeiro de 2001**. Estabelece parâmetros para o tratamento das águas subterrâneas. Ministério do meio ambiente. Brasília-DF, 2001.

CONAMA Conselho Nacional do Meio Ambiente **Resolução nº 20 de 18 de junho de 1986**. Dispõe sobre a classificação das águas doces, salobras e salinas do Território Nacional, 1986. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/estr.cfm> Acesso em: 25/04/2013.

_____. **Resolução nº 357 de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências, 2005, Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/estr.cfm> Acesso em: 25/04/2013.

_____. **Resolução nº 393, de 08 de agosto de 2007**. Dispõe sobre o descarte contínuo de água de processo ou de produção em plataformas marítimas de petróleo e gás natural, e dá outras providências. MMA. Brasília, (2007) Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/estr.cfm> Acesso em: 25/04/2013.

____. **Resolução nº 396, de 07 de abril de 2008.** Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. MMA. Brasília, 2008, Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/estr.cfm> Acesso em: 25/04/2013.

CORDEIRO, G. G. **Qualidade de água para fins de irrigação** (Conceitos básicos e práticas)/Gilberto Gomes Cordeiro. Petrolina, PE: Embrapa Semiárido, 32 p, 2001.

CORREIA, G. G. *et al.* Caracterização da capacidade de retenção e disponibilidade de água em solos de tabuleiro costeiro paraibanos. **Caatinga**, v.21, n.3, p.156-162, 2008.

CRUZ, A. C. R. **Consumo de água por cultura de citros cultivada em latossolo vermelho amarelo.** 92 f, 2003. Tese (Doutorado em Agronomia), Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz-USP, Piracicaba, São Paulo, 92 p, 2003.

DENÍCULI, W. *et al.* Uniformidade de distribuição de água, em condições de campo num sistema de irrigação por gotejamento. **Revista Ceres**, v. 27, n. 150, p 155-162,1980.

DIAS, N. S.; BLANCO, F. F. Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados. Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em salinidade. Fortaleza, 2010.

DOS ANJOS SOARES, L. A., NOBRE, R. G., GHEYI, H. R., DE LIMA, G. S., DA SILVA, A. O., & DA SILVA SOARES, S. (2012). Componentes de crescimento da mamoneira cultivada com águas salinas e doses de nitrogênio. **Irriga**, **1(01)**, 40.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. **Guidelines for predicting crop water requirements.** Rome : FAO, 1977. 194p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 24), 194., 1977.

DUARTE A. S. **Reuso de água residuária tratada na irrigação da cultura do pimentão (*Capsicum annun L.*)**. Tese (Doutorado em irrigação e drenagem) Universidade de São Paulo, escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”- Programa de Pós-graduação em Irrigação e drenagem-ESALQ, 2006, 188p.

DUARTE, A. S. *et al.* Efeitos da aplicação de efluente tratado no solo: pH, matéria orgânica, fósforo e potássio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.12, n.3, p.302–310, 2008.

EL-SWAIFY, S. A. **Soil and water salinity**. In: SILVA, J. A.; UCHIDA, R. (ed.). Plant nutrient management in hawaii's soils, approaches for tropical and subtropical agriculture. Manoa: University of Hawaii, 2000. p.1-6.

EMBRAPA Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

_____. **Manual de análises químicas de solos, planta e fertilizantes**/ editor técnico, Fábio Cesar da Silva. – 2. Ed. Ver. Ampl. – Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2009.

_____. **Tecnologias EMBRAPA para a cultura da Mamoneira: BRS energia**. Centro Nacional de Pesquisa de Algodão (Campina Grade, PB). Disponível em: www.cnpa.embrapa.br. Acesso em: 10/07/2014. 1ª ed., 2011.

_____. **Circular Técnica**, Centro Nacional de Pesquisa de Soja (CNPESO), n 19, 1997, 68p.

Fakhru'l-Razi, A., A. Pendashteh, et al. 2009. “Review of technologies for oil and gas produced water treatment.” **Journal of Hazardous Materials** 170(2–3): 530–551.

FILHO, J. F. *et al.* comparação dos efeitos da água da água residuária e do poço no crescimento e desenvolvimento do algodoeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, (Suplemento), p.328-332, 2005.

FIGUEIRÊDO, V. B.; MEDEIROS, J. F de.; ZOCOLER, J. L.; SOBRINHO, J. E. Evapotranspiração da cultura da melancia irrigada com água de diferentes salinidades. **Eng. Agrí. Jaboticabal**, v.29, n.2, p.231-240, abr./jun. 2009.

FIGUEIREDO, K. S. L. **Estudos da água produzida em diferentes zonas de produção de petróleo utilizando a hidroquímica e a análise estatística de parâmetros químicos**.

Dissertação (Pós- graduação em química) Universidade Federal do Rio Grande do Norte- UFRN, 2000, 123p.

FOLEGATI, M. V.; DUARTE, A. S.; GONÇALVES, A. B. **Uso de águas residuária na agricultura**. Anais do Workshop Uso e Reuso de água de Qualidade Inferior: Realidades e Perspectivas. Campina Grande, 28 a 30 de novembro de 2005.

FORNAZIERI JÚNIOR, A. F. **Mamona: uma rica fonte de óleo e de divisas**. ed. Cone. São Paulo-SP, 1986.

FREIRE, W.S. de A. *et al.* **Adubação Química da Mamoneira com macro e micronutrientes em Quixeramobim, Ceará**. 1. ed. Campina Grande: EMBRAPA, 2005. 6p. (EMBRAPA - Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 61), 2005.

FUNCEME. Chuvas mensais do Município. Icapuí, 2012. Disponível em: <http://www.funceme.br/index.php/areas/tempo/chuvas-mensais-municipios>. Acesso em: 09/07/2014.

GAINES, T. P.; PARKER, M. B.; GASCHO, G. J. Automated determination of chlorides in soil and plant tissue by sodium nitrate. **Agronomy Journal**, v.76, p.371- 374, 1984.

GOOGLE EARTH – Mapas, 2015. Disponível em: <https://www.google.com/earth/>. Acesso em: 09/07/2015.

GROENEVELT, P. H.; BOLT, G. H. **Water retention in soil**. **Soil Science**, New York, v. 113, n. 4, p. 238–245, 1971.

GUERRA, K.; DAHM K.; DUNDORF S. **Oil and gas produced water management and beneficial use in the western United States**: U.S. Department of the interior Bureau of reclamation. Denver, colorado, 129 p, setembro de 2011.

GUIMARÃES, P. B. V. RIBEIRO, M. M. R. Desafios da cobrança pelo uso da água no contexto federativo nacional de competências. **Anais do XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. São Paulo, 2007.

HESPANHOL, I. Termos de referência para a elaboração de proposta de resolução sobre reúso de água no Brasil. Grupo Técnico de Reúso - GT Reúso. Câmara Técnica de Ciência e Tecnologia, Conselho Nacional de Recursos Hídricos - CNRH, não publicado (2003).

HERPIN, V. *et al.* Chemical effects on the soil-plant system in a secondary treated wastewater irrigated coffee plantation – a pilot field study in Brazil. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 89, n. 1, p. 105-115, 2007.

IPECE. Perfil básico municipal. Icapuí, 2012. Disponível em: http://www.ipece.ce.gov.br/publicacoes/perfil_basico/pbm-2012/Icapui.pdf/view. Acesso em: 09/07/2014.

JONES, D.L. *et al.* Organic acid behavior in soils - Misconceptions and knowledge gaps. *Plant Soil*, 248:31-41, 2003.

KLAR, A. E. **A Água no Sistema Solo-Planta-Atmosfera**. São Paulo: Livraria Nobel S.A., 1984.

LACERDA, C. F. *et al.* Eficiência de utilização de água e nutrientes em plantas de feijão-de-corda irrigadas com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento. **Engenharia Agrícola**, v. 29, n. 02, p. 221-230, 2009.

LACERDA, C. F.; CAMBRAIA, J.; OLIVA, M. A.; RUIZ, H. A.; PRISCO, J. T. Solute accumulation and distribution shoot and leaf development in two sorghum genotypes under salt stress. **Environmental and Experimental Botany**, Amsterdam, v. 49, n. 2, p. 107-120, 2003.

LANGE, A. *et al.* Efeito de deficiência de micronutrientes no estado nutricional da mamoneira cultivar Íris. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 1, p. 61-67, 2005.

LIBARDI, P. L. **Dinâmica da água no sistema solo-planta-atmosfera**. Piracicaba: O autor, 1995. 497p.

LIBARDI, P. L. **Dinâmica da água no solo**. Ed/USP São Paulo –SP, 2005, 329 p. LIMA, A. D. **Interação entre lâminas de irrigação e coberturas do solo, e adubação borácica na cultura do girassol**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal do Ceará. 73 f. ;il., color.; enc. Fortaleza, 2005.

LIMA, G. S. *et al.* Crescimento, teor de sódio, cloro e relação iônica na mamoneira sob estresse salino e adubação nitrogenada. **Comunicata Scientiae**, v.6, p.212-223. 2015.

LIMA, G. S.; NOBRE, R. G.; GHEYI, H. R.; SOARES, L. A. A.; SOARES, S. S. Utilização de águas salinas e doses de adubação nitrogenada no cultivo da mamoneira cv. BRS Energia. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*. ISSN 1981-8203, 2012.

LIMA, F. M. C. **Caracterização de um Sensor para Determinação da Água Disponível no Solo**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal da Paraíba, 1997.

LIMA, U. A. *et al.* **Biotecnologia Industrial**, v. 3, 1 ed., São Paulo: Edgard Blücher, p. 513-546 2001.

LIMA, G. S. *et al.* Crescimento, teor de sódio, cloro e relação iônica na mamoneira sob estresse salino e adubação nitrogenada. *Comunicata Scientiae* 6(2): 212-223, 2015.

LV, S. *et al.* Overexpression of an H⁺-PPase gene from *Thellungiella halophila* in cotton enhances salt tolerance and improves growth and photosynthetic performance. **Plant & Cell Physiology**, v. 49, n. 08, p. 1150-1164, 2008.

MANCUSO, P.C.S.; SANTOS H. F. **Reuso de água**. São Paulo: Manole, 2003. 579p.

MARQUES, M. O. *et al.* Uso de esgotos tratados em irrigação: Aspectos agronômicos e ambientais. In: BASTOS, R. K. X. (coord.). *Utilização de esgotos tratados em fertirrigação, hidroponia e piscicultura*. Rio de Janeiro: ABES, RIMA, 2003. p. 61-116.

MEDEIROS, P. V. **Análise da evapotranspiração de referência a partir de medidas lisimétricas e ajuste estatístico de estimativas de nove equações empírico-teóricas com base na equação de Penman-Monteith. (Dissertação de mestrado)**. Escola de Engenharia de São Carlos – USP, São Carlos, 2008, 241 p.

MEDEIROS; F. A. S. *et al.* Necessidade hídrica do meloeiro irrigado com água de diferentes salinidades e cultivado com ou sem cobertura do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, n.2, 2005.

MENDES, R.S. **Determinação da evapotranspiração por métodos direto e indiretos e dos coeficientes de cultura para a soja no Distrito Federal.** Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) - Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília. Brasília, 2006. 58p.

MENDONÇA, E. S.; STOTT, D. E. Characteristics and decomposition rates of pruning residues from a shaded coffee system in Southeastern Brazil. **Agroforestry Systems**, v.57, p.117–125, 2003.

MIERZWA, J.; HESPANHOL, I. Água na indústria. **Uso racional e reuso.** São Paulo: Oficina de textos. 2005, 143p.

MIRANDA, F. R.; YODER, R. E.; SOUZA, F. Instalação e calibração de um lisímetro de pesagem no projeto de irrigação Curu-Paraipaba-CE. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.3, n.1, p.107-110, Campina Grande, PB, DEAg/UFPB, 1999.

MORAES, N. A. – Estudo da Hidrodinâmica de um Novo Separador Líquido-Líquido: Aplicação ao Sistema Óleo-Bruto/Água Produzida. Dissertação de Mestrado, UFRN, Programa de Pós Graduação em Engenharia Química. Natal – Rio Grande do Norte, 2005.

MORENO CASELLES, J. *et al.* **Análisis y calidad del agua de riego.** Valencia: Servicios de Publicaciones de la UPV. E.T. S. A. O. 1996.220p. (Livro-Apunte, 58).

MUNNS, R., TESTER, M. Mechanisms of salinity tolerance. **Annual Review of Plant Biology**, v.59, p.651-681. 2008.

NEVES, A. L. R. *et al.* Tamanho e composição mineral de sementes de feijão-de-corda irrigado com água salina. **Revista Ciência Agronômica**, v.39, p.569-574, 2008.

NOBRE, R. G.; LIMA, G. S.; GHEYI, H. R.; SOARES, L. A. A.; SILVA, S. S.; SILVA, A. S.; LOURENÇO, G. S. Crescimento e produção da mamoneira cultivada sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação e doses de nitrogênio. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 3, p. 961-974, maio/jun. 2013.

NOBRE, R. G. *et al.* Teor de óleo e produtividade da mamoneira de acordo com a adubação nitrogenada e irrigação com água salina. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.47, n.7, p.991-999, 2012.

NOBRE, R. G. *et al.* Produção da mamoneira com águas salinas e adubação nitrogenada em diferentes estádios fenológicos. **II Inovagri Internartional Meeting**. Fortaleza, Brasil, 2014. <http://dx.doi.org/10.12702/ii.inovagri.2014-a022>.

NOBRE, J. G. A. *et al.* Influência da fertirrigação potássica na produtividade da mamoneira. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.4, n.4, p.207–216, 2010.

OLIVEIRA, C. A. S. Determinação da tensão de água em solo agrícola. **Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, n.8, p.1417-1425, 1999.

PAULO, E. M. *et al.* Deficiência de boro em mamona. **Bragantia**, v.48, p.241-247, 1989.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas. Guaíba: **Agropecuária**, 2002. 478p.

PEREIRA, A.R.; VILLA NOVA, N.A.; SEDIYAMA, G.C. Evapo(transpi)ração. Piracicaba: FEALQ, 1997.183p.

PERUCHI, F. **Evapotranspiração real a partir de medidas lisimétricas e sob diferentes condições de disponibilidade hídrica**. Dissertação (mestrado em engenharia hidráulica e saneamento). Escola de Engenharia de São Carlos – USP, São Carlos, 2009, 143 p.

PETROBRAS (2006). **Solução sustentável**. Infográficos. Disponível em: <http://super.abril.com.br/pordentrodatecnologia/index.shtml> . Acesso em 11 de set. 2012.

PHENE, C. J.; HOFFMAN, G. J.; RAWLINS, S. L. Controlling automated irrigation with a soil matric potential sensor. **Transactions of the ASAE**, v.16, n.4, p.773-776, 1973.

PINTO, N. L. de S. *et al.* **Hidrologia Básica**. São Paulo: Editora Edgar Blücher; Rio de Janeiro, Fundação Nacional de Material Escolar, 1976. 279p. Piracicaba: FEALQ, 1997.183p.

PIZARRO, F. **Drenaje agrícola y recuperación de suelos salinos**. 2. ed. Madrid: Editorial Española S.A., 1985. 542p.

RAUDKIVI, A.J. Hydrology: **An advanced introduction to hydrological processes and modelling**. New York: Pergamon, 1979. 479p.

REBOUÇAS, J. R. L. *et al.* Crescimento do feijão-caupi irrigado com água residuária de esgoto doméstico tratado. **Revista Caatinga**, v.23, n.1, pp. 97-102, 2010.

RABELLO, L. M.. Condutividade elétrica do solo, tópicos e equipamentos. São Carlos: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2009, 19 p. (Embrapa Instrumentação Agropecuária. Documentos, ISSN).

REICHARDT, K; TIMM, L. C. Solo, Planta e atmosfera: **Conceitos, processos e aplicações**. 2012, 524p.

REED, D.W. **Combating poor water quality with water purification systems**. In: Reed, D.W. (ed.), Water, Media and Nutrition for Greenhouse Crops. Illinois: USA, Ball Publishing, 1996, p.51-67.

RICE, C.A.; V. NUCCIO. 2000. Water Produced with Coal-Bed Methane. **United States Geological Survey**. Denver, Colorado, U.S. Department of the Interior. USGS Fact Sheet FS-156-00.

RICHARDS, L. A. (Ed.). **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington, DC: United States Salinity Laboratory Staff. 160p. 1954. (USDA. Agriculture Handbook, 60).

RHOADES, J. D.; KANDIAH, A.; MASHALI, A. M. **Uso de águas salinas para produção agrícola**. Tradução de Gheyi, H. R.; Sousa, J. R.; Queiroz, J. E. Campina Grande: UFPB, 1992. 117p.

SÁ, J. C. M. *et al.* Organic matter dynamics and carbon sequestration rates for a tillage chronosequence in a Brazilian Oxisol. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 65:1486-1499, 2001.

SAMPAIO JUNIOR J. **Efeitos da aplicação de resíduos de perfuração de poços de petróleo no desenvolvimento de plantas e no risco de lixiviação de metais**. 62f. 2012. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Curso de Pós-Graduação em Agronomia – Ciência do Solo.

SANTOS, M. S. *et al.* Produção de gergelim sob irrigação com água residuária tratada e adubação com torta de mamona. **Tecnologia & Ciência Agropecuária**, v.4, n.1, p.31-35, 2010.

SANTOS, R. F. *et al.* Aspectos econômicos do agronegócio da mamona. In: AZEVEDO, D. M. P.; BELTRÃO, N. E. M. (ed.) **O agronegócio da mamona no Brasil**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica. 2007. p. 23-41.

SANTOS, A.P.R. Efeito da irrigação com efluente de esgoto tratado, rico em sódio, em propriedades químicas e físicas de um argissolo vermelho distrófico cultivado com capim-tifton 85. Piracicaba: USP/ESALQ, 2004. 79p. (Tese - Doutorado).

SHANNON, M. C.; CERVINKA, V.; DANIE, D. A. **Drainage Water Re-use**. In: *Water Reports 13: Management of agricultural drainage water quality*: Rome: FAO - Food and Agriculture Organization of The United Nations, 1997. Disponível em: <http://www.fao.org/docrep/W7224E/w7224e00.htm>. Acesso em: 03 mar. 2014.

SCHLÜTER, H. E. P., **Caracterização e amostragem da água produzida do campo de fazenda belém, bacia potiguar, em níveis de potabilidade**. 2007. 159f. Dissertação de mestrado. pós-graduação de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

SEVERINO, L.S. *et al.* Fatores de conversão do peso de cachos e frutos para peso de sementes de mamona. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2006. 14p. (Boletim de pesquisa, 56).

SOUZA, E.A.; NEPTUNE, A.M.L. Resposta da cultura de *Ricinus Communis* L. à adubação e calagem. Científica, v.4, p.274-281, 1976.

SEVERINO, L. S., FERREIRA, G. B., MORAES, C. D. A., GONDIM, T. D. S., FREIRE, W. D. A., CASTRO, D. D., ... & BELTRÃO, N. D. M. (2006). Crescimento e produtividade da mamoneira adubada com macronutrientes e micronutrientes. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, **41**(4), 563-568.

SILVA, S. M. S. *et al.* Desenvolvimento e produção de duas cultivares de mamoneira sob estresse salino. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v.12, n.4, p.335–342, 2008. Campina Grande, PB, UAEAg/UFCG. Acesso em: 25/02/2015. Disponível em:[http://www. agriambi.com.br](http://www.agriambi.com.br).

SILVA, E. N. *et al.* Acúmulo de íons e crescimento de pinhão-mansô sob diferentes níveis de salinidade. **Revista Ciência Agronômica**, v. 40, n. 02, p. 240-246, 2009.

SILVA, R. R. **Água produzida na extração de petróleo**. 1998. Trabalho de conclusão de curso. Departamento de Hidráulica e saneamento. Universidade Federal da Bahia, Salvador.

SILVA, F. A S.; AZEVEDO C. A. V. Versão do programa computacional Assistat para o sistema operacional Windows. **Revista Brasileira de Produção Agroindustrial**, v. 4. n. 1, p. 71-78, 2002

SILVA, F. C.; FOLEGATTI, M. V.; MAGGIOTTO, S. R. Análise do funcionamento de um lisímetro de pesagem com célula de carga. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.7, n.1, p. 53-58, 1999.

SOUZA C. H. C. Uso integrado de práticas de manejo na recuperação de um solo salino-sódico cultivado com coqueiro, Tese de doutorado defendido na Universidade Federal do Ceará (UFC), 124 pg, 2012.

SOUZA, L. C.; QUEIROZ, J. E.; GHEYI, H. R. Variabilidade espacial da salinidade de um solo aluvial no semi-árido paraibano. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.4, n.1, p. 35-40, 2000.

SOUZA, E.C.A.; NATALE, W. Efeito do boro e do zinco na cultura da mamoneira. **Científica**, v.2, p.327-333, 1997.

SOUZA, N. C. *et al.* Produtividade da mamona irrigada com esgoto doméstico tratado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.5, p.478–484, 2010.

TÁVORA, F. J. A. F. A cultura da mamona. Fortaleza: EPACE, 1982. 111p.

THOMAS, J. E. (org.) (2004) **Fundamentos de engenharia do petróleo**. 2 ed. Interciência/PETROBRAS. Rio de Janeiro, 2004.

TIM, L. C. **Efeito do manejo da palha da cana-de-açúcar nas propriedades físico-hídricas de um solo**. Tese (Doutorado em Agronomia), Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/USP, Piracicaba, São Paulo, 2002, 115 p.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia Ciência e Aplicação**. 2 ed. Porto Alegre: Editora da Universidade: ABRH, 1993. 943p.

TUCCI C.E.M., **Hidrologia ciência e aplicação**, 3°. ed. rev., Porto Alegre, ABRH-Edusp, 2004, 943 p.

UN WWAP. United Nations World Water Assessment Programme **Water and industry**. **retrieved** december 16, 2009 from http://www.unesco.org/water/wwap/facts_figures/water_industry.shtml.

USEPA. UNITED STATES ENVIRONMENT PROTECTION AGENCY - **Guidelines for Water Reuse**. Technical Report No EPA/625/R-92/004. Washington: USEPA, 1992

VALE, L.S.; SEVERINO, L.S.; BELTRÃO, N.E. Efeito da salinidade da água sobre o pinhão-manso. In: CONGRESSO DA REDE BRASILEIRA DE BIODIESEL, 2006, Brasília: DF. **Anais...**Brasília, DF: MCT/ABIPTIT, v.1, p.87-90, 2006.

VASCONCELOS, R. S. *et al.* Qualidade da água utilizada para irrigação na extensão da microbacia do Baixo Acaraú. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada** v.3, n.1, p.30–38, 2009.

VEIL, J. A. *et al.* “**A white paper describing produced water from production of crude oil, natural gas, and coal bed methane**”. Report prepared by Argonne National Laboratory for U.S. Department of Energy. National Energy Technology Laboratory, 2004, 87 p. Disponível em:

http://www.fossil.energy.gov/programs/oilgas/publications/environment_otherpubs/prodwater paper.pdf. Acesso em: 19 fev. 2012.

VIANA, T. A; AZEVEDO, B. M.; **Meteorologia e climatologia agrícola**. Universidade Federal do Ceará (Apostila), 194p, 2008.

XAVIER, J. F. **Águas residuárias provenientes de indústrias e seus efeitos no crescimento e desenvolvimento da mamoneira BRS Nordestina**. Campina Grande: UFCG, 2007. 101p. Dissertação Mestrado.

WEISS, E.A. **Oil seed crops**. London: Longman, 1983. 659p.

WESTERHOFF, G. P. Un update of research needs for water reuse. In: **Water Reuse Symposium**, San Diego, California, Proceedings, 1984, p. 1731-42.

WHO. Reuse of effluents: **Methods wastewater Treatment and Health Safeguard**. WHO Technical report series. no 517, World Health Organization, Geneva, Switzerland, 1973.

YADAV, R. K. *et al.* Post-irrigation impact of domestic sewage effluent on composition of soils crops and ground water – a case study. **Environment International**, v.28, p.481-486, 2002.