



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA AGRÍCOLA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

TESE DE DOUTORADO

**SALINIDADE E NATUREZA CATIÔNICA DA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO
NA MORFOFISIOLOGIA E PRODUÇÃO DA MAMONEIRA**

GEOVANI SOARES DE LIMA

Campina Grande - PB

Dezembro - 2014

GEOVANI SOARES DE LIMA

Engenheiro Agrônomo

**SALINIDADE E NATUREZA CATIÔNICA DA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO
NA MORFOFISIOLOGIA E PRODUÇÃO DA MAMONEIRA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Área de Concentração em Irrigação e Drenagem, do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande, em cumprimento às exigências para obtenção do título de Doutor em Engenharia Agrícola.

Orientadores: Prof. Dr. Hans Raj Gheyi

Prof. Dr. Reginaldo Gomes Nobre

Campina Grande-PB

Dezembro – 2014



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA AGRÍCOLA
PROGRAMA PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA



PARECER FINAL DO JULGAMENTO DA TESE DE DOUTORADO

GEOVANI SOARES DE LIMA

**SALINIDADE E NATUREZA CATIÔNICA DA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO
NA MORFOFISIOLOGIA E PRODUÇÃO DA MAMONEIRA**

BANCA EXAMINADORA

PARECER

Prof. Dr. Hans Raj Gheyi – Orientador
UAEA/CTRN/UFPG

Prof. Dr. Reginaldo Gomes Nobre – Orientador
UAGRA/CCTA/ UFPG

Prof. Dr. Carlos Alberto Vieira de Azevedo– Examinador
UAEA/CTRN/UFPG

Profa. Dra. Vera Lúcia Antunes de Lima – Examinadora
UAEA/CTRN/UFPG

Dra. Rosiane de Lourdes Silva de Lima – Examinadora
PNPD/CNPq/UFPG

Dr. João Batista dos Santos – Examinador

Campina Grande-PB

Dezembro – 2014

Ao meu tio José Hilton da Silveira (In memoriam)

MINHA HOMENAGEM

A meus pais, José Sarmiento e Maria do Socorro e a meus irmãos Givanildo e José Soares, que sempre apoiaram meus estudos, contribuindo não só na educação mas também na formação moral, intelectual e espiritual.

OFEREÇO

A minha esposa, Lauriane Soares pelo carinho, compreensão e companheirismo; a minha filha Ana Júlia, fruto do amor mais forte e verdadeiro, minha continuidade.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus que por sua presença, luz e força, sempre me abençoa e capacita para tudo aquilo a que Ele me destina;

À Universidade Federal de Campina Grande, em especial à Coordenação de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, pela oportunidade da realização deste curso;

Ao meu orientador, Prof. Dr. Hans Raj Gheyi, expresso o meu agradecimento pela orientação e apoio incondicional que muito elevaram meus conhecimentos científicos e, sem dúvida, muito estimularam o meu desejo de querer, sempre, saber mais e a vontade constante de querer fazer melhor.

Ao meu co-orientador, Dr. Reginaldo Gomes Nobre, por todos os ensinamentos transmitidos e valiosa contribuição acadêmica e pela amizade e incentivo.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo financiamento da pesquisa e concessão da bolsa de estudo;

À Embrapa Algodão, pelo fornecimento das sementes de mamona e pela realização das análises de determinação do teor de óleo;

Aos examinadores Prof. Dr. Carlos Alberto Vieira de Azevedo, Profa Dra. Vera Lúcia Antunes de Lima, Dr. João Batista dos Santos e Dra. Rosiane de Lourdes Silva de Lima, por se disporem a contribuir com a melhoria deste trabalho.

Ao corpo docente da Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da UFCG: Josivanda Palmeira, Pedro Dantas, Hugo Orlando, Vera Lúcia, Carlos Azevedo e Lúcia Helena, por todos os ensinamentos e amizade.

Aos técnicos de laboratório do CTRN/LIS, Doutor e José Maria, por toda a ajuda durante a execução das análises deste experimento;

Aos secretários da Coordenação de Pós-graduação Maria Aparecida, Isaías e Gilson, pela atenção e ajuda dada sempre que precisei;

Ao amigo Diego Azevedo, por todo empenho e dedicação durante a execução desta pesquisa;

Aos amigos e colegas da pós-graduação em Engenharia Agrícola pela oportunidade de compartilhar momentos de alegria e dificuldades e pelo apoio na execução dos trabalhos, em especial a Jônatas Raulino, Guilherme, Elysson Marcks e José Raimundo.

A toda a minha família, por todo apoio, carinho e incentivo concedido durante toda minha formação,

Em especial a minha esposa, Lauriane Almeida dos Anjos Soares, que de forma carinhosa me deu força e coragem, apoiando-me nos momentos de dificuldades; quero agradecer também a minha filha, Ana Júlia, que, embora não tenha conhecimento disto iluminou, de maneira especial, meus pensamentos, levando-me a buscar mais conhecimentos. Sua existência é o reflexo mais perfeito da existência de Deus.

Meus sinceros agradecimentos a todos que, de alguma forma, contribuíram com esta conquista. Muito Obrigado.

SUMÁRIO

Pág.

LISTA DE TABELAS.....	viii
LISTA DE FIGURAS.....	x
LISTA DE APÊNDICES.....	xii
RESUMO.....	xiii
ABSTRACT.....	xv

CAPÍTULO I - Introdução geral e revisão de literatura

1. INTRODUÇÃO GERAL.....	18
1.1. OBJETIVOS.....	20
1.1.1. Objetivo Geral.....	20
1.1.2. Objetivos Específicos.....	20
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	21
2.1. A cultura da mamoneira.....	21
2.1.1. Aspectos botânicos.....	21
2.1.2. Aspectos socioeconômicos.....	22
2.2. Qualidade da água em regiões semiáridas.....	24
2.3. Uso de águas salinas na irrigação.....	26
2.3.1. Salinidade da água e seus efeitos sobre o crescimento e desenvolvimento da mamoneira.....	28
2.3.2. Salinidade da água e seus efeitos sobre o solo.....	30
2.4. Tolerância das plantas à salinidade.....	31
2.4.1. Mecanismos de tolerância das plantas à salinidade.....	33
3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	37

CAPÍTULO II - Emergência e crescimento da mamoneira em função da salinidade e natureza catiônica da água de irrigação

RESUMO.....	50
ABSTRACT.....	50
1. INTRODUÇÃO.....	51
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	53
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	57
4. CONCLUSÕES.....	78
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	79

CAPÍTULO III - Relações hídricas e trocas gasosas na mamoneira sob salinidade e natureza catiônica da água de irrigação

RESUMO.....	84
ABSTRACT.....	84
1. INTRODUÇÃO.....	85
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	87
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	92
4. CONCLUSÕES.....	117
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	117

CAPÍTULO IV - Produção da mamoneira 'BRS Energia' em função da salinidade e natureza catiônica da água de irrigação

RESUMO.....	125
ABSTRACT.....	125
1. INTRODUÇÃO.....	126
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	128
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	131
4. CONCLUSÕES.....	143
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	144

CAPÍTULO V

CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	150
----------------------------------	------------

LISTA DE TABELAS

	Pág.
CAPÍTULO II	
Tabela 1. Características químicas da água utilizada no tratamento testemunha.....	53
Tabela 2. Características químicas e físicas do solo utilizado no experimento, antes da aplicação dos tratamentos.....	54
Tabela 3. Resumo da análise de variância referente ao índice de velocidade de emergência (IVE) e à percentagem de emergência (PE) das plântulas de mamoneira irrigada com água de diferentes tipos de salinidade.....	57
Tabela 4. Estimativa de média referente ao índice de velocidade de emergência (IVE) e à percentagem de emergência (PE) das plântulas de mamoneira irrigada com água de diferentes tipos de salinidade.....	59
Tabela 5. Resumo da análise de variância referente à altura de planta (AP), diâmetro de caule (DC), número de folhas (NF) e área foliar (AF) das plantas de mamoneira irrigadas com água de diferentes tipos de salinidade, aos 20, 40, 60 e 80 dias após a semeadura.....	64
Tabela 6. Estimativa de média referente à altura de planta (AP), diâmetro de caule (DC), número de folhas (NF) e área foliar (AF) das plantas de mamoneira irrigada com água de diferentes tipos de salinidade, aos 20, 40, 60 e 80 dias após a semeadura.....	68
CAPÍTULO III	
Tabela 1. Características químicas da água utilizada no tratamento testemunha.....	87
Tabela 2. Características químicas e físicas do solo utilizado no experimento, antes da aplicação dos tratamentos.....	88
Tabela 3. Resumo da análise de variância referente ao potencial osmótico foliar (ψ_s), extravasamento de eletrólitos (EEF), teor relativo de água (TRA) e déficit de saturação hídrica (DSH) das plantas de mamoneira irrigada com água de diferentes tipos de salinidade, aos 20 e 40 dias após a semeadura.....	93
Tabela 4. Estimativa de média referente ao potencial osmótico foliar (ψ_s), extravasamento de eletrólitos (EEF), teor relativo de água (TRA) e déficit de saturação hídrica (DSH) das plantas de mamoneira irrigada com água de diferentes tipos de salinidade, aos 20 e 40 dias após a semeadura.....	95

Tabela 5.	Resumo da análise de variância referente à condutância estomática (<i>gs</i>), transpiração (<i>E</i>), taxa de assimilação de CO ₂ (<i>A</i>), concentração interna de CO ₂ (<i>CI</i>), eficiência instantânea de carboxilação (<i>EICI</i>) e eficiência intrínseca do uso da água (<i>EUA</i>) das plantas de mamoneira irrigada com água de diferentes tipos de salinidade, aos 20 e 40 dias após a semeadura.....	103
Tabela 6.	Estimativa de média referente à condutância estomática (<i>gs</i>), transpiração (<i>E</i>), taxa de assimilação de CO ₂ (<i>A</i>), concentração interna de CO ₂ (<i>CI</i>), eficiência instantânea de carboxilação (<i>EICI</i>) e eficiência intrínseca do uso da água (<i>EUA</i>) das plantas de mamoneira irrigada com água de diferentes tipos de salinidade, aos 20 e 40 dias após a semeadura.....	105

CAPÍTULO IV

Tabela 1.	Características químicas da água utilizada no tratamento testemunha.....	128
Tabela 2.	Características químicas e físicas do solo utilizado no experimento, antes da aplicação dos tratamentos.....	129
Tabela 3.	Resumo da análise de variância referente ao comprimento total (<i>CTRP</i>) e efetivo (<i>CERP</i>), número de frutos (<i>NFruRP</i>) e de sementes (<i>NSRP</i>) do racemo primário da mamoneira irrigada com água de diferentes tipos de salinidade.....	132
Tabela 4.	Estimativa de média referente ao comprimento total (<i>CTRP</i>) e efetivo (<i>CERP</i>), número de frutos (<i>NFruRP</i>) e de sementes (<i>NSRP</i>) do racemo primário da mamoneira irrigada com água de diferentes tipos de salinidade.....	134
Tabela 5.	Resumo da análise de variância referente à massa de sementes do racemo primário (<i>MSemRP</i>), massa de sementes total (<i>MSemT</i>), massa de cem sementes (<i>MCSR</i>) e densidade de sementes (<i>DSRP</i>) do racemo primário da mamoneira irrigada com água de diferentes tipos de salinidade.....	137
Tabela 6.	Estimativa de média referente à massa de sementes do racemo primário (<i>MSemRP</i>), massa de sementes total (<i>MSemT</i>), massa de cem sementes (<i>MCSR</i>) e a densidade de sementes (<i>DSRP</i>) do racemo primário da mamoneira irrigada com água de diferentes tipos de salinidade.....	141

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO II

	Pág.
Figura 1. Índice de velocidade de emergência - IVE (A) e percentagem de emergência (B) das plântulas de mamoneira, em função dos tipos de salinidade da água de irrigação.....	61
Figura 2. Altura de planta (A), diâmetro de caule (B), número de folhas (C) e área foliar (D) da mamoneira, em função dos diferentes tipos de salinidade da água de irrigação ao longo do tempo de estudos (dias).....	63
Figura 3. Altura de planta da mamoneira, aos 20 (A), 40 (B), 60 (C) e 80 (D) dias após a semeadura, em função dos tipos de salinidade da água de irrigação.....	66
Figura 4. Diâmetro de caule da mamoneira, aos 20 (A), 40 (B), 60 (C) e 80 (D) dias após a semeadura, em função dos tipos de salinidade da água de irrigação.....	70
Figura 5. Número de folhas da mamoneira aos 20 (A), 40 (B), 60 (C) e 80 (D) dias após a semeadura, em função dos tipos de salinidade da água de irrigação.....	73
Figura 6. Área foliar da mamoneira, aos 20 (A), 40 (B), 60 (C) e 80 (D) dias após a semeadura, em função dos tipos de salinidade da água de irrigação.....	76

CAPÍTULO III

Figura 1. Potencial osmótico foliar- ψ da mamoneira, aos 20 (A) e 40 (B) dias após a semeadura, em função dos tipos de salinidade da água de irrigação.....	94
Figura 2. Extravasamento de eletrólitos nos tecidos foliares da mamoneira, aos 20 (A) e 40 (B) dias após a semeadura, em função dos tipos de salinidade da água de irrigação.....	96
Figura 3. Teor relativo de água foliar- TRA da mamoneira, aos 20 (A) e 40 (B) dias após a semeadura, em função dos tipos de salinidade da água de irrigação.....	99
Figura 4. Déficit de saturação hídrica - DSH da mamoneira, aos 20 (A) e 40 (B) dias após a semeadura, em função dos tipos de salinidade da água de irrigação.....	101
Figura 5. Condutância estomática – g_s da mamoneira, aos 20 (A) e 40 (B) dias após a semeadura, em função dos tipos de salinidade da água de irrigação.....	104

Figura 6.	Transpiração - <i>E</i> da mamoneira, aos 20 (A) e 40 (B) dias após a semeadura, em função dos tipos de salinidade da água de irrigação.....	107
Figura 7.	Taxa de assimilação de CO ₂ - <i>A</i> da mamoneira, aos 20 (A) e 40 (B) dias após a semeadura em função dos tipos de salinidade da água de irrigação...	109
Figura 8.	Concentração interna de CO ₂ – <i>CI</i> da mamoneira, aos 20 (A) e 40 (B) dias após a semeadura, em função dos tipos de salinidade da água de irrigação.....	111
Figura 9.	Eficiência instantânea de carboxilação – <i>EICI</i> da mamoneira, aos 20 (A) e 40 (B) dias após a semeadura, em função dos tipos de salinidade da água de irrigação.....	113
Figura 10.	Eficiência intrínseca do uso da água - <i>EUA</i> da mamoneira, aos 20 (A) e 40 (B) dias após a semeadura, em função dos tipos de salinidade da água de irrigação.....	115

CAPÍTULO IV

Figura 1.	Comprimento total – <i>CTRP</i> (A) e efetivo - <i>CERP</i> (B) do racemo primário da mamoneira em função dos diferentes tipos de salinidade da água de irrigação.....	133
Figura 2.	Número de frutos - <i>NFruRP</i> (A) e de sementes – <i>NSRP</i> (B) do racemo primário da mamoneira em função dos tipos de salinidade da água de irrigação.....	135
Figura 3.	Massa de sementes do racemo primário – <i>MSemRP</i> (A) e massa de sementes total – <i>MSemT</i> (B) da mamoneira em função dos diferentes tipos de salinidade da água de irrigação.....	138
Figura 4.	Densidade de sementes – <i>DSRP</i> (A) e massa de cem sementes – <i>MCSR</i> (B) do racemo primário da mamoneira em função dos diferentes tipos de salinidade da água de irrigação.....	139

LISTA DE APÊNDICES

	Pág.
Apêndice 1. Recipiente coletor de drenagem (A) e vasos utilizados no acondicionamento das águas salinas (B).....	153
Apêndice 2. Detalhes da semeadura (A) e emergência da mamoneira cv. BRS Energia (B).....	153
Apêndice 3. Detalhes da determinação do extravasamento de eletrólitos (A) e do conteúdo relativo de água e déficit de saturação hídrica (B) na mamoneira.....	154
Apêndice 4. Fase de floração (A) e início da colheita dos racemos (B) da mamoneira.....	154
Apêndice 5. Detalhe do efeito dos tratamentos: S1 (A); S2 (B); S3 (C); S4 (D); S5 (E) e S6 (F) sobre a produção da mamoneira, aos 80 dias após a semeadura.....	155

LIMA, G. S. de. **Salinidade e natureza catiônica da água de irrigação na morfofisiologia e produção da mamoneira**. 2014. 155 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais. Campina Grande, PB.

RESUMO

Em áreas semiáridas do Nordeste do Brasil as concentrações de sais que afetam o crescimento e o desenvolvimento das plantas variam e os efeitos sobre os cultivos dependem, além de outros fatores, da concentração total quanto da composição iônica da água de irrigação. Neste contexto se avaliaram, no presente estudo, a emergência, o crescimento, a fisiologia, a produção da mamoneira cv. BRS Energia e os prováveis impactos referentes aos atributos químicos do solo em função da salinidade e da natureza catiônica da água utilizada na irrigação. O experimento foi desenvolvido em lisímetros de drenagem e condições de casa de vegetação em Argissolo Acinzentado Eutrófico de textura franco-arenosa, no município de Campina Grande-PB, durante o período de novembro de 2013 a fevereiro de 2014. Foram estudadas seis combinações de salinidade da água (S_1 - Testemunha; S_2 - Na^+ ; S_3 - Ca^{+2} ; S_4 - $Na^+ + Ca^{+2}$; S_5 - K^+ e S_6 - $Na^+ + Ca^{+2} + Mg^{+2}$), no delineamento em blocos casualizados com quatro repetições sendo cada parcela composta por cinco plantas úteis perfazendo o total de 120 unidades experimentais. Na testemunha (S_1), as plantas foram irrigadas com água de condutividade elétrica (CEa) de $0,6 \text{ dS m}^{-1}$ enquanto se utilizou, nos demais tratamentos (S_2 ; S_3 ; S_4 ; S_5 e S_6) água com CEa de $4,5 \text{ dS m}^{-1}$, obtida a partir de diferentes cátions, todos em forma de cloreto. Durante a condução do experimento as plantas foram irrigadas diariamente sendo a lâmina aplicada estimada através do balanço hídrico na zona radicular observando-se o volume aplicado e o volume drenado referente à irrigação anterior, acrescido de uma fração de lixiviação de 0,10. Aos 20 e 40 dias após a semeadura (DAS), avaliaram-se o crescimento e as trocas gasosas sendo que aos 60 e 80 DAS foram determinadas apenas as variáveis de crescimento e, a partir dos 70 DAS, iniciada a colheita dos racemos. A emergência e o crescimento da mamoneira são mais sensíveis à CEa quando comparada com a da natureza catiônica de água, mesmo que a menor redução tenha ocorrido nas plantas irrigadas com água potássica em

relação aos demais tipos; as altas concentrações de sódio presente na água de irrigação, proporcionam maior redução no status hídrico favorecendo danos severos à integridade da membrana celular; o íon cálcio foi o que mais contribuiu com o ajustamento osmótico nesta espécie tendo em vista o menor extravasamento de eletrólitos obtido em ambas as épocas estudadas; a natureza catiônica da água de irrigação provocou alterações na atividade fotossintética da mamoneira 'BRS Energia' cujos efeitos se intensificaram com o tempo de exposição ao estresse; por conseguinte, o aumento da eficiência do uso da água nas plantas sob irrigação com água potássica representou um dos mecanismos de adaptação às condições de estresse salino; entretanto, houve uma redução severa na produção da mamoneira, sobretudo nas plantas sob irrigação com água de composição iônica potássica. A adoção de fração de lixiviação de 0,10 não foi suficiente para evitar a salinização do solo, fato que resultou em aumento na condutividade elétrica do extrato de saturação (CEes) e na porcentagem de sódio trocável, em todos os tratamentos, inclusive na testemunha, observando-se valores mais elevados nos tratamentos em que se utilizou CEa de 4,5 dS m⁻¹.

Palavras- chave: *Ricinus communis* L, irrigação, salinidade

LIMA, G. S. de. **Salinity and cationic nature of irrigation water in morphophysiology and production of castor bean**. 2014. 155 f. Thesis (Doctoral in Agricultural Engineering). Federal University of Campina Grande, Center for Technology and Natural Resources. Campina Grande, PB.

ABSTRACT

In semiarid areas of the Northeast of Brazil, the salt concentrations that affect the growth and development of plants vary and the effects on crops depend, among other factors, on both the concentration total and the ionic composition of water utilised in irrigation. In this context, in this study the emergence, growth, physiology, production of castor bean cv. BRS Energia and the possible impacts on soil chemical properties were evaluated. The experiment was conducted in drainage lysimeters under greenhouse conditions using an Eutrophic Ultisol of sandy loam texture, in the municipality of Campina Grande-PB, during the period from November, 2013 to February, 2014. Six water salinity combinations were studied (S_1 - Control; S_2 - Na^+ ; S_3 - Ca^{+2} ; S_4 - $\text{Na}^+ + \text{Ca}^{+2}$; S_5 - K^+ and S_6 - $\text{Na}^+ + \text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2}$), in a randomized block design with four replications, each plot was composed of five plants, totaling 120 experimental units. In control (S_1), the plants were irrigated with water of electrical conductivity (ECw) of 0.6 dS m^{-1} , and the other treatments (S_2 , S_3 , S_4 , S_5 and S_6) water used was prepared with different cations, all in the chloride form and ECw of 4.5 dS m^{-1} . During the experiment, the plants were irrigated daily and the volume of water applied was estimated by the water balance in the root zone, observing the volume applied and drained in the previous irrigation, plus a leaching fraction of 0.10. At 20 and 40 days after sowing (DAS), the growth and gas exchange was evaluated, and at 60 and 80 DAS only the growth variables were determined, and from 70 DAS started the harvest of the racemes. The emergence and growth of castor bean are more sensitive to ECw compared to the cationic nature of water, and the smallest reduction occurs in plants irrigated with water containing potassium in comparison to other types; The high concentrations of sodium in irrigation water cause greater reduction in water status resulting in severe damage to cell membrane integrity; calcium ion is the largest contributor to the osmotic adjustment in this species, as the lowest electrolyte leakage was observed in this treatment, in both the periods

studied; the cationic nature of the irrigation water causes changes in photosynthetic activity of castor bean 'BRS Energia', and its effects increase with exposure time of stress; therefore increasing the efficiency of water use in plants irrigated with water containing potassium, represented one of the mechanisms of adaptation to salt stress although severe reduction in production of castor bean were observed. The adoption of leaching fraction of 0.10 was not enough to prevent soil salinization and resulted in increase in electrical conductivity of saturation extract EC_s and exchangeable sodium percentage (ESP) in all treatments including control higher values being observed in treatments irrigated with water of 4.5 dS m⁻¹ were used.

Key words: *Ricinus communis* L, irrigation, salinity

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO GERAL E REVISÃO DE LITERATURA

1. INTRODUÇÃO GERAL

Pertencente à família *Euphorbiaceae*, a mamoneira (*Ricinus communis* L.) tem potencial de exploração econômica no Nordeste brasileiro em virtude das suas características de xerofilismo e heliofilismo. É uma oleaginosa de significativo valor socioeconômico com produtos e subprodutos utilizados na indústria ricinoquímica e na agricultura, tornando a mamoneira de importante potencial econômico e estratégico para o país (RIBEIRO et al., 2009); seu óleo ou rícino, extraído pela prensagem das sementes, contém 90% de ácido graxo ricinoleico o que confere ao óleo suas características singulares possibilitando ampla utilização industrial (AMORIM NETO et al., 2001). Entre as aplicações industriais do óleo de mamona estão: têxtil, papéis, plásticos e borracha, perfumaria, cosméticos, farmácia, eletroeletrônicos, telecomunicações, tintas, adesivos, lubrificantes de baixa temperatura, colas, aderentes, inseticidas, tintas de impressão e medicina, entre outros (SILVA & MARTINS, 2009).

O Brasil se destaca como o terceiro maior produtor mundial desta cultura, atrás apenas da Índia e da China (MUTLU & MEIER, 2010). Segundo dados da CONAB (2014), no biênio 2013-2014 a produção brasileira foi de 58,3 mil toneladas de grãos com produtividade média de 577 kg ha⁻¹ em 101,3 mil ha de área plantada. O Nordeste brasileiro foi responsável por 56,9 mil toneladas de grãos com produtividade de 578 kg ha⁻¹ em uma área cultivada de aproximadamente 98,6 mil ha. O estado da Bahia ocupou a primeira colocação com produção interna de 51,5 mil toneladas, com rendimento de 630 kg ha⁻¹ em uma área de 81,8 mil ha. O Ceará se destacou como o segundo estado de maior produção nacional, com 3,3 mil toneladas e produtividade de 297 kg ha⁻¹ em uma área plantada de 11,2 mil ha.

Em regiões com condições climáticas adversas, sobretudo em áreas semiáridas, é comum a ocorrência de altas temperaturas, baixa pluviosidade, distribuição pluviométrica irregular e intensa evaporação na maior parte dos meses do ano, sendo a prática da irrigação a melhor forma de garantir a produção agrícola com segurança; entretanto, devido à pressão antrópica por águas de boa qualidade e à crescente necessidade de expansão da produção agrícola, em todo o mundo, a utilização de águas consideradas de qualidade inferior tem aumentado (ZENG et al., 2001; NOBRE et al., 2011). Contudo, a água disponível encontrada nesta região

apresenta composição que varia com a concentração total de sais, geologia local e tipo de fonte de água sendo encontradas, com facilidade, águas ricas em sódio, cálcio e magnésio e, em alguns casos, potássio (MEDEIROS et al., 2003).

O uso de água e/ou solos com problemas de sais poderá limitar o crescimento e a produção das culturas devido à redução do potencial osmótico na solução do solo podendo, também, ocasionar toxicidade iônica, desequilíbrios nutricionais ou ambos, em razão da acumulação excessiva de certos íons nos tecidos vegetais, especialmente cloro e sódio (FLOWERS, 2004); no entanto, a utilização dessas águas para a irrigação depende de alguns fatores incluindo-se o tipo e a concentração de sal, o tempo de exposições, estágio fenológico, fatores edafoclimáticos e da interação entre eles (ASHRAF & HARRIS, 2004).

A depleção quantitativa e qualitativa dos recursos hídricos tem conduzido a busca de alternativas para uso mais eficiente da água, tanto quanto para o aproveitamento racional de águas consideradas de qualidade inferior já que é quase obrigatória a utilização de águas salinas na agricultura em regiões semiáridas (ALVES et al., 2011). Neste sentido, diversos autores têm estudado o efeito da irrigação com água de níveis de salinidade diferentes sobre o cultivo da mamoneira (CAVALCANTI et al., 2005; OLIVEIRA et al., 2006; SILVA et al., 2008; LIMA et al., 2008; CAMPOS et al., 2009; SOARES et al., 2012; ALVES et al., 2012; NOBRE et al., 2013; SANTOS et al., 2013; LIMA et al., 2014a; LIMA et al., 2014b).

Sendo a maioria das culturas explorada na região classificada como sensíveis a moderadamente sensíveis à salinidade, surge a necessidade urgente de melhor caracterizar essas água, para se estabelecer o manejo adequado das plantas, solo e sistemas de irrigação, sobretudo para a cultivar de mamoneira BRS Energia (MEDEIROS et al., 2003). Deste modo, torna-se imperativo o desenvolvimento de novos estudos que explorem os efeitos dos diferentes tipos de cátions presentes na água de irrigação em plantas de mamoneira, como medida para identificar a fonte de sal que promova os menores impactos sobre a fisiologia, o crescimento e a produção, em condição de semiárido brasileiro.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo geral

Avaliar o crescimento, os aspectos fisiológicos e a produção da mamoneira cv. BRS Energia em função da irrigação com águas salinas e de natureza catiônica diferenciada, visando fornecer subsídios ao seu cultivo em regiões semiáridas.

1.1.2. Objetivos específicos

- Avaliar a emergência e o crescimento inicial da mamoneira irrigada com águas salinas e natureza catiônica distinta da água de irrigação;
- Analisar as alterações fisiológicas, através da determinação das trocas gasosas da mamoneira em função do uso de águas salinas com diferenciados tipos de cátions;
- Determinar o potencial osmótico foliar, o extravasamento de eletrólitos na membrana, o teor relativo de água e o déficit de saturação hídrica da mamoneira em função da concentração e da natureza catiônica da água de irrigação;
- Avaliar a influência da irrigação com água salina e dos diferentes cátions sobre a produção e seus componentes;
- Identificar o efeito relativo deletério sobre as variáveis de crescimento, trocas gasosas e produção da mamoneira, em função da irrigação com água de natureza catiônica distinta;
- Avaliar os prováveis impactos da salinidade e da natureza catiônica da água de irrigação, nos atributos químicos do solo.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. A cultura da mamoneira

2.1.1. Aspectos botânicos

A mamoneira (*Ricinus communis* L.) conforme classificação de Engler, tem a seguinte posição sistemática: Divisão: *Angiospermae* Brongniart, Classe: *Dicotyledoneae* DC, Ordem: *Geraniales* Lindley, Família: *Euphorbiaceae* Jussieu, Gênero: *Ricinus* Linnaeus, Espécie: *Ricinus communis* L. (RODRIGUES et al., 2002). Admite-se que, atualmente, o gênero *Ricinus* seja monotípico, com cinco subespécies e 25 variedades botânicas; deste modo, tem-se grande diversidade entre elas, em termos de porte, coloração das folhas e do caule, hábito de crescimento, conteúdo de óleo nas sementes e peso das sementes, com áreas de ocorrência individual ou sobrepostas, diferindo não só morfologicamente mas também genética e ecologicamente (BELTRÃO, 2003).

É uma oleaginosa arbustiva, heliófila, originária de clima tropical; evidências sugerem que seja nativa da África, originada provavelmente na Etiópia (FIGUEIREDO NETO et al., 2004). Atualmente, a mamoneira é cultivada em quase todo o mundo, sobretudo em zonas tropicais e subtropicais razão por que se adaptou muito bem às regiões do Brasil (ALLAN et al., 2008).

Seu caule é cilíndrico, grosso, podendo alcançar até 30 cm de diâmetro na base; sua coloração externa pode variar de verde-avermelhado a castanho-acinzentado. As folhas também apresentam variações na cor que vão do verde claro ao vermelho escuro, dependendo da presença do pigmento antocianina; são longas, com pecíolo fistuloso e comprido, com glândulas nectaríferas, alternas e peltadas (RODRIGUES, 2002). Apresenta sistema radicular que se estende, lateral e profundamente, com a parte aérea ramificada, de coloração verde ou avermelhada, apresentando ou não cera no caule, dependendo do cultivar (BELTRÃO et al., 2007).

Trata-se de uma planta monoica, cuja inflorescência é do tipo panicular, denominada racemo. Normalmente, as flores femininas ocupam a porção superior e as masculinas a parte basal da inflorescência, proporcionando dois tipos de

reprodução: autofecundação e fecundação cruzada sendo em geral, sua polinização anemófila (FREIRE et al., 2001).

O fruto da mamoneira é uma cápsula tricoca, que pode ser lisa ou com estruturas semelhantes a espinho, passível de ser deiscente ou indeiscente. Pode apresentar cor verde ou vermelha, com colorações intermediárias (BELTRÃO et al., 2007). A semente é constituída, em média, de 75% de amêndoa, 25% de casca e 35 a 55% de óleo; são encontrados o alcaloide ricinina e a proteína ricina, o que a torna imprópria para a alimentação de animais e humana, em sua forma natural (SAVY FILHO et al., 1999).

A planta apresenta diversidade na expressão do sexo a depender dos efeitos do ambiente e do manejo utilizado. Com condições de manejo adequado e em regiões de distribuição regular de chuvas ocorre a formação de plantas monoicas. Entretanto, observam-se modificações deste padrão a depender da idade da planta e dos racemos, fotoperíodo, temperatura e poda (PASSOS, 2009).

É uma espécie que cresce e floresce sob ampla extensão de condições climáticas embora sua habilidade para produzir satisfatoriamente seja limitada pela incidência de excesso de umidade, frio intenso ou temperaturas muito elevadas durante o florescimento, desenvolvendo-se melhor quando cultivada em ambientes com temperatura média variando entre 20 e 30°C, precipitação pluviométrica entre 450 e 1.000 mm ano⁻¹, solos bem drenados e porosos.

O hábito de crescimento é indeterminado, com floração e frutificação contínua e sequencial, respectivamente, ao longo do ciclo fenológico. O caule principal encerra o crescimento com o surgimento da primeira inflorescência racemosa, precursora do racemo primário ou principal (BELTRÃO et al., 2003).

2.1.2. Aspectos socioeconômicos

A mamoneira é um vegetal que apresenta grande importância econômica e social para o Brasil particularmente para a região Nordeste, na qual se concentram 90% da produção nacional. Explorada devido principalmente ao teor de óleo em suas sementes, fornecendo produtos e subprodutos muito utilizados na indústria e na agricultura (COSTA & HOESCHL, 2006).

O óleo da mamoneira é a única fonte comercial quase pura (90%), do ácido ricinoleico (COSTA et al., 2004). A elevada viscosidade e a estabilidade de tal produto são mantidas em larga faixa de condições de temperatura, possuindo também estabilidade à oxidação (SAVY FILHO et al., 1999), sendo o único produzido pela natureza, solúvel em álcool, possuidor de propriedades singulares que o tornam o mais versátil de todos os óleos vegetais com mais de 700 aplicações nas indústrias farmacêutica, cosmética e alimentícia (LOPES et al., 2005; SAVY FILHO, 2005).

Devido à alta capacidade de reações químicas oriundas do ácido ricinoleico, o óleo de mamona tem larga aplicação na fabricação de tintas, vernizes, cosméticos e sabões. No entanto, também é importante na produção de: plásticos e fibras sintéticas, colas isolantes, graxas, corantes, desinfetantes, germicidas, fungicidas, inseticidas, nylon, perfumes, farmacêuticos, próteses e implantes para substituir o silicone em cirurgias ósseas, de mama e de próstata e como aditivo do querosene em tanque de aviões e foguetes (AZEVEDO & LIMA, 2001; COSTA et al., 2004; SANTOS et al., 2007).

Além do óleo, a mamona ainda fornece a torta da mamona, um subproduto da prensagem das sementes para obtenção do óleo que pode atingir até 2.000 kg ha⁻¹ (FREIRE, 2001). Por ser rica em fibra em mais de 35% de sua constituição e possuir cerca de 5% de nitrogênio, apresenta grande capacidade de restauração de solos degradados considerada, portanto, importante adubo orgânico (COSTA et al., 2004), podendo ser utilizada no cultivo de café, citros, cana-de-açúcar, hortaliças e frutíferas, entre outras (SAVY FILHO et al., 1999). Existindo também a possibilidade de utilização para alimentação animal (SANTOS et al., 2001).

A mamoneira tem aproveitamento integral; suas folhas servem de alimento para o bicho-da-seda e, quando misturadas à forragem, aumentam a secreção láctea das vacas; suas hastes, além da celulose própria para a fabricação de papel, fornecem matéria-prima para a produção de tecidos grosseiros (EVANGELISTA et al., 2008).

Neste sentido criou-se uma perspectiva real para a expansão do seu cultivo em escala comercial, no semiárido brasileiro, especialmente na agricultura familiar (BELTRÃO et al., 2005), assumindo papel relevante para a economia desta região, seja como cultura alternativa de conhecida resistência à seca ou como fator fixador

de mão-de-obra, gerador de emprego e matéria-prima, valorizando potencialidades regionais e, ao mesmo tempo em que oferece soluções aos problemas econômicos e socioambientais (RAMOS et al., 2003).

Com o intuito de expandir os cultivos desta oleaginosa, com adaptabilidade a diferentes condições edafoclimáticas, a Embrapa Algodão lançou, em 2007, a cultivar BRS Energia, que apresenta porte anão e frutos indeiscentes, ciclo médio de 120 dias, compreendendo o período que engloba desde a germinação à maturação dos últimos racemos, com lançamento do primeiro cacho em aproximadamente 30 dias após a germinação; o teor de óleo de suas sementes é, em média, de 48%, com produtividade média de 1.800 kg ha^{-1} (MILANI, 2010).

2.2. Qualidade da água em regiões semiáridas

A região Nordeste do Brasil abrange uma área de $1.600.000 \text{ km}^2$, dos quais $1.500.000 \text{ km}^2$ são caracterizados como de insuficiência hídrica constituindo o "polígono das secas". Esta região apresenta uma área potencial de seis milhões de hectares; contudo, ocorrem as maiores incidências de áreas salinizadas, por meio da ação antrópica (BERNARDO, 1997).

A qualidade da água de irrigação é, nesta região, de crucial importância sobretudo devido à sua escassez sendo o agricultor obrigado a utilizar águas de qualidade inferior representando risco para a produção agrícola das culturas uma vez que a salinidade dessas águas varia de 350 a 25.000 ppm de sólidos totais dissolvidos, ocorrendo predominância de cloretos de sódio e magnésio (REBOUÇAS & BRAGA, 2002). Em certos casos essas águas promovem alterações nas condições físico-químicas que não existiam inicialmente no solo, em proporções não favoráveis ao crescimento e ao desenvolvimento da maioria das culturas (ALENCAR et al., 2003).

Segundo Yaron (1973) a composição de determinada água está de acordo com o tipo de rocha e do solo sobre o qual ela flui e da composição iônica da rocha matriz onde é armazenada. Kovda (1973) afirma que os principais sais presentes nos solos e águas são o cloreto de sódio (NaCl), o cloreto de cálcio (CaCl_2), o sulfato de magnésio (MgSO_4), o sulfato de sódio (Na_2SO_4), o cloreto de magnésio (MgCl_2) e o carbonato de sódio (Na_2CO_3).

Considerando que a água é um fator fundamental na produção vegetal e que em regiões semiáridas a concentração de sais nas águas varia de acordo com a taxa de evaporação e com a composição química das rochas e/ou dos solos em que essas águas circulam (COSTA & GHEYI, 1984). Neste sentido, diversos estudos foram realizados visando identificar um perfil potencial da qualidade das águas nessas regiões para fins de irrigação levando-se em conta sua constituição salina.

Leprun (1983) cita que, nas condições do Nordeste brasileiro, a salinidade da água varia, em média, na seguinte ordem: açude < rios < cacimbões < poços rasos, com a seguinte composição iônica, $\text{Na}^+ > \text{Ca}^{+2} > \text{Mg}^{+2} > \text{K}^+$ e $\text{Cl}^- > \text{HCO}^{-3} > \text{SO}^{-4}$, tendo as águas de açudes e poços com uma relação $\text{Ca/Mg} > 1$, ao passo que para as de cacimbões e rios este valor é menor que 1. Silva Junior et al. (1999) também verificaram, avaliando a composição iônica do cristalino do Nordeste brasileiro (estados da Paraíba, Rio Grande do Norte e Ceará) predomínio de águas cloretadas sódicas, com alguma variação, independentemente do nível de salinidade, dos locais e das fontes de origem.

Estudos realizados por Dantas Neto et al. (2009) com o intuito de caracterizar as águas usadas para irrigação na sub-bacia do rio Taperoá, PB, a partir de águas de diversas fontes, sendo 133 em açudes, 45 em poços amazonas, 12 em cacimbas e 9 em fontes de água corrente determinaram, de modo geral, elevadas concentrações de Na^+ predominando sobre o Cl^- , enquadrando-se nos parâmetros ligeiramente a moderado e severa restrição.

As águas subterrâneas do cristalino do Rio Grande do Norte têm sua composição química afetada por outros fatores que não somente devido à lixiviação de sais do solo, cujos teores de sódio são, inicialmente, mais elevados que os de cloreto, aumentando gradativamente com o incremento da salinidade porém a partir de certa concentração seu valor cai rapidamente ao mesmo tempo em que os teores de cálcio e magnésio aumentam. Com o aumento da salinidade, o sódio, o cálcio e o magnésio crescem simultaneamente e abaixo da linha de cloretos (SANTOS et al., 1984).

Em estudos da qualidade das águas da parte baixa da bacia do Acaraú, Mesquita (2004) identificou predominância da classe cloretada seguida da bicarbonatada; em contrapartida, Lobato et al. (2008) verificaram, avaliando o efeito da sazonalidade climática sobre a qualidade da água da barragem Santa Rosa,

também localizada no Baixo Acaraú, que tanto no período chuvoso quanto no seco a água possuía predominância da classe bicarbonatada sódica seguida da cloretada sódica.

Pesquisas desenvolvidas por Leite (1991) e Medeiros (1992) indicaram que a concentração de sulfatos nas águas do Nordeste dificilmente supera 10% do total de ânions e a concentração de sódio fica, em geral, acima de 50% do total de cátions enquanto o cálcio e o magnésio se equiparam. Quando a condutividade elétrica da água for inferior a $0,7 \text{ dS m}^{-1}$, em algumas situações, a concentração de cloretos poderá ser inferior à de bicarbonatos.

2.3. Uso de águas salinas na irrigação

Para atender ao acelerado crescimento populacional mundial surge, a cada dia, a necessidade de maior produção de alimentos razão por que se expandiram as áreas cultivadas em todo o mundo (MEDEIROS et al., 2012). Todavia, o uso intensivo de águas de boa qualidade tem acarretado, de forma crescente, diminuição da sua disponibilidade para novos e expansão de antigos projetos de irrigação (AYERS & WESTCOT, 1999).

Em se tratando de região semiárida do Nordeste do Brasil, na qual há maior possibilidade de ocorrência de escassez hídrica, torna-se evidente a necessidade de implementação de técnicas que viabilizem o uso de águas com qualidade inferior na produção agrícola (SINGH et al., 2009).

Desta forma, o aproveitamento na irrigação de fontes de água com qualidade inferior, como as salinas, vem sendo considerado alternativa relevante na utilização dos recursos naturais escassos. Embora as águas salinas sejam consideradas inadequadas para a irrigação, há amplas evidências da viabilidade de seu uso desde que se adotem práticas adequadas de manejo e culturas tolerantes à salinidade (RHOADES et al., 2000).

O uso na irrigação de águas com elevadas concentrações de sais deve ser seguido de práticas que impeçam a acumulação excessiva de sais no solo em níveis prejudiciais ao desenvolvimento das culturas. A lixiviação - passagem de água através do perfil do solo, é uma alternativa prática e eficiente para reduzir o excesso

de sais solúveis nos solos a uma taxa que permita manter a salinidade média na zona radicular em valores toleráveis às culturas (RHOADES et al., 1999).

O excesso de sais solúveis na solução do solo prejudica o desenvolvimento das plantas devido à diminuição do potencial osmótico na rizosfera que, juntamente com o potencial mátrico, representa resistência às raízes das plantas para absorver água do solo (SILVA et al., 2003). A redução no potencial hídrico dos tecidos, causada pelo excesso de sais, provoca restrição no crescimento visto que as taxas de alongação e de divisão celular dependem diretamente da extensibilidade da parede celular (ASHRAF & HARRIS, 2004).

Os danos devidos à toxicidade também podem reduzir significativamente o rendimento das culturas cuja magnitude depende do tempo, da concentração de íons, da tolerância das plantas e do uso da água pelas culturas. Frequentemente, os problemas de toxicidade acompanham ou potencializam os de salinidade ou de permeabilidade podendo surgir mesmo em baixa salinidade (AYERS & WESTCOT, 1999). Além disto, o estresse salino leva ao desbalanço nutricional uma vez que o excesso de sódio na solução do solo provoca distúrbio na absorção de nutrientes afetando as concentrações de nutrientes, tais como o Ca, Mg e K, na planta (VIANA et al., 2001).

Segundo Ayers & Westcot (1999) as espécies e cultivares de plantas se comportam diferentemente em relação à salinidade; cada espécie apresenta determinado nível de tolerância a partir do qual o rendimento começa a decrescer. De maneira geral, a salinidade afeta as plantas em todos os seus estádios sendo que, em algumas culturas mais sensíveis, isto pode variar dos primeiros estádios para os últimos (MAAS & HOFFMAN, 1977).

Algumas estratégias podem ser usadas para minimizar os impactos negativos do uso de água salina na irrigação, entre elas: a escolha de espécies ou cultivares mais tolerantes e a utilização dessas fontes de água nos estádios de maior tolerância das culturas, além de diversas outras práticas visando à obtenção de boa produção vegetal com controle da salinização/sodificação do solo (LACERDA et al., 2009).

Outra alternativa passível de reduzir a concentração de sais e aumentar a disponibilidade de água para irrigação, é a mistura de águas de diferentes qualidades (MALASH et al., 2005). Entretanto, a mistura de água só é viável quando

se dispõe de mais de uma fonte de água sendo isto possível em muitas situações práticas, particularmente quando se dispõe de fontes de águas superficiais e subterrâneas podendo-se optar, também, pelo uso cíclico de fontes de água com diferentes concentrações de sais (FLOWERS & FLOWERS, 2005). Esta estratégia reduz os impactos da salinidade sobre o solo e a planta, além de aumentar a eficiência do uso da água de boa qualidade.

2.3.1. Salinidade da água e seus efeitos sobre o crescimento e desenvolvimento da mamoneira

A salinidade na zona radicular ocasiona, em geral, efeito deletério no crescimento e na produção da mamoneira; neste sentido, estudos apontam como moderadamente sensível, com base na mensuração do seu desenvolvimento (crescimento e produção) em condições de salinidade (AYERS & WESTCOT, 1999; SANTOS et al., 2013). Desta forma, diversas pesquisas foram desenvolvidas visando avaliar a influência da irrigação com águas salinas sob o crescimento e o desenvolvimento da mamoneira.

Estudando o comportamento de duas cultivares de mamona (BRS-188 Paraguaçu e CSRN-367) em condições de casa de vegetação sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação (0,7 a 8,7 dS m⁻¹) Silva et al. (2005) relatam que a salinidade da água de irrigação reduz o percentual de germinação tornando a emergência mais lenta.

Cavalcanti et al. (2005) observaram, avaliando a influência da irrigação com água de diferentes salinidades (CEa de 0,7 a 4,7 dS m⁻¹) e proporções de íons de Na⁺+Ca⁺², sobre a germinação e crescimento inicial da mamoneira cv. BRS 149 Nordestina, aos 80 dias após a semeadura, redução nas variáveis de crescimento (altura de plantas, diâmetro de caule, número de folhas, fitomassa seca da parte aérea); entretanto, as proporções de íons não interferiram em nenhuma variável analisada.

Com o propósito de avaliar os efeitos da CEa variando de 0,7 a 13,7 dS m⁻¹ e proporções de Na⁺+Ca⁺²+ Mg⁺² e Na⁺ (0, 50, 100, 150, 200, e 250%) da composição de sal comumente encontrada na água da região de Trans-Pecos, nos Estados do Novo México e Texas, EUA, sobre a emergência e o crescimento inicial da

mamoneira, Severino et al. (2014) concluíram que o efeito da salinidade está mais associado à condutividade elétrica da água, ao invés da composição do sal.

Nobre et al. (2013) constataram, trabalhando com a cultura da mamoneira, decréscimo, tanto na altura de planta quanto no diâmetro de caule, à medida que os níveis de sais na água de irrigação aumentaram. Os autores acrescentam, ainda, que este aumento provocou decréscimo na produção do racemo primário da mamoneira ocorrendo redução de 16,28% por aumento unitário da CEa. Outros trabalhos encontrados na literatura com a mamoneira, relatam relação linear entre o aumento dos níveis de salinidade e reduções em parâmetros de crescimento (SILVA et al., 2011; ALVES et al., 2012).

Santos et al. (2013) observaram, estudando o crescimento da mamoneira BRS Energia em condições salinas (CEa: 0,12 a 4,8 dS m⁻¹), diminuição na taxa de crescimento absoluto e relativo para altura de plantas em função do aumento da salinidade da água durante os períodos avaliados (35-50 e 65 e 80 dias após a semeadura). Essas perdas no crescimento vegetativo se refletem em diminuição da produção associada a um número menor de frutos e ao seu menor peso (LIMA et al., 2012).

Ao avaliar a cultura da mamoneira cv. BRS Energia em diferentes níveis de salinidade da água de irrigação (CEa: 0,4 a 4,4 dS m⁻¹), Nobre et al. (2012) constataram que os efeitos do estresse salino sobre o teor de óleo dos racemos foram de pequena magnitude, até 1,4 dS m⁻¹ e mais pronunciados em racemos primários que em secundários. Esses autores observaram, ainda, que o incremento da salinidade da água aumenta o tempo para emissão do racemo primário e reduz a massa de cem sementes nos racemos primários e secundários.

Lima et al. (2014a) verificaram, em experimento conduzido em lisímetros de drenagem sob condições de campo, diminuição na altura de planta, diâmetro caulinar, área foliar, fitomassa seca de folhas e de raízes, massa de sementes total e viáveis, em função do aumento dos níveis de CEa (0,3 a 3,9 dS m⁻¹) aos 120 dias após a semeadura.

Silva et al. (2008) observaram que, em condições salinas, cultivares de mamoneira se comportam de maneira diferenciada sendo a cv. BRS Energia mais tolerante à salinidade que a Paraguaçu; contudo, constataram que acima de 4,7 dS m⁻¹ as plantas não frutificaram e o incremento salino reduziu em 96,8% a massa de

sementes do racemo primário das plantas sob CEa de $4,7 \text{ dS m}^{-1}$ em comparação com as sob CEa de $0,7 \text{ dS m}^{-1}$.

2.3.2. Salinidade da água e seus efeitos sobre o solo

Um solo pode ser considerado afetado por sais quando sua concentração na solução do solo chega a interferir no crescimento e na produtividade, quer das plantas naturalmente oriundas da área ou daquelas cultivadas (D'ALMEIDA et al., 2005; DIAS & BLANCO, 2010). Por outro lado, quando se considera a classificação do "U.S. Salinity Laboratory", os solos são caracterizados salinos quando apresentam pH inferior a 8,5, CEes superior a 4 dS m^{-1} e percentagem de sódio trocável (PST) inferior a 15%. Já os solos salinos-sódicos possuem pH próximo de 8,5, CEes superior 4 dS m^{-1} e PST superior a 15% e os solos sódicos possuem, em geral, pH na faixa de 8,5 a 10, CEes inferior a 4 dS m^{-1} e PST superior a 15% (OLIVEIRA et al, 2010).

Ademais, a ocorrência de solos salinos está associada a fatores naturais e/ou à atividade humana; no último caso, o emprego da irrigação incompatível com as características físicas, químicas e mineralógicas do perfil do solo tem sido apontado com uma das principais causas da sua salinização (FAGERIA & GHEYI, 1997).

Assim, o principal efeito da salinidade sobre os solos tem sido atribuído à ação do sódio sobre a estrutura. Esta propriedade depende da flocculação dos coloides e de sua cimentação, formando agregados. Outrossim, os efeitos são mais pronunciados quanto maior for o conteúdo de coloides, ou seja, quanto mais argiloso for o solo (PIZARRO, 1985). Acrescentam-se ainda, como os fatores responsáveis pela salinização do solo: a natureza química dos solos, as interações com outros fatores, aumentando na perda de permeabilidade e elevação do nível do lençol freático e as variáveis climáticas, como pluviosidade, irregularidade de distribuição das chuvas, além das perdas hídricas por evaporação e evapotranspiração (GURGEL et al., 2003).

A predominância de sódio em relação aos demais cátions no complexo de troca, pode promover dispersão e migração dos coloides no perfil do solo com obstrução de poros e redução da movimentação de ar e água, dificultando o crescimento dos vegetais (FREIRE et al., 2003). A dispersão da argila resulta em

alterações na estrutura do solo reduzindo o potencial osmótico da solução, produz alteração no pH, desbalanceamento nutricional e desestruturação de seus agregados. O efeito dos sais sobre a estrutura do solo ocorre, basicamente, pela interação eletroquímica existente entre os cátions e a argila. A característica principal deste efeito é a expansão da argila quando úmida e a contração quando seca, em virtude do excesso de sódio trocável. Se a expansão for exagerada, poderá ocorrer fragmentação das partículas ocasionando dispersão da argila e modificando a estrutura do solo (MEDEIROS et al., 2009).

Com a desestruturação do solo provocada pelo excesso de sais, pode haver aumento da densidade do solo e de sua retenção de água em virtude da redução do espaço poroso. A influência sofrida pela porosidade do solo é refletida nos seus parâmetros físico-hídricos de modo que há diminuição da condutividade hidráulica e da infiltração de água no solo (DIAS & BLANCO, 2010; FERREIRA et al., 2010). A redução do espaço poroso e o maior adensamento do solo podem ocasionar limitações na disponibilidade de ar e água para as plantas e aumentar a resistência para o crescimento das raízes além de proporcionar maiores problemas para a infiltração da água no perfil, interferindo na atividade biológica de microrganismos, além de facilitar o processo de erosão (SANTI et al., 2002).

Ressalta-se que este processo de desestruturação do solo é função de vários fatores dentre os quais se destacam: o material de origem, pela decomposição das rochas da crosta terrestre solubilizando os minerais e fornecendo sais e o clima, pela ação de elevadas temperaturas e baixas precipitações pluviais provocando redução no teor de umidade e, em consequência, aumentando a concentração de sais nos solos (DINIZ, 1995). Do ponto de vista antrópico, há outros fatores, destacando-se os métodos de irrigação, o índice de salinidade dos fertilizantes e o transporte de sais aos solos, através das irrigações (FREIRE, 1997).

2.4. Tolerância das plantas à salinidade

A tolerância das plantas à salinidade é a capacidade de se desenvolver e completar seu ciclo de vida sobre um substrato que contém elevada concentração de sais solúveis (GREENWAY & MUNNS, 1980). Além disto, as plantas tolerantes à salinidade devem ser capazes de ajustar o potencial osmótico das células, o que

envolve tanto a absorção como a compartimentalização de íons como a síntese de solutos orgânicos (FLOWERS, 2004).

A tolerância à salinidade é um componente protoplasmático da resistência ao estresse salino. Nesta tolerância está envolvido o grau em que o protoplasma (dependendo da espécie vegetal, do tecido e do vigor) pode tolerar um distúrbio no balanço iônico associado ao estresse salino e sua capacidade de tolerar a toxicidade e os efeitos osmóticos do aumento da concentração de íons (LARCHER, 2000).

As plantas que podem tolerar elevadas concentrações salinas na rizosfera sem afetar seu crescimento, são denominadas halófitas (FLOWERS & COLMER, 2008). Algumas halófitas apresentam mecanismos de exclusão de Na^+ a Cl^- que envolvem glândulas secretoras e pelos vesiculares enquanto plantas que não conseguem desenvolver-se sobre o substrato com elevado conteúdo de sais solúveis, são as glicófitas (KADER & LINDBERG, 2010). As glicófitas apresentam redução no crescimento e, quanto à salinidade, superam 10 mM enquanto as halófitas crescem em ambientes nos quais a concentração salina varia de 50 a 500 mM (ORCUTT & NILSEN, 2000).

A tolerância das plantas à salinidade é, porém, variável para as diferentes espécies e entre genótipos de uma mesma espécie visto que algumas produzem rendimentos aceitáveis em níveis relativamente altos de salinidade enquanto outras são mais sensíveis (TESTER & DAVENPORT, 2003), sendo os mecanismos de tolerância à salinidade processos complexos. Diversos estudos têm mostrado que as plantas desenvolveram várias respostas bioquímicas e fisiológicas para tolerar o estresse salino (NEMOTO & SASAKUMA, 2002) que funcionam de modo coordenado (YOKOI et al., 2002).

De acordo com Parida & Das (2005), as estratégias bioquímicas e fisiológicas em resposta ao estresse salino incluem acúmulo ou exclusão seletiva de íons; controle da absorção de íons pelas raízes e dos transportes em direção às folhas; compartimentalização de íons a nível celular e da planta inteira; síntese de solutos compatíveis; mudança da via fotossintética; alteração da estrutura da membrana; indução de enzimas antioxidantes e indução de hormônios vegetais

Esta diferença é devida à melhor capacidade de adaptação osmótica de algumas espécies capazes de absorver e acumular íons e utilizá-los na síntese de compostos orgânicos, além de terem maior capacidade de absorção de água,

mesmo em potenciais osmóticos muito baixos. É bastante útil esta variabilidade genética entre as plantas por permitir a seleção de espécies e cultivares mais tolerantes e capazes de produzir rendimentos economicamente aceitáveis, em condições de salinidade (AYERS & WESTCOT, 1999).

O conhecimento do nível de tolerância de diferentes espécies e cultivares à salinidade, são imprescindíveis. Esta variável pode auxiliar no cultivo daquelas que propiciarão as maiores produções com menor consumo de água para lixiviação; assim, pode ser possível viabilizar a utilização de água de salinidade moderada para irrigação sobretudo em condições de semiárido em que grande parte da água disponível contém teores relativamente altos de sais solúveis (VIANA, 2000). Ressalta-se que os dados de tolerância aos sais não podem fornecer, com precisão, as perdas de produtividade quantitativas em função da condutividade elétrica para todas as situações de vez que a resposta das plantas à salinidade varia com outros fatores, como condições climáticas e de solo, manejo agrônomico e de irrigação, genótipo, fase de crescimento e outros (RHOADES et al., 1992).

2.4.1. Mecanismos de tolerância das plantas à salinidade

O ajustamento osmótico constitui-se em importante mecanismo de tolerância das plantas às condições de baixo potencial hídrico no ambiente radicular, como ocorre em solos salinos (VERSLUES & BRAY, 2004). É, portanto, uma resposta das plantas ao abaixamento do potencial hídrico do meio de cultivo cuja principal finalidade é a manutenção da absorção de água considerada mecanismo relevante de aclimação das plantas às condições de seca ou de salinidade (HASEGAWA et al., 2000).

Obtém-se o ajuste osmótico através de substâncias compatíveis com as enzimas e os metabólitos ali presentes; esses solutos são, na maioria, orgânicos, como compostos nitrogenados e, em algumas plantas, açúcares, como o sorbitol (LÄUCHI & EPSTEIN, 1984). Neste sentido o aumento na concentração de compostos orgânicos solúveis no citoplasma de plantas submetidas ao estresse salino, visa balancear os potenciais osmóticos entre o citoplasma e o vacúolo e evitar danos aos sistemas enzimáticos (ASHRAF & FOOLAD, 2007). O ajuste osmótico é caracterizado pelo aumento da concentração de uma variedade de

solutos compatíveis, incluindo açúcares, ácidos orgânicos, aminoácidos e íons inorgânicos, especialmente o K⁺ (TAIZ & ZEIGER, 2013).

Entre os solutos compatíveis acumulados no citoplasma das células de plantas sob estresse salino, estão a prolina, o manitol, o sorbitol e a glicina-betaína. Além disso, o último também atua como antioxidante e, assim, desintoxica células afetadas pelas espécies reativas de oxigênio (EROs) (ASHRAF & FOOLAD, 2007). Esses compostos são moléculas que não interferem no metabolismo e se acumulam predominantemente no citoplasma uma vez que não só compartilham da propriedade de permanecerem invariáveis em pH neutro mas também de serem altamente solúveis em água (HASEGAWA et al., 2000; BRAY et al., 2000).

O acúmulo de prolina ocorre em diversas plantas submetidas a estresses abióticos, como o salino; estima-se que além do seu papel osmótico a prolina regula o estoque de nitrogênio na célula e protege as membranas contra danos ocasionados pelos sais (PARIDA & DAS, 2005). Apesar da forte correlação entre tolerância aos estresses e acúmulo de prolina em plantas superiores, esta relação não é universal (ASHRAF & FOOLAD, 2007) visto que alguns autores sugerem que o acúmulo de prolina é apenas uma consequência do estresse e não uma resposta adaptativa (COSTA et al., 2003).

A glicina-betaína, também conhecida como betaína, é um composto de amina quaternária (BRAY et al., 2000). Esta molécula possui a propriedade de interagir com macromoléculas, tanto hidrofílicas quanto hidrofóbicas, enzimas e complexos proteicos, além de ser extremamente solúvel em água (SAKAMOTO & MURATA, 2002). Ademais, apresenta efetiva participação como osmoprotetor estabilizando a estrutura das proteínas e da membrana celular (MELONI et al., 2004).

Em algumas espécies a acumulação de íons sódio e potássio também favorece o ajustamento osmótico e a redução do potencial hídrico da planta (FRICKE et al., 2006). O aumento nos valores da suculência foliar e no conteúdo relativo de água induzido pelo NaCl, foi relacionado por Martínez et al. (2004) como indicativo de ter ocorrido um ajustamento osmótico efetivo em plantas com estresse salino; entretanto, a compartimentalização de sais em nível radicular pode reduzir a produção da biomassa seca da raiz afetando sobretudo a relação raiz/parte aérea (MAGGIO et al., 2007).

Além das alterações no potencial osmótico as células vegetais, ainda têm seu estado iônico modificado como resultado da exposição ao estresse salino. O efeito iônico ocorre como consequência da elevada quantidade de íons dispersos no solo (FERREIRA, 2008). Assim, as plantas têm desenvolvido mecanismos complexos que contribuem para a adaptação ao estresse iônico provocado pela salinidade, destacando-se o controle adequado da absorção dos íons pela raiz, regulação do influxo no interior celular, controle no transporte a longa distância e compartimentalização em níveis celular e de tecidos (BLUMWALD, 2000; FLOWER & COLMER, 2008), processos mediados por transportadores de membrana de cátions e ânions (MAATHUIS, 2007).

O grau de acúmulo de sais nas raízes é função dos processos de exclusão, compartimentalização, velocidade de carreamento e reabsorção de sais no xilema (MUNNS & TESTER, 2008). A exclusão e a compartimentalização de Na^+ são essenciais para adaptação ao estresse salino. Além de diminuir a concentração de Na^+ no citoplasma, a compartimentalização contribui para o ajuste osmótico e mantém a absorção de água. Comumente, a compartimentalização ocorre no vacúolo (HASEGAWA et al., 2000), mas pode ocorrer em outras organelas, como plastídeos e mitocôndria (ZHU, 2003).

Para eliminar as altas concentrações intracelulares de íons, é realizada a regulação de proteínas transportadoras de íons que integram a membrana plasmática e a membrana do vacúolo (ASHAF & HARRIS, 2004). Tais proteínas têm sido denominadas transportadores de membrana ou proteínas transportadoras de íons e estão envolvidas com o controle do potencial de membrana e com a transdução de sinais em plantas (HASEGAWA et al., 2000).

Em condições de salinidade o Na^+ compete com K^+ por um sistema de transporte comum afetando negativamente a absorção de K^+ (NIU et al., 1995). Entretanto, a homeostase intracelular do Na^+ pode ser modulada por íons de Ca^{+2} , de vez que mudanças no potencial de membrana causadas pela entrada de Na^+ no citosol promovem a abertura de canais de Ca^{+2} , os quais ativam vias de transdução para a percepção do estresse, além de introduzir a abertura de outros canais, tais como os K^+ , resultando em aumento na seletividade de acúmulo intracelular neste sistema de transporte em favor dos íons de potássio (MAATHUIS et al., 2006). Neste contexto, os mecanismos de transporte de Na^+ e K^+ exercem papel central na

homeostase iônica e na resistência ao estresse salino, sobretudo em plantas cultivadas sob baixo nível de K^+ e em solos salinos (APSE & BLUMWALD, 2007).

Desta forma, a capacidade das plantas em manter altas relações K^+/Na^+ no citosol, tem sido sugerida como um dos elementos-chave para tolerar o estresse salino e é, muitas vezes, utilizada como critério para selecionar materiais sensíveis e tolerantes à salinidade (AKTAS et al., 2006; ASHRAF & HARRIS, 2004; EKER et al., 2006). Porém, a baixa relação K^+/Na^+ e altas concentrações de sais totais inativam as enzimas e inibem a síntese proteica. Segundo esses autores, em termos de desordem nutricional um dos principais efeitos nocivos do íon Na^+ é o de deslocar o íon Ca^{+2} da membrana plasmática das células radiculares com a consequente perda da seletividade iônica das raízes. A membrana plasmática tem em condições normais, alta especificidade pelo íon K^+ , a qual é reduzida devido ao deslocamento do íon Ca^{+2} , ocasionado pelo íon Na^+ . É importante destacar que o íon potássio é ativador de reações enzimáticas vitais, contribui significativamente para a manutenção do potencial osmótico do vacúolo e turgor celular e é essencial na síntese de proteínas (TESTER & DAVENPORT, 2003).

Além desses mecanismos supracitados as plantas quando expostas às condições de estresse salino, podem desenvolver alterações morfológicas e anatômicas como redução do crescimento e área foliar (TAIZ & ZEIGER, 2013); aumento da espessura do mesófilo foliar devido ao aumento no número e no comprimento das células paliçádicas e no número de camadas de células paliçádicas e esponjosas (PARIDA et al., 2004). Pode-se, também, observar aumento da suberização das células endodérmicas radiculares e da formação das estrias de Caspary em plantas cultivadas sob estresse salino como forma de reduzir o transporte de Na^+ pela via apoplástica (OLIVEIRA et al., 2010).

Muitas halófitas possuem mecanismos associados de tolerância à salinidade capazes de acumular sais no interior das células e eliminá-los através das folhas, por meio de vesículas especializadas localizadas em sua superfície (SOUZA et al., 2011). Conforme Porto et al. (2006), as halófitas têm habilidade de suportar não apenas altos níveis de salinidade do complexo solo-água mas também de acumular quantidades significativas de sais em seus tecidos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AKTAS, H.; ABAK, K.; ÇAKMAK, I. Genotypic variation in the response of pepper to salinity. **Scientia Horticulturae**, v.110, n.3, p. 260-266, 2006.
- ALENCAR, R. D.; PORTO FILHO, F. Q.; MEDEIROS, J. F. de; HOLANDA, J. S.; PORTO, V. C.; FERREIRA NETO, N. M. Crescimento de cultivares de melão amarelo irrigadas com água salina. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.7, n.2, p.221-226, 2003.
- ALLAN, G.; WILLIAMS, A.; RABINOWICZ, P.D.; CHAN, A.P.; RAVEL, J.; KEIM, P. Worldwide genotyping of castor bean germplasm (*Ricinus communis* L.) using AFLPs and SSRs. **Genetic Resources and Crop Evolution**, n.55, n.3, p.365–378, 2008.
- ALVES, A. N.; GHEYI, H. R.; UYEDA, C. A.; SOARES, F. A. L.; NOBRE, R. G.; CARDOSO, J. A. F. Uso de águas salinas e adubação nitrogenada no cultivo da mamoneira BRS-Energia. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.6, n.2, p.151-163, 2012.
- ALVES, M. S.; SOARES, T. M.; SILVA, L. T.; FERNANDES, J. P.; OLIVEIRA, M. L. A.; PAZ, V. P. S. Estratégias de uso de água salobra na produção de alface em hidroponia NFT. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.5, p.491-498, 2011.
- AMORIM NETO, M. da S.; ARAÚJO, A.E. de; BELTRÃO, N.E. de M. Clima e solo. In: AZEVEDO, D. M. P. de; LIMA, E. F. (ed. Téc.). **O agronegócio da mamona no Brasil**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2001. cap. 3, p.63-76.
- APSE, M. P.; BLUMWALD, E. Na⁺ transport in plants. **FEBS Letters**, v.581, n.2, p.2247-2254, 2007.
- ASHRAF, M.; FOOLAD, M. R. Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. **Environmental and Experimental Botany**, v.59, n.2, p.206-216, 2007.
- ASHRAF, M.; HARRIS, P. J. C. Potential biochemical indicators of salinity tolerance in plants. **Plant Science**, v.166, n.1, p.3-16, 2004.

- AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade de água na agricultura**. 2.ed. Campina Grande: UFPB, 1999, 153p. FAO. Estudos de Irrigação e Drenagem, 29 revisado 1
- AZEVEDO, D. M. P.; LIMA, E. F. (ed.). **O agronegócio da mamona no Brasil**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2001. 350p.
- BELTRÃO, N. E. de M. **Crescimento e desenvolvimento da Mamoneira (*Ricinus communis* L.)**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2003. 4p. (Embrapa Algodão. Comunicado Técnico, 146).
- BELTRÃO, N. E. M.; AZEVEDO, D. M. P. Fitologia. In: AZEVEDO, D. M. P.; BELTRÃO, N. E. M. **O agronegócio da mamona no Brasil**. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2007. p.118-137.
- BELTRÃO, N. E. de M.; CARTAXO, W. V.; PEREIRA, S. R. P.; SOARES, J. J.; SILVA, O. R. R. F. **O cultivo sustentável da mamona no Semiárido Brasileiro**. Campina Grande: EMBRAPA-CNPA, 2005. p.23. (EMBRAPA-CNPA. Circular técnica, 84).
- BELTRÃO, N. E. M.; VALE, L S. Planta oleaginosas e suas características. **Revista Biodiesel**, n.22, p.34-35, 2007.
- BERNARDO, S. Impacto ambiental da irrigação no Brasil. In: Silva, D. D. da.; Pruski, F. F. (ed.). **Recursos hídricos e desenvolvimento sustentável da agricultura**. Viçosa: MMA, SRH, ABEAS, UFV, 1997. 252p.
- BLUMWALD, E.; Sodium transport and salt tolerance in plant cells. **Current Opinion of Cell Biology**, v.12, n.4, p.76-112, 2000.
- BRAY, E. A.; BAILEY-SERRES, J.; WERETILNYK, E. Responses to abiotic stresses. In: BUCHANAN, B. B.; GRUISSEM, W.; JONES, R. L. (eds.) **Biochemistry & molecular biology of plants**. Rockville: American Society of Plant Physiologists, 2000. p.1158-1203.
- CAMPOS, V. B. CAVALCANTE, L. F.; RODOLFO JÚNIOR. F.; SOUSA, G. G.; MOTA, J. K.. Crescimento inicial da mamoneira em resposta à salinidade e biofertilizante bovino. **Magistra**, v. 21, n.1, p.41-47, 2009.
- 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**, v.9, Suplemento, p. 57-61, 2005.

- CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. acesso em: 21 abril, 2014.
- COSTA, F.C.; HOESCHL, H. C. **Gestão do conhecimento na caia produtiva de biodiesel**. In: Congresso Brasileiro Tecnologia Biodiesel, 1, 2006, Brasília. Anais... Brasília: Associação Brasileira das Instituições de Pesquisa Tecnológica (Abipti) e Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), 2006. p.30-34.
- COSTA, F. X.; SEVERINO, S. L.; BELTRÃO, N.E.M.; FREIRE, R.M.; LUCENA, A.M.A.; GUIMARÃES, M.M.B. Avaliação de teores químicos na torta de mamona. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v.4, n.2, p.132-144, 2004.
- COSTA, H. M.; RAMOS, V. D.; ABRANTES, T.A.S.; CASTRO, D.F.; VISCONTE, L.L.Y.; NUNES, R.C.R. Efeito do óleo da mamona em condições borracha natural contendo sílica. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v.14, n.1, p. 46-50, 2004.
- COSTA, P. H. A.; SILVA, J. V.; BEZERRA, M. A.; ENÉAS FILHO, J.; PRISCO, J. T.; GOMES FILHO, E. Crescimento e níveis de solutos orgânicos e inorgânicos em cultivares de *Vigna unguiculata* submetidos à salinidade. **Revista Brasileira de Botânica**, v.26, n.3, p.289–297, 2003.
- COSTA, R. G.; GHEYI, H. R. Variação da qualidade da água de irrigação da microrregião homogênea de Catolé do Rocha, PB. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.19, n.18, p.1021-1025, 1984.
- D'ALMEIDA, D. M. B. A.; ANDRADE, E. M.; MEIRELES, A. C. M. Importância relativa dos íons na salinidade de um Cambissolo na Chapada do Apodi, Ceará. **Engenharia Agrícola**, v.25, n.3, p.615-21, 2005.
- DANTAS NETO, J.; BARRETO, J. F.; FARIAS, S. A. R.; CHAVES, L. H. G. Qualidade das águas da sub-bacia do Rio Taperoá, para fins de irrigação. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v.9, n.2, p.138-144, 2009.
- DIAS, N. S.; BLANCO, F. F. Efeitos dos sais no solo e na planta. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. (ed.). **Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados**. Fortaleza: INCTSal. 2010. p.129-142.
- DINIZ, I. A. **Cultivo do feijão guandu (*Cajanus cajan*) em solo salinizado tratado com matéria orgânica e drenagem**. 1995. 50f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências Agrárias, Areia, PB.

- EKER, S.; COMERTPAY, G.; KONUSKAN, O.; ULGER, A. C.; OZTURK, L.; ÇAKMAK, I. Effect of salinity stress on dry matter production and ion accumulation in hybrid maize varieties. **Turkish Journal of Agriculture and Forestry**, v.30, n.1, p.365-373, 2006.
- EVANGELISTA, J.P.C.; SOUZA, L.D.; ARAÚJO, A.M.M; MATIAS, L.G.O. **Estudo dos métodos de extração nas propriedades fluidodinâmicas do biodiesel derivado desses óleos**. In: Congresso Brasileiro de Química, 48; Química na Proteção ao Meio ambiente e a Saúde, 2008, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: CBQ, Iniciação Científica, 2008.
- FAGERIA, N. K.; GHEYI, H. R. Melhoramento genético das culturas e seleção de cultivares. In: GHEYI, H. R.; QUEIROZ, J. E.; MEDEIROS, J. F. (eds.) **Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada**. Campina Grande: UFPB-SBEA, 1997. Cap. 11, p. 363-383.
- FERREIRA, P. A.; DILVA, J. B. L. da; RUIZ, H. A. Aspectos físicos e químicos de solos em regiões áridas e semiáridas. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. **Manejo da salinidade na agricultura**. Fortaleza, INCT Sal, 2010. p. 472.
- FIGUEIREDO NETO, A.; ALMEIDA, F. A.C.; GOUVEIA, J.P.G. ; NÓBREGA, M.B.M.; CARNEIRO, R.M.; PEDROZA, J.P. Divergência genética em acessos de mamona (*Ricinus communis* L.) baseada nas características das sementes. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v.4, n.2, p.1–10, 2004.
- FLOWERS, T. J. Improving crop salt tolerance. **Journal of Experimental Botany**, v.55, n.396, p.307-319, 2004.
- FLOWERS, T. J.; COLMER, T. D. Salinity tolerance in halophytes. **New Phytologist**, v.179, n.4, p.945-963, 2008.
- FLOWERS, T. J.; FLOWERS, S. A. Why does salinity pose such a difficult problem for plant breeders. **Agricultural Water Management**, v.78, n.1, p.15-24, 2005.
- FREIRE, E. C.; LIMA, E. F.; ANDRADE, F. P. Melhoramento Genético. In: AZEVEDO, D. M. P.; LIMA, E. F. **O agronegócio da mamona no Brasil**. Campina Grande, PB: Embrapa Algodão; Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2001. p.229-256.
- FREIRE, M. B. G. dos S.; RUIZ, H. A.; RIBEIRO, M. R.; FERREIRA, P. A.; ALVAREZ, V. H. & FREIRE, F. J. Condutividade hidráulica de solos de Pernambuco em resposta à condutividade elétrica e RAS da água de irrigação.

- Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.7, n.1, p.45- 52, 2003.
- FREIRE, M. F. da. S. Transporte de sais aos solos pelas águas de irrigação. **Anais do Curso de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água** , v.19, p.41-51, 1997.
- FREIRE, R. M. M. Ricinoquímica. In: Azevedo, D. M. P. de Lima, E. F. (e.). **O Agronegócio da no Brasil**. Embrapa Algodão; Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2001, p.295-335.
- FRICKE, W.; AROVA, G. A.; WEI, W.; ALEXANDERSSON, E.; MILLER, A.; KJELLBOM, P. O.; RICHARDSON, A.; WOJCIECHOWSKI, T.; SCHREIBER, L.; VESELOV, D.; KUDOYAROVA, G.; VOLKOV, V. The short-term growth response to salt of the developing barley leaf. **Journal of Experimental Botany**, v.57, n.5, p.1079–1095, 2006.
- GREENWAY, H.; MUNNS, R. Mechanisms of salt tolerance in monhalophytes. **Annual Review of Plant Physiology**, v.31, s.n., p.149-190, 1980.
- GURGEL, M. T.; MEDEIROS, J. F.; NOBRE, R. G.; NETO, F. C.; SILVA, F. V. Evolução da salinidade no solo sob cultivo de melão irrigado com águas de diferentes salinidades. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v.3, n.2, p.1-13, 2003.
- HASEGAWA, P. M.; BRESAN, R. A.; ZHU, J.; BOHNERT, H. J. Plant cellular and molecular responses to high salinity. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v.51, s.n., p.463-499, 2000.
- KADER, M. A.; LINDBERG, S. Cytosolic calcium and pH signaling in plants under salinity stress. **Plant Signaling & Behavior**, v.5, n.3, p.233–238, 2010.
- KOVDA, V. A.; YARON, B.; SHALHEVET, Y. Quality of irrigation water. In: KOVDA, V. A.; BERG, C. V.; HAGAN, R. M. (eds.) **International source book on irrigation, drainage and salinity**. 1973. cap.7, p.177-205.
- LACERDA, C. F.; NEVES, A. L. R.; GUIMARÃES, F. V. A.; SILVA, F. L. B. da; PRISCO, J. T.; GHEYI, H. R. 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.2, p.221-230, 2009.
- LAUCHI, A.; EPSTEIN, E. Mechanisms of salt tolerance in plants. **California Agriculture**, v.38, n. 10, p.18-21, 1984.

- LEITE, R. M. **Caracterização da qualidade da água superficial na Bacia Capiá-AL para fins da irrigação**. Campina Grande:Universidade Federal da Paraíba. 1991. 96p. (DissertaçãoMestrado)
- LEPRUN, J. C. **Primeira avaliação das águas superficiais do Nordeste: Relatório final do Convênio Manejo e Conservação do Solo do Nordeste Brasileiro**. Recife: SUDENE, DRN, 1983. p.91-141. (Convênio SUDENE/ORSTOM).
- LIMA, C. B.; SANTOS FILHO, S. V.; SANTOS, M. A.; OLIVEIRA, M. Desenvolvimento da mamoneira, cultivada em vasos, sob diferentes níveis de salinidade da água em Latossolo Vermelho-Amarelo eutrófico. **Revista Caatinga**, v.21, n.5, p.50-56, 2008.
- LIMA, G. S. de; NOBRE, R. G.; GHEYI, H. R., SOARES, L. A. dos A.; LOURENÇO, G. da S. Resposta da mamoneira cv. BRS Energia a diferentes níveis de salinidade da água e doses de nitrogênio. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v.7, n.2, p.79-87, 2012.
- LIMA, G. S. de; NOBRE, R. G.; GHEYI, H. R.; SOARES, L. A. dos A.; LOURENÇO, G. da S.; SILVA, S. S. da. Aspectos de crescimento e produção da mamoneira irrigada com águas salinas e adubação nitrogenada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, n.6, p.615-622, 2014a.
- LIMA, G. S. de; NOBRE, R. G.; GHEYI, H. R.; SOARES, L. A. dos A.; SILVA, S. S. da. Respostas morfofisiológicas da mamoneira, em função da salinidade da água de irrigação e adubação nitrogenada. **Irriga**, v.19, n.1, p.130-136, 2014b.
- LOBATO, F. A. de O.; ANDRADE, E. M. de; MEIRELES, A. C. M.; CRISOSTOMO, L. A. Sazonalidade na qualidade da água de irrigação do Distrito Irrigado Baixo Acaraú, Ceará. **Revista Ciência Agronômica**, v.39, n.1, p.167-172, 2008.
- LOPES, J. S.; BELTRÃO, N. E. de. M.; PRIMO JÚNIOR, J. F. Produção de mamona e biodiesel: uma oportunidade para o Semi-árido. **Revista Bahia Agrícola**, v.7, n.1, p.37-41, 2005.
- MAAS, E. V.; HOFFMAN, G. H. Crop salt tolerance - Current assessment. **Journal of the Irrigation and Drainage Division, American Society of Civil Engineers**, v.103, n.2, p.115-134, 1977.
- MAATHUIS, F. J. M. The role of monovalent cation transporters in plant responses to salinity. **Journal of Experimental Botany**, v.57, Special Issue, p.1137-1147, 2006.

- MAATHUIS, F. J. M. Monovalent cation transporters; establishing a link between bioinformatics and physiology. **Plant and Soil**. v.301, n.1-2, p.1-15, 2007.
- MAGGIO, A.; RAIMONDI, G.; MARTINO, A.; DE PASCALE, S. Salt stress response in tomato beyond the salinity tolerance threshold. **Environmental and Experimental Botany**, v.59, n.3, p.276-282, 2007.
- MALASH, N.; FLOWERS, T. J.; RAGAB, R. Effect of irrigation systems and water management practices using saline and non-saline water on tomato production. **Agricultural Water Management**, v.78, n.1-2, p.25-38, 2005.
- MARTÍNEZ, J. P.; LUTTS, S.; SCHANCK, A.; BAJJI, M.; KINET, J. M. Is osmotic adjustment required for water stress resistance in the Mediterranean shrub *Atriplex halimus* L. **Journal of Plant Physiology**, v.161, n.9, p.1041-1051, 2004.
- MEDEIROS, J. F. de. **Qualidade de água de irrigação e evolução da salinidade nas propriedades assistidas pelo 'GAT' nos estados de RN, PB e CE**. Campina Grande: UFPB, 1992. 173p. (Dissertação de Mestrado).
- MEDEIROS, J. F. de; GHEYI, H. R.; DIAS, N. da S.; CARMO, G.A. do. **Riscos e medidas mitigadoras para a salinidade em áreas Irrigadas**. Reunião Sulamericana para manejo e sustentabilidade da irrigação em regiões áridas e semiáridas. Salvador – Bahia – Brasil, 21 a 23 de outubro de 2009.
- MEDEIROS, J. F. de.; GHEYI, H. R.; NASCIMENTO, L. B. Salinidade de solo e da água e seus efeitos na produção agrícola. In: **Recursos hídricos em regiões semiáridas estudos e aplicações**. Instituto Nacional do Semiárido, Cruz das Almas, BA: Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, 2012. 191p.
- MEDEIROS, J. F. de; LISBOA, R. de A.; OLIVEIRA, M. de. Caracterização das águas subterrâneas usadas para irrigação na área produtora de melão da Chapada do Apodi. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.7, n.3, p.469-472, 2003.
- MELONI, D. A.; GULOTTA, M. R.; MARTÍNEZ, C. A.; OLIVA, M. A. The effects of salt stress on growth, nitrate reduction and proline and glycine betaine accumulation in *Prosopis alba*. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v.16, n.1, p.39-46, 2004.
- MESQUITA, T. B. Caracterização da qualidade das águas empregadas nos distritos irrigados da bacia do Acaraú. 2004.62 p. Dissertação de Mestrado.

- MILANI, M. **BRS Energia**. 3. ed. Campina Grande – PB: Embrapa Algodão, 2010. Folder.
- MUNNS, R.; TESTER, M. Mechanisms of salinity tolerance. **Annual Review of Plant Biology**, v.59, s.n., p.651-681, 2008.
- MUTLU, H.; MEIER, M.A.R. Castor oil as a renewable resource for the chemical industry. **European Journal of Lipid Science and Technology**, v.112, n.1, p.10-30, 2010.
- NEMOTO, E.; SASAKUMA, T. Differential stress response of early salt-stress responding genes in common wheat. **Phytochemistry**, v.61, n.2, p.129-133, 2002.
- NIU, X., BRESSAN, R. A., HASEGAWA, P. M.; PARDO, J. M. Ion homeostasis in NaCl stress environment. **Plant Physiology**, v.109, n.3, p.735-742, 1995.
- NOBRE, R. G., GHEYI, H. R., SOARES, F. A. L., CARDOSO, J. A. F. Produção de girassol sob estresse salino e adubação nitrogenada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, n.3, p.929-937. 2011.
- NOBRE, R. G.; LIMA, G. S. de; GHEYI, H. R.; LOURENÇO, G. S.; SOARES, L. A. A. Emergência, crescimento e produção da mamoneira sob estresse salino e adubação nitrogenada. **Revista Ciência Agronômica**, v.44, n.1, p.76-85, 2013.
- NOBRE, R. G.; LIMA, G. S. de; GHEYI, H. R.; MEDEIROS, E. P. de; SOARES, L. A. dos A.; ALVES, A. N. 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.
- OLIVEIRA, A. B.; GOMES FILHO, E.; ENÉAS FILHO, J. O problema da salinidade na agricultura e as adaptações das plantas ao estresse salino. **Enciclopédia Biosfera**, v.6, n.11, p.1-16, 2010.
- OLIVEIRA, I. R. S.; OLIVEIRA, F. N.; MEDEIROS, M. A.; TORRES, S. B.; TEIXEIRA, F. J. V. Crescimento inicial do pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) em função da salinidade de água de irrigação. **Revista Caatinga**, v.23, n.4, p.40-45, 2010.
- OLIVEIRA, M. K. T.; OLIVEIRA, F. A.; MEDEIROS, J. F.; LIMA, C. J. G. S.; GUIMARÃES, I. P. Efeito de diferentes teores de esterco bovino e níveis de salinidade no crescimento inicial da mamoneira (*Ricinus communis* L.). **Revista Verde de Agroecologia e Agricultura Sustentável**, v.1, n.1, p.68-74, 2006.

- ORCUTT, D. M.; NILSEN, E. T. **Physiology of plants under stress**. New York: John Willey & Sons, 2000. 683p.
- PARIDA, A.; DAS, A. B. Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v.60, n.3, p.324-349. 2005.
- PARIDA, A. K.; DAS, A. B.; MITTRA, B. Effects of salt on growth, ion accumulation, photosynthesis and leaf anatomy of the mangrove, *Bruguiera parviflora*. **Trees**, v.18, n.2, p.167-174, 2004.
- PASSOS, A. R. **Estudo genético e agrônômico da mamoneira em baixas altitudes do Recôncavo Baiano**. Cruz das Almas:UFRB, 2009. 101p. (Tese de Doutorado).
- PIZARRO, F. **Drenaje agrícola y recuperación de suelos salinos**. Madrid: Agrícola Española, 1985. 521p.
- PORTO, E. R.; AMORIM, M. C. C. de; DUTRA, M. T.; PAULINO, R. V.; BRITO, L. T. de L.; MATOS, A. N. B. Rendimento da *Atriplex nummularia* irrigada com efluentes da criação de tilápia em rejeito da dessalinização de água. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, n.1, p.97-103, 2006.
- RAMOS, L. P.; KUCEK, K. T.; DOMINGOS, A. K.; WILHEIM, H. M. Biodiesel: Um Projeto de sustentabilidade econômica e sócio-ambiental para o Brasil. **Revista Biotecnologia, Ciência e Desenvolvimento**, v.31, s.n, p.28-37, 2003.
- REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B. **Águas doces no Brasil**. 2. ed. Escrituras: São Paulo, 2002.
- RHOADES, J. D.; CHANDUVI, F. LESCH, S. **Soil salinity assessment: Méthods and interpretation of electrical conductivity measurements**. Rome: FAO, 1999. 327p.
- RHOADES, J. D.; KANDIAH, A.; MASHALI, A. M. **Uso de águas salinas para produção agrícola**. Campina Grande: UFPB. 2000,117p. Estudos da FAO, Irrigação e Drenagem
- RIBEIRO, S.; CHAVES, L. H. G.; GUERRA, H. O. C.; GHEYI, H. R.; LACERDA, R. D. de. Resposta da mamoneira cultivar BRS-188 Paraguaçu à aplicação denitrogênio, fósforo e potássio. **Revista Ciência Agronômica**, v.40, n.4, p.465-473, 2009.

- RODRIGUES, R. F. de O.; OLIVEIRA, F.; FONSECA, A. M. As folhas de Palma Christi– *Ricinus communis* L. Euphorbiaceae Jussieu. Revisão de conhecimentos. **Revista Lecta**, v.20, n.2, p.183-194, 2002.
- SAKAMOTO, A.; MURATA, N. The role of glycine betaine in the protection of plants from stress: Clues from transgenic plants. **Plant, Cell and Environment**, v.25, n.2, p.163-171, 2002.
- SANTI, G. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; SEQUINATTO, L.; OSÓRIO FILHO, B.; KUNZ, M.; FONTINELLI, F. **Características físicas do solo da microbacia hidrográfica de Cândido Brum – Arvorezinha-RS..** In: Reunião Brasileira de Manejo e Conservação de Solo e Água, 14, Cuiabá, 2002. Anais...UFMT: Cuiabá, 2002.
- SANTOS, J. B. dos; SANTOS, D. B. dos; AZEVEDO, C. A. V. de; REBEQUI, A. M.; CAVALCANTE, L. F.; CAVALCANTE, I. H. L. Comportamento morfofisiológico da mamoneira BRS Energia submetida à irrigação com água salina. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n.2, p.145-1522, 2013.
- SANTOS, J. P., AZEVEDO, S. G.; MISTRETTA, G. **Novos aspectos da salinização das águas subterrâneas do cristalino do Rio Grande do Norte.** São Paulo, SP: IPT, 1984. 27p. (Comunicação Técnica, 314).
- SANTOS, R. F. BARROS, A. L.; MARQUES, F. M.; FIRMINO, P. de T.; REQUIÃO, L. E. G. Análise econômica. In: AZEVEDO, D. M.; LIMA, E. F. (Eds.). **O agronegócio da mamona no Brasil.** Campina Grande: Embrapa Algodão; Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2001. p. 17-35.
- SANTOS, R. F. KOURI, J.; BARROS, M. A. L.; MARQUES, F. M.; FIRMINO, P. T.; REQUIÃO, L. E. G. Aspectos econômicos do agronegócio da mamona. In: AZEVEDO, D. M. P. de; BELTRÃO, N. E. de M. (Eds.). **O agronegócio da mamona no Brasil.** 2. ed. Campina Grande: Embrapa Algodão; Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2007. p. 21-42.
- SAVY FILHO, A. **Mamona tecnologia agrícola.** EMOPI, Campinas – SP. 2005. 105 p.
- SAVY FILHO, A. Melhoramento da mamona. In: BORÉM, A. **Melhoramento de espécies cultivadas.** Viçosa: UFV, 1999. p.385-485.
- SEVERINO, L. S.; LIMA, R. L. S.; CASTILLO, N.; LUCENA, A. M. A.; AULD, D. L.; UDEIGWE, T. K. Calcium and magnesium do not alleviate the toxic effect of

- sodium on the emergence and initial growth of castor, cotton, and safflower. **Industrial Crops and Products**, v.57, n.6, p.90-97, 2014.
- SILVA, G. F. da; OLIVEIRA, G. dos S.; NASCIMENTO, J. J. V. R. do; PEREIRA, R. G.; PAIVA, M. R. de F. C. Germinação e crescimento inicial de mamoneiras irrigadas com água salina em diferentes volumes de substrato. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v.6, n.2, p.135-142, 2011.
- SILVA, J. V. LACERDA, C. F. de; COSTA, P. H.; ENÉIAS FILHO, J.; GOMES FILHO, E.; PRISCO, J. T. Physiological responses of NaCl stressed cowpea plants grown in nutrient solution supplemented with CaCl₂. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v.15, n.2, p.99-105, 2003.
- SILVA, L. B. da; MARTINS, C. C. Teste de condutividade elétrica para sementes de mamoneira. **Semina: Ciências Agrárias**, v.30, Suplemento 1, p.1043-1050, 2009.
- SILVA, S. M. S.; ALVES, A. N.; GHEYI, H. R.; BELTRÃO, N. E. de M.; SEVERINO, L. S.; SOARES, F. A. L. Germinação e crescimento inicial de duas cultivares de mamoneira sob estresse salino. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9 (Suplemento), p.347-352, 2005.
- SILVA, S. M. S.; ALVES, A. N.; GHEYI, H. R.; BELTRÃO, N. E. de M.; SEVERINO, L. S.; SOARES, F. A. L. 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.
- SILVA JÚNIOR, L. G. A.; GHEYI, H. R.; MEDEIROS, J. F. Composição química de água do cristalino do Nordeste Brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.3, n.1 p.11-17, 1999.
- SINGH, R. B.; CHAUHAN, C. P. S.; MINHAS, P. S. Water production functions of wheat (*Triticum aestivum* L.) irrigated with saline and alkali waters using double-line source sprinkler system. **Agricultural Water Management**, v.96, n.5, p.736-744, 2009.
- SOARES, L. A. A.; NOBRE, R. G.; GHEYI, H. R.; LIMA, G. S.; SILVA, A. O.; SOARES, S. S. Componentes de crescimento da mamoneira cultivada com águas salinas e doses de nitrogênio. **Irriga**, Edição Especial, p.40-54, 2012.
- SOUZA, E. R. de; FREIRE, M. B. G. DOS S.; NASCIMENTO, C. W. A. do; MONTENEGRO, A. A. de A. FREIRE, F. J.; MELO, H. F. de. Fitoextração de sais

- pela *Atriplex nummularia* Lindl. sob estresse hídrico em solo salino sódico. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.5, p.477–483, 2011.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 918p.
- TESTER, M.; DAVENPORT, R. Na⁺ tolerance and Na⁺ transport in higher plants. **Annals of Botany**, v.91, n.3, p. 503-527, 2003.
- VERSLUES P. E.; BRAY, E. A. LWR1 and LWR2 are required for osmoregulation and osmotic adjustment in *Arabidopsis thaliana*. **Plant Physiology**, v.136, n.1, p.2831–2842, 2004.
- VIANA, A. P.; BRUCKNER, C. H.; MARTINEZ, H. E. P.; HUAMAN, C. A. M.; MOSQUIM, P. R. Teores de Na, K, Mg, e Ca em porta-enxertos de videira em solução salina. **Scientia Agrícola**, v.58, n.1, p.187-191, 2001.
- VIANA, S. B. A. **Estresse salino na germinação, fase de muda e produção de alface (*Lactuca sativa* L.)**. Areia: UFPB, 2000. 127p. (Dissertação de Mestrado).
- YARON, B. Water suitability for irrigation. In: YARON, E.; DANFORS, E.; VAADID, Y. (ed.). **Arid zone irrigation**. 1973. p.71-85.
- YOKOI, S.; BRESSAN, R. A.; HASEGAWA, P. M. Salt stress tolerance of plants. **JIRCAS Working Report**, v.23, n.1, p.25-33, 2002.
- ZENG, L.; SHANNON, M. C.; LESCH, S. M. Timing of salinity stress affects rice growth and yield components. **Agricultural Water Management**, v.48, n.3, p.191-206, 2001.
- ZHU, J. K. Regulation of ion homeostasis under salt stress. **Current Opinion in Plant Biology**, v.6, n.5, p.441-445, 2003.

CAPÍTULO II

EMERGÊNCIA E CRESCIMENTO DA MAMONEIRA EM FUNÇÃO DA SALINIDADE E NATUREZA CATIÔNICA DA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO

EMERGÊNCIA E CRESCIMENTO DA MAMONEIRA EM FUNÇÃO DA SALINIDADE E NATUREZA CATIÔNICA DA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO

Resumo: A utilização de águas salinas na agricultura tem contribuído para a expansão de áreas irrigadas, principalmente em regiões áridas e semiáridas, onde ocorre déficit hídrico durante vários meses do ano. Neste contexto propôs-se, no presente trabalho, avaliar a emergência e o crescimento da mamoneira cv. BRS Energia em função da natureza catiônica, isolada ou mista, da água de irrigação. O estudo foi conduzido em lisímetros de drenagem em condições de casa de vegetação, no Argissolo Acinzentado Eutrófico de textura franco-arenosa, no município de Campina Grande, PB. Usou-se o delineamento de blocos ao acaso testando-se seis tipos de salinidade da água (S₁ - Testemunha; S₂-Na⁺; S₃ - Ca⁺²; S₄ - Na⁺ + Ca⁺²; S₅ - K⁺ e S₆ - Na⁺ + Ca⁺² + Mg⁺²) e quatro repetições, totalizando 24 parcelas experimentais, cada uma composta de cinco plantas úteis, sendo que as plantas sob o tratamento testemunha foram submetidas à irrigação com água de baixa condutividade elétrica (CEa = 0,6 dS m⁻¹) e nos demais tratamentos foram irrigadas com CEa de 4,5 dS m⁻¹ preparada com diferentes íons. Apesar do efeito deletério da salinidade sobre a emergência e o crescimento, as plantas irrigadas com água constituída por potássio apresentaram os maiores valores de altura de planta, diâmetro de caule, número de folhas e área foliar, em todas as épocas de estudo. A mamoneira teve maior sensibilidade à salinidade com água constituída por sódio e sódio+cálcio. O efeito negativo do estresse salino sobre a emergência e o crescimento da mamoneira cv. BRS Energia depende do tipo de cátion presente na água de irrigação e obedeceu à seguinte ordem: Na⁺>Na⁺+Ca⁺>Ca⁺²>Na⁺+Ca⁺²+Mg⁺²>K⁺. A emergência e o crescimento foram mais afetados pela CEa quando comparado com a natureza catiônica da água de irrigação.

Palavras-chave: *Ricinus communis* L., água salina, semiárido.

EMERGENCE AND GROWTH OF CASTOR BEAN BRS ENERGIA AS A FUNCTION OF SALINITY AND CATIONIC NATURE OF IRRIGATION WATER

Abstract: The use of saline water in agriculture has contributed to the expansion of irrigated areas, mainly in arid and semiarid regions where water deficit occurs during

several months of the year. In this context, it is proposed in this study to evaluate the emergence and growth of castor bean cv. BRS Energia depending on the salinity and cationic nature either isolated or mixed of irrigation water. The experiment was conducted in drainage lysimeters under greenhouse conditions in Eutrophic Ultisol of sandy loam texture, in Campina Grande, PB. The experimental design consisted of randomized blocks, testing six types of water salinity (S_1 -Control; S_2 - Na^+ ; S_3 - Ca^{+2} ; S_4 - $Na^+ + Ca^{+2}$, S_5 - K^+ and S_6 - $Na^+ + Ca^{+2} + Mg^{+2}$) and four replications, totaling 24 plots, each consisting of five plants. The plants under control treatment were irrigated with water of low electrical conductivity ($EC_w = 0.6 \text{ dS m}^{-1}$) and plants in the other treatments were irrigated with EC_w of 4.5 dS m^{-1} . Despite the deleterious effects of salinity on the emergence and growth, the plants irrigated with water consisting of potassium showed the highest values of plant height, stem diameter, number of leaves and leaf area during all times of study. Castor bean demonstrates greater sensitivity to water salinity formed by sodium and sodium + calcium. The negative effect of salinity on the emergence and growth of castor bean 'BRS Energia' depends on the type of cation present in irrigation water and show the following order: $Na^+ > Na^+ + Ca^+ > Ca^{+2} > Na^+ + Ca^{+2} + Mg^{+2} > K^+$. The emergence and growth were most affected by EC_w compared to the cationic nature of irrigation water.

.Key words: *Ricinus communis* L., saline water, semiarid.

INTRODUÇÃO

A mamoneira, oleaginosa da família *Euforbiácea*, teve sua origem possivelmente na Etiópia; apresenta grande representatividade social e econômica (SILVA et al., 2007) haja vista que o óleo extraído de suas sementes possui grande multiplicidade de uso. As possibilidades de utilização da mamoneira incluem a área industrial, sendo amplamente utilizados na produção de tintas, cosméticos, sabonetes, vernizes, adesivos, fungicidas, inseticidas e até mesmo próteses e implantes. Além disto, durante o processamento industrial do óleo um subproduto é gerado (torta) e tem grande aplicabilidade como fertilizante (RODRIGUES et al., 2009).

Apesar da sua importância, as áreas cultivadas principalmente na região semiárida do Nordeste do Brasil estão sujeitas à variação agroclimática em que são

comuns a ocorrência de altas temperaturas, baixa pluviosidade, distribuição pluviométrica irregular e elevadas taxas de evapotranspiração na maior parte do ano, favorecendo a escassez de águas superficiais sendo a prática da irrigação uma medida importante para garantir o suprimento hídrico nos momentos de maiores demandas (NOBRE et al., 2011).

Aliadas a este condicionante climático, as fontes de água para irrigação nesta região se alternam de acordo com a época do ano (sazonal), entre rios temporários e poços rasos e em termos geográficos (espacial), sendo comum a ocorrência de fontes de água com elevada concentração de sais (SILVA et al., 2005; BEZERRA et al., 2010).

Em seus estudos, Silva Junior et al. (1999) constataram avaliando a variação da composição iônica de águas do cristalino do Nordeste brasileiro (estados da Paraíba, Rio Grande do Norte e Ceará) predomínio de águas cloretadas sódicas com alguma variação, independentemente do nível de salinidade, dos locais e das fontes de origem. Já Costa & Gheyi (1984) identificaram, ao estudar a variação da qualidade da água de irrigação nos municípios da microrregião de Catolé do Rocha, PB, utilizando águas de diversas fontes (poços amazonas e açudes) e coletadas no período seco e chuvoso que, de modo geral, o Na^+ predomina sobre o Ca^{+2} e Mg^{+2} no período seco; contudo, no período chuvoso chegou-se a observar predominância do Ca^{+2} e Mg^{+2} sobre o Na^+ , principalmente em águas com baixa salinidade (condutividade elétrica $< 750 \mu\text{S cm}^{-1}$).

Alguns autores apontam a cultura da mamoneira como moderadamente sensível à salinidade (AYERS & WESTCOT, 1999; CAVALCANTI et al., 2005; BABITA et al., 2010; NOBRE et al., 2013; SANTOS et al., 2013); no entanto, a tolerância das plantas à salinidade varia entre espécies e cultivares da mesma espécie, além de alguns fatores como o tipo e a concentração de sal, o tempo de exposições, estágio fenológico, fatores edafoclimáticos, tal como da interação entre eles (ASHRAF & HARRIS, 2004).

Deste modo, vários pesquisadores têm verificado efeitos negativos da salinidade em plantas de mamoneira (CAMPOS et al., 2009; SOARES et al., 2012; ALVES et al., 2012; NOBRE et al., 2013; SANTOS et al., 2013; LIMA et al., 2014); entretanto, essas pesquisas se restringem ao uso de águas com salinidades distintas necessitando-se, desta forma, de novos estudos, sobretudo para verificar

os efeitos do uso de águas de diferentes qualidades em termos de natureza catiônica de sais, sobre a cultura da mamoneira cultivar BRS Energia.

Neste contexto se desenvolveu este experimento objetivando avaliar a emergência e o crescimento da mamoneira 'BRS Energia' em função da natureza catiônica, isolada ou mista, da água de irrigação.

MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi conduzida entre novembro de 2013 e fevereiro de 2014, em lisímetros de drenagem, em condições de casa de vegetação pertencente ao Centro de Tecnologia e Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande (CTRN/UFCG), localizada no município de Campina Grande, PB, situado pelas coordenadas geográficas locais 07°15'18" latitude S, 35°52'28" de longitude W e altitude média de 550 m.

Os tratamentos foram constituídos de seis tipos de salinidade (S_1 - Testemunha; S_2 - Na^+ ; S_3 - Ca^{+2} ; S_4 - $Na^+ + Ca^{+2}$; S_5 - K^+ e S_6 - $Na^+ + Ca^{+2} + Mg^{+2}$), de modo a se ter uma proporção equivalente de 1:1 entre Na:Ca e 7:2:1, entre Na:Ca:Mg, respectivamente. Ressalta-se que as plantas em testemunha (S_1) foram irrigadas com água de condutividade elétrica (CEa) de $0,6 \text{ dS m}^{-1}$, conforme características contidas na Tabela 1 enquanto que os demais tipos de água (S_2 ; S_3 ; S_4 ; S_5 e S_6) o foram com um nível de CEa de $4,5 \text{ dS m}^{-1}$. O experimento foi instalado em delineamento de blocos casualizados com seis tratamentos e quatro repetições totalizando 24 parcelas experimentais, cada uma composta de cinco plantas úteis.

Neste experimento utilizou-se a cultivar de mamoneira 'BRS Energia', por se tratar de um material genético vigoroso, com característica de precocidade (ciclo de 120 a 150 dias), porte baixo, frutos semi-indeiscentes, teor de óleo nas sementes em média de 48% e produtividade média de 1.800 kg ha^{-1} (SILVA et al., 2009).

Tabela 1. Características químicas da água utilizada no tratamento testemunha

Ca^{+2}	Mg^{+2}	Na^+	K^+	HCO_3^-	CO_3^-	Cl^-	CE dS m^{-1}	pH	RAS $(\text{mmol}_c \text{L}^{-1})^{0,5}$
1,19	1,58	2,83	0,10	1,45	0,00	4,22	0,60	7,23	2,41

CE - condutividade elétrica. RAS - relação de adsorção de sódio;

As plantas foram conduzidas em lisímetros de drenagem de 100 L de capacidade (altura de 50 cm, diâmetro da base inferior de 30 cm e abertura superior

de 33 cm) perfurados na base para permitir a drenagem e acoplada a um dreno de 4 mm de diâmetro conectado à sua base. A extremidade do dreno que ficou dentro do lisímetro foi envolvida com uma manta geotêxtil não tecida (Bidim OP 30) para evitar a obstrução do material de solo e abaixo de cada dreno foi colocada uma garrafa plástica para a coleta de água drenada (Apêndice 1A) e estimativa do consumo de água pela planta.

Os lisímetros foram preenchidos com uma camada de 2 kg de brita (nº zero) seguida de 54 kg de material de solo (devidamente destorroado e homogeneizado) mais 76 kg do mesmo solo adicionando-se húmus de minhoca para atingir 1% de matéria orgânica no solo. Para facilitar a irrigação os lisímetros ficaram com 10 cm superior livre. O solo usado na pesquisa foi coletado na profundidade de 0-30 cm (horizonte A) de um Argissolo Acinzentado Eutrófico, procedente do distrito de São José da Mata (Campina Grande-PB). Antes de se iniciar o experimento o solo foi amostrado para determinação das características químicas e físico-hídricas (Tabela 2) no Laboratório de Irrigação e Salinidade (LIS) do CTRN/UFCG, conforme metodologia proposta por Claessem (1997).

Tabela 2. Características químicas e físicas do solo utilizado no experimento, antes da aplicação dos tratamentos

Características químicas								
pH _{ps}	M.O dag kg ⁻¹	P (mg kg ⁻¹)	K ⁺	Na ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Al ⁺³	H ⁺
.....(cmol _c kg ⁻¹).....								
5,10	0,34	20,09	0,07	0,05	0,40	1,30	0,04	1,74
Características físico-hídricas								
Fração granulométrica (g kg ⁻¹)			Classe textural	Umidade (kPa)		AD	Porosidade total m ³ m ⁻³	Densidade (kg dm ⁻³)
Areia	Silte	Argila		33,42	1519,5			
..... dag kg ⁻¹								
816,1	90,7	13,2	FA	6,72	1,62	5,10	0,49	1,54

pH_{ps} - pH da pasta de saturação; M.O – Matéria orgânica: Digestão Úmida Walkley-Black; Ca⁺² e Mg⁺² extraídos com KCl 1 mol L⁻¹ pH 7,0; Na⁺ e K⁺ extraídos utilizando-se NH₄OAc 1 mol L⁻¹ pH 7,0; FA – Franco Arenoso; AD – Água disponível

Procedeu-se, através dos dados obtidos na análise de solo, à correção da acidez adicionando-se 49,25 g de calcário dolomítico ao material de cada lisímetro (130 kg de solo), quantidade necessária para neutralização do Al⁺³ e elevação dos teores de Ca⁺² e Mg⁺² em 70%, conforme Ribeiro et al. (1999). Após a correção da acidez o solo apresentou as seguintes características químicas: Ca⁺² = 1,14 cmol_c kg⁻¹; Mg⁺² = 1,36 cmol_c kg⁻¹; Na⁺ = 0,30 cmol_c kg⁻¹; K⁺ = 0,14 cmol_c kg⁻¹; H⁺ = 0,11

$\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$; 6,72; $\text{Al}^{+3} = 0 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$; $\text{CTC} = 3,05 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$; Matéria orgânica = 1,08 dag kg^{-1} ; $\text{P} = 47,80 \text{ mg kg}^{-1}$ e pH em água (1:2,5) = 6,42.

Obtiveram-se os níveis de salinidade da água a partir da dissolução do cloreto de sódio (NaCl), cálcio ($\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), magnésio ($\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) e potássio (KCl) na água de irrigação conforme os tratamentos pré-estabelecidos tomando-se como base a água proveniente do sistema de abastecimento local (Campina Grande-PB), cuja quantidade foi determinada conforme descrito na equação de Richards (1954) levando em consideração a relação entre a CEa e a concentração de sais ($10^* \text{mmol}_c \text{ L}^{-1} = 1 \text{ dS m}^{-1}$). Os sais utilizados (NaCl; $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ e KCl) apresentavam pureza de 99%; após a preparação e a calibração da CEa utilizando-se de um condutivímetro portátil, as águas foram armazenadas em vasos plásticos de 200 L de capacidade (Apêndice 1B), devidamente protegidas de modo a se evitar a evaporação.

Antes da semeadura determinou-se o volume necessário de água para o solo atingir a capacidade de campo através do método de saturação por capilaridade seguida por drenagem aplicando-se água de acordo com os tratamentos. Após o solo ser previamente elevado à capacidade de campo, realizou-se a semeadura colocando-se dez sementes de mamoneira cv. BRS Energia por lisímetro (Apêndice 2A), a dois centímetros de profundidade e distribuídas de forma equidistante; aos 10 dias após a semeadura (DAS) foi realizado um desbaste com a finalidade de se obter apenas uma planta por vaso.

Após a semeadura o solo foi mantido em capacidade de campo com irrigações diárias aplicando-se, em cada lisímetro, as águas correspondentes aos tratamentos, de forma a manter a umidade do solo próximo à capacidade de campo sendo o volume aplicado determinado de acordo com a necessidade hídrica das plantas, estimada pelo balanço hídrico: volume de água aplicado menos o volume de água drenado na irrigação anterior, acrescido de fração de lixiviação de 0,10, conforme estudos desenvolvidos anteriormente (NOBRE et al., 2013; LIMA et al., 2014).

Realizou-se a adubação de fundação para nitrogênio, potássio e fósforo, baseada em metodologia contida em Novais et al. (1991). Aplicaram-se 40,62 g de nitrato de potássio e 75 g de fosfato monoamônio, o equivalente a 100, 150 e 300 mg kg^{-1} de solo de N, K e P, respectivamente, aplicados em cobertura em quatro

aplicações via fertirrigação, em intervalos de dez dias, com a primeira aplicação realizada aos 15 DAS; para suprir prováveis deficiências de micronutriente na mamoneira, foram aplicados 2,5 g L⁻¹ de Ubyfol [(N (15%); P₂O₅ (15%); K₂O (15%); Ca (1%); Mg (1,4%); S (2,7%); Zn (0,5%); B (0,05%); Fe (0,5%); Mn (0,05%); Cu (0,5%); Mo (0,02%)] via foliar, aos 30 e 60 DAS.

O manejo fitossanitário consistiu em capinas manuais realizadas semanalmente, escarificação superficial do solo antes de cada evento de irrigação e tutoramento das plantas após atingirem o estágio de floração, com o objetivo de evitar o tombamento das mesmas. Além disso, foram utilizados inseticidas do grupo químico Neonicotinoide, fungicida do grupo químico triazol e acaricida pertencente ao grupo químico abamectina, na dose de 5,4; 7,0 e 3,5 g L⁻¹, respectivamente.

A emergência das plântulas foi avaliada até a estabilização da emergência registrando-se, diariamente, o número de plântulas emergidas e se adotando, como critério, o surgimento do epicótilo na superfície do solo; daí, foi mensurada a porcentagem de emergência – PE (número de plântulas emergidas em relação ao número de sementes semeadas); aos 13 DAS (Apêndice 2B) foi determinado o índice de velocidade de emergência (IVE), segundo metodologia descrita por Vieira & Carvalho (1994), conforme Eq.1:

$$IVE \text{ (plântulas dia}^{-1}\text{)} = \frac{\sum_1}{N_1} + \frac{\sum_2}{N_2} + \dots + \frac{\sum_n}{N_n} \quad (1)$$

em que:

$\sum_1, \sum_2, \dots, \sum_n$ representam os números de plântulas emergidas, computadas nas primeira, segunda e última contagens,

N_1, N_2, \dots, N_n são os números de dias da semeadura às primeira, segunda e última contagens, respectivamente.

O crescimento da mamoneira foi mensurado aos 20; 40; 60 e 80 DAS, através do número de folhas (NF), área foliar (AF), altura de plantas (AP) e diâmetro de caule (DC). Na quantificação do NF foram consideradas apenas as que apresentaram comprimento mínimo de 3 cm e pelo menos 50% de sua área foliar fotossinteticamente ativa. A área foliar foi obtida medindo-se o comprimento da nervura principal de todas as folhas das plantas levando em consideração a metodologia descrita por Severino et al. (2005), conforme Eq 2:

$$S = \sum 0,26622 \times P^{2,4248} \quad (2)$$

em que:

S - área foliar total da planta⁻¹ (cm²),

P - medida do comprimento da nervura principal da folha (cm).

A altura das plantas foi obtida tomando-se como referência a distância do colo da planta até a inserção do meristema apical. O diâmetro de caule foi medido a 5 cm do colo da planta, com auxílio de um paquímetro digital.

Os dados obtidos foram avaliados mediante análise de variância pelo teste 'F'; quando significativo, realizaram-se o teste de comparação de médias (Tukey a 0,05 de probabilidade) e os contrastes entre as médias dos tratamentos utilizando-se do software estatístico SISVAR-ESAL. Os contrastes foram definidos da seguinte forma: \hat{y}_1 (S₁ vs S₂; S₃; S₄; S₅; S₆); \hat{y}_2 (S₂ vs S₃); \hat{y}_3 (S₂ vs S₆); \hat{y}_4 (S₂ vs S₅); \hat{y}_5 (S₅ vs S₂; S₃; S₄; S₆).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Verifica-se, a partir do resumo da análise de variância (Tabela 3) que o índice de velocidade de emergência das plântulas e a percentagem de emergência da mamoneira variaram de forma significativa ($p < 0,01$) entre os tipos de salinidade da água estudados. Resultados divergentes ao obtido no presente estudo foram verificados por Cavalcanti et al. (2005), avaliando o efeito da salinidade da água, das proporções iônicas (Na⁺+Ca⁺²) e a interação entre ambos, na germinação e no crescimento da mamoneira BRS 149 Nordestina constatando-se não haver influência significativa sobre a percentagem e o índice de velocidade de emergência evidenciando que genótipos de mesma espécie podem apresentar comportamento diferenciado.

Tabela 3. Resumo da análise de variância referente ao índice de velocidade de emergência (IVE) e à percentagem de emergência (PE) das plântulas de mamoneira irrigada com água de diferentes tipos de salinidade

FV	GL	Quadrados Médios	
		IVE	PE
Blocos	3	0,01 ^{ns}	7,72 ^{ns}
Tipos de Salinidade	(5)	0,19 ^{**}	546,16 ^{**}
\hat{y}_1	1	0,86 ^{**}	2201,63 ^{**}
\hat{y}_2	1	0,06 [*]	128,00 [*]
\hat{y}_3	1	0,07 [*]	144,50 [*]
\hat{y}_4	1	0,09 [*]	264,50 [*]

\hat{y}_5	1	0,03 ^{ns}	135,20*
Resíduo	15	0,01	15,85
CV		12,88	5,56

\hat{y}_1 (S₁ vs S₂; S₃; S₄; S₅; S₆); \hat{y}_2 (S₂ vs S₃); \hat{y}_3 (S₂ vs S₆); \hat{y}_4 (S₂ vs S₅); \hat{y}_5 (S₅ vs S₂; S₃; S₄; S₆); FV – Fonte de variação; GL - Grau de liberdade; CV - Coeficiente de variação; (*) Significativo a 0,05, (**) Significativo a 0,01 de probabilidade; (ns) Não significativo

O índice de velocidade de emergência das plântulas de mamoneira, observado na Figura 1A, foi significativamente superior nas plantas submetidas à irrigação com água de baixa salinidade (Testemunha), tendo-se obtido o valor médio de 1,30 plântulas dia⁻¹, diferenciando-se estatisticamente dos demais tipos de sais; todavia, mesmo na ausência de efeito significativo entre os tipos de salinidade (S₂; S₃; S₄; S₅ e S₆) (Figura 1A), as plantas submetidas à irrigação com águas constituídas de Na⁺; Ca⁺²; Na⁺+Ca⁺²; K⁺; Na⁺+Ca⁺²+Mg⁺², proporcionaram, respectivamente, um IVE médio de 0,65; 0,82; 0,76; 0,87 e 0,84 plântulas dia⁻¹, o que corresponde a uma redução de 50,00; 36,93; 41,54; 33,08 e 35,39% no IVE das plântulas em relação à testemunha. Conforme a Figura 1A, percebem-se menores IVE (50 e 41,54%) nas plantas irrigadas com águas constituídas por Na⁺ e Na⁺+Ca⁺², denotando-se maior sensibilidade da cultivar BRS Energia a esses sais e confirmando, segundo Ayers & Westcot (1999), o caráter moderadamente sensível da cultura à salinidade, principalmente a predominância de sódio na água de irrigação.

Através dos contrastes de médias obtidos para o IVE (Tabela 3) verifica-se, ao comparar as plantas irrigadas com as água de menor (0,6 dS m⁻¹) e maior nível salino (4,5 dS m⁻¹) a ocorrência de efeito significativo e através da estimativa de média (Tabela 4), constata-se que a média no IVE e da PE das plantas sob CEa de 0,6 dS m⁻¹(S₁) foi de 0,51 plântulas dia⁻¹e 25,70% respectivamente, superando a média obtida nas irrigadas com CEa de 4,5 dS m⁻¹ (S₂; S₃; S₄; S₅ e S₆). O decréscimo na emergência das plântulas de mamoneira observado no presente estudo através do IVE e da PE, ocorreu devido, possivelmente, à redução do potencial osmótico da solução do solo decorrente do incremento dos níveis de salinidade afetando diretamente a disponibilidade e a absorção de água (GRACIANO et al., 2011). Neste sentido, Nobre et al. (2013) observaram, avaliando o efeito da irrigação com distintas condutividade elétrica – CEa (0,4 a 4,4 dS m⁻¹) sobre a emergência da mamoneira cv. BRS Energia, que a PE e o IVE foram

afetados pela salinidade com decréscimos respectivos de 14,27 e 13,21%, nas plantas irrigadas com água de 4,4 dS m⁻¹ em relação às que estavam sob CEa de 0,4 dS m⁻¹.

Quando se compara o S₂ versus S₃ (Tabela 3) observa-se haver efeito significativo destacando-se as plantas sob irrigação com água constituída por sódio com um IVE de 0,17 plântulas dia⁻¹ (Tabela 4), resultado este inferior ao das plantas irrigadas com águas salinizadas por cálcio, reafirmando o efeito deletério do íon sódio no processo de ativação enzimática durante a emergência. Já as plantas submetidas à irrigação com água do tratamento S₂ apresentaram diferença significativa quando comparadas com as que receberam o S₆ e, pela estimativa de média (Tabela 4) verifica-se declínio de 0,19 plântulas dia⁻¹ nas plantas irrigadas com o S₂ em relação às que receberam água do tratamento S₆. Nota-se (Tabela 3), significância estatística dos tratamentos S₂ versus S₅, verificando-se que as plantas submetidas ao tratamento S₂ apresentaram declínio no IVE de 0,22 plântulas dia⁻¹ (Tabela 4) quando confrontadas com as irrigadas com o tratamento S₅.

Comparando o efeito do estresse salino provocado pelos distintos tipos de salinidade, observa-se, em geral, maior diminuição sobre o IVE nas plantas irrigadas com tratamento S₂, o que pode estar relacionado à alta concentração deste elemento na água de irrigação que, certamente, contribuiu para reduzir o potencial osmótico na solução do solo abaixo do nível tolerado pela cultura favorecendo, desta forma, a diminuição na velocidade dos processos metabólicos e bioquímicos, o que atrasa ou inibe a emergência das sementes e interfere na embebição e no alongamento celular do embrião (BANSAL et al., 1980) enquanto as plantas sob o tratamento S₅ apresentaram maior IVE entre os diferentes tipos de salinidade estudados; tal resultado é explicado pelo fato do íon de potássio desempenhar importante papel na regulação do potencial osmótico das células vegetais.

Tabela 4. Estimativa de média referente ao índice de velocidade de emergência (IVE) e à percentagem de emergência (PE) das plântulas de mamoneira irrigada com água de diferentes tipos de salinidade

FV	Estimativa de média	
	IVE	PE
\hat{y}_1	0,51	25,70
\hat{y}_2	-0,17	-8,00
\hat{y}_3	-0,19	-8,50

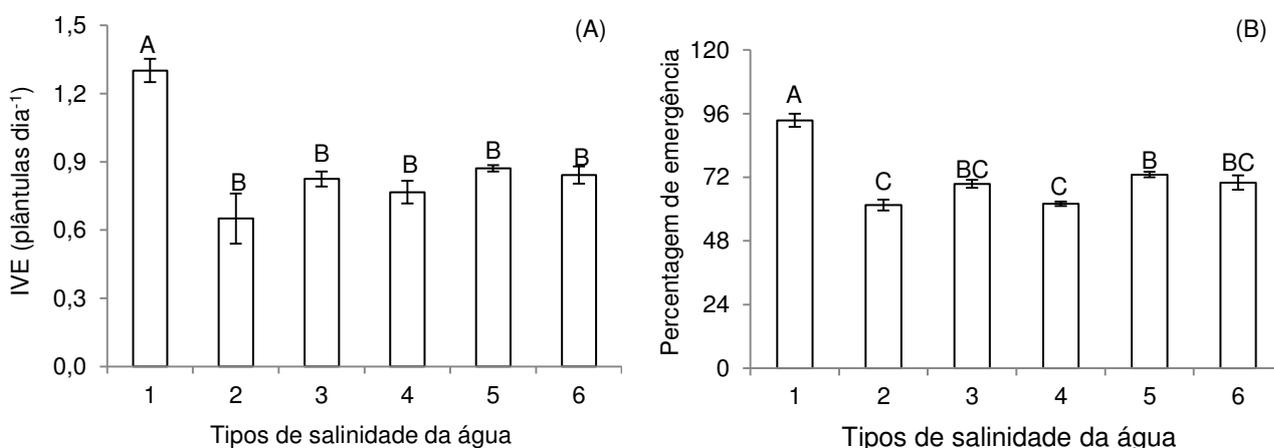
\hat{y}_4	-0,22	-11,50
\hat{y}_5	-	6,50
\hat{y}_1 (S ₁ vs S ₂ ; S ₃ ; S ₄ ; S ₅ ; S ₆); \hat{y}_2 (S ₂ vs S ₃); \hat{y}_3 (S ₂ vs S ₆); \hat{y}_4 (S ₂ vs S ₅); \hat{y}_5 (S ₅ vs S ₂ ; S ₃ ; S ₄ ; S ₆); (-) não significativo		

Analisando o efeito dos distintos tipos de salinidade da água de irrigação sobre a percentagem de emergência das plântulas de mamoneira (Figura 1B), constata-se, através do teste de comparação das médias, que os maiores valores de PE alcançados foram de 93,50; 73,00; 70,00 e 69,50%, obtidos nas plantas irrigadas com água de baixa salinidade (testemunha) e para os tratamentos com águas constituídas de K⁺; Na⁺+Ca⁺²+Mg⁺² e Ca⁺², respectivamente. Já os menores valores de PE foram verificados nas plântulas submetidas à salinidade da água com Na⁺ e Na⁺+Ca⁺², fato também constatado nos resultados obtidos para IVE (Figura 1A). Ao comparar os tratamentos em estudo verifica-se maior redução na PE estimada em 34,23% nas plantas irrigadas com água constituída de sódio enquanto nos demais tratamentos (S₃, S₄, S₅ e S₆) as perdas relativas foram de 25,67; 33,69; 21,93 e 25,13% em relação à testemunha, evidenciando maior efeito nocivo do estresse salino nas plantas submetidas à irrigação com água salinizada por sódio e menor nas irrigadas com água potássica.

A redução na emergência das plântulas de mamoneira observada no presente estudo através do IVE e da PE, pode estar associada à menor absorção de água favorecida pela concentração de sais solúveis no solo tal como pela entrada dos íons em quantidade suficiente para provocar toxicidade sobre o embrião e/ou células da membrana do endosperma; por outro lado, as concentrações tóxicas desses íons, principalmente o sódio, afetam outros processos incluindo a divisão e a diferenciação celular, a atividade de enzimas e a captação e distribuição de nutrientes, podendo ocasionar atraso na emergência das plântulas e da mobilização das reservas ou até mesmo diminuir a viabilidade das sementes (VOIGT et al., 2009).

Observa-se (Tabela 3) que, ao serem irrigadas com água salinizada por sódio (S₂) a PE das plantas apresentou efeito significativo quando comparada com às que estavam sob S₃ e S₆; através da estimativa de média (Tabela 4), constata-se redução na PE, de 8,0 e 8,5%, respectivamente, nas plantas sob estresse salino proporcionada pelo tratamento S₂ em relação à média das plantas que foram irrigadas com o S₃; S₅ e S₆. Assim, tal como nos demais tratamentos, as plantas que

receberam água preparada em potássio (S₅) diferiram estatisticamente das irrigadas com água possuindo os cátions: Na⁺; Ca⁺²; Na⁺+Ca⁺² e Na⁺+Ca⁺²+Mg⁺². Nota-se que as plantas sob irrigação com água do tratamento S₂ diminuíram em 11,50% a PE em relação às que estavam sob irrigação com água de composição potássica (S₅). Por outro lado, a percentagem de emergência das plantas irrigadas com a água do tratamento S₅ superou em 8,50% a média obtida nos demais tratamentos (S₂; S₃; S₄; S₅; S₆). Tais resultados apresentados para PE, acompanham a mesma tendência observada para o índice de velocidade de emergência constatando-se que, quando se irrigou com água constituída de sódio, o efeito deletério foi maior sobre a emergência das plântulas, observado através da redução na percentagem de emergência enquanto que, ao se irrigar com água salinizada por potássio obteve-se incremento nesta variável quando comparado com os distintos tipos de salinidade utilizados na água de irrigação, o que justifica o efeito tóxico proporcionado pelo sódio no metabolismo vegetal e reforça o papel vital do potássio sobre as plantas atuando na regulação do potencial osmótico das células e tecidos.



1= Testemunha; 2= Na⁺; 3= Ca⁺²; 4=Na⁺+Ca⁺²; 5=K⁺; 6=Na⁺+Ca⁺²+Mg⁺²

Figura 1. Índice de velocidade de emergência - IVE (A) e percentagem de emergência (B) das plântulas de mamoneira, em função dos tipos de salinidade da água de irrigação

Constatou-se, através da curva de crescimento obtida para a altura de planta (Figura 2A) em função dos tipos de salinidade da água ao longo das épocas de avaliação, que o crescimento desta variável ocorreu de forma exponencial atingindo seu máximo crescimento quando as plantas estavam na fase de floração, ou seja, no quinto estágio de desenvolvimento, que consistiu na diferenciação da parte floral

(MOSHKIN, 1986), estabilizando seu crescimento no período compreendido de 60 a 80 dias após a semeadura, momento em que as plantas se encontravam na fase de florescimento e no início da fase de frutificação. Vê-se, ainda, na Figura 2A, que ao final do ciclo de cultivo (fase de frutificação), as plantas submetidas à irrigação com água de menor salinidade (S_1), tiveram maior crescimento em altura seguido do tratamento S_5 e superaram as que estavam sendo irrigadas com os demais tipos de sal (S_2 ; S_3 ; S_4 e S_6).

Quanto ao diâmetro do caule da mamoneira (Figura 2B), pôde-se constatar assim como ocorreu para a altura de planta, que o diâmetro de caule teve seu crescimento ao final das fases vegetativa e de floração da cultura com uso dos diferentes tipos de sais aos 40 e 60 DAS em relação às plantas sem estresse salino (testemunha); aos 80 DAS ocorreram decréscimos no DC de 37,03; 36,15; 32,38; 22,05 e 35,90%, respectivamente para as plantas sob irrigação com água constituída dos cátions Na^+ , Ca^{+2} , $Na^+:Ca^{+2}$, K^+ e $Na^+:Ca^{+2}:Mg^{+2}$; portanto, a maior redução de diâmetro de caule ocorreu quando as plantas foram irrigadas com água constituída de Na^+ aumentando o efeito prejudicial desse sal com o decorrer do tempo de cultivo. Constata-se ainda, na Figura 2B, que ao final do ciclo o diâmetro de caule das plantas irrigadas com água potássica (S_5) se distanciou dos demais tratamentos (S_2 ; S_3 ; S_4 e S_6) demonstrando que, apesar do estresse nas fases iniciais da cultura, ocorreu uma retomada no crescimento em diâmetro de caule, caso em que a diminuição no crescimento em diâmetro de caule ocasionada pela salinidade da água está associada ao tipo de sal presente na água.

Observa-se, na Figura 2C, com relação ao número de folhas ao longo do ciclo da mamoneira, lento crescimento nos primeiros 40 DAS (fase vegetativa), nos quais foi observado NF de aproximadamente 9,25 folhas por planta independente da natureza catiônica da água de irrigação; entre 40 e 60 dias (fase de floração) ocorreu o maior crescimento foliar quando foi observada, nas plantas irrigadas com água S_1 , superioridade em relação aos demais tipos de sais, com cerca de 11,08 folhas por planta aos 40 DAS. Após este período as plantas continuaram crescendo em número de folhas, observado-se crescimento acentuado das plantas submetidas às águas S_1 e S_5 no período entre 60 e 80 dias (30,50 e 19,62 folhas por planta, respectivamente) momento em que as plantas estavam nas fases de floração e frutificação.

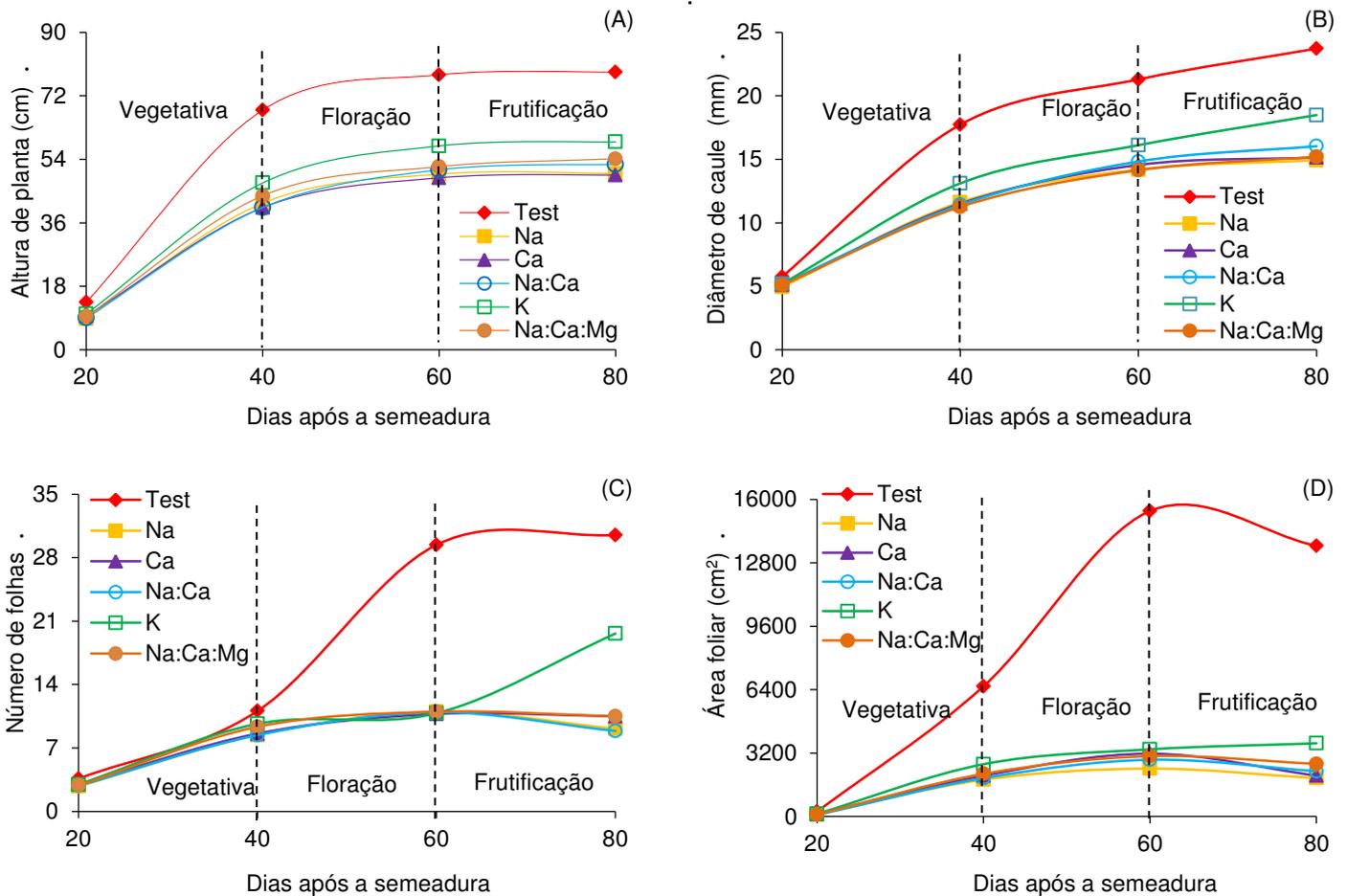


Figura 2. Altura de planta (A), diâmetro de caule (B), número de folhas (C) e área foliar (D) da mamoneira, em função dos diferentes tipos de salinidade da água de irrigação, ao longo do tempo de estudo (dias)

Através do estudo da evolução da área foliar (Figura 2D) das plantas submetidas aos distintos tipos de salinidade da água ao longo dos períodos de avaliação, verifica-se que a área foliar teve crescimento lento até os 40 DAS independente do tipo de cátion presente na água de irrigação. Percebe-se tendência de aumento na AF até o final da fase de floração (60 DAS), apresentando redução no final do ciclo, em todos os tratamentos, com exceção de água com o potássio. Esta diminuição na expansão foliar observada no final do ciclo de cultivo está associada à senescência natural da planta. Por sua vez, as plantas de mamoneira submetidas ao S₅, ao contrário dos demais tratamentos, apresentaram incremento gradual na área foliar até os 80 DAS sendo registrados em média 3691,69 cm² por planta.

Conforme o resumo da análise de variância (Tabela 5) observa-se influência significativa dos diferentes tipos de salinidade sobre a altura de planta, o diâmetro de caule, o número de folhas e a área foliar, em todas as épocas avaliadas. Em estudo com a cultura da mamoneira BRS 149 Nordestina, Cavalcanti et al. (2005) encontraram influência significativa das proporções iônicas de $\text{Na}^+ + \text{Ca}^{+2}$ da água de irrigação, apenas para a altura de planta, aos 80 DAS.

Tabela 5. Resumo da análise de variância referente à altura de planta (AP), diâmetro de caule (DC), número de folhas (NF) e área foliar (AF) das plantas de mamoneira irrigadas com água de diferentes tipos de salinidade aos 20, 40, 60 e 80 dias após a semeadura

FV	GL	Quadrados Médios			
		AP	DC	NF	AF
20 DAS					
Blocos	3	0,68 ^{ns}	0,007 ^{ns}	0,09 ^{ns}	255,64 ^{ns}
Tipos de Salinidade	(5)	11,86 ^{**}	0,30 ^{**}	0,37 [*]	13896,14 ^{**}
\hat{y}_1	1	54,85 ^{**}	1,35 ^{**}	1,75 ^{**}	62034,22 ^{**}
\hat{y}_2	1	1,219 ^{ns}	0,05 ^{ns}	0,08 ^{ns}	2511,17 [*]
\hat{y}_3	1	0,87 ^{ns}	0,04 ^{ns}	0,03 ^{ns}	710,73 [*]
\hat{y}_4	1	3,84 [*]	0,12 [*]	0,09 ^{ns}	3967,17 ^{**}
\hat{y}_5	1	2,87 [*]	0,03 ^{ns}	0,03 ^{ns}	3324,06 ^{**}
Resíduo	15	0,72	0,02	0,05	135,71
CV		8,43	3,18	7,87	8,99
40 DAS					
Blocos	3	3,88 ^{ns}	1,51 [*]	0,66 ^{ns}	66873,19 ^{ns}
Tipos de Salinidade	(5)	455,39 ^{**}	25,41 ^{**}	4,29 ^{**}	67270926,74 ^{**}
\hat{y}_1	1	2138,14 ^{**}	118,02 ^{**}	16,13 ^{**}	65765795,68 ^{**}
\hat{y}_2	1	3,08 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,05 ^{ns}	80454,44 ^{ns}
\hat{y}_3	1	8,84 ^{ns}	0,26 ^{ns}	3,12 [*]	170898,74 ^{ns}
\hat{y}_4	1	66,03 [*]	4,43 ^{**}	3,12 [*]	1222405,28 [*]
\hat{y}_5	1	109,06 ^{**}	8,79 ^{**}	3,06 [*]	1304975,52 [*]
Resíduo	15	9,61	0,25	0,20	115431,27
CV		6,61	3,98	4,85	11,84
60 DAS					
Blocos	3	9,03 ^{ns}	4,97 ^{ns}	0,57 ^{ns}	971979,14 ^{ns}
Tipos de Salinidade	(5)	511,62 ^{**}	30,47 [*]	228,61 ^{**}	103518637,38 ^{**}
\hat{y}_1	1	2324,06 ^{**}	142,05 ^{**}	1142,86 ^{**}	515438865,94 ^{**}
\hat{y}_2	1	0,65 ^{ns}	0,26 ^{ns}	0,12 ^{ns}	1134419,38 ^{ns}
\hat{y}_3	1	27,81 ^{ns}	0,003 ^{ns}	0,0001 ^{ns}	786653,68 ^{ns}
\hat{y}_4	1	184,63 ^{**}	7,39 ^{ns}	0,05 ^{ns}	1891490,13 ^{ns}
\hat{y}_5	1	195,88 ^{**}	9,07 ^{ns}	0,02 ^{ns}	851841,29 ^{ns}
Resíduo	15	10,98	3,85	6,54	116655,42
CV		5,93	12,38	18,29	20,93
80 DAS					

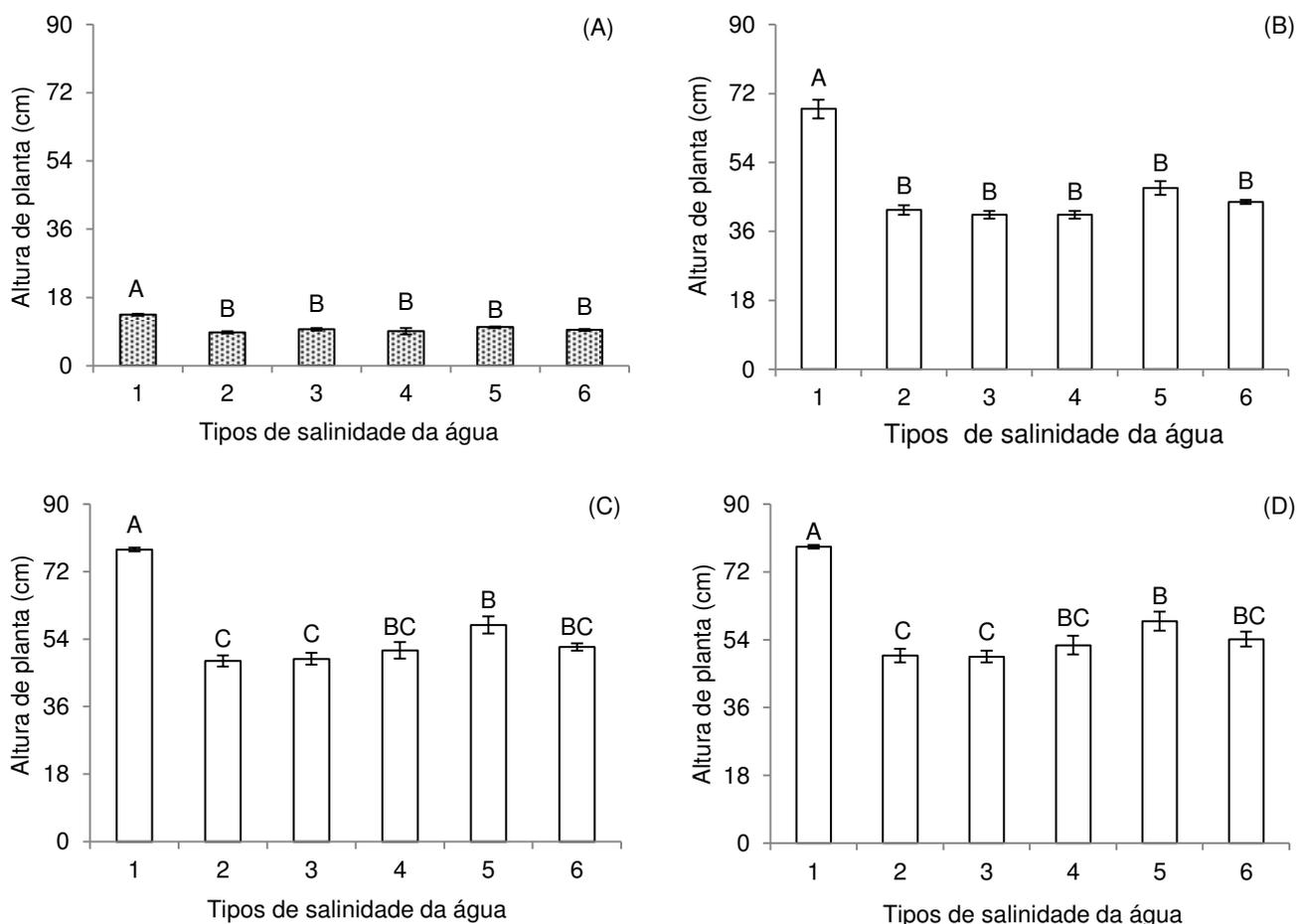
Bloco	3	14,11 ^{ns}	7,71 [*]	22,92 [*]	637005,56 ^{ns}
Tipos de Salinidade	(5)	487,24 ^{**}	47,06 ^{**}	229,23 ^{**}	84121507,71 ^{**}
\hat{y}_1	1	2200,77 ^{**}	200,61 ^{**}	1175,00 ^{**}	412616054,56 [*]
\hat{y}_2	1	0,14 ^{ns}	0,08 ^{ns}	3,78 ^{ns}	32701,09 ^{ns}
\hat{y}_3	1	37,77 ^{ns}	0,14 ^{ns}	3,78 ^{ns}	1037113,22 ^{ns}
\hat{y}_4	1	166,37 [*]	25,22 [*]	220,50 [*]	6174110,29 [*]
\hat{y}_5	1	175,97 [*]	31,90 [*]	312,05 ^{**}	6796829,74 [*]
Resíduo	15	14,99	2,79	7,51	440766,11
CV		6,76	9,69	18,46	15,16

\hat{y}_1 (S₁ vs S₂; S₃; S₄; S₅; S₆); \hat{y}_2 (S₂ vs S₃); \hat{y}_3 (S₂ vs S₆); \hat{y}_4 (S₂ vs S₅); \hat{y}_5 (S₅ vs S₂; S₃; S₄; S₆); FV – Fonte de variação; GL - Grau de liberdade; CV - Coeficiente de variação; (*) Significativo a 0,05, (**) Significativo a 0,01 de probabilidade; (ns) Não significativo

Observa-se, mediante os dados de altura de plantas da avaliação aos 20 DAS (Figura 3A), que a irrigação com água de composição iônica distinta exerceu influência significativa e através da comparação de médias constata-se que o uso de S₁ (Testemunha), na irrigação das plantas de mamoneira, resultou em valores estatisticamente superiores de AP (13,46 cm) em relação aos demais tipos de sais (S₂; S₃; S₄; S₅ e S₆). Comparativamente observou, pelos dados expostos na Figura 3A, redução expressiva (34,84%) na altura das plantas quando submetidas à irrigação com água constituída de sódio (S₂), em relação ao resultado correspondente ao tratamento testemunha (S₁); sugere-se desta forma, maior sensibilidade das plantas de mamoneira à irrigação com água possuindo elevadas concentrações de sódio em sua composição. Por outro lado, as plantas irrigadas com água do tratamento S₅, merecem destaque entre os demais tratamentos (S₃; S₄ e S₆), em virtude do menor decréscimo observado na altura de plantas (24,51%) em relação à testemunha. A partir dos resultados obtidos para AP aos 20 DAS, infere-se que o efeito da salinidade sobre o crescimento das plantas de mamoneira está relacionado tanto ao CEa como ao tipo de sal encontrado na água de irrigação.

Como nos dados de altura de planta aos 20 DAS nota-se, aos 40 DAS (Figura 3B) tendência semelhante obtendo-se, nas plantas submetidas à irrigação com água de menor salinidade (S₁), superioridade na AP em referência aos demais tratamentos (S₂; S₃; S₄; S₅ e S₆). Utilizando-se do teste de comparação de médias percebe-se que, embora a altura de plantas obtidas no tratamento S₅ (Figura 3B) ter sido 30,39% inferior à das plantas irrigadas com o S₁, ao comparar com os dados obtidos nos demais tratamentos (S₂; S₃; S₄ e S₆) verifica-se incremento na AP de 5,74; 6,98; 6,97 e 3,64 cm. Este resultado é justificado pela importância do potássio

no metabolismo vegetal tendo em vista que o potássio (K) atua na regulação do potencial osmótico celular e é muito importante no balanço das cargas negativas dos ácidos orgânicos dentro das células e no balanço dos ânions absorvidos pelas raízes (BERNARDI et al., 2010).



1= Testemunha; 2= Na⁺; 3= Ca⁺²; 4=Na⁺: Ca⁺²; 5=K⁺; 6=Na⁺:Ca⁺²:Mg⁺²

Figura 3. Altura de planta da mamoneira aos 20 (A), 40 (B), 60 (C) e 80 (D) dias após a semeadura, em função dos tipos de salinidade da água de irrigação

Conforme os resultados do teste de média referente à altura de plantas aos 60 DAS (Figura 3C), constata-se que as plantas sob irrigação com água de baixa salinidade (S₁) tiveram maior altura (77,94 cm) em relação às plantas irrigadas com águas de alta salinidade e distintas composições iônicas (S₂; S₃; S₄; S₅ e S₆). Outrossim, quando a irrigação foi realizada com águas dos tratamentos S₂; S₃; S₄; S₅ e S₆ houve redução na AP de 29,76; 29,19; 26,92; 20,15 e 26,03 cm, respectivamente, em relação às plantas que receberam água de baixa salinidade. De forma semelhante aos resultados obtidos para a altura de plantas nas demais

épocas de estudo (20 e 40 DAS), identificou-se menor altura de plantas (48,18 cm) nas plantas irrigadas com água salinizada por sódio (S_2).

Na avaliação aos 80 DAS para AP percebe-se, através do teste de comparação de médias (Figura 3D), que as plantas sob irrigação com água do tratamento S_1 , tiveram maior altura (78,70 cm) quando comparadas com as plantas irrigadas com água dos demais tipos de sais (S_2 ; S_3 ; S_4 ; S_5 e S_6). Verificou-se redução na AP da mamoneira estimada em 36,70; 37,05; 36,70 e 31,18% respectivamente, quando estavam sob irrigação com água dos tratamentos S_2 , S_3 ; S_4 e S_6 , enquanto nas que foram submetidas à irrigação com água salinizada por potássio (S_5) a perda relativa foi inferior a 26%. Ao se analisar, conjuntamente os resultados obtidos para AP em todas as épocas de estudo (20; 40; 60 e 80 DAS) fica evidente maior redução sobre esta variável nas plantas que foram irrigadas com água do tratamento S_2 aos 40 DAS. A razão do menor crescimento em altura das plantas de mamoneira ter sido observado aos 40 DAS ocorreu devido provavelmente, ao fato de que as plantas foram submetidas a um estresse, justamente no estágio fenológico (fase vegetativa) em que estão no pico de suas atividades metabólicas (LARCHER, 2004). Santos et al. (2012) afirmam, contudo, que essa tendência de diminuição na AP sob condições de estresse salino, também pode ser atribuída ao fato da planta, com o intuito de se ajustar osmoticamente, desprender determinada quantidade de energia para acumulação de açúcares, ácidos orgânicos e íons no vacúolo, energia que poderia ser utilizada no crescimento.

Observando a Tabela 5, na qual estão dispostos os contrastes de média, verifica-se que a altura das plantas sob irrigação com CEa de $0,6 \text{ dS m}^{-1}$ (S_1) variou de forma significativa quando comparada com as que estavam sob CEa de $4,5 \text{ dS m}^{-1}$ (S_2 ; S_3 ; S_4 ; S_5 e S_6) em todas as épocas avaliadas; a partir da estimativa de média (Tabela 6), nota-se que as plantas do tratamento em que se aplicou água de baixa salinidade ($0,6 \text{ dS m}^{-1}$), apresentaram um incremento na AP de 4,05; 25,32; 26,40 e 25,69 cm, em relação à média obtida nas que se encontravam sob CEa de $4,5 \text{ dS m}^{-1}$ (S_2 ; S_3 ; S_4 ; S_5 ; S_6) aos 20; 40; 60 e 80 DAS. Os resultados obtidos no presente estudo estão em concordância com Lima et al. (2014) ao observarem que o aumento da salinidade da água de irrigação (CEa variando entre 0,3 e $3,9 \text{ dS m}^{-1}$), reduziu a altura de planta da mamoneira BRS Energia, aos 30; 60 e 120 DAS.

Com referência aos tratamentos S₂ versus S₃ e S₂ versus S₆ constata-se não haver efeito significativo em nenhuma época de estudo; assim, os resultados sugerem que o sódio, o cálcio e o magnésio, atuaram de forma semelhante sobre o crescimento da mamoneira. Por outro lado e se comparando as médias dos tratamentos S₂ versus S₅ e S₅ versus (S₂; S₃; S₄ e S₆), observa-se efeito significativo em todas as épocas de estudo e, através dos dados de estimativa de média (Tabela 6) nota-se que as plantas irrigadas com água do tratamento constituído por sódio (S₂) obtiveram altura de planta inferior em 1,38; 5,74; 9,60 e 9,12 cm quando comparadas com as que receberam água salinizada por potássio (S₅) respectivamente aos 20; 40; 60 e 80 DAS. Ainda conforme dados da Tabela 6, verifica-se que quando as plantas de mamoneira foram submetidas ao tratamento S₅ aos 20; 40; 60 e 80 DAS, tiveram tendência a crescer mais em altura cuja média foi de 0,94; 5,93; 7,82 e 7,41 cm, superior à das plantas irrigadas com as águas dos demais tratamentos.

Tabela 6. Estimativa de média referente à altura de planta (AP), diâmetro de caule (DC), número de folhas (NF) e área foliar (AF) das plantas de mamoneira irrigada com água de diferentes tipos de salinidade, aos 20, 40, 60 e 80 dias após a semeadura

FV	Estimativa de média			
	AP	DC	NF	AF
		20 DAS		
\hat{Y}_1	4,05	0,63	0,72	136,41
\hat{Y}_2	-	-	-	-35,43
\hat{Y}_3	-	-	-	-18,85
\hat{Y}_4	-1,38	-0,24	-	-44,53
\hat{Y}_5	0,94	-	-	32,22
		40 DAS		
\hat{Y}_1	25,32	5,95	2,19	4441,87
\hat{Y}_2	-	-	-	-
\hat{Y}_3	-	-	1,24	-
\hat{Y}_4	-5,74	-1,48	-1,24	-781,79
\hat{Y}_5	5,83	1,65	0,97	638,59
		60 DAS		
\hat{Y}_1	26,40	6,52	18,51	12435,09
\hat{Y}_2	-	-	-	-
\hat{Y}_3	-	-	-	-
\hat{Y}_4	-9,60	-	-	-
\hat{Y}_5	7,82	-	-	-
		80 DAS		

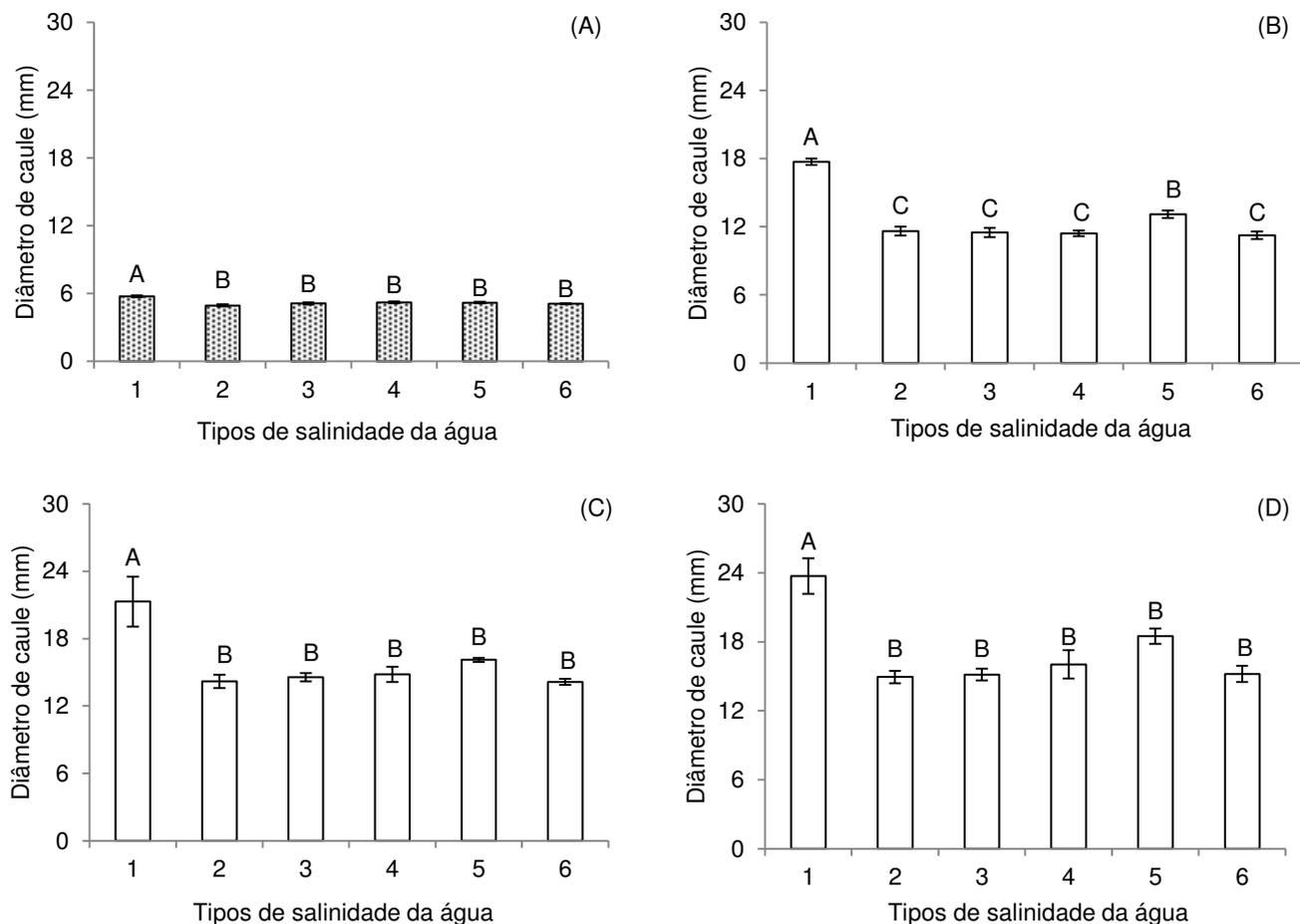
\hat{y}_1	25,69	7,75	18,77	11125,86
\hat{y}_2	-	-	-	-
\hat{y}_3	-	-	-	-
\hat{y}_4	-9,12	-3,55	-10,50	-1757,00
\hat{y}_5	7,41	3,15	9,87	1457,39

\hat{y}_1 (S₁ vs S₂; S₃; S₄; S₅; S₆); \hat{y}_2 (S₂ vs S₃); \hat{y}_3 (S₂ vs S₆); \hat{y}_4 (S₂ vs S₅); \hat{y}_5 (S₅ vs S₂; S₃; S₄; S₆); (-) não significativo

Para a variável diâmetro de caule aos 20 DAS observa-se, através do teste de comparação de médias (Figura 4A), maior DC (5,75 mm) nas plantas irrigadas com água de baixa salinidade (Testemunha) contrastando com o menor valor de 4,94 mm verificado nas plantas submetidas à irrigação com água salinizada por sódio; observou-se redução de 14,08% no DC quando comparado ao tratamento testemunha (S₁). Para os demais tipos de sais (S₃; S₄; S₅ e S₆) verifica-se, através da Figura 4A, o menor percentual de redução no DC, equivalente a 9,56%, quando as plantas foram submetidas à irrigação com água potássica em relação à testemunha. A redução observada no diâmetro de caule da mamoneira analisado neste trabalho, pode ser explicada visto que os sais na zona radicular da planta provocam redução da permeabilidade do sistema radicular à água induzindo ao déficit hídrico que, por consequência, leva à redução na taxa de fotossíntese e na taxa de crescimento (PRISCO, 1980). Além disto, Fageria et al. (2010) citam que quando as plantas são submetidas a esse estresse os efeitos iniciais não favorecem sintomas visíveis, como toxicidade, injúrias, desbalanço nutricional ou desidratação promovendo, no entanto, redução no crescimento.

Estudando o DC da mamoneira aos 40 DAS (Figura 4B), nota-se que as plantas irrigadas com água do tratamento S₁, foram estatisticamente superiores às dos demais tipos de salinidade (S₂; S₃; S₄; S₅ e S₆); no entanto, as plantas que estavam submetidas ao tratamento S₆, apesar de não diferirem estatisticamente das que estavam sob S₂, S₃, S₄ e S₅, foram as que apresentaram maior sensibilidade ao estresse salino, tendo comparativamente a maior redução no DC (36,54%), em relação à testemunha. Já as plantas de mamoneira irrigada com água do tratamento S₅, se destacaram em relação às dos demais tratamentos, por apresentar menor redução no diâmetro de caule (26,11%) quando comparado com a testemunha. Os resultados obtidos nas plantas sob irrigação com água potássica (S₅), justificam o caráter essencial deste macronutriente no metabolismo das plantas em virtude da sua participação no processo de regulação do potencial osmótico das células pois é

um dos nutrientes mais abundantes no citoplasma das células vegetais, além de participar na ativação de muitas enzimas envolvidas na respiração e na fotossíntese (PAVINATO et al., 2009).



1= Testemunha; 2= Na⁺; 3= Ca⁺²; 4=Na⁺: Ca⁺²; 5=K⁺; 6=Na⁺:Ca⁺²:Mg⁺²

Figura 4. Diâmetro de caule da mamoneira aos 20 (A), 40 (B), 60 (C) e 80 (D) dias após a semeadura, em função dos tipos de salinidade da água de irrigação

Conforme os resultados do teste de médias para o diâmetro de caule aos 60 DAS (Figura 4C), verifica-se que nas plantas que receberam água do tratamento testemunha, o DC foi significativamente maior em relação aos demais tipos de salinidade da água utilizados na irrigação. Constata-se ainda, observando as médias de DC das plantas irrigadas com águas de distintas composições iônicas (S₂; S₃; S₄; S₅ e S₆) redução de 33,39; 31,65; 30,38; 24,33; 33,01% quanto à testemunha. Diferentemente dos resultados obtidos para o diâmetro de caule aos 40 DAS, foram identificados o menor e o maior valor para o DC (14,18 e 16,11 mm), com a

utilização do tratamento salino S₂ e S₅ respectivamente, fato que confirma o efeito negativo do sódio sobre o crescimento da mamoneira.

Analisando o diâmetro de caule aos 80 dias após a semeadura (Figura 4D), observa-se, por meio do teste de comparações de médias, tal como ocorreu para DC aos 60 DAS (Figura 4C), ter havido variação significativa entre a testemunha (S₁) e os demais tratamentos (S₂; S₃; S₄; S₅ e S₆); contudo e apesar do uso de águas salinas com as distintas composições iônicas (S₂; S₃; S₄; S₅ e S₆) não ter divergido estatisticamente entre si, verifica-se que a irrigação com água salinizada por potássio no cultivo da mamoneira favoreceu maior crescimento em termos de diâmetro de caule (média de 18,48 mm), em relação aos demais tratamentos estudados, exceto a testemunha. Por outro lado, percebe-se menor valor para DC (média de 14,93 mm) ao irrigar as plantas com água constituída de sódio (S₂). Ao comparar as plantas irrigadas com água constituída de Na; Ca; Na+Ca; K; Na+Ca+Mg constata-se redução no DC de 37,03; 36,14; 32,39; 22,05 e 35,89% em relação às que receberam o tratamento S₁. Neste estudo, além do efeito osmótico ficam evidenciados os problemas de toxicidade, observados visualmente através de queimaduras marginais e necroses foliares, provavelmente pelo sódio. Além disto, é provável que o excesso de Na⁺ no protoplasma, tenha ocasionado distúrbios em relação ao balanço iônico (K⁺ e Ca⁺²), bem como os efeitos específicos deste íon sobre as enzimas e membranas (FLORES, 1990), promovendo redução do crescimento das plantas.

Similar ao que ocorreu com a AP verifica-se, através da análise dos contrastes (Tabela 5) para a variável diâmetro de caule, a ocorrência de efeitos significativos quando se comparam as plantas submetidas à irrigação com água de CEa de 0,6 dS m⁻¹ (S₁) em relação às que receberam 4,5 dS m⁻¹ (S₂; S₃; S₄; S₅ e S₆) em todas as épocas avaliadas. A partir da análise da Tabela 6 novamente se evidencia superioridade no DC das plantas irrigadas com água de CEa 0,6 dS m⁻¹, com média de 0,63; 5,95; 6,53 e 7,75 mm, respectivamente, aos 20; 40; 60 e 80 DAS em relação às plantas que estavam sob CEa de 4,5 dS m⁻¹ (S₂; S₃; S₄; S₅ e S₆). Alves et al. (2012) observaram, ao avaliar a influência da irrigação com água de condutividade elétrica variando entre 0,6 e 4,6 dS m⁻¹ sobre o crescimento da mamoneira BRS Energia, redução no diâmetro de caule de 3,32 mm aos 40 DAS.

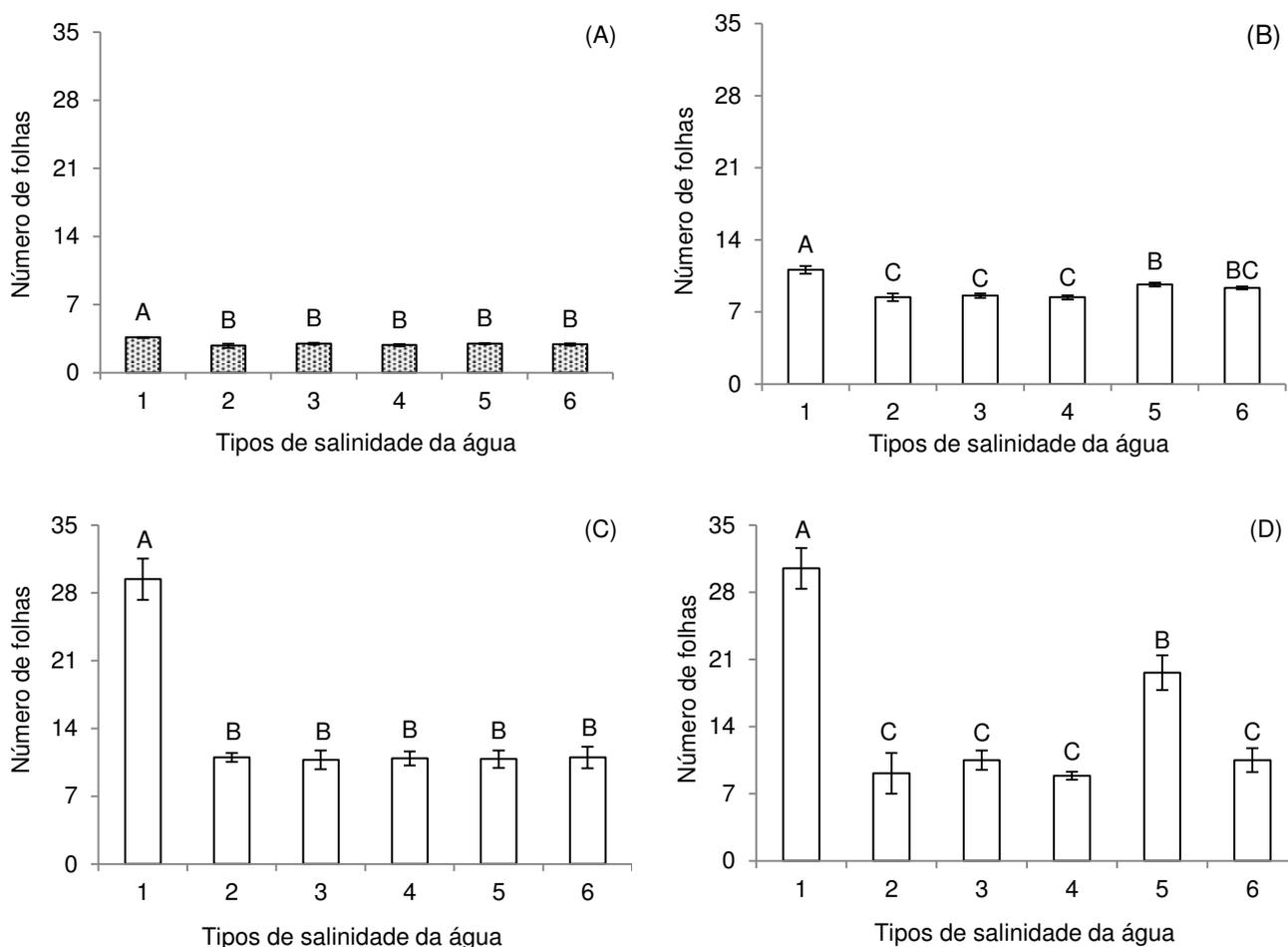
Conforme (Tabela 4) as plantas de mamoneira submetidas à irrigação com água do tratamento S₂ não apresentaram diferença significativa quando comparadas com as dos tratamentos S₃ e S₆, em nenhuma época de estudo. Desta forma é possível inferir que a irrigação com os diferentes tipos de sais (Na⁺, Ca⁺², Mg⁺²) provocou efeitos similares sobre o DC porém as plantas irrigadas com água do tratamento S₂ diferiram estatisticamente das que receberam o S₅ aos 20; 40 e 80 DAS sendo o DC das plantas sob irrigação com água do tratamento S₂ inferior em 0,24; 1,48 e 1,92 mm, respectivamente. Já ao comparar o tratamento S₅ versus S₆, observam-se diferenças significativas (Tabela 5) apenas aos 40 e 80 DAS.

Referente ao número de folhas aos 20 DAS verifica-se, através da Figura 5A, exceto para a testemunha (S₁), não haver diferença estatística nos distintos tipos de salinidade da água de irrigação, mas se obteve, para o tratamento S₁ o valor médio de 3,61 folhas, seguido por S₃ e S₅ (média de 2,97 folhas) além do tratamento S₆ (média de 2,88 folhas), sendo os menores valores para número de folhas (média de 2,76 e 2,83) encontrados nas plantas submetidas à irrigação com água constituída de Na e Na+Ca, respectivamente.

Transcorridos 40 DAS constatou-se, através do teste de comparação de médias para número de folhas (Figura 5B) que houve diferença estatística entre entre os tipos de sais estudados, sendo o tratamento S₁ estatisticamente superior aos demais, seguido dos tratamentos (S₅ e S₆). De forma semelhante ao observado aos 20 DAS, o número de folhas obtido em avaliação realizada aos 60 DAS (Figura 5C), diferiu estatisticamente em função dos tipos de sais presentes na água de irrigação destacando-se a testemunha com maior quantidade de folhas (média de 29,41). Ao comparar os dados obtidos para NF nos tratamentos S₂; S₃; S₄; S₅ e S₆, constata-se redução de 37,40; 36,51; 37,09; 36,82 e 37,40% respectivamente, em relação à testemunha.

Enquanto no último período de avaliação (80 DAS) observa-se que os distintos tipos de salinidade também exerceram influência significativa sobre o número de folhas das plantas de mamoneira constatando-se os maiores valores médios (30,5 e 19,62 folhas) nas plantas submetidas aos tratamentos S₁ e S₅, respectivamente (Figura 5D). Por outro lado, obtiveram-se os menores valores para o NF nas plantas irrigadas com águas constituídas de sódio, cálcio e magnésio (S₂; S₃; S₄ e S₆).

Atribui-se esta diminuição no número de folhas ao efeito osmótico dos sais dissolvidos que reduzem o potencial osmótico da solução do solo e inibem a condução da água às células, caracterizando o estresse hídrico, além da possibilidade de ocorrência de toxicidade iônica, desequilíbrio nutricional, ou ambos, em função da acumulação excessiva de determinados íons nos tecidos vegetais (FLOWERS, 2004). Todavia, essas alterações morfológicas observadas nas plantas de mamoneira cv. BRS Energia através da redução do número de folhas, são mecanismos para manter a absorção satisfatória de água (OLIVEIRA et al., 2011).



1= Testemunha; 2= Na⁺; 3= Ca⁺²; 4=Na⁺: Ca⁺²; 5=K⁺; 6=Na⁺:Ca⁺²:Mg⁺²

Figura 5. Número de folhas da mamoneira aos 20 (A), 40 (B), 60 (C) e 80 (D) dias após a semeadura, em função dos tipos de salinidade da água de irrigação

Através da Tabela 5 tem-se a análise dos contrastes para o número de folhas se verifica que as plantas, quando foram irrigadas com água de CEa de 0,6 dS m⁻¹ (S₁) foram influenciadas significativamente quando comparadas com as que receberam água de CEa de 4,5 dS m⁻¹(S₂; S₃; S₄; S₅ e S₆) e de acordo com a

estimativa de média (Tabela 6) vê-se que as plantas irrigadas com água de baixo nível salino ($0,6 \text{ dS m}^{-1}$), desenvolveram maior NF superando em 0,72; 2,19; 18,51 e 18,77 a média observada nas plantas em que houve irrigação com água de $4,5 \text{ dS m}^{-1}$ (S_2 ; S_3 ; S_4 ; S_5 e S_6). Segundo Oliveira et al. (2010) em condições de estresse salino é comum ocorrerem alterações morfológicas nas plantas, o que reflete na redução da transpiração como alternativa para manter a baixa absorção de água salina e dentre essas adaptações está a redução do número de folhas.

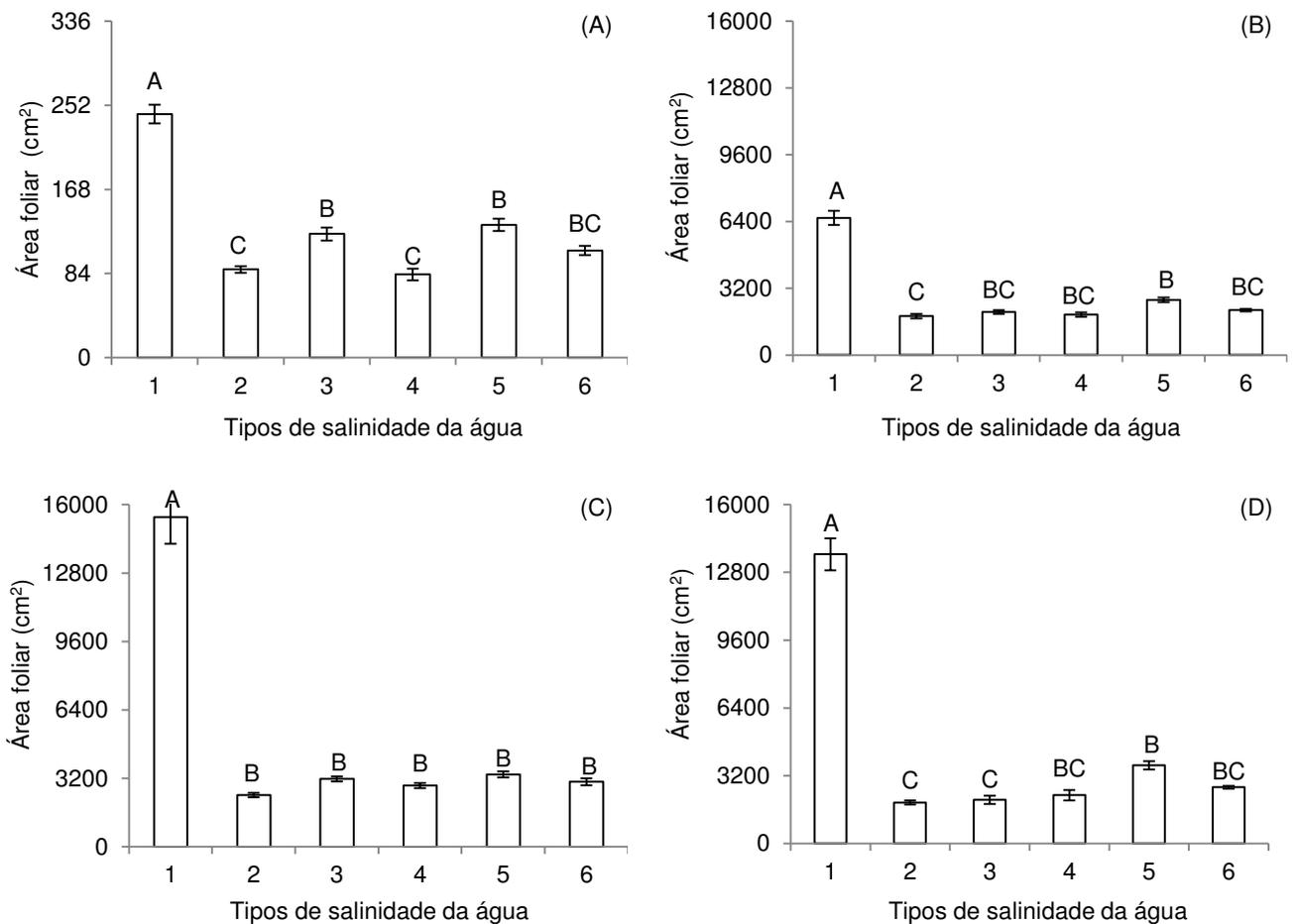
Todavia, ao comparar as plantas irrigadas com o tratamento S_2 versus S_3 , nota-se ter havido diferença significativa (Tabela 5) sobre o NF aos 20 DAS; porém, ao estudar o tratamento S_2 versus S_6 , constata-se não haver influência significativa sobre o número de folhas em nenhum período avaliado. Registra-se, portanto, pelos resultados acima tal como constado para o DC, efeito semelhante ao dos diferentes tipos de sais sobre o NF das plantas de mamoneira.

Verifica-se também, com base na Tabela 5, efeito significativo entre os tratamentos (S_2 versus S_5) sobre o NF apenas aos 40 DAS. Pela estimativa de média (Tabela 6) nota-se que ao se utilizar água salinizada por sódio (S_2) na irrigação, o NF foi estatisticamente inferior, com declínio de 1,24 folhas em relação às plantas que estavam sob o tratamento S_5 . Analisando os efeitos do tratamento S_5 versus os demais (S_2 ; S_3 ; S_4 ; S_6), observa-se, através do resumo da análise de variância para os contrastes estudados (Tabela 5), efeito significativo sobre NF aos 40 e 80 DAS e mediante os dados de estimativa de média (Tabela 6) observa-se que, ao serem submetidas à irrigação com água constituída por potássio (S_5), as plantas de mamoneira apresentaram incremento no NF de 0,97 e 9,87, respectivamente (Figura 5D) aos 40 e 80 DAS, quando comparadas com as que estavam sendo irrigadas com os demais tratamentos (S_2 , S_3 , S_4 ; S_6).

Observa-se (Figura 6A) mediante a aplicação do teste de comparação de médias para a AF aos 20 DAS, que as plantas de mamoneira cultivadas sob irrigação com água de baixo nível salino (testemunha) cresceram mais em área foliar diferido estatisticamente das plantas irrigadas com águas constituídas na sua composição de sódio, cálcio, sódio+cálcio, potássio e sódio+cálcio+magnésio. Nota-se também, que as plantas, quando submetidas ao tratamento S_2 ; S_3 ; S_4 ; S_5 e S_6 apresentaram, respectivamente, diminuição na AF de 63,8; 49,23; 65,88; 45,49 e 56,05% em relação às plantas irrigadas com o tratamento testemunha. Constata-se,

com os resultados acima, que as plantas irrigadas com água constituída de potássio apresentaram, entre os demais tipos de sais (S_2 ; S_3 ; S_4 e S_6) o maior crescimento em termos de expansão foliar ($132,61 \text{ cm}^2$). O fato do crescimento da mamoneira observado através da área foliar apresentar menor declínio quando as plantas foram irrigadas com água salinizadas por potássio em relação aos demais tipos de salinidade da água, pode estar associado às funções do K no metabolismo das plantas visto que este macronutriente participa da manutenção do equilíbrio iônico e da turgidez das células, através do controle da abertura e do fechamento dos estômatos (GURGEL et al., 2010).

Mantendo a tendência observada aos 20 DAS constata-se, através da comparação de médias entre os tratamentos para AF em avaliação realizada aos 40 DAS (Figura 6B), que as plantas de mamoneira submetidas à irrigação com água de menor salinidade (S_1), apresentaram maior AF ($6570,30 \text{ cm}^2$), diferido estatisticamente das plantas irrigadas com os tratamentos S_2 ; S_3 ; S_4 ; S_5 e S_6 . Observa-se ainda, através do teste de comparação de médias, superioridade na AF das plantas irrigadas com água salinizada com potássio em relação aos demais tipos de águas salinas (S_2 ; S_3 ; S_4 e S_6). Tal como a área foliar aos 20 DAS, as plantas irrigadas com água constituída de sódio formaram menor área foliar (média de $1857,57 \text{ cm}^2$). Assim, é possível sugerir que a redução mais expressiva no crescimento, em termos de AF das plantas de mamoneira irrigadas com água salina (S_2), pode ter sido reflexo da alta concentração de sódio em seus tecidos visto que este elemento afeta vários processos fisiológicos e bioquímicos, como a respiração, fotossíntese, síntese de proteínas e metabolismo de lipídeos, podendo também levar a planta ao estado de estresse hídrico com perda de água para o meio externo e a sofrer com a toxidez, fato que resultará em sérios prejuízos ao crescimento e desenvolvimento dos vegetais (ESTEVES & SUZUKI, 2008).



1= Testemunha; 2= Na⁺; 3= Ca⁺²; 4=Na⁺: Ca⁺²; 5=K⁺; 6=Na⁺:Ca⁺²:Mg⁺²

Figura 6. Área foliar da mamoneira aos 20 (A), 40 (B), 60 (C) e 80 (D) dias após a semeadura, em função dos tipos de salinidade da água de irrigação

Verifica-se, com base no teste de comparação de médias para AF aos 60 DAS (Figura 6C), que as plantas de mamoneira irrigadas com água de baixa salinidade (S₁) se destacaram com o maior valor de área foliar (15410,2 cm²) em relação aos demais tratamentos, acompanhando a mesma tendência observada para o número de folhas na mesma época de estudo. Por outro lado, o valor obtido para área foliar nos tratamentos S₂, S₃, S₄, S₅ e S₆ não diferiu entre si obtendo-se valores médios de 2415,4; 3168,5; 2861,3; 3387,9 e 3042,5 cm², respectivamente. Destaca-se, através dos dados apresentados na Figura 6C, que quando as plantas foram irrigadas com água contendo potássio em sua composição se registraram os valores mais expressivos em termos de expansão foliar (3387,9 cm²) em relação aos demais tipos de sais (S₂; S₃; S₄ e S₆) e o menor valor para esta variável (2415,4 cm²) foi observado nas plantas submetidas à salinidade da água constituída de sódio (S₂).

Neste sentido, os decréscimos observados na AF, notadamente nas plantas irrigadas com água salinizada por sódio, são reflexos da redução do potencial osmótico devido à alta acumulação de íons de Na^+ e Cl^- na solução do solo, em níveis que alterassem o equilíbrio iônico celular. Acrescente-se que esta redução do número de folhas (Figura 5) e da expansão foliar (Figura 6) observada no presente estudo, é exemplo de prováveis adaptações das plantas quando cultivadas sob condições de estresses salino.

Quando se avaliou a área foliar aos 80 dias após a semeadura (Figura 6D), observou-se que os distintos tipos de salinidade da água diferiram entre si, sendo evidenciada maior área foliar ($13651,63 \text{ cm}^2$) ao se fazer a irrigação com água de baixo nível salino (S_1). Por outro lado, é importante salientar que as plantas irrigadas com água do tratamento S_5 (média de $3691,69 \text{ cm}^2$) tiveram reduções menos acentuadas em comparação com os demais tipos de sais. Verifica-se também (Figura 6D) que, de modo geral, os menores valores para AF foram encontrados nas plantas irrigadas com água de composição iônica de sódio ($1934,68 \text{ cm}^2$) e cálcio ($2062,55 \text{ cm}^2$). Comparando os dados obtidos nas plantas irrigadas com os distintos tipos de salinidade (S_2 ; S_3 ; S_4 ; S_5 e S_6), vê-se que ocorreu redução média de 85,82; 84,89; 83,26; 72,95 e 80,55% respectivamente, na área foliar em relação à testemunha. Ressalta-se que, apesar da redução observada na AF aos 80 DAS decorrente da aplicação dos distintos tipos de sais em relação à testemunha, quando se compara com os resultados obtidos em avaliação aos 60 DAS (Figura 6C), percebe-se, com exceção das plantas irrigadas com água potássica, que os demais tipos de salinidade impostos à cultura proporcionaram redução na área foliar.

Na Tabela 5 se encontram os dados da análise de variância dos contrastes entre os tratamentos estudados para a variável área foliar da mamoneira. Comparativamente se registra, pelos dados expostos na referida tabela, influência significativa sobre a AF das plantas irrigadas com CEa de $0,6 \text{ dS m}^{-1}$ em relação às sob $4,5 \text{ dS m}^{-1}$, em todas as datas avaliadas. Através da estimativa de média (Tabela 6) identifica-se aumento mais expressivo na área foliar nas plantas cultivadas no nível de salinidade ($0,6 \text{ dS m}^{-1}$) superando a média em 136,41; 4441,87; 12435,09 e 11125,86 cm^2 respectivamente, aos 20; 40; 60 e 80 DAS, em relação àquelas que foram irrigadas com CEa de $4,5 \text{ dS m}^{-1}$. A redução da área foliar das plantas cultivadas sob salinidade é um mecanismo adaptativo importante

visto que, em tais condições, ocorre redução na transpiração e, em contrapartida, diminuição no transporte de íons de Na^+ e Cl^- no xilema e manutenção de elevado potencial hídrico na planta (TESTER & DAVENPORT, 2003).

Nota-se, nas plantas submetidas ao uso de água constituída de sódio (S_2) quando comparadas com as que estavam sob irrigação com água de composição iônica constituída de cálcio (S_3), sódio, cálcio e magnésio (S_6), influência significativa sobre a AF apenas aos 20 DAS. Referindo-se, ainda à Tabela 5, constata-se diferença significativa entre os tratamentos S_2 versus S_5 sobre a AF aos 20; 40 e 80 DAS; Comparando o crescimento da mamoneira através da estimativa de média (Tabela 6), vê-se que a área foliar das plantas referente ao tratamento S_2 foi significativamente afetada sendo constatada diminuição de 44,53; 781,79 e 1757,00 cm^2 quando comparada com as que estavam irrigadas com água do tratamento S_5 , aos 20; 40 e 80 DAS, respectivamente. Porém, ao comparar o tratamento S_5 versus os demais tratamentos (S_2 , S_3 , S_4 , S_6) registrou-se um declínio sobre a AF de 32,22; 638,59 e 1457,39, ou seja, redução inferior à observada anteriormente para os tratamentos S_2 versus S_5 . De maneira geral, pode-se inferir, a partir dos resultados obtidos no presente estudo, que o uso de água salinizada por sódio provoca maiores alterações na morfologia da mamoneira, fato este observado através da diminuição do número de folhas e da expansão foliar.

CONCLUSÕES

1. Apesar do efeito deletério da salinidade sobre a emergência e o crescimento, as plantas irrigadas com água constituída por potássio apresentaram os maiores valores de altura de planta, diâmetro de caule, número de folhas e área foliar, em todas as épocas de estudo.
2. A mamoneira demonstra maior sensibilidade à salinidade com água constituída por sódio e sódio + cálcio.
3. O efeito negativo do estresse salino sobre a emergência e o crescimento da mamoneira 'BRS Energia' depende do tipo de cátion presente na água de irrigação e obedece à seguinte ordem $\text{Na}^+ > \text{Na}^+ + \text{Ca}^+ > \text{Ca}^{+2} > \text{Na}^+ + \text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2} > \text{K}^+$.
4. A emergência e o crescimento das plantas foram mais afetados pela CEa quando comparado com a natureza catiônica da água de irrigação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, A. N.; GHEYI, H. R.; UYEDA, C. A.; SOARES, F. A. L.; NOBRE, R. G.; CARDOSO, J. A. F. Uso de águas salinas e adubação nitrogenada no cultivo da mamoneira BRS-Energia. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.6, n. 2, p. 151-163, 2012.
- ASHRAF M.; HARRIS, P. J. C. Potential biochemical indicators of salinity tolerance in plants. **Plant Science**, v. 166, n. 1, p. 3-16, 2004.
- AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. Campina Grande: UFPB, 1999. 153p. Estudos FAO: Irrigação e drenagem, 29.
- BABITA, M., MAHESWARI, M.; RAO, L. M.; A. K.; SHANKER, RAO, A. K.; RAO, D. G. Osmotic adjustment, drought tolerance and yield in castor (*Ricinus communis* L.) hybrids. **Environmental and Experimental Botany**, v. 69, n.3, p.243-249, 2010.
- BANSAL, R. P.; BHATI, P. R.; SEN, D. N. Differential specificity in water inhibition of Indian arid zone. **Biologia Plantarum**, v. 22, n.5, p. 327-331, 1980.
- BERNARDI, A. C. C.; OKA, S. H.; SOUZA, G. B. de. Comparação de técnicas analíticas para a extração de potássio de amostras de tecido vegetal com água e soluções ácidas concentradas e diluída. **Eclética Química**, v.35, n.2, p.45-49, 2010.
- BEZERRA, A. K. P.; LACERDA, C. F. de; HERNANDEZ, F. F. F.; SILVA, F. B. da; GHEYI, H. R. Rotação cultural feijão caupi/milho utilizando-se águas de salinidades diferentes. **Revista Ciência Rural**, v.40, n.5, p.1075-1082, 2010.
- CAMPOS, V. B. CAVALCANTE, L. F.; RODOLFO JÚNIOR. F.; SOUSA, G. G.; MOTA, J. K. Crescimento inicial da mamoneira em resposta à salinidade e biofertilizante bovino. **Magistra**, v. 21, n.1, p.41-47, 2009.
- CAVALCANTI, M. L. F.; FERNANDES, P. D.; GHEYI, H. R.; BARROS JÚNIOR, G.; SOARES, F. A. L.; SIQUEIRA, E. da C. Tolerância da mamoneira BRS 149 à salinidade: germinação e características de crescimento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, (Suplemento), p.57-61, 2005.
- CLAESSEN, M. E. C. (Org.). **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. rev. atual. Rio de Janeiro: Embrapa-CNPS, 1997. 212p. (Embrapa-CNPS. Documentos, 1).

- COSTA, R. G.; GHEYI, H. R. Variação da qualidade da água de irrigação da microrregião homogênea de Catolé do Rocha, PB. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.19, n.18, p.1021-1025, 1984.
- ESTEVEZ, B. S.; SUZUKI, M. S. Efeito da salinidade sobre as plantas. **Ecologia Brasileira**, v. 12, n. 4, p. 662-679, 2008.
- FAGERIA, N. K.; SOARES FILHO, W. dos S.; GHEYI, H. R. Melhoramento genético vegetal e seleção de cultivares tolerantes à salinidade. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. da S.; LACERDA, C. F. de. **Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicativos**. Fortaleza: INCTSal, 2010. Cap.13, p.205-218.
- FLORES, H. E. Polyamines and plant stress. In: LASCHER, R. G.; CUMMING, J. R. **Stress responses in plants: adaptation and acclimation mechanisms**. New York: Wiley, 1990. P. 217-239.
- FLOWERS, T. J. Improving crop salt tolerance. **Journal of Experimental Botany**, v.55, n. 396, p.307-319, 2004.
- GRACIANO, E. S. A.; NOGUEIRA, R. J. M. C.; LIMA, D. R. M.; PACHECO, C. M.; SANTOS, R. C. Crescimento e capacidade fotossintética da cultivar de amendoim BR 1 sob condições de salinidade. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.8, p.794-800, 2011.
- GURGEL, M. T.; UYEDA, C. A.; GHEYI, H. R.; OLIVEIRA, F. H. T. de; FERNANDES, P. D.; SILVA, F. V. da. Crescimento de meloeiro sob estresse salino e doses de potássio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.1, p.3-10, 2010.
- LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: RiMa, 2004. 531p.
- LIMA, G. S. de; NOBRE, R. G.; GHEYI, H. R.; SOARES, L. A. dos A.; SILVA, S. S. da. Respostas morfofisiológicas da mamoneira, em função da salinidade da água de irrigação e adubação nitrogenada. **Irriga**, v. 19, n.1, p.130-136, 2014.
- NOBRE, R. G.; GHEYI, H. R.; SOARES, F. A. L.; CARDOSO, J. A. F. Produção de girassol sob estresse salino e adubação nitrogenada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, n.3, p.929-937, 2011.
- NOBRE, R. G.; LIMA, G. S. de; GHEYI, H. R.; LOURENÇO, G. S.; SOARES, L. A. A. Emergência, crescimento e produção da mamoneira sob estresse salino e adubação nitrogenada. **Revista Ciência Agronômica**, v 44, n.1, p. 76-85, 2013.

- NOVAIS, R. F.; NEVES J. C. L.; BARROS N. F. Ensaio em ambiente controlado. In: OLIVEIRA A. J. **Métodos de pesquisa em fertilidade do solo**. Brasília: Embrapa-SEA. 1991. p.189-253.
- OLIVEIRA, F. A.; CARRILO, M. J. S.; MEDEIROS, J. F.; MARACÁ, P. B.; OLIVEIRA, M. K. T. Desempenho de cultivares de alface submetida a diferentes níveis de salinidade da água de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n. 8, p.771-777, 2011.
- OLIVEIRA FILHO, A. F. de; OLIVEIRA, F. de A. de; MEDEIROS, J. F. de; MESQUITA, T. de O.; ZONTA, E. Crescimento de cultivares de mamoneira sob doses de torta de mamona. **Revista Verde de Agroecologia e Agricultura Sustentável**, v. 5, n.5, p. 18-24, 2010.
- PAVINATO, P. S.; CALONEGO, J. C.; CAMILI, E. C.; ALVAREZ, A. C.; LEITE, G. H.; BOARO, C. S. F. Influência da adubação potássica na produção e na atividade de enzimas pós-colheita em escarola (*Cichorium endivia* L.). **Ambiência - Revista do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais**, v.5, n.3, p.505-520, 2009.
- PRISCO, J. T. Alguns aspectos da fisiologia do "stress" salino. **Revista Brasileira de Botânica**, v.3, n.1/2, p.85-94, 1980.
- RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V. V. H. (ed). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. Viçosa: CFSEMG, 1999. 359p.
- RICHARDS, L. A. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington: U. S. Department of Agriculture, 1954. 160p. (USDA, Agriculture Handbook, 60).
- RODRIGUES, L. N.; NERY, A. R.; FERNANDES, P. D.; BELTRÃO, N. E. M.; GHEYI, H. R. Crescimento e produção de bagas da mamoneira irrigada com água residuária doméstica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, (Suplemento), p.825-835, 2009.
- SANTOS, B. dos.; FERREIRA, P. A.; OLIVEIRA, F. G. de.; BATISTA, R. O.; COSTA, A. C.; CANO, M. A. O. Produção e parâmetros fisiológicos do amendoim em função do estresse salino. **Revista Idesia**, v.30, n.2, p. 69-74, 2012.
- SANTOS, J. B. dos; SANTOS, D. B. dos; AZEVEDO, C. A. V. de; REBEQUI, A. M.; CAVALCANTE, L. F.; CAVALCANTE, I. H. L. Comportamento morfofisiológico da

- mamoneira BRS Energia submetida à irrigação com água salina. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n.2, p.145-1522, 2013.
- SEVERINO, L. S.; VALE, L. S.; CARDOSO, G. D.; BELTRÃO, N. E. de M.; SANTOS, J. W. dos. **Método para determinação da área foliar da mamoneira**. Campina Grande: Embrapa – CNPA, 2005. 20p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 55).
- SILVA, E. F. da; ASSIS JÚNIOR, R. N. de; SOUSA, J. I. G. Efeito da qualidade da água de irrigação sobre atributos hídricos de um Neossolo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, n.3, p. 389-396, 2005.
- SILVA, S. M. S.; GHEYI, H. R.; BELTRÃO, N. E. de M.; SANTOS, J. W. dos; SOARES, F. A. L. Dotações hídricas em densidades de plantas na cultura da mamoneira cv. BRS Energia. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.4, n.3, p.338-348, 2009.
- SILVA, T. R. B. da; LEITE, V. E.; SILVA, A. R. B. da; VIANA, L. H. Adubação nitrogenada em cobertura na cultura da mamona em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, n.9, p.1357-1359, 2007.
- SILVA JÚNIOR, L. G. A.; GHEYI, H. R.; MEDEIROS, J. F. Composição química de água do cristalino do Nordeste Brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.3, n.1, p.11-17, 1999.
- SOARES, L. A. A.; NOBRE, R. G.; GHEYI, H. R.; LIMA, G. S.; SILVA, A. O.; SOARES, S. S. Componentes de crescimento da mamoneira cultivada com águas salinas e doses de nitrogênio. **Irriga**, Edição Especial, p.40-54, 2012.
- TESTER, M.; DAVENPORT, R. Na⁺ tolerance and Na⁺ transportin higher plants. **Annals of Botany**, v.91, n.3, p.503-527, 2003.
- VIEIRA, R. D.; CARVALHO, N. M. **Teste de vigor em sementes**. Jaboticabal: FUNEP/UNESP-FCAVJ, 1994. 164p.
- VOIGT, E. L.; ALMEIDA, T.D.; CHAGAS, R. M.; PONTE, L. F. A.; VIÉGAS, R. A.; SILVEIRA, J. A. G. Source-sink regulation of cotyledonary reserve mobilization during cashew (*Anacardium occidentale*) seedling establishment under NaCl salinity. **Journal of Plant Physiology**, v.166, n.1, p.80-89, 2009.

CAPÍTULO III

RELAÇÕES HÍDRICAS E TROCAS GASOSAS NA MAMONEIRA SOB SALINIDADE E NATUREZA CATIÔNICA DA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO

RELAÇÕES HÍDRICAS E TROCAS GASOSAS NA MAMONEIRA SOB SALINIDADE E NATUREZA CATIÔNICA DA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO

Resumo: Com o objetivo de avaliar as relações hídricas e as trocas gasosas na mamoneira sob salinidade e natureza catiônica da água de irrigação, realizou-se um experimento em lisímetros de drenagem em condições de casa de vegetação no Argissolo Acinzentado Eutrófico de textura franco-arenosa, entre novembro de 2013 e fevereiro de 2014. Os tratamentos consistiram de seis tipos de salinidade da água (S_1 - Testemunha; S_2 - Na^+ ; S_3 - Ca^{+2} ; S_4 - $Na^+ + Ca^{+2}$; S_5 - K^+ e S_6 - $Na^+ + Ca^{+2} + Mg^{+2}$), distribuídos no delineamento em blocos casualizados com quatro repetições, sendo cada parcela composta por cinco plantas úteis totalizando 120 unidades experimentais. As plantas referentes ao tratamento testemunha (S_1) foram irrigadas com água de condutividade elétrica (CEa) de $0,6 \text{ dS m}^{-1}$ e nos demais tratamentos (S_2 ; S_3 ; S_4 ; S_5 e S_6) utilizou-se CEa de $4,5 \text{ dS m}^{-1}$, preparada a partir dos distintos íons. O uso de água de natureza catiônica distinta afetou as relações hídricas da mamoneira, sendo o menor efeito deletério foi observado nas plantas irrigadas com água potássica; o maior déficit de saturação hídrica foi obtido nas plantas irrigadas com água de composição sódica. Os efeitos negativos da natureza catiônica da água de irrigação foram mais evidentes nas trocas gasosas, sobretudo na condutância estomática e na taxa de assimilação de CO_2 aos 40 dias após a semeadura (DAS). Entre os tratamentos com $CEa = 4,5 \text{ dS m}^{-1}$, o potássio foi o íon que proporcionou os maiores valores de condutância estomática, transpiração, taxa de assimilação de CO_2 , eficiência instantânea de carboxilação e eficiência intrínseca do uso da água, aos 40 DAS; a mamoneira 'BRS Energia' é mais sensível à presença do íon sódio na água de irrigação, tanto em termos de relações hídricas como para as trocas gasosas; as relações hídricas e a fisiologia da mamoneira foram mais sensíveis à variação na CEa em comparação com a natureza catiônica da água.

Palavras-chave: *Ricinus communis* L., estresse salino, semiárido

WATER RELATIONS AND GAS EXCHANGE IN CASTOR BEAN UNDER SALINITY AND CATIONIC NATURE OF IRRIGATION WATER

Abstract: Aiming to evaluate the water relations and gas exchange in castor bean under salinity and cationic nature of irrigation water, an experiment was conducted in drainage lysimeters under controlled conditions of greenhouse in an Ultisol Eutrophic of sandy loam texture, between November 2013 and February 2014. Treatments consisted of six types of water salinity (S_1 - Control; S_2 - Na^+ ; S_3 - Ca^{+2} ; S_4 - $Na^+ + Ca^{+2}$; S_5 - K^+ and S_6 - $Na^+ + Ca^{+2} + Mg^{+2}$), distributed in a randomized block design with four replications, each plot consisting of five plants totaling 120 experimental units. Plants corresponding to the control treatment (S_1) were irrigated with water of electrical conductivity (ECw) of 0.6 dS m^{-1} , and the other treatments (S_2 , S_3 , S_4 , S_5 and S_6) were irrigated with $ECw = 4.5 \text{ dS m}^{-1}$ prepared with different cations. The use of water of distinct cationic nature affected the water relations of the castor bean, the least deleterious effect was observed in plants irrigated with potassic water. The largest deficit of water saturation was obtained in plants irrigated with sodic water. The negative effects of the cationic nature of irrigation water were more evident in gas exchange, especially in stomatal conductance and CO_2 assimilation rate at 40 days after sowing (DAS). Among the treatments with ECw of 4.5 dS m^{-1} , the highest values for stomatal conductance, transpiration rate, assimilation of CO_2 , instantaneous carboxylation efficiency and intrinsic water use efficiency at 40 DAS were observed in case of potassium ion. The castor bean 'BRS Energia' is more sensitive to the presence of sodium ions in the irrigation water, both in terms of water relations as well as for gas exchange; water relations of castor bean and physiology are more sensitive to variation in ECw compared to the cationic nature of water.

.Key words: *Ricinus communis* L., salt stress, semiarid

INTRODUÇÃO

A demanda industrial por óleos vegetais cresce a cada ano e o interesse mundial por oleoquímicos está em alta, haja vista sua diversificada forma de aplicação; neste contexto, a mamoneira (*Ricinus communis* L.) se destaca por ser um arbusto de cuja semente se extrai um óleo de excelentes propriedades e de amplo uso como insumo industrial, pelo fato de que, em muitas de suas aplicações, não se pode substituí-lo por outros óleos vegetais (SANTOS & KOURI, 2007). Esta

cultura apresenta a única fonte comercial de ácido ricinoleico (mais de 85% de óleo), o qual pode ser utilizado para a fabricação de surfactantes, revestimentos, graxas, fungicidas, produtos farmacêuticos e cosméticos, além de uma variedade de outros produtos (PINHEIRO et al., 2008; BABITA et al., 2010).

Na região semiárida do Nordeste do Brasil, a distribuição irregular de chuvas ao longo do ano, torna o uso da irrigação indispensável. Contudo, a maior parte das fontes de águas subterrâneas (poços) e superficiais (açudes de pequeno e médio portes e lagoas), possui elevados teores de sais, além de apresentar variabilidade quanto à composição iônica (SUASSUNA & AUDRY, 2014). Neste sentido, a utilização dessas fontes de água pode, dependendo de sua constituição, alterar as funções fisiológicas e bioquímicas das plantas resultando em distúrbios nas relações hídricas e alterações na absorção e na utilização de nutrientes essenciais para as plantas (AMORIM et al., 2010).

Além disso, o uso de águas com composições iônicas distintas, pode proporcionar graus variados de estresse aos vegetais e alterar, de forma negativa, as propriedades físicas e químicas do solo (AQUINO et al., 2007) porém, o grau de severidade com que esses componentes influenciam o desenvolvimento das plantas é dependente de fatores como a espécie vegetal, cultivar, estágio fenológico e a composição iônica da água (SOUSA et al., 2012). Dentre os índices fisiológicos afetados pela salinidade se destacam a taxa de assimilação de CO₂, a transpiração, a condutância estomática e a concentração interna de CO₂, que pode ser inibida pelo acúmulo de íons Na⁺ e/ou Cl⁻ nos cloroplastos, os quais afetam os processos bioquímicos e fotoquímicos envolvidos na fotossíntese (TAIZ & ZEIGER, 2013).

Associado a isto está a interferência dos sais nas relações hídricas das culturas que se refletem em alterações no potencial osmótico, teor relativo de água e no déficit de saturação foliar, além da toxicidade iônica e no desequilíbrio da absorção dos nutrientes provocando redução generalizada do seu crescimento, com sérios prejuízos sobre a produtividade (SOUSA et al., 2008; AHMED & MONTANI, 2010). Assim, apesar da existência da variabilidade genética para tolerância à salinidade, os mecanismos fisiológicos e bioquímicos que contribuem para esta tolerância, ainda são pouco conhecidos, sobretudo em função da natureza catiônica da água (SHANNON & GRIEVE, 1998; MANSOUR et al., 2003), em especial na cultura da mamoneira, sobremaneira para a cv. BRS Energia.

Deste modo, a compreensão das alterações nas relações hídricas e as respostas fisiológicas das plantas cultivadas sob a influência de estresse abióticos, como o salino, podem constituir-se em importantes ferramentas para auxiliar no manejo de espécies cultivadas sob condições de elevadas concentrações de sais na água. Com base no exposto propôs-se, com este trabalho, avaliar as relações hídricas e as trocas gasosas na mamoneira cv. BRS Energia sob salinidade e natureza catiônica da água de irrigação.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido no período de novembro de 2013 a fevereiro de 2014 em lisímetros de drenagem em condições de casa de vegetação do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande (CTRN/UF CG), localizada no município de Campina Grande, PB, situado pelas coordenadas geográficas locais 07°15'18" S, 35°52'28" W e altitude média de 550 m.

Os tratamentos consistiram de seis tipos de salinidade da água (S₁ - Testemunha; S₂ - Na⁺; S₃ - Ca⁺²; S₄ - Na⁺+ Ca⁺²; S₅ - K⁺ e S₆ - Na⁺+Ca⁺²+Mg⁺²), distribuídos em delineamento de blocos ao acaso com quatro repetições sendo a parcela constituída de cinco plantas úteis totalizando 120 parcelas experimentais. Adotou-se, para o preparo das águas, proporção de 1:1 para Na:Ca e 7:2:1, entre Na:Ca:Mg, respectivamente. As plantas referentes ao tratamento testemunha (S₁) foram irrigadas com água de condutividade elétrica (CEa) de 0,6 dS m⁻¹, conforme características apresentadas na Tabela 1 enquanto os demais tipos de água (S₂; S₃; S₄; S₅ e S₆) foram mantidos com o nível de CEa = 4,5 dS m⁻¹.

Tabela 1. Características químicas da água utilizada no tratamento testemunha

Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ⁻	Cl ⁻	CE	pH	RAS
(mmol _c L ⁻¹)							dS m ⁻¹		(mmol _c L ⁻¹) ^{0,5}
1,19	1,58	2,83	0,10	1,45	0,00	4,22	0,60	7,23	2,41

CE - condutividade elétrica. RAS - relação de adsorção de sódio

No experimento foram utilizadas sementes da mamoneira cultivar BRS Energia cujas plantas possuem ciclo de 120 a 150 dias, frutos semi-indeiscentes,

teor de óleo nas sementes em média de 48% e produtividade de aproximadamente 1.800 kg ha⁻¹ (SILVA et al., 2009).

Utilizaram-se lisímetros de drenagem com 100 L de capacidade (altura de 50 cm, diâmetro da base inferior de 30 cm e abertura superior de 33 cm), preenchidos com uma camada de 2 kg de brita (nº zero) seguida de 54 kg de material de solo (devidamente destorroado e homogeneizado) mais 76 kg do mesmo solo adicionando-se húmus de minhoca para atingir 1% de matéria orgânica no solo. O solo usado na pesquisa foi coletado na profundidade de 0-30 cm (horizonte A) de um Argissolo Acinzentado Eutrófico procedente do distrito de São José da Mata (Campina Grande-PB), cujas características químicas e físico-hídricas (Tabela 2) foram determinadas no Laboratório de Irrigação e Salinidade (LIS) do CTRN/UFCG, segundo metodologia proposta por Claessen (1997). Cada lisímetro possuía dois furos na parte inferior para permitir a drenagem e abaixo dos mesmos havia uma garrafa plástica para a coleta da água drenada permitindo, assim, a estimativa do consumo de água pela planta.

Tabela 2. Características químicas e físicas do solo utilizado no experimento, antes da aplicação dos tratamentos

Características químicas								
pH _{ps}	M.O dag kg ⁻¹	P (mg kg ⁻¹)(cmol _c kg ⁻¹).....				Al ⁺³	H ⁺
			K ⁺	Na ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²		
5,10	0,34	20,09	0,07	0,05	0,40	1,30	0,04	1,74
Características físicas								
Fração granulométrica (g kg ⁻¹)			Classe textural	Umidade (kPa)		AD	Porosidade total m ³ m ⁻³	Densidade (kg dm ⁻³)
Areia	Silte	Argila		33,42	1519,5			
816,1	90,7	13,2	FA	6,72	1,62	5,10	0,49	1,54

pH_{ps} - pH da pasta de saturação; M.O – Matéria orgânica: Digestão Úmida Walkley-Black; Ca⁺² e Mg⁺² extraídos com KCl 1 mol L⁻¹ pH 7,0; Na⁺ e K⁺ extraídos utilizando-se NH₄OAc 1 mol L⁻¹ pH 7,0; FA – Franco Arenoso; AD – Água disponível

Por meio dos dados obtidos na análise de solo realizou-se a correção da acidez adicionando-se 49,25 g de calcário dolomítico ao material do solo de cada lisímetro (130 kg de solo), quantidade necessária para a neutralização do Al³⁺ e elevação dos teores de Ca⁺² e Mg⁺² em 70%, conforme Ribeiro et al. (1999). Após a correção da acidez o solo apresentou as seguintes características químicas: Ca⁺² = 1,14 cmol_c kg⁻¹; Mg⁺² = 1,36 cmol_c kg⁻¹; Na⁺ = 0,30 cmol_c kg⁻¹; K⁺ = 0,14 cmol_c kg⁻¹; H⁺

= 0,11 cmol_c kg⁻¹; Al⁺³ = 0 cmol_c kg⁻¹; CTC = 3,05 cmol_c kg⁻¹; Matéria orgânica = 1,08 dag kg⁻¹; P = 47,80 mg kg⁻¹ e pH em água (1:2,5) 6,42.

As águas de irrigação foram obtidas utilizando-se dos sais cloreto de sódio (NaCl), cálcio (CaCl₂.2H₂O), magnésio (MgCl₂.6H₂O) e potássio (KCl), conforme os tratamentos pré-estabelecidos tomando-se como base a água proveniente do sistema de abastecimento local (Campina Grande-PB) cuja quantidade foi determinada conforme descrito na equação de Richards (1954), levando em consideração a relação entre a CEa e a concentração de sais (10*mmol_c L⁻¹ = 1 dS m⁻¹). Os sais utilizados na água de irrigação apresentavam pureza de 99%.

Antes da semeadura foi determinado o volume necessário de água para o solo atingir a capacidade de campo, através do método de saturação por capilaridade seguida por drenagem livre. Após o solo ser previamente elevado à capacidade de campo, realizou-se a semeadura colocando-se dez sementes de mamoneira cv. BRS Energia por lisímetro, a dois centímetros de profundidade e distribuídas de forma equidistante. Dez dias após a semeadura (DAS) foi realizado um desbaste com a finalidade de se manter apenas uma planta por vaso.

O solo foi mantido em capacidade de campo com irrigações diárias, aplicando-se, em cada lisímetro, as águas correspondentes aos tratamentos, sendo o volume aplicado determinado de acordo com a necessidade hídrica das plantas, estimada pelo balanço hídrico: volume de água aplicado menos o volume de água drenado na irrigação anterior, acrescido de fração de lixiviação de 0,10, conforme estudos desenvolvidos anteriormente (NOBRE et al., 2013; LIMA et al., 2014).

Realizaram-se adubação com nitrogênio, potássio e fósforo conforme recomendação contida em Novais et al. (1991) utilizando-se por lisímetro, 40,62 g de nitrato de potássio e 75 g de fosfato monoamônio, correspondendo a 100, 150 e 300 mg kg⁻¹ de solo de N, K e P, respectivamente, aplicando-se em cobertura, quatro aplicações via fertirrigação, em intervalos de dez dias, com a primeira realizada aos 15 DAS; visando suprir as possíveis deficiências de micronutriente foram aplicados, via foliar, 2,5 g L⁻¹ de ubyfol [(N (15%); P₂O₅ (15%); K₂O (15%); Ca (1%); Mg (1,4%); S (2,7%); Zn (0,5%); B (0,05%); Fe (0,5%); Mn (0,05%); Cu (0,5%); Mo (0,02%)] aos 30 e 60 DAS.

O manejo fitossanitário realizado durante o período experimental, consistiu de capinas manuais realizadas semanalmente, escarificação superficial do solo antes

de cada evento de irrigação e tutoramento das plantas, após atingirem o estágio de floração, com o objetivo de evitar o seu tombamento. Além disso, utilizaram-se de inseticidas do grupo químico Neonicotinoide, fungicida do grupo químico triazol e acaricida pertencente ao grupo químico abamectina, na dose de 5,4; 7,0 e 3,5 g L⁻¹, respectivamente.

Os efeitos dos distintos tratamentos sobre a cultura da mamoneira foram mensurados aos 20 e 40 DAS, através da determinação do potencial osmótico foliar (ψ_s), extravasamento de eletrólitos (EEF), teor relativo de água (TRA), déficit de saturação hídrica (DSH), condutância estomática (g_s), transpiração (E), taxa de assimilação de CO₂ (A), concentração interna de CO₂ (CI), eficiência instantânea de carboxilação (EICI) e eficiência intrínseca do uso da água (EUA). Para determinação do potencial osmótico foliar da mamoneira, folhas do terço médio das plantas foram coletadas em cada parcela experimental, acondicionadas em sacos plásticos e armazenadas na temperatura de 5°C; para extração do suco celular, as amostras foram colocadas em tubos para centrifugação a 10000 rpm durante 10 minutos; o ponto de congelamento das amostras foi mensurado através da leitura de alíquotas de 5 mL em osmômetro microprocessador (PZL 1000) encontrando-se, desta forma, a osmolalidade da amostra em mOsm kg⁻¹ H₂O sendo convertido em MPa, conforme recomendação contida em Bagatta et al. (2008), através da Eq.1:

$$\psi_s \text{ (MPa)} = -C \left(\frac{\text{mOsmol}}{\text{kg}} \right) \times 2,58 \times 10^{-3} \quad (1)$$

em que:

ψ_s (MPa) = potencial osmótico foliar;

C= osmolalidade da amostra, encontrada na leitura do osmômetro.

No sentido de avaliar a capacidade de desruptura da membrana celular sob condições de estresse salino, determinou-se o extravasamento de eletrólitos na membrana celular. Para tanto, foram coletados, também, na 3ª folha do ápice caulinar, 10 discos foliares de 113 mm² de área, lavados com água destilada visando à retirada de outros eletrólitos aderidos às folhas, os quais foram acondicionados em beckers, com 50 mL de água bidestilada e fechados hermeticamente com papel alumínio. Os beckers foram mantidos em temperatura de 25°C, por 90 minutos e procedida a condutividade elétrica inicial (Ci); posteriormente, os beckers foram conduzidos à estufa com ventilação forçada de ar e submetidas à temperatura de

80°C, durante 90 minutos, quando então foi procedida novamente a mensuração da condutividade elétrica final (Cf). Desta forma, o extravasamento de eletrólitos na membrana celular foi obtido de acordo com Scott Campos & Thu Pham Thi (1997), conforme Eq. 2:

$$EEF = \frac{C_i}{C_f} \times 100 \quad (2)$$

em que:

EEF = extravasamento de eletrólitos na membrana (%);

C_i = condutividade elétrica inicial (dS m⁻¹);

C_f = condutividade elétrica final (dS m⁻¹);

Na avaliação do status hídrico da planta determinou-se o teor relativo de água no limbo foliar (Apêndice 3A); para tanto, foram retiradas 3 folhas totalmente expandidas localizadas no terço superior da planta com amostras de cada uma das plantas e se determinando a massa fresca (MF) de cada uma. Imediatamente, as folhas foram pesadas, evitando perdas de umidade, gerando os valores de massa fresca (MF); em seguida, essas amostras foram colocadas em sacos plásticos, imersas em água destilada e acondicionadas por 24 horas. Após este período e se retirando o excesso de água com papel toalha, obteve-se a massa túrgida (MT) das amostras, as quais foram levadas à estufa (temperatura ≈ 65 °C ± 3 °C, até peso constante) para obtenção da massa seca (MS) das amostras. A determinação do TRA foi feita de acordo com a metodologia de Weatherley (1950) utilizando-se a Eq. 3:

$$TRA (\%) = \frac{(MF - MS)}{(MT - MS)} \times 100 \quad (3)$$

em que:

TRA = Teor relativo de água (%);

MF = massa fresca de folha (g);

MT = massa túrgida (g);

MS = Massa seca (g);

O déficit de saturação hídrica é um excelente indicador do balanço hídrico da planta pois representa a quantidade de água de que ela precisa para alcançar a saturação. Neste sentido, o DSH (Apêndice 3B) foi determinado de acordo com a metodologia descrita por Taiz & Zeiger (2013), conforme Eq. 4:

$$\text{DSH (\%)} = \frac{(\text{MT} - \text{MF})}{(\text{MT} - \text{MS})} \times 100 \quad (4)$$

em que:

DSH = déficit de saturação hídrica (%);

MF= massa fresca de folha (g);

MT= massa túrgida (g);

MS = Massa seca (g).

A condutância estomática (g_s) ($\text{mol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), a transpiração (E) ($\text{mmol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), a taxa de assimilação de CO_2 (A) ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e a concentração interna de CO_2 ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) (C_i) também foram avaliadas na terceira folha contada a partir do ápice, usando-se o equipamento portátil de medição de fotossíntese “LCPro+” da ADC BioScientific Ltda. De posse desses dados foram quantificadas a eficiência no uso da água (EUA) (A/E) [$(\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}) (\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1})^{-1}$] e a eficiência instantânea da carboxilação (A/C_i) [$(\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}) (\mu\text{mol mol}^{-1})^{-1}$] (KONRAD et al., 2005; JAIMEZ et al., 2005).

Os dados obtidos foram avaliados mediante análise de variância, pelo teste ‘F’; quando significativo, realizaram-se o teste de comparação de médias (Tukey a 0,05 de probabilidade) e os contrastes entre as médias dos tratamentos utilizando-se do software estatístico SISVAR-ESAL. Para efeito de comparação entre os tratamentos calculou-se, para cada média, seu respectivo erro padrão. Os contrastes foram definidos da seguinte forma: \hat{y}_1 (S_1 vs S_2 ; S_3 ; S_4 ; S_5 ; S_6); \hat{y}_2 (S_2 vs S_3); \hat{y}_3 (S_2 vs S_6); \hat{y}_4 (S_2 vs S_5); \hat{y}_5 (S_5 vs S_2 ; S_3 ; S_4 ; S_6). Diante da normalidade dos dados obtidos no presente estudo, observados através dos altos valores de coeficiente de variação (Tabela 3 e 5), foi necessário realizar análise exploratória dos dados, com transformação de dados em \sqrt{X} e $\sqrt{X+1}$.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme análise de variância (Tabela 3) houve efeito significativo da salinidade da água sobre o potencial osmótico foliar, extravasamento de eletrólitos, teor relativo de água e o déficit de saturação hídrica da mamoneira, nas diferentes épocas avaliadas.

Tabela 3. Resumo da análise de variância referente ao potencial osmótico foliar (ψ_s), extravasamento de eletrólitos (EEF), teor relativo de água (TRA) e déficit de saturação hídrica (DSH) das plantas de mamoneira irrigada com água de diferentes tipos de salinidade, aos 20 e 40 dias após a semeadura

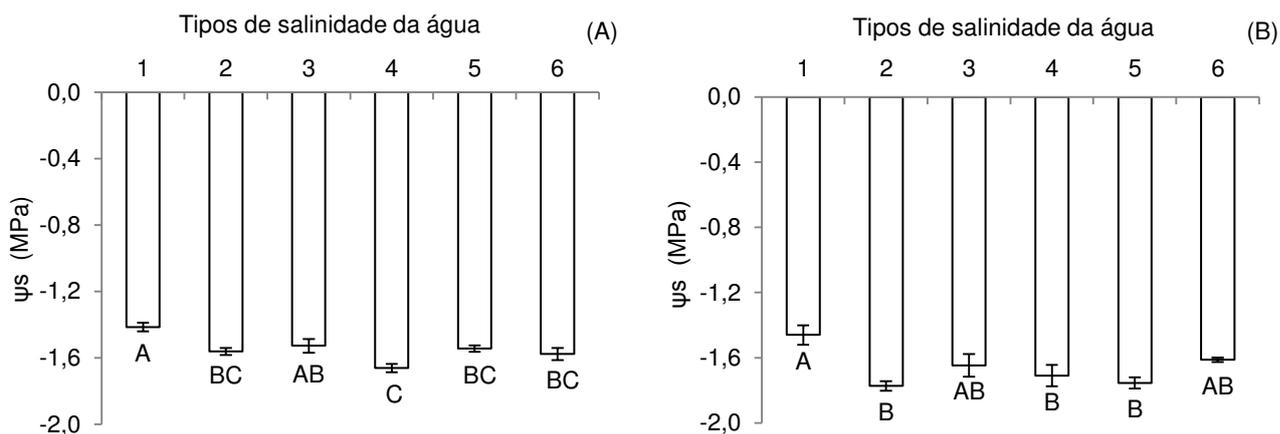
FV	GL	Quadrados Médios			
		ψ_s	EEF ¹	TRA	DSH ²
20 DAS					
Blocos	3	0,006 ^{ns}	4,48 ^{ns}	10,20 ^{ns}	10,20 ^{ns}
Tipos de Salinidade	(5)	0,02 [*]	57,81 ^{**}	617,94 ^{**}	617,94 ^{**}
\hat{y}_1	1	0,08 [*]	98,18 [*]	438,14 [*]	438,14 [*]
\hat{y}_2	1	0,002 ^{ns}	71,19 [*]	1817,65 ^{**}	1817,65 ^{**}
\hat{y}_3	1	0,0004 ^{ns}	20,83 ^{ns}	1497,33 ^{**}	1497,33 ^{**}
\hat{y}_4	1	0,005 ^{ns}	20,55 ^{ns}	1862,23 ^{**}	1862,23 ^{**}
\hat{y}_5	1	0,004 ^{ns}	104,14 [*]	300,88 [*]	300,88 ^{**}
Resíduo	15	0,002	14,00	18,52	18,52
CV		3,46	12,42	6,46	12,91
40 DAS					
Blocos	3	0,007 ^{ns}	0,90 [*]	134,57 ^{ns}	134,15 ^{ns}
Tipos de Salinidade	(5)	0,05 [*]	7,54 [*]	678,99 ^{**}	678,99 [*]
\hat{y}_1	1	0,19 [*]	9,81 [*]	1335,74 [*]	1335,74 [*]
\hat{y}_2	1	0,03 ^{ns}	18,13 [*]	136,74 ^{ns}	136,74 ^{ns}
\hat{y}_3	1	0,05 ^{ns}	4,29 ^{ns}	218,64 ^{ns}	218,64 ^{ns}
\hat{y}_4	1	0,0007 ^{ns}	0,001 ^{ns}	1758,83 [*]	1758,83 [*]
\hat{y}_5	1	0,01 ^{ns}	8,49 [*]	1809,48 [*]	1809,48 [*]
Resíduo	15	0,01	1,61	87,62	87,62
CV		6,18	11,33	11,48	24,53

\hat{y}_1 (S₁ vs S₂; S₃; S₄; S₅; S₆); \hat{y}_2 (S₂ vs S₃); \hat{y}_3 (S₂ vs S₆); \hat{y}_4 (S₂ vs S₅); \hat{y}_5 (S₅ vs S₂; S₃; S₄; S₆); FV – Fonte de variação; GL - Grau de liberdade; CV - Coeficiente de variação; (*) Significativo a 0,05, (**) Significativo a 0,01 de probabilidade; (ns) Não significativo; ¹análise estatística realizada após transformação de dados em \sqrt{X} ;

²análise estatística realizada após transformação de dados em $\sqrt{X + 1}$

Verifica-se, através do teste de comparação de médias obtido para o potencial osmótico foliar da mamoneira aos 20 DAS (Figura 1A), que as plantas sob irrigação com água de baixa condutividade elétrica (S₁) diferiram de forma significativa das que receberam o S₂; S₄; S₅; S₆ e se comparando as médias entre os tratamentos, nota-se que as plantas irrigadas com água possuindo sódio (S₂; S₄; S₆) e potássio (S₅) em sua composição, obtiveram os menores valores no status energético da água nos tecidos foliares (-1,54; -1,56; -1,57 e -1,66; MPa). Por outro lado, observa-se que as plantas que receberam água de baixo nível salino alcançaram o maior ψ_s (-1,41 MPa). Esta diminuição no potencial osmótico foliar em função da presença de sais na água de irrigação, representa um ajuste osmótico visando manter a turgescência celular da planta, condição necessária para a

manutenção do crescimento (COELHO et al., 2014). Hasegawa et al. (2000) citam que a redução no potencial osmótico foliar ocorre devido à alta acumulação de Na^+ , Cl^- e K^+ nos tecidos foliares. Reduções no potencial osmótico foliar em função da salinidade da água de irrigação também foram observadas nas culturas de tomate (MAGGIO et al., 2007), pinhão-manso (SILVA et al., 2009) e amendoim (SANTOS et al., 2012).



1= Testemunha; 2= Na^+ ; 3= Ca^{+2} ; 4= $\text{Na}^+ + \text{Ca}^{+2}$; 5= K^+ ; 6= $\text{Na}^+ + \text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2}$

Figura 1. Potencial osmótico foliar- ψ_s da mamoneira, aos 20 (A) e 40 (B) dias após a semeadura, em função dos tipos de salinidade da água de irrigação

Aos 40 DAS constata-se efeito significativo no potencial osmótico foliar (Figura 1B) nas plantas irrigadas com água de menor nível salino (S_1) em comparação com os tratamentos S_2 ; S_4 e S_5 ; entretanto, não houve diferença significativa em relação às plantas irrigadas com os tratamentos S_3 e S_6 . Pelo teste de comparação de médias (Figura 1B), notam-se os menores valores no potencial osmótico foliar (-1,77; -1,75; -1,70; -1,64; -1,61 MPa) nas plantas submetidas aos tratamentos S_2 ; S_5 e S_4 , seguidos dos S_3 e S_6 , respectivamente e ao irrigar com água referente ao tratamento testemunha, observou-se aumento no potencial osmótico foliar em referência às plantas que estavam sob os demais tipos de sais (S_2 ; S_3 ; S_4 ; S_5 e S_6). Na comparação entre os dados obtidos na primeira época de estudo (20 DAS) quanto aos encontrados aos 40 DAS, verifica-se maior redução no potencial osmótico foliar neste último período avaliado. Tal resposta, sugere que a diminuição no ψ_s ocorre em função do tempo de exposição ao estresse salino, como forma de manter um potencial hídrico nos tecidos elevado. Assim, esta diminuição no potencial osmótico foliar pode ser considerada uma estratégia adaptativa da

espécie em relação ao aumento da concentração salina na solução do solo possibilitando a hidratação dos tecidos vegetais e retardando os processos deletérios causados pelo déficit hídrico em função do aumento da concentração salina da solução do solo (SANTOS et al., 2012). Patakas et al. (2002) relatam que a redução do potencial osmótico, em resposta ao estresse salino, pode resultar de uma concentração passiva de solutos devido à desidratação da célula ou à acumulação ativa de solutos, sendo esta última considerada ajuste osmótico.

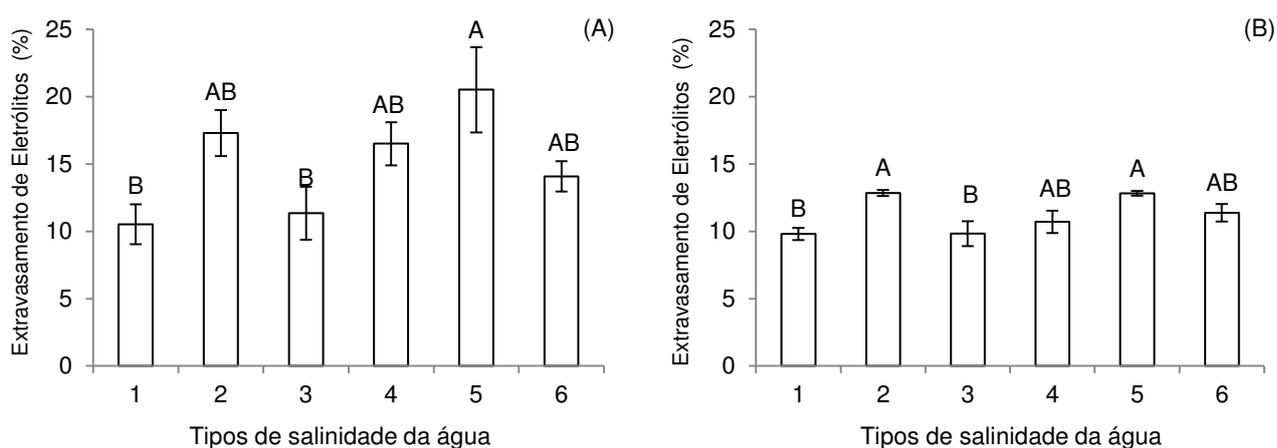
Ao avaliar os contrastes de médias referentes ao potencial osmótico foliar aos 20 e 40 DAS (Tabela 3) percebe-se que as plantas sob irrigação com $CEa=0,6 \text{ dS m}^{-1}$ (S_1) diferiram de forma significativa em relação às que receberam a CEa de $4,5 \text{ dS m}^{-1}$ (S_2 ; S_3 ; S_4 ; S_5 ; S_6); em ambos os períodos estudados e através dos dados de estimativa de média (Tabela 4) verifica-se que as plantas, quando irrigadas com água de $0,6 \text{ dS m}^{-1}$, aumentaram o Ψ_s em $-0,15$ e $-0,23 \text{ MPa}$ em referência às que foram submetidas à CEa de $4,5 \text{ dS m}^{-1}$, respectivamente, aos 20 e 40 DAS. Contudo, ao analisar os demais tratamentos (Tabela 4) constata-se que não houve alteração significativa sobre o Ψ_s em nenhuma época de avaliação; neste sentido, pode-se inferir que os distintos cátions presentes na água de irrigação afetaram, de forma semelhante, o Ψ_s .

Tabela 4. Estimativa de média referente ao potencial osmótico foliar (ψ_s), extravasamento de eletrólitos (EEF), teor relativo de água (TRA) e déficit de saturação hídrica (DSH) das plantas de mamoneira irrigada com água de diferentes tipos de salinidade, aos 20 e 40 dias após a semeadura

FV	Estimativa de média			
	Ψ_s (MPa)	EEF (%)	TRA (%)	DSH (%)
20 DAS				
\hat{y}_1	-0,15	-5,00	11,46	-11,46
\hat{y}_2	-	5,96	-30,14	30,14
\hat{y}_3	-	-	-27,36	27,36
\hat{y}_4	-	-	-30,51	-30,51
\hat{y}_5	-	5,70	9,69	-9,96
40 DAS				
\hat{y}_1	-0,23	-1,71	20,01	20,01
\hat{y}_2	-	3,01	-	-8,25
\hat{y}_3	-	-	-	-10,45
\hat{y}_4	-	-	-29,65	-29,65
\hat{y}_5	-	1,62	23,77	23,77

\hat{y}_1 (S₁ vs S₂; S₃; S₄; S₅; S₆); \hat{y}_2 (S₂ vs S₃); \hat{y}_3 (S₂ vs S₆); \hat{y}_4 (S₂ vs S₅); \hat{y}_5 (S₅ vs S₂; S₃; S₄; S₆); (-) não significativo.

Para o extravasamento de eletrólitos mensurado aos 20 DAS observa-se, através do teste de comparação de médias (Figura 2A) que as plantas submetidas à irrigação com água de baixa salinidade (S₁) e concentradas em cálcio (S₃) obtiveram a menor ruptura na membrana (10,52 e 11,34% respectivamente) evidenciando menores danos à integridade da membrana dos tecidos foliares. Tal resultado é justificado pelas funções exercidas pelo cálcio na integridade da membrana celular, sendo constituinte da parede celular (pectatos), participando na regulação da funcionalidade da membrana celular, além de ativar vários sistemas enzimáticos (MENGEL & KIRKBY, 2000). Já quando as plantas foram irrigadas com água do tratamento S₅ registrou-se o maior extravasamento de eletrólitos (20,51%), porém não se diferenciou estatisticamente das que estavam submetidas ao S₂; S₄ e S₆, indicando, desta forma, a ocorrência de injúrias às membranas celulares. O aumento da concentração de eletrólitos em células foliares pode representar um mecanismo que evita a dessecação dos tecidos em razão da redução do componente osmótico do potencial hídrico foliar (FIOREZE et al., 2013). De acordo com Fernandes & Souza (2006) as plantas, quando submetidas a condições de estresses abióticos (salino e hídrico) levam à perda da capacidade da permeabilidade seletiva da membrana celular de tecidos foliares e, em contrapartida, a de reter íons.



1= Testemunha; 2= Na⁺; 3= Ca⁺²; 4=Na⁺+Ca⁺²; 5=K⁺; 6=Na⁺+Ca⁺²+Mg⁺²

Figura 2. Extravasamento de eletrólitos nos tecidos foliares da mamoneira, aos 20 (A) e 40 (B) dias após a semeadura, em função dos tipos de salinidade da água de irrigação

De maneira semelhante à observada aos 20 DAS, o extravasamento de eletrólitos obtido aos 40 DAS (Figura 2B) se diferenciou significativamente em decorrência da aplicação dos diferentes tipos de sais, destacando-se os maiores valores (12,84 e 12,81%) nas plantas irrigadas com água preparada utilizando-se sais de sódio (S_2) e potássio (S_5). Percebe-se ainda (Figura 2B) que, quando se irrigou com água possuindo cálcio em sua composição (S_3) e com o menor nível salino (S_1), foram obtidos os menores valores (9,83 e 9,79%) para o extravasamento de eletrólitos. Constata-se, a partir dos resultados obtidos para EEF, que as plantas irrigadas com água constituída de potássio, apresentaram a maior permeabilidade na membrana dos tecidos foliares com consequente liberação de íons, ou seja, maior perda na integridade e desestabilização na membrana celular. Todavia, as plantas irrigadas com água contendo cálcio apresentaram a maior capacidade de retenção de íons o que, possivelmente, proporcionou maior estabilidade na membrana celular. A desruptura da membrana celular ocorre através da liberação de eletrólitos em níveis severos de estresse salino-hídrico, devido ao aumento da quantidade de espécies ativas de oxigênio (superóxidos), radicais livres e de enzimas de lise, que resultam na ruptura e no aumento da permeabilidade das membranas e, muitas vezes, em danos irreversíveis nas organelas e moléculas presentes no interior das células (ALONSO et al., 1997).

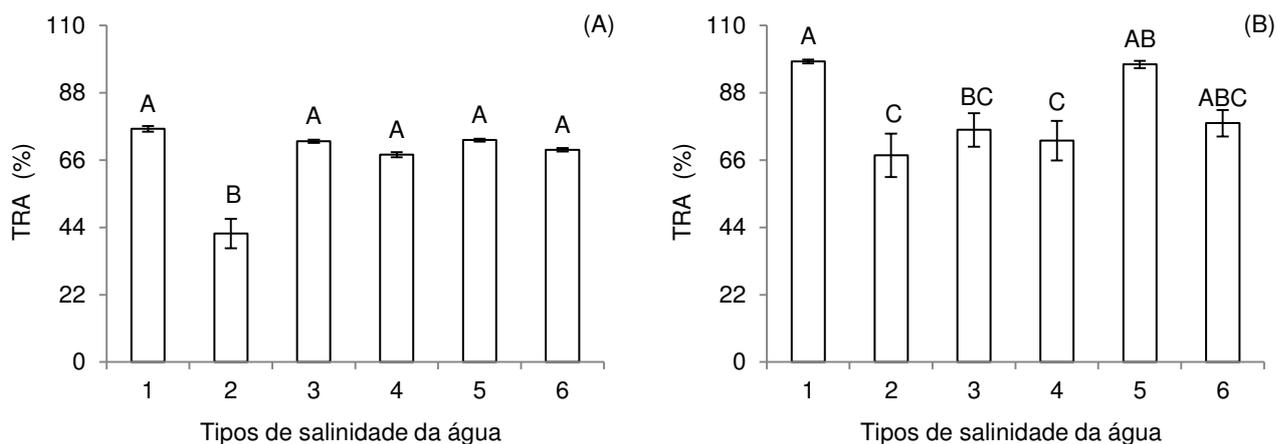
O resumo da análise de variância dos contrastes de médias para a variável extravasamento de eletrólitos foliar aos 20 e 40 DAS, está disposto na Tabela 3, na qual se verifica, ao comparar os dados de EEF das plantas irrigadas com CEa de $0,6 \text{ dS m}^{-1}$ em relação sob $4,5 \text{ dS m}^{-1}$, a ocorrência de efeito significativo em ambas as épocas avaliadas sendo observado, pela estimativa de média (Tabela 4) que ao utilizar água de menor nível salino ocorreu diminuição no extravasamento de eletrólitos de 5,0 e 1,17% em comparação com as plantas submetidas à CEa de $4,5 \text{ dS m}^{-1}$, respectivamente, aos 20 e 40 DAS.

O maior EEF observado nas plantas sob o maior nível de condutividade elétrica, é resultante do estresse ao qual as plantas estavam expostas, decorrentes das altas concentrações de sais encontradas na água de irrigação o que ocasionou alterações no status hídrico da planta em virtude da diminuição do potencial osmótico foliar (Figura 1A e B). De forma semelhante à observada para o S_1 versus os demais tratamentos, o S_2 versus S_3 também diferiram de forma significativa

observando-se aumento no extravasamento de eletrólitos foliar, de 5,96 e 3,01% aos 20 e 40 DAS, respectivamente; entretanto, o S₂, ao ser confrontado com o S₆ e S₅, não influenciou, de forma significativa, o EEF, em nenhum período estudado.

Tal resposta pode estar relacionada à diminuição no Ψ_s (Figura 1A e B) devido ao excesso de sais presentes na água de irrigação tendo em vista que o efeito da natureza catiônica da água ocorreu de forma semelhante. Já os tratamentos S₅ versus S₂; S₃; S₄ e S₆ exerceram efeito significativo sobre o EEF aos 20 e 40 DAS indicando, através da estimativa de média (Tabela 4) que a irrigação com água potássica aumentou em 5,70 e 1,62% o EE em comparação com os demais tratamentos (S₂; S₃; S₄ e S₆) aos 20 e 40 DAS, respectivamente. O aumento no extravasamento de eletrólitos foliar, principalmente nas plantas sob irrigação com água potássica, pode ter ocorrido em virtude deste elemento não participar da composição de nenhum composto orgânico (função estrutural) no metabolismo vegetal (RODRIGUES et al., 2009) sendo, portanto, facilmente liberado e/ou redistribuído para os distintos órgãos da planta.

Analisando o teor relativo de água foliar obtido aos 20 DAS (Figura 3A), nota-se que as plantas que receberam irrigação com água constituída de sódio (S₂) apresentaram menor TRA (42%), diferindo estatisticamente dos demais tratamentos. Por outro lado, as plantas submetidas à irrigação com os tratamentos S₁; S₃; S₄; S₅ e S₆ não diferiram estatisticamente entre si. Observa-se ainda que, apesar de ter sido detectada diferença significativa apenas nas plantas irrigadas com o S₂, existe tendência de que das plantas mantidas sob o menor nível de salinidade da água (S₁) apresentarem um TRA maior, fato considerado importante tendo em vista que o teor relativo de água exprime o estado de turgidez da planta. Por outro lado, esta redução no teor relativo de água foliar, observada nas plantas irrigadas com água sódica, pode estar relacionada ao aumento nos danos ocasionados nas membranas celulares (Figura 2A e 2B), em virtude do incremento na lixiviação de íons que afetaram o potencial hídrico celular e, conseqüentemente, promoveram perda da turgescência celular (MANSUR & BARBOSA, 2000). Esta restrição no status hídrico foliar, observada no presente estudo através da redução do teor relativo de água, afeta a absorção de nutrientes pelas raízes e, em conseqüência, o crescimento e o desenvolvimento são seriamente prejudicados.



1= Testemunha; 2= Na⁺; 3= Ca⁺²; 4=Na⁺+Ca⁺²; 5=K⁺; 6=Na⁺+Ca⁺²+Mg⁺²

Figura 3. Teor relativo de água foliar- TRA da mamoneira, aos 20 (A) e 40 (B) dias após a semeadura, em função dos tipos de salinidade da água de irrigação

Aos 40 DAS, o teor relativo de água foi influenciado significativamente em função da aplicação dos distintos tipos de salinidade notando-se, mediante o teste de comparação de médias (Figura 3B) que as plantas de mamoneira submetidas à irrigação com água de baixa salinidade (S₁) e salinizadas por potássio (S₅), tiveram maior TRA, com média de 98,23 e 97,24%, respectivamente, enquanto as plantas que estavam submetidas aos demais tratamentos (S₂; S₃; S₄ e S₆) apresentaram TRA de 67,58; 75,85; 72,36 e 78,04%, respectivamente. Observa-se ainda (Figura 3B), que os efeitos dos distintos tipos de salinidade foram mais expressivos nas plantas irrigadas com águas dos tratamentos S₂ e S₃. Ao comparar os resultados obtidos para TRA aos 40 DAS, constata-se diminuição de 30,50; 21,99; 25,58 e 19,74% nas plantas irrigadas com os tratamentos S₂; S₃; S₄ e S₆, em relação às que estavam sob irrigação com água potássica.

A diminuição no teor relativo de água foliar, verificada nas plantas submetidas ao estresse salino induzido por diferentes tipos de sais (S₂; S₃; S₄ e S₆) é um mecanismo de adaptação em que, possivelmente, as plantas desenvolveram, mesmo permitindo que em baixas proporções ocorresse absorção de água no solo (GARCIA et al., 2009). A redução do teor relativo de água em virtude do acúmulo de íons nas folhas, favorece o ajustamento osmótico mas também uma redução da elasticidade do tecido foliar (DIAS & BLANCO, 2010). Além disto, a deficiência hídrica induzida pelo efeito osmótico, caracteriza a seca fisiológica e provoca alterações morfológicas e anatômicas nas plantas a ponto de desbalancear a

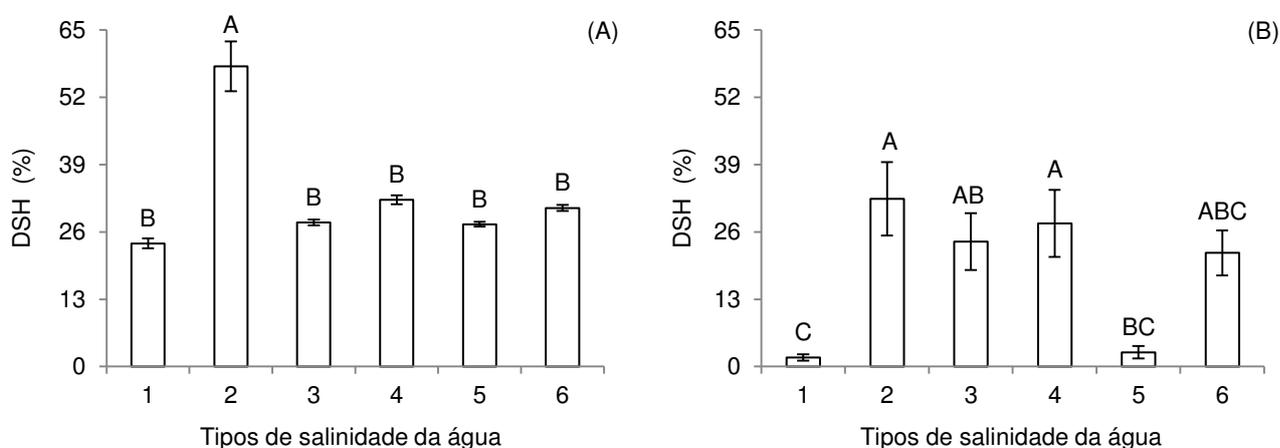
absorção de água e a taxa transpiratória (SANTANA et al., 2011). Matos et al. (2013) verificaram, avaliando o efeito de diferentes níveis CEa de irrigação nas características morfofisiológicas de mudas de pinhão-manso, redução no TRA com o incremento da CEa.

Na Tabela 3 está o resumo da análise de variância dos contrastes de média para o teor relativo de água e se observa que as plantas irrigadas com água de baixa CEa ($0,6 \text{ dS m}^{-1}$) apresentaram diferenças significativas sobre o TRA, em comparação ao tratamento em que se utilizou a água de $4,5 \text{ dS m}^{-1}$. Quando se analisa a estimativa de média (Tabela 4) nota-se um aumento no TRA de 11,46 e 20,01%, quando se comparam as plantas irrigadas com água de CEa= $0,6 \text{ dS m}^{-1}$ com as de $4,5 \text{ dS m}^{-1}$. Com relação ao tratamento S₂ versus S₃, verifica-se influência significativa apenas aos 20 DAS e, neste período, as plantas irrigadas com o tratamento S₂ apresentaram diminuição no TRA de 30,14% em relação às que estavam sob o S₃.

Assim, como observado para o S₂ versus S₃, o tratamento S₂, quando comparado com o S₆, afetou, de forma significativa, o TRA apenas aos 20 DAS (Tabela 3) e através da estimativa de média (Tabela 4) se constata redução no teor relativo de água de 27,36% nas plantas cultivadas com água S₂ em relação às que foram irrigadas com a água S₆. No entanto, ao analisar o S₂ versus S₅, nota-se influência significativa sobre o TRA em ambos os períodos estudados, sendo o valor obtido no tratamento S₂ inferior em 30,51 e 29,65% em relação ao das plantas submetidas ao S₅, aos 20 e 40 DAS, respectivamente. Verifica-se ainda (Tabela 3) que o TRA das plantas irrigadas como S₅ foi afetado de forma significativa em relação aos tratamentos S₂; S₃; S₄ e S₆ e, pela estimativa de média entre os tratamentos (Tabela 4), percebe-se superioridade no TRA das plantas irrigadas com o S₅ de 9,69 e 23,77% respectivamente, aos 20 e 40 DAS, em relação às que foram submetidas ao S₂; S₃; S₄ e S₆. A partir dos resultados obtidos no presente estudo (Tabela 4), verifica-se maior declínio no TRA quando ocorreu variação na natureza catiônica da água, sendo as plantas irrigadas com água sódica, as mais prejudicadas.

O déficit de saturação hídrica das plantas de mamoneira avaliado aos 20 DAS, foi influenciado de forma significativa em decorrência da irrigação com água de diferentes tipos de salinidade e, através do teste de comparação das médias (Figura

4A) verifica-se que o DSH das plantas sob irrigação com água salinizada por sódio (S_2) foi significativamente superior aos valores encontrados para os demais tratamentos (S_1 ; S_3 ; S_4 ; S_5 e S_6). Pelos resultados apresentados na Figura 3A, nota-se a relação de dependência entre o TRA e o DSH, ou seja, à medida em que ocorreu diminuição no teor relativo de água, elevou-se o déficit de saturação hídrica (Figura 4A). Os resultados evidenciam que o aumento do DSH se deve ao potencial osmótico muito negativo da solução do solo, que afeta a disponibilidade de água para as plantas dificultando sua absorção e ocasionando menor pressão de turgor, além do efeito particular no alongamento celular (JÁCOME et al., 2003).



1= Testemunha; 2= Na^+ ; 3= Ca^{+2} ; 4= Na^+Ca^{+2} ; 5= K^+ ; 6= $Na^+Ca^{+2}Mg^{+2}$

Figura 4. Déficit de saturação hídrica - DSH da mamoneira, aos 20 (A) e 40 (B) dias após a semeadura, em função dos tipos de salinidade da água de irrigação

O déficit de saturação hídrica da mamoneira aos 40 DAS, comportou-se diferente em relação ao constatado aos 20 DAS.e, na comparação das médias entre os tratamentos em estudo (Figura 4B), verifica-se que as plantas irrigadas com água de baixa CEa (S_1) e sob salinidade induzida por potássio (S_5) obtiveram as menores médias diferenciando-se estatisticamente das que estavam sob irrigação com os tratamentos S_2 ; S_3 e S_4 ; entretanto, não ocorreu diferença significativa em relação às plantas que foram irrigadas com o S_6 . O menor DSH observado nos tratamentos S_1 e S_5 reflete o alto teor relativo de água foliar (Figura 3B). Observando-se ainda nas Figuras 4A e B, as médias em cada tratamento percebe-se, aos 40 DAS, menor déficit de saturação hídrica em todos os tratamentos avaliados, o que possivelmente proporcionou um ajustamento osmótico nas plantas de mamoneira. O aumento do déficit de saturação hídrica nas plantas irrigadas com águas dos tratamentos S_2 ; S_3 ;

S₄ e S₆ (Figura 4B), evidencia uma resposta à seca fisiológica proveniente do ajustamento do potencial hídrico da planta em altos níveis de salinidade (GARCIA et al., 2009). Quando tal fato ocorre, a fase inicial do ajustamento osmótico é a desidratação, ou seja, há uma diminuição de água nas células e, como resultado, tem-se o abaixamento no potencial osmótico celular, em função da concentração salina do meio (PRISCO, 1980).

Na Tabela 3 se apresenta o resumo da análise de variância para os contrastes de média obtidos para a variável déficit de saturação hídrica aos 20 e 40 DAS percebe-se, pelos dados de estimativa de média (Tabela 4) que houve, nas plantas submetidas à salinidade de 0,6 dS m⁻¹, uma redução no DSH, de 11,46 e 20,01% em relação às que estavam sob 4,5 dS m⁻¹, respectivamente, aos 20 e 40 DAS. O menor déficit de saturação hídrica observado nas plantas sob o menor nível salino (0,6 dS m⁻¹) é explicado pelo elevado potencial osmótico foliar (Figura 1A e B) pela redução no extravasamento de eletrólitos (Figura 2A e B) além do maior teor relativo de água (Figura 3A e B) em ambas as épocas de estudo.

Ao analisar os dados referentes aos tratamentos S₂ versus S₃ (Tabela 4), verifica-se que, ao utilizar água sódica na irrigação, as plantas obtiveram DSH superior em 30% quando comparado com o S₃. Já aos 40 DAS, ocorreu o inverso, pois as plantas submetidas ao S₃ apresentaram incremento no DSH de 8,25% em relação às que receberam o S₂. Ao comparar o tratamento S₂ com o S₆ aos 20 DAS, nota-se, através dos dados de estimativa de média (Tabela 4) que as plantas submetidas à irrigação com água com composição iônica sódica (S₂) tiveram aumento no déficit de saturação hídrica, de 27,36% em relação às que foram irrigadas com o S₆; contudo, aos 40 DAS, quando se utilizou o S₂, as plantas sofreram um DSH de 10,45% quando comparado com o das plantas que estavam sob salinidade da água induzida por Na+Ca+Mg.

Para os tratamentos S₂ versus S₅, verifica-se que quando as plantas foram conduzidas com aplicação de água salinizada por sódio, um incremento no DSH de 30,51 e 29,65% em comparação com as cultivadas sob o tratamento S₅, respectivamente, aos 20 e 40 DAS. Por outro lado, ao irrigar com o S₅ as plantas tiveram, aos 20 DAS, um aumento no DSH de 9,96% em relação aos demais tratamentos (S₂; S₃; S₄ e S₆). Tendência diferente foi observada aos 40 DAS, ao se constatar, pelas médias estimadas (Tabela 4) que o uso de água potássica

proporcionou uma redução no DSH de 23,77% em referência aos tratamentos S₂; S₃; S₄ e S₆.

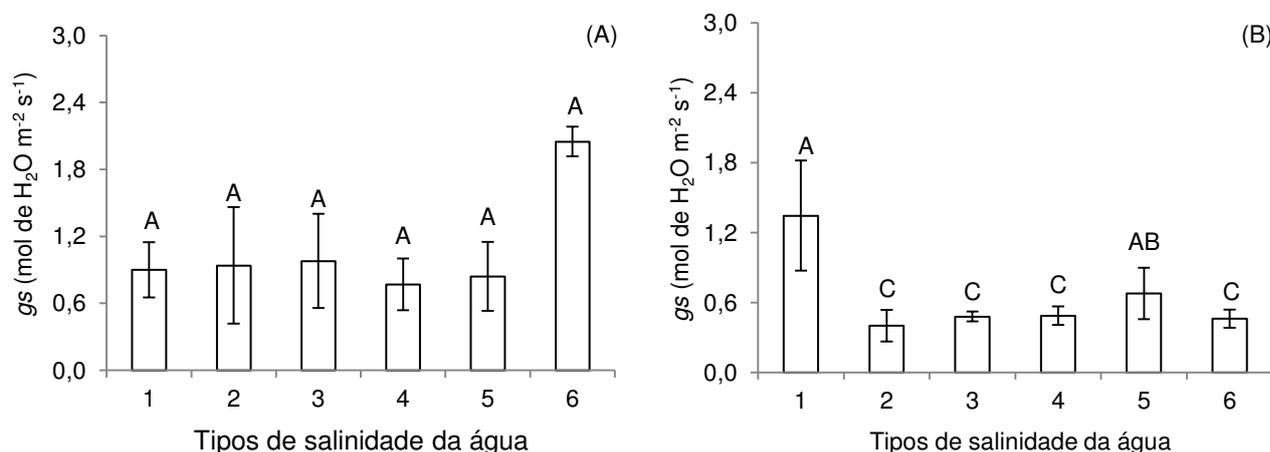
Observa-se, com base no resumo da análise de variância dos dados (Tabela 5), haver efeito significativo dos distintos tipos de salinidade da água sobre a taxa de assimilação de CO₂, eficiência instantânea de carboxilação e eficiência intrínscica do uso da água, aos 20 e 40 DAS. Apesar disto, a concentração interna de CO₂ e a condutância estomática foram afetadas de forma significativa, apenas aos 20 e 40 DAS, respectivamente. Observa-se ainda, na tabela supracitada, que a transpiração foliar não foi influenciada em nenhuma época de estudo. Sousa al. (2012) também observaram efeito semelhante ao da salinidade da água nas trocas gasosas na cultura do pinhão-manso registrando influência significativa sobre a condutância estomática e a taxa de assimilação de CO₂.

Tabela 5. Resumo da análise de variância referente à condutância estomática (*gs*), transpiração (*E*), taxa de assimilação de CO₂ (*A*), concentração interna de CO₂ (*CI*), eficiência instantânea de carboxilação (*EICI*) e eficiência intrínscica do uso da água (*EUA*) das plantas de mamoneira irrigada com água de diferentes tipos de salinidade, aos 20 e 40 dias após a semeadura

FV	GL	Quadrados Médios					
		<i>gs</i> ¹	<i>E</i>	<i>A</i>	<i>CI</i>	<i>EICI</i> ¹	<i>EUA</i>
20 DAS							
Blocos	3	2,45 ^{ns}	8,87*	13,65 ^{ns}	3784,99**	0,001 ^{ns}	2,22*
Tipos de Salinidade	(5)	0,92 ^{ns}	4,53 ^{ns}	137,43**	1456,23**	0,009**	1,06*
\hat{y}_1	1	0,14 ^{ns}	1,07 ^{ns}	247,12*	3191,97*	0,020*	2,40*
\hat{y}_2	1	0,003 ^{ns}	2,09 ^{ns}	102,81*	297,68 ^{ns}	0,004*	0,56 ^{ns}
\hat{y}_3	1	0,47 ^{ns}	0,0003 ^{ns}	20,74 ^{ns}	644,40*	0,001	0,34 ^{ns}
\hat{y}_4	1	0,01 ^{ns}	15,73*	164,45*	1171,28*	0,009*	0,03 ^{ns}
\hat{y}_5	1	0,36 ^{ns}	18,59*	133,47*	1619,10*	0,009*	0,01 ^{ns}
Resíduo	15	1,74	2,93	15,36	164,33	0,0007	0,39
CV		21,55	19,51	13,81	6,91	17,76	18,91
40 DAS							
Blocos	3	0,65*	2,49	36,65*	11865,70**	0,001*	7,29**
Tipos de Salinidade	(5)	0,51*	0,75 ^{ns}	64,49**	279,37 ^{ns}	0,0009*	3,24*
\hat{y}_1	1	2,38*	2,73*	143,61**	172,99 ^{ns}	0,001*	1,98*
\hat{y}_2	1	0,01 ^{ns}	0,88*	65,25*	521,37 ^{ns}	0,0009*	4,16*
\hat{y}_3	1	0,007 ^{ns}	0,29 ^{ns}	45,97*	825,19 ^{ns}	0,0008*	3,26*
\hat{y}_4	1	0,15 ^{ns}	0,60*	149,46**	162,00 ^{ns}	0,002*	11,54*
\hat{y}_5	1	0,15 ^{ns}	0,08 ^{ns}	97,22*	1,33 ^{ns}	0,001*	8,46*
Resíduo	15	0,11	0,18	4,30	223,58	0,0001	0,39
CV		17,37	13,83	17,95	5,28	10,56	16,52

\hat{y}_1 (S_1 vs S_2 ; S_3 ; S_4 ; S_5 ; S_6); \hat{y}_2 (S_2 vs S_3); \hat{y}_3 (S_2 vs S_6); \hat{y}_4 (S_2 vs S_5); \hat{y}_5 (S_5 vs S_2 ; S_3 ; S_4 ; S_6); FV – Fonte de variação; GL - Grau de liberdade; CV - Coeficiente de variação; (*) Significativo a 0,05, (**) Significativo a 0,01 de probabilidade; (ns) Não significativo; ¹ análise estatística realizada após transformação de dados em \sqrt{X}

Os valores obtidos para *gs* aos 20 DAS, não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos em estudo (Figura 4A). Embora não tenha sido observada influência significativa, verifica-se efeito mais pronunciado dos distintos tipos de salinidade nas plantas irrigadas com águas dos tratamentos S_2 e S_4 . Assim, a ausência de efeito significativo para *gs* aos 20 DAS evidencia a existência de mecanismos fisiológicos na mamoneira, como ajustamento osmótico, que proporciona absorção de água, mesmo sob condições de elevada salinidade (MARINHO et al., 2005), indicando também que o efeito da salinidade em plantas de mamoneira pode diferir em função da duração do estresse e da idade da cultura pois, enquanto aos 20 DAS a *gs* não foi afetada em função dos distintos tipos de sais, aos 40 DAS observou-se que a irrigação com água salina provocou alterações significativas na condutância estomática. Em consonância com os resultados obtidos no presente estudo aos 20 DAS, Holanda Filho et al. (2014) também constataram, ao avaliar os efeitos da salinidade da água de irrigação (CEa 3,0 dS m⁻¹) sobre as alterações fisiológicas da mandioqueira, que não houve influência significativa sobre a condutância estomática.



1= Testemunha; 2= Na⁺; 3= Ca⁺²; 4=Na⁺+Ca⁺²; 5=K⁺; 6=Na⁺+Ca⁺²+Mg⁺²

Figura 5. Condutância estomática – *gs* da mamoneira, aos 20 (A) e 40 (B) dias após a semeadura, em função dos tipos de salinidade da água de irrigação

Verifica-se, através do teste de comparação de médias para *gs* aos 40 DAS (Figura 5B), haver diferença significativa entre os tratamentos sendo as plantas irrigadas com água de baixa salinidade (Testemunha) estatisticamente superiores às

dos demais tratamentos (S_2 ; S_3 ; S_4 e S_6). Ao comparar as médias obtidas nos diferentes tratamentos, nota-se que as plantas submetidas à irrigação com água, referentes ao S_2 ; S_3 ; S_4 e S_6 não diferiram estatisticamente entre si, contudo, o menor valor para gs foi encontrado ao se irrigar com água constituída de sódio (S_2). A diminuição na condutância estomática das plantas irrigadas com águas dos tratamentos S_2 ; S_3 ; S_4 e S_6 em relação ao S_1 e S_5 , respectivamente, está relacionada à alteração no potencial osmótico e, conseqüentemente, à redução na disponibilidade de água nos seus tecidos; desta forma, possivelmente ocorreu o fechamento estomático e a conseqüente redução do fluxo normal de CO_2 em direção ao sítio de carboxilação, o que acarretou em alterações entre o balanço apropriado e o transporte de elétrons, o metabolismo de carbono e o consumo de ATP e NADPH que, em conjunto, tornaram o fotossistema II ineficiente, comprometendo significativamente a produção de fotossintatos (TEZARA et al., 2005).

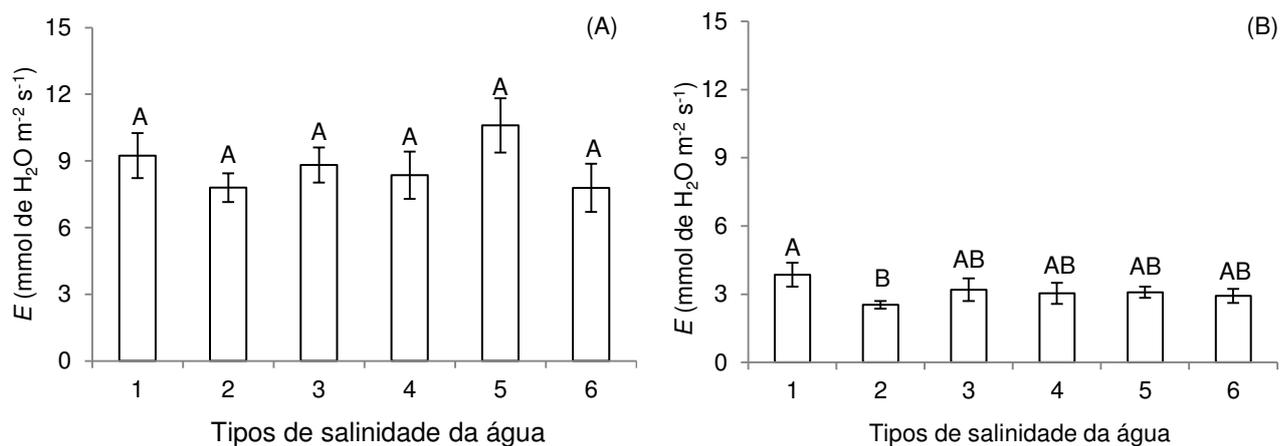
Na Tabela 5 se encontra o resultado da análise de variância para os contrastes de médias, referente à condutância estomática, mensurada aos 20 e 40 DAS. Verifica-se ter havido efeito significativo para gs apenas aos 40 DAS. Nesta avaliação se destaca, através da estimativa de média (Tabela 6) que as plantas de mamoneira, quando foram irrigadas com água de baixa salinidade ($CEa=0,6 \text{ dS m}^{-1}$) apresentaram incremento na gs de $0,84 \text{ mol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ em relação às que estavam sob irrigação com água de $CEa=4,5 \text{ dS m}^{-1}$ (S_2 ; S_3 ; S_4 ; S_5 e S_6). Deduz-se, então, que o efeito mais negativo sobre a gs resulta da natureza catiônica da água de irrigação devido o excesso de sais que se encontram na solução do solo ocasionar alteração no potencial osmótico-hídrico, afetando diretamente a absorção de águas pelas plantas. Por outro lado, a ausência de efeito significativo aos 20 DAS para todos os tratamentos em estudo, sugere que a condutância estomática sob condições salinas varia conforme o desenvolvimento da planta e depende do tempo de exposição ao estresse e da idade da folha avaliada (FREITAS et al., 2013).

Tabela 6. Estimativa de média referente à condutância estomática (gs), transpiração (E), taxa de assimilação de CO_2 (A), concentração interna de CO_2 (CI), eficiência instantânea de carboxilação ($EICI$) e eficiência intrínscica do uso da água (EUA) das plantas de mamoneira irrigada com água de diferentes tipos de salinidade, aos 20 e 40 dias, após a semeadura

FV	Quadrados Médios					
	<i>gs</i>	<i>E</i>	<i>A</i>	CI	EICI	EUA
20 DAS						
\hat{y}_1	-	-	8,61	-30,00	6,55	0,84
\hat{y}_2	-	-	-7,17	-	-5,71	-
\hat{y}_3	-	-	-	-17,00	-4,79	-
\hat{y}_4	-	-2,80	-9,06	24,00	-8,64	-
\hat{y}_5	-	2,41	6,45	-22,00	5,51	-
40 DAS						
\hat{y}_1	0,84	0,90	6,55	-	0,02	0,77
\hat{y}_2	-	-0,66	-5,71	-	-0,02	-1,44
\hat{y}_3	-	-	4,79	-	-0,02	-1,27
\hat{y}_4	-	-0,55	-8,64	-	-0,03	-2,40
\hat{y}_5	-	-	5,51	-	0,02	1,62

\hat{y}_1 (S₁ vs S₂; S₃; S₄; S₅; S₆); \hat{y}_2 (S₂ vs S₃); \hat{y}_3 (S₂ vs S₆); \hat{y}_4 (S₂ vs S₅); \hat{y}_5 (S₅ vs S₂; S₃; S₄; S₆); (-) não significativo

Em parte, a transpiração (*E*) teve o mesmo comportamento da condutância estomática aos 20 DAS (Figura 5A) observando-se, na Figura 6A, efeito não significativo entre os diferentes tipos de salinidade da água de irrigação, em relação às plantas irrigadas com água de baixa salinidade (Testemunha) evidenciando que a irrigação com águas constituídas de Na⁺; Ca⁺²; Na⁺+Ca⁺²; K⁺; Na⁺+Ca⁺²+Mg⁺², nos estádios iniciais do desenvolvimento da mamoneira não afetou a fisiologia da planta, em termos de transpiração foliar, tendo em vista que a perda de água, decorrente da abertura dos estômatos, resulta do processo de transpiração. Esses resultados indicam que o efeito do estresse ocasionado pelos diferentes tipos de salinidade em plantas de mamoneira, pode diferir ao longo da idade da cultura pois, enquanto aos 20 DAS a irrigação com água salina não alterou a transpiração foliar, em medições realizadas aos 40 DAS, houve diferença significativa, o que sugere que o efeito dos diferentes sais (Na⁺; Ca⁺²; Na⁺+Ca⁺²; K⁺; Na⁺+Ca⁺²+Mg⁺²) sobre a *E* é intensificado à medida em que o tempo de estresse é prolongado.



1= Testemunha; 2= Na⁺; 3= Ca⁺²; 4=Na⁺+Ca⁺²; 5=K⁺; 6=Na⁺+Ca⁺²+Mg⁺²

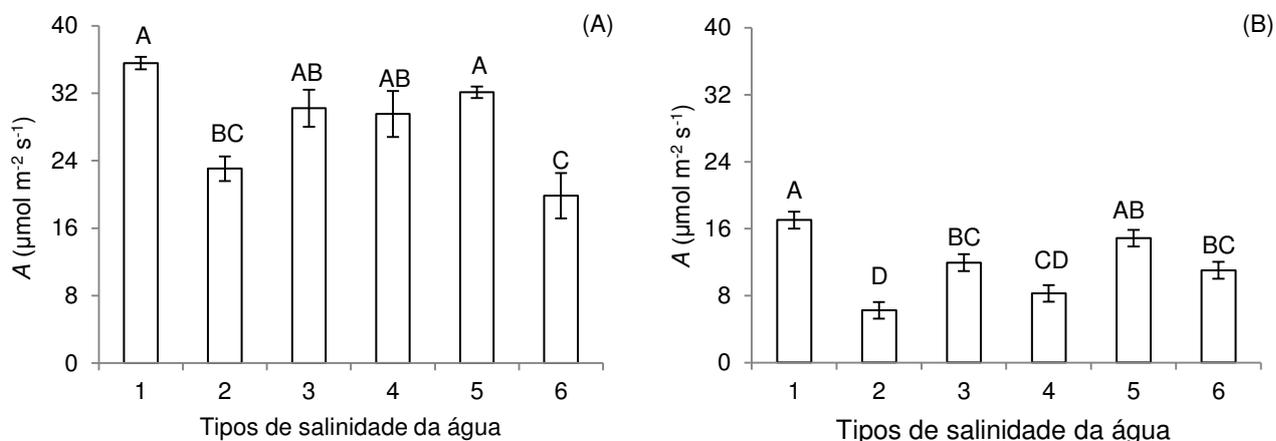
Figura 6. Transpiração - E da mamoneira, aos 20 (A) e 40 (B) dias após a semeadura, em função dos tipos de salinidade da água de irrigação

O fechamento parcial dos estômatos provocado pelos distintos tipos de salinidade da água aos 40 DAS (Figura 5B), também afetou as taxas de transpiração foliar da mamoneira na mesma época de avaliação (Figura 6B). Quando se comparam as médias dos tratamentos em estudo, vê-se que as plantas de mamoneira irrigadas com água de menor CEa (S₁) apresentaram a maior E (3,85 mmol de H₂O m⁻² s⁻¹), diferindo, de forma significativa, apenas em relação às que estavam submetidas ao tratamento S₂. Verifica-se ainda (Figura 6B) que as plantas de mamoneira, aos serem submetidas à irrigação com água dos tratamentos S₂; S₃; S₄; S₅ e S₆, sofreram uma redução de 34,37; 17,15; 21,41; 20,06 e 24,33% na transpiração em relação às plantas que estavam sob irrigação com água de baixo nível salino. Observando os valores obtidos para os distintos tratamentos, constata-se redução mais expressiva na E das plantas que foram irrigadas com água possuindo somente sódio em sua composição (Figura 6B). Tal fato é reflexo da diminuição do potencial osmótico (Figura 1B), do aumento do déficit de saturação hídrica (Figura 4B) e da redução da condutância estomática (Figura 5B) avaliados aos 40 DAS. Além de que, esta diminuição na transpiração também pode ser atribuída, em maior parte, aos efeitos tóxicos dos sais absorvidos pelas plantas, pela baixa capacidade de ajustamento osmótico da cultura e/ou redução do potencial total da água decorrente do incremento da concentração salina (LACERDA et al., 2006; SILVA et al., 2011).

Nota-se, na Tabela 5 e por meio dos contrastes de média para transpiração, que houve alteração significativa sobre a E , aos 20 DAS, apenas quando comparados o S_2 versus S_5 e S_5 versus os demais sais (S_2 ; S_3 ; S_4 e S_6). Através da estimativa de média (Tabela 6) percebe-se, ao utilizar água sódica na irrigação (S_2) ocorreu diminuição na E de 2,80 mmol de $H_2O\ m^{-2}\ s^{-1}$ em relação ao tratamento S_5 . Já ao confrontar a média obtida no S_5 em comparação com as plantas submetidas aos demais tipos de sais, observa-se redução de 2,41 mmol de $H_2O\ m^{-2}\ s^{-1}$. Aos 40 DAS (Tabela 6) verifica-se que quando as plantas foram submetidas à irrigação com $CEa=0,6\ dS\ m^{-1}$, houve aumento na E de 0,90 mmol de $H_2O\ m^{-2}\ s^{-1}$, quando comparadas as que estavam sendo irrigadas com $CEa = 4,5\ dS\ m^{-1}$. Constata-se, conforme dados de estimativa de média (Tabela 6), redução na transpiração de 0,66 mmol de $H_2O\ m^{-2}\ s^{-1}$ das plantas submetidas ao tratamento S_2 em relação às que receberam o S_3 . Por outro lado, as plantas irrigadas com água salinizada por sódio (S_2) apresentaram declínio de 0,55 mmol de $H_2O\ m^{-2}\ s^{-1}$ em comparação com as que estavam sob o S_5 . Nota-se, de modo geral, a partir dos resultados supracitados, que o uso de água contendo sódio em sua composição afeta a transpiração foliar, independente da proporção utilizada.

A taxa de assimilação de CO_2 foi influenciada de forma significativa pelos diferentes tipos de salinidade da água, aos 20 DAS, e por meio do teste de comparação de médias (Figura 7A) se verifica que a taxa de assimilação de CO_2 das plantas irrigadas com água de menor nível salino (S_1) e salinizada por potássio (S_5) se diferenciou de forma significativa em relação às plantas que estavam submetidas aos tratamentos S_2 e S_6 . Entretanto, ao comparar a A do S_1 e S_5 com os tratamentos S_2 e S_4 , conclui-se que não houve diferença significativa entre si. Percebe-se ainda (Figura 7A) que as plantas de mamoneira estudadas aos 20 DAS sob irrigação com água dos tratamentos S_1 e S_5 se destacaram com as maiores taxas de assimilação de CO_2 (35,56 e 32,12 $\mu mol\ m^{-2}\ s^{-1}$ respectivamente) em relação aos demais tratamentos (S_2 ; S_3 ; S_4 e S_6), acompanhando a mesma tendência observada para condutância estomática, valores esses satisfatórios tendo em vista que a mamoneira é uma planta C_3 , em que as taxas de assimilação de CO_2 das plantas variam entre 10 e 20 $\mu mol\ m^{-2}\ s^{-1}$ (TAIZ & ZEIGER, 2013). Por outro lado, o declínio observado na taxa de assimilação de CO_2 , principalmente nas plantas irrigadas com águas contendo sódio, pode ter sido decorrente da redução na condutância estomática

(Figura 5A), transpiração (Figura 6A) e do aumento da concentração interna de CO₂ (Figura 8A) demonstrando baixa eficiência de uso do CO₂ que adentra a célula.



1= Testemunha; 2= Na⁺; 3= Ca⁺²; 4=Na⁺+Ca⁺²; 5=K⁺; 6=Na⁺+Ca⁺²+Mg⁺²

Figura 7. Taxa de assimilação de CO₂- A da mamoneira, aos 20 (A) e 40 (B) dias após a semeadura, em função dos tipos de salinidade da água de irrigação

Quanto à taxa de assimilação de CO₂, avaliada aos 40 DAS (Figura 7B) observa-se, através do teste de comparação de médias, que o maior valor (17,02 μmol m⁻² s⁻¹) foi registrado nas plantas irrigadas com água de menor CEa (S₁), sendo superior estatisticamente ao valor observado nas que estavam sob irrigação com os tratamentos S₂; S₃; S₄ e S₆, entretanto, não houve alteração de forma significativa na A das plantas correspondentes ao tratamento S₅. Percebe-se ainda (Figura 7B) ao comparar as médias entre os tratamentos S₂, S₃; S₄ e S₆ em relação à testemunha, diminuição na A de 63,45; 29,84; 51,52 e 35,25% respectivamente. Desta forma se observa, pelos dados apresentados (Figura 7A e 7B) que a redução na taxa de assimilação de CO₂, está associada à idade e ao tempo de imposição do estresse à cultura, sendo as plantas irrigadas com água sódica as mais afetadas em ambas as épocas estudadas.

Este comportamento confirma os dados obtidos para condutância estomática (Figura 5B) e transpiração (Figura 6B) e sugere que a redução na taxa fotossintética pode ser decorrente do fechamento parcial dos estômatos associado aos efeitos osmóticos da salinidade e da toxidez iônica sobre o metabolismo (BEZERRA et al., 2005). Além disto, o declínio na taxa de assimilação de CO₂ ocasionado pelo fechamento dos estômatos em resposta ao baixo potencial de água do solo, devido à elevada concentração salina, também é fator determinante na redução do

crescimento e na produtividade das culturas (GURGEL et al., 2003). Da mesma forma, Lima et al. (2014), observaram redução na taxa de assimilação de CO₂ das plantas de mamoneira em função da salinidade da água de irrigação (CEa variando de 0,3 a 3,9 dS m⁻¹).

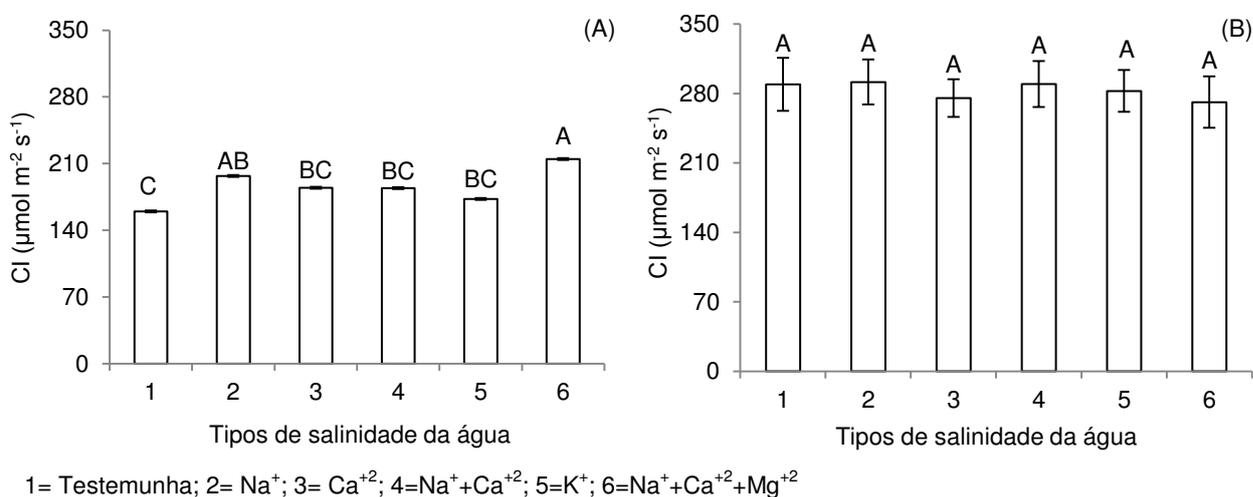
Os contrastes de médias para a taxa de assimilação de CO₂ estão apresentados na Tabela 5 constatando-se, entre os tratamentos em estudo, não ter ocorrido diferença significativa para a taxa de assimilação de CO₂ apenas para o S₂ versus S₆ aos 20 DAS. Verifica-se, com base na estimativa de média (Tabela 6) que as plantas irrigadas com água de baixa condutividade elétrica (0,6 dS m⁻¹) apresentaram um incremento na *A* de 8,61 e 6,55 μmol m⁻² s⁻¹ aos 20 e 40 DAS, respectivamente, ao se compará-las com as que foram irrigadas com CEa de 4,5 dS m⁻¹ (S₂; S₃; S₄; S₅ e S₆). Em contrapartida, quando esta variável foi analisada entre as plantas irrigadas com água sódica (S₂) em relação às que estavam sob salinidade da água preparada com cálcio (S₃) ocorreu um declínio na taxa de assimilação de CO₂ de 7,17 e 5,71 μmol m⁻² s⁻¹ aos 20 e 40 DAS, respectivamente.

Quando se compara o efeito do tratamento S₂ em relação ao S₆ (Tabela 6), constata-se aumento na *A* de 4,79 μmol m⁻² s⁻¹ aos 40 DAS. Por outro lado, ao se utilizar água salinizada por sódio, constatou-se diminuição na taxa de assimilação de CO₂ de 9,06 e 8,64 μmol m⁻² s⁻¹ aos 20 e 40 DAS, respectivamente, em comparação com as plantas que estavam submetidas à irrigação com água potássica.

Analisando o comportamento da *A* entre o S₅ e os demais sais (S₂; S₃; S₄ e S₆) verifica-se, através da estimativa de média (Tabela 6) que as plantas de mamoneira, ao serem submetidas ao tratamento S₅, aumentaram a taxa de assimilação de CO₂ em 6,45 e 5,51 μmol m⁻² s⁻¹ em relação às que estavam sob irrigação com os demais tratamentos. Pode-se inferir, a partir dos resultados supracitados, que a redução da taxa de assimilação de CO₂ é reflexo da diminuição do teor relativo de água, da transpiração e da condutância estomática, sendo o maior efeito decorrente da variação da salinidade da água (CEa de 0,6 a 4,5 dS m⁻¹).

Para a concentração interna de CO₂ aos 20 DAS (Figura 8A), observa-se que as plantas irrigadas com água constituída de Na⁺+Ca⁺²+Mg⁺² expressaram a maior CI (214,90 μmol m⁻² s⁻¹) tendo esta média superada em 25,63; 8,30; 14,02; 14,20 e 19,61% por valores obtidos nas irrigadas com os tratamentos S₁, S₂; S₃, S₄ e S₅, respectivamente. A baixa concentração interna de CO₂ observada nas plantas sob os

tratamentos S₁ e S₅ reflete os maiores valores encontrados para a taxa de assimilação de CO₂ (Figura 7A). Ressalta-se que uma maior concentração interna de CO₂ (S₂, S₃; S₄ e S₆) significa que o carbono que adentrava a célula do mesófilo foliar não estava sendo metabolizado pelo aparato fotossintético em virtude da condição de estresse salino ao qual essas plantas foram expostas. Além disto, tal aumento na concentração interna de CO₂ é um indicativo de que não houve restrição na aquisição de CO₂ por parte da cultura porém, quando o mesmo alcançava as células do mesófilo, o processo de fixação durante a fase de carboxilação foi comprometido (HABERMANN et al., 2003), fato que pode estar atrelado à degradação do aparelho fotossintético em resposta ao processo de senescência foliar dos tecidos, decorrente do estresse ocasionado pelo excesso de sais (SILVA et al., 2013).



1= Testemunha; 2= Na⁺; 3= Ca²⁺; 4=Na⁺+Ca²⁺; 5=K⁺; 6=Na⁺+Ca²⁺+Mg²⁺

Figura 8. Concentração interna de CO₂ – Ci da mamoneira aos 20 (A) e 40 (B) dias após a semeadura, em função dos tipos de salinidade da água de irrigação.

Verifica-se, através da Figura 8B, que a concentração interna de CO₂ obtida em medições realizadas aos 40 DAS, não foi influenciada de forma significativa em função dos tratamentos em estudo. A similaridade entre os tratamentos sugere que a disponibilidade de CO₂ às plantas não foi limitada, independentemente do tipo de salinidade aplicada, demonstrando que a redução do processo fotossintético não se deve apenas à restrição da abertura estomática mas, também aos danos na estrutura celular responsável pela assimilação de CO₂ provocados, possivelmente, pela redução no potencial osmótico-hídrico e pelo acúmulo de íons fora da faixa tolerada pelas plantas de mamoneira (FERNANDES et al., 2010).

Na Tabela 5 estão apresentados os contrastes de médias para concentração interna de CO₂ observando-se efeito significativo entre os tratamentos testados apenas aos 20 DAS e, através da estimativa de média apresentado na Tabela 6, nota-se que as plantas irrigadas com água de 0,6 dS m⁻¹ reduziram a concentração interna de CO₂ em 30 μmol m⁻² s⁻¹ em relação às submetidas a 4,5 dS m⁻¹. É provável que este aumento na CI observado nas plantas sob o maior nível de salinidade seja decorrente da redução na condutância estomática, transpiração e taxa de assimilação de CO₂, o que pode resultar em danos no aparato fotossintético em virtude da alta concentração de carbono interno. Por outro lado, a concentração interna de CO₂ das plantas irrigadas com o S₂ não diferiu de forma significativa das que se encontravam sob o S₃, indicando que a salinidade ocasionada por sódio e cálcio proporciona efeito semelhante sobre a CI.

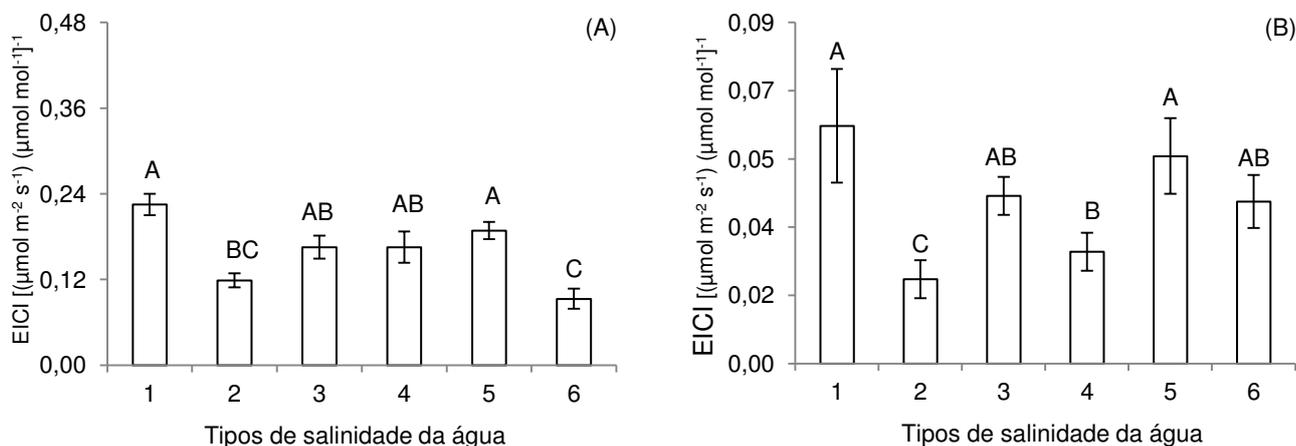
Diferente dos resultados supracitados percebe-se, por meio da estimativa de média (Tabela 6) que o uso de água salinizada por sódio, proporcionou um declínio na CI de 17 μmol m⁻² s⁻¹ em comparação com as plantas que foram submetidas à irrigação com Na+Ca+Mg. Ao analisar os dados (S₂ versus S₅), constata-se que as plantas de mamoneira sob irrigação com água concentrada em sódio apresentaram um incremento na concentração interna de CO₂ de 24 μmol m⁻² s⁻¹ em relação ao tratamento S₅. De forma semelhante, nota-se, através da estimativa de média (Tabela 6) que o uso de água de composição potássica na irrigação ocasionou diminuição na CI de 22 μmol m⁻² s⁻¹ ao confrontar com as plantas que receberam os demais tipos de sais (S₂; S₃; S₄ e S₆).

Ao se analisar, conjuntamente os resultados da concentração interna de CO₂ na mamoneira, fica evidente que o menor valor para esta variável encontrado nos tratamentos S₁ e S₅ está associado à maior taxa de assimilação de CO₂, condutância estomática e à transpiração foliar. Além disto se percebe, por meio dos resultados obtidos no presente estudo, que os danos ocasionados no aparato fotossintético da mamoneira pelo uso de água com composição iônica potássica, ocorrem com menor intensidade quando comparados com os demais tipos de sais (Na; Na+Ca; K e Na+Ca+Mg).

Quanto à eficiência instantânea de carboxilação, que se trata de um parâmetro fisiológico que possui estreita relação com a concentração intracelular de CO₂ e com a taxa de assimilação de CO₂ (KONRAD et al. 2005; MACHADO et al.,

2005). Percebe-se, ao analisar os dados, efeito significativo entre os distintos tipos de salinidade da água sobre a EICI aos 20 DAS (Figura 9A) e através do teste de comparação de médias, é possível observar que as plantas correspondentes aos tratamentos S₁ e S₅ apresentaram as maiores EICI ((0,22 e 0,18 ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) ($\mu\text{mol mol}^{-1}\text{J}^{-1}$))), não diferindo estatisticamente dos valores observados nas que estavam submetidas ao S₃ e S₄ ((0,16 e 0,16 ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) ($\mu\text{mol mol}^{-1}\text{J}^{-1}$))). Por outro lado, o valor de EICI das plantas de mamoneira irrigadas com o S₁ e S₅ diferiu de forma significativa dos valores observados nos tratamentos S₂ e S₆, sendo encontrada a menor EICI ((0,09 ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) ($\mu\text{mol mol}^{-1}\text{J}^{-1}$))) nas plantas sob irrigação com água concentrada em sódio+cálcio+magnésio.

Desta forma, os incrementos na eficiência instantânea de carboxilação, no presente trabalho, sobretudo para as plantas submetidas aos tratamentos S₁ e S₅, são devidos principalmente aos aumentos registrados na taxa de assimilação de CO₂ (Figura 7A) e aos decréscimos na concentração interna de dióxido de carbono (Figura 8A). Outrossim, essas reduções nos valores da EICI verificadas nos tratamentos S₂ e S₆, podem estar associadas às causas estomáticas e não estomáticas, em virtude dos efeitos osmóticos e tóxicos, essas últimas decorrentes do acúmulo dos íons Na⁺ e Cl⁻ nos limbos foliares (NEVES, 2008).



1= Testemunha; 2= Na⁺; 3= Ca⁺²; 4=Na⁺: Ca⁺²; 5=K⁺; 6=Na⁺:Ca⁺²:Mg⁺²

Figura 9. Eficiência instantânea de carboxilação – EICI da mamoneira, aos 20 (A) e 40 (B) dias após a semeadura, em função dos tipos de salinidade da água de irrigação

Aos 40 DAS, a eficiência instantânea de carboxilação também foi afetada de forma significativa, pelos diferentes tipos de salinidade da água e, de acordo com os

resultados do teste de média (Figura 9B) constata-se que os maiores valores ($0,06$ e $(\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1})$ ($\mu\text{mol mol}^{-1}\text{J}^{-1}$)), quanto à EICI, foram observados ao se utilizar água com baixa salinidade (S_1) e concentrada em potássio (S_5) na irrigação, os quais diferiram significativamente dos tratamentos S_2 e S_4 . Porém, não foram constatadas diferenças entre os tratamentos S_3 e S_6 . Os resultados supracitados sugerem que esta diminuição, mais expressiva na EICI das plantas que foram submetidas aos tratamentos S_2 e S_4 , seja reflexo das baixas taxas de assimilação de CO_2 (Figura 7B), em relação ao CO_2 encontrado na câmara subestomática (Figura 8B), pois se a concentração interna de CO_2 aumenta e há diminuição no consumo de CO_2 nos cloroplastos devido à redução na atividade fotossintética, a relação EICI também sofrerá redução. Neste sentido, Machado et al. (2005) comentam que a eficiência instantânea de carboxilação (EICI) possui estreita relação com a taxa de assimilação de dióxido de carbono e com a concentração intracelular de CO_2 .

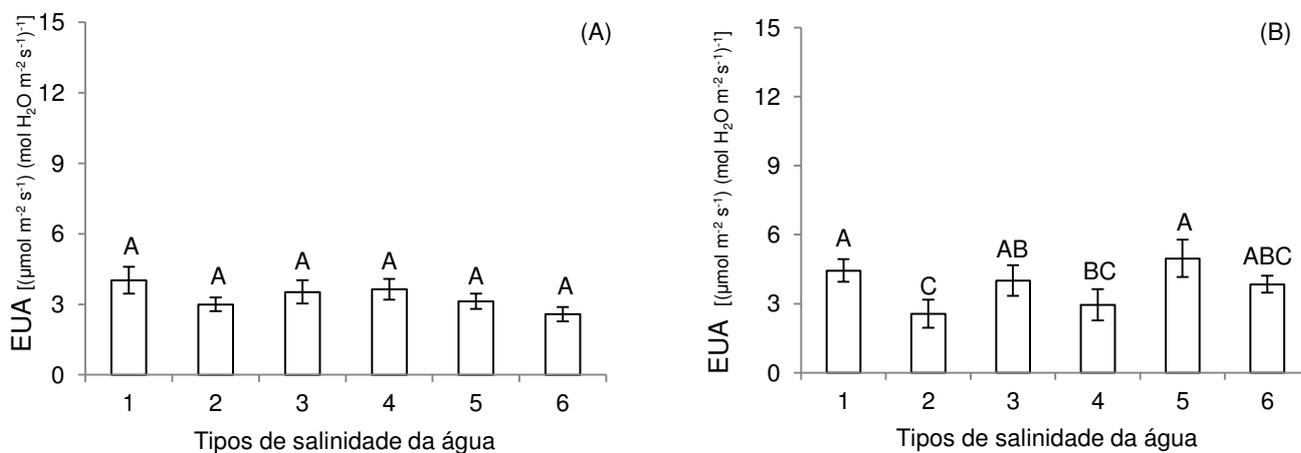
Verifica-se, com base nos resultados da análise de variância dos contrastes de média para eficiência instantânea de carboxilação (Tabela 5), a ocorrência de efeito significativo entre todos os tratamentos avaliados aos 20 e 40 DAS. Por meio da estimativa de média (Tabela 6), nota-se que as plantas de mamoneira, quando irrigadas com água de menor nível de condutividade elétrica ($0,6 \text{ dS m}^{-1}$) aumentaram em $6,55$ e $0,02$ ($(\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1})$ ($\mu\text{mol mol}^{-1}\text{J}^{-1}$) a EICI, respectivamente aos 20 e 40 DAS, em relação às que receberam CEa de $4,5 \text{ dS m}^{-1}$ (S_2 ; S_3 ; S_4 ; S_5 e S_6). Já as plantas, quando foram irrigadas com água salinizada por sódio (S_2) diminuíram a EICI em $5,71$ e $0,02$ ($(\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1})$ ($\mu\text{mol mol}^{-1}\text{J}^{-1}$) quando comparadas com as que estavam sob irrigação com o tratamento S_3 , aos 20 e 40 DAS, respectivamente.

Mantendo a mesma tendência observa-se, através dos dados de estimativa de média (Tabela 6) que o uso de água rica em sódio acarretou em diminuição na EICI de $4,79$ e $0,02$ ($(\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1})$ ($\mu\text{mol mol}^{-1}\text{J}^{-1}$) em relação às plantas irrigadas com o tratamento S_6 , nas duas épocas de estudo (20 e 40 DAS). Contudo, ao comparar o S_2 com o tratamento S_5 , percebe-se um declínio na EICI de $8,64$ e $0,03$ ($(\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1})$ ($\mu\text{mol mol}^{-1}\text{J}^{-1}$) nas plantas irrigadas com o S_2 em relação às médias obtidas para as que estavam sob o S_5 aos 20 e 40 DAS, respectivamente. Por outro lado, ocorreu aumento na EICI de $5,51$ e $0,02$ ($(\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1})$ ($\mu\text{mol mol}^{-1}\text{J}^{-1}$) ao confrontar o tratamento S_5 em relação aos demais tipos de sais presentes na água

de irrigação (S₂; S₃; S₄ e S₆). De modo geral, nota-se que a diminuição na EICI, principalmente nas plantas sob irrigação com água de natureza catiônica distinta (S₂; S₃; S₄ e S₆) está associada à redução na taxa de assimilação de CO₂ e ao aumento na concentração interna de carbono.

A eficiência intrínseca do uso da água aos 20 DAS (Figura 10A), não apresentou diferença significativa entre os tratamentos em estudo. Apesar disto, verifica-se que as plantas irrigadas com o S₁ obtiveram o maior valor para EUA [4,03 (μmol m⁻² s⁻¹) (mol H₂O m⁻² s⁻¹)⁻¹], superando em 1,03; 0,50; 0,39; 0,90 e 1,45 (μmol m⁻² s⁻¹) (mol H₂O m⁻² s⁻¹)⁻¹ os valores encontrados nas que estavam submetidas aos tratamentos S₂; S₃; S₄; S₅ e S₆, respectivamente. Acrescenta-se que a ausência de influência significativa dos distintos tipos de salinidade sobre a EUA, é reflexo dos resultados observados na taxa de assimilação de CO₂ (Figura 7A) e transpiração (Figura 6A) na mesma época de estudo.

Tendo em vista que a eficiência intrínseca do uso da água é obtida através da relação entre a taxa de assimilação de CO₂ e a transpiração foliar, em que os valores observados relacionam a quantidade de carbono que a planta fixa, por cada unidade de água que perde (JAIMEZ et al., 2005), assim é provável que as plantas que tenham capacidade de manter elevada a eficiência no uso da água sob condições de salinidade, apresentem alta capacidade de tolerância ao estresse salino, já que a diminuição no consumo de água implica em redução na absorção de íons específicos evitando, portanto, efeitos tóxicos à planta (FLOWERS & FLOWERS, 2005).



1= Testemunha; 2= Na⁺; 3= Ca⁺²; 4=Na⁺+Ca⁺²; 5=K⁺; 6=Na⁺+Ca⁺²+Mg⁺²

Figura 10. Eficiência intrínseca do uso da água-EUA da mamoneira, aos 20 (A) e 40 (B) dias após a semeadura, em função dos tipos de salinidade da água de irrigação

Com base nos resultados do teste de comparação de médias para eficiência intrínseca do uso da água mensurada aos 40 DAS (Figura 10B), nota-se que os tratamentos S₁ e S₅ foram estatisticamente superiores aos tratamentos S₂ e S₃, todavia, não se diferenciaram das plantas irrigadas com o S₄ e S₆. Percebe-se ainda (Figura 9B) que os maiores valores para EUA [4,43 e 4,96 ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$)⁻¹] foram obtidos nas plantas sob irrigação com água de menor salinidade (S₁) e possuindo potássio em sua composição, respectivamente. Por outro lado, a irrigação com água concentrada em sódio, sódio+cálcio e sódio+cálcio+magnésio, resultou em menores valores de EUA, com média de 2,56; 2,56 e 3,84 ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$)⁻¹ respectivamente. Esta diminuição na eficiência intrínseca do uso da água observada nos tratamentos S₂; S₄ e S₆, pode estar associada à alteração nas taxas de assimilação de CO₂ e transpiração foliar, que ocorreram possivelmente em virtude da baixa disponibilidade de água no solo, resultante da redução do potencial osmótico devido à elevada concentração salina, o que provocou o fechamento dos estômatos e, conseqüentemente, reduziu a assimilação do CO₂ e a transpiração foliar, afetando diretamente a EUA (WILLADINO & CAMARA, 2004).

Conforme indicado na Tabela 5, o efeito foi significativo entre os tratamentos em estudo, aos 40 DAS, exceto para o S₁ versus os demais sais (S₂; S₃; S₄; S₅; S₆) que foram influenciados nas duas épocas de avaliação (20 e 40 DAS). Por meio da estimativa de média apresentada na Tabela 6 nota-se aumento na EUA de 0,84 e 0,77 ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$)⁻¹ nas plantas de mamoneira sob irrigação com CEa de 0,6 dS m⁻¹ comparadas às cultivadas sob salinidade da água 4,5 dS m⁻¹, aos 20 e 40 DAS, respectivamente. Observa-se (Tabela 6) que no S₂ a eficiência intrínseca do uso da água foi inferior à do S₃ em 1,44 ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$)⁻¹. Ao se confrontar as plantas que foram submetidas a irrigação com água de composição sódica (S₂), vê-se redução na EUA de 1,27 ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$)⁻¹ em relação às que estavam sendo irrigadas com água constituída de Na+Ca+Mg (S₆). Nota-se, através da estimativa de média (Tabela 6), ao utilizar o S₂ na água de irrigação, uma redução na EUA de 2,40 ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$)⁻¹ em comparação com as plantas que receberam água potássica (S₅). A partir desses resultados pode-se inferir que predominantemente o uso de água sódica ocasiona maior efeito deletério sobre a EUA. Já as plantas irrigadas com o S₅ apresentaram um incremento na EUA de 1,62 ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$)⁻¹ em relação aos

demais tipos de sais (S_2 ; S_3 ; S_4 e S_6). De modo geral percebe-se, dentre os cátions estudados, maior eficiência do uso da água nas plantas irrigadas com água concentrada em potássio. Tal resultado corrobora com os dados obtidos para a taxa de assimilação de CO_2 (Figura 7B) e transpiração foliar (Figura 2B) aos 40 DAS.

CONCLUSÕES

1. A irrigação com a água de natureza catiônica distinta afeta o potencial osmótico, extravasamento de eletrólitos, o teor relativo de água e o déficit de saturação hídrica da mamoneira, em todas as épocas estudadas, sendo o menor efeito deletério observado nas plantas irrigadas com água potássica;
2. O maior déficit de saturação hídrica é obtido nas plantas irrigadas com água de composição iônica sódica;
3. Os efeitos negativos da natureza catiônica da água de irrigação são mais evidentes nas trocas gasosas sobretudo na condutância estomática e na taxa de assimilação de CO_2 , aos 40 DAS;
4. Dentre os íons estudados, o potássio é o que proporciona os maiores valores para condutância estomática, transpiração, taxa de assimilação de CO_2 , eficiência instantânea de carboxilação e eficiência intrínseca do uso da água, aos 40 DAS;
5. A mamoneira 'BRS Energia' é mais sensível à presença do íon sódio na água de irrigação, tanto em termos de relações hídricas como para as trocas gasosas.
6. As relações hídricas e a fisiologia da mamoneira são mais sensíveis à variação na CEa em comparação com a natureza catiônica da água.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AHMED, B. A. O.; MORITANI, I. S. Effect of saline water irrigation and manure application on the available water content, soil salinity, and growth of wheat. **Agricultural Water Management**, v.97, n.1, p.165-170, 2010.
- ALONSO, A.; QUEIROZ, C. G. S.; MAGALHÃES, A. C. Chilling stress leads to increased cell membrane rigidity in roots of coffee (*Coffea arabica* L.) seedlings. **Biochimica et Biophysica Acta**, v. 1323, n.1, p.75-84, 1997.

- AMORIM, A. V.; GOMES-FILHO, E.; BEZERRA, M. A.; PRISCO, J. T.; LACERDA, C. F. Respostas fisiológicas de plantas adultas de cajueiro anão precoce à salinidade. **Revista Ciência Agronômica**, v.41, n.1, p.113-121, 2010.
- AQUINO, A. J. S. de; LACERDA, C. F. de; BEZERRA, M. A.; GOMES FILHO, E.; COSTA, R. N. T. Crescimento, partição de matéria seca e retenção de Na⁺, K⁺ e Cl⁻ em dois genótipos de sorgo irrigados com águas salinas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n.5, p.961-971, 2007.
- BABITA, M.; MAHESWARI, M.; RAO, L. M.; SHANKER, A. K.; RAO, D. G. Osmotic adjustment, drought tolerance and yield in castor (*Ricinus communis* L.) hybrids. **Environmental and Experimental Botany**, v. 69, n.3, p.243-249, 2010.
- BAGATTA, M.; PACIFICO, D.; MANDOLINO, G. Evaluation of the osmotic adjustment response within the Genus Beta, **Journal of Sugar Beet Research**, v. 45 n. 3, p. 119-131, 2008.
- BEZERRA, M. A.; LACERDA, C. F. DE; PRISCO, J. T; GOMES FILHO, E. Crescimento e fotossíntese de plantas jovens de cajueiro anão-precoce sob estresse salino. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, suplemento, p.90-94, 2005.
- CLAESSEN, M. E. C. (Org.). **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. rev. atual. Rio de Janeiro: Embrapa-CNPS, 1997. 212p. (Embrapa-CNPS. Documentos, 1).
- COELHO, J. B. M.; BARROS, M. de F. C.; BEZERRA NETO, E.; SOUZA, E. R. de. Ponto de murcha permanente fisiológico e potencial osmótico de feijão caupi cultivado em solos salinizados. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, n.7, p.708-713, 2014.
- DIAS, N.S.; BLANCO, F. F. Efeitos dos sais no solo e na planta. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F (ed.). **Manejo da salinidade na agricultura irrigada: estudos básicos e aplicados**. Fortaleza: INCTSal, 2010. p.132 - 144.
- FERNANDES, M. S.; SOUZA, S. R. Absorção de nutrientes. In: FERNANDES, M.S. (ed.). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p. 116-152.
- FERNANDES, O. B.; PEREIRA, F. H. F.; ANDRADE JÚNIOR, W. P.; QUEIROGA, R. C. F.; QUEIROGA, F. M. de. Efeito do nitrato de cálcio na redução do estresse salino no meloeiro. **Revista Caatinga**, v.23, n.3, p.93-103, 2010.

- FIGUEIREDO, S. L.; RODRIGUES, J. D.; CARNEIRO, J. P. C.; SILVA, A. do A.; LIMA, M. B. Fisiologia e produção da soja tratada com cinetina e cálcio sob déficit hídrico e sombreamento. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.48, n.11, p.1432-1439, 2013.
- FLOWERS, T. J.; FLOWERS, S. A. Why does salinity pose such a difficult problem for plant breeders? **Agricultural Water Management**, v.78, n.1-2, p.15-24, 2005.
- FREITAS, V. S.; MARQUES, E. C.; BEZERRA, M. A.; PRISCO, J. T.; GOMES-FILHO, E. Crescimento e acúmulo de íons em plantas de cajueiro anão precoce em diferentes tempos de exposição à salinidade. **Revista Semina: Ciências Agrárias**, v.34, n.6, suplemento 1, p. 3341-3352, 2013.
- GARCIA, G. de O.; MARTINS FILHO, S.; NAZÁRIO, A. A.; MORAES, W. B.; GONÇALVES, I. Z.; MADALÃO, J. C. Estresse hídrico e salino na produção relativa e potencial de água na folha do feijoeiro. **Irriga**, v.14, n. 4, p.470-480, 2009.
- GURGEL, T. M.; FERNANDES, P. D.; GHEYI, H. R.; SANTOS, F. J. de S.; BEZERRA, I. L.; NOBRE, R.G. Estresse salino na germinação e formação de porta-enxerto de aceroleira. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.7, n.1, p.31-36, 2003.
- HABERMANN, G.; MACHADO, E. C.; RODRIGUES, J. D.; MEDINA, C. L. CO₂ assimilation, photosynthetic light response curves, and water relations of 'Pêra' sweet orange plants infected with *Xylella fastidiosa*. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 15, n. 2, p. 79-87, 2003.
- HASEGAWA, P. M.; BRESSAN, R. A.; ZHU, J. K.; BONERT, H. J. Plant cellular and molecular responses to high salinity. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v.51, n.1, p.463-499, 2000.
- HOLANDA FILHO, R. S. F. de; SANTOS, D. B. dos; AZEVEDO, C. A. V. de; COELHO, E. F.; DANTAS NETO, J. Água salina nos atributos fisiológicos e na produtividade da mandioca. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 9, n.1, p.111-119, 2014.
- JÁCOME, A. G.; OLIVEIRA, R. H. de; FERNANDES, P. D.; GHEYI, H. R.; SOUZA, A. P. de; GONÇALVES, A. C. A. Crescimento de genótipos de algodão eiro em função da salinidade da água de irrigação. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 25, n.2, p.305-313, 2003.

- JAIMEZ, R. E.; RADA, F.; GARCIA-NÚÑEZ, C.; AZÓCAR, A. Seasonal variations in leaf gas exchange of plaitain cv. Hartón (Musa AAB) under different soil water conditions in a humid tropical region. **Scientia Horticulturae**, v.104, n.1, p.79-89, 2005.
- KONRAD, M. L. F.; SILVA, J. A. B.; FURLANI, P. R.; MACHADO, E. C. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila em seis cultivares de cafeeiro sob estresse de alumínio. **Bragantia**, v.64, n.3, p.339-347, 2005.
- LACERDA, C. F. de.; MORAIS, M. M. M.; PRISCO, J. T.; GOMES FILHO, E.; BEZERRA, M. A. Interação entre salinidade e fósforo em plantas de sorgo forrageiro. **Revista Ciência Agronômica**, v. 37, p.258-263, 2006.
- LIMA, G. S. de; NOBRE, R. G.; GHEYI, H. R.; SOARES, L. A. dos A.; SILVA, S. S. da. Respostas morfofisiológicas da mamoneira, em função da salinidade da água de irrigação e adubação nitrogenada. **Irriga**, v. 19, n.1, p.130-136, 2014.
- LIMA, G. S.; NOBRE, R. G.; GHEYI, H. R.; SOARES, L. A. A. SILVA, A. O. Physiology, growth and yield of castor bean under salt stress and nitrogen doses in phenophases. **Idesia**, v.32, n.3, p.91-99, 2014.
- MACHADO, E. C.; SCHMIDTI, P. T.; MEDINA, C. L.; RIBEIRO, R. V. Respostas da fotossíntese de três espécies de citros a fatores ambientais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 12, p. 1161- 1170, 2005.
- MAGGIO, A.; RAIMONDI, G.; MARTINO, A.; DE PASCALE, S. Salt stress response in tomato beyond the salinity tolerance threshold. **Environmental and Experimental Botany**, v.59, n.3, p.276-282, 2007.
- MANSOUR, M. M. F.; SALAMA, K. H. A. AI-MUTANA, M. M. Transport protein and salt tolerance in plants. **Plant Science**, v.146, n.6, p.891-900, 2003.
- MANSUR, R. J. C. N.; BARBOSA, D. C. A. Comportamento fisiológico em plantas jovens de quatro espécies lenhosas da caatinga submetidas a dois ciclos de estresse hídrico. **Phyton**, v. 68, s.n., p. 97-106. 2000.
- MARINHO, F. J. L.; GHEYI, H. R.; FERNANDES, P. D.; FERREIRA NETO, M. Alterações fisiológicas em coqueiro irrigado com água salina coqueiro irrigado com água salina. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, Suplemento, p.370-374, 2005.

- MATOS, F. S.; ROCHA, E. C.; CRUVINEL, C. K. L.; RIBEIRO, R.A.; RIBEIRO, R. P.; TINOCO, C. F. Desenvolvimento de mudas de pinhão-mansão irrigadas com água salina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.37, n.4, p.947-954, 2013.
- MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. **Princípios de nutrição vegetal**. Basel: Switzerland: International Potash Institute, 2000. 692p.
- NEVES, A. L. R. **Irrigação do feijão-de-corda com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento e seus efeitos na planta e no solo**. . Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 2008. 120p. Dissertação de Mestrado.
- NOBRE, R. G.; LIMA, G. S. de; GHEYI, H. R.; LOURENÇO, G. S.; SOARES, L. A. A. Emergência, crescimento e produção da mamoneira sob estresse salino e adubação nitrogenada. **Revista Ciência Agronômica**, v 44, n.1, p. 76-85, 2013.
- NOVAIS, R. F.; NEVES J. C. L.; BARROS N. F. Ensaio em ambiente controlado. In: OLIVEIRA A. J. **Métodos de pesquisa em fertilidade do solo**. Brasília: Embrapa-SEA. 1991. p.189-253.
- PATAKAS, A.; NIKOLAIOUA, N.; ZIOZIOUA, E.; RADOGLIOU, K.; NOITSAKIS, B. The role of organic solute and ion accumulation in osmotic adjustment in drought-stressed grapevines. **Plant Science**, v.163, n.2, p.361-367, 2002.
- PINHEIRO, H. A.; SILVA, J. V.; ENDRES, L.; FERREIRA, V. M.; CÂMARA, C. A.; CABRAL, F. F.; OLIVEIRA, J. F.; CARVALHO, L. W. T.; SANTOS, J. M. Leaf gas exchange, chloroplastic pigments and dry matter accumulation in castor bean (*Ricinus communis* L) seedlings subjected to salt stress conditions. **Industrial Crops and Products**, v.27, n.3, p.385-392, 2008.
- PRISCO, J. T. Alguns aspectos da fisiologia do estresse salino. **Revista Brasileira de Botânica**, v.3, n.1-2, p.85-94, 1980.
- RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V. V. H. (ed). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. Viçosa: CFSEMG, 1999. 359p.
- RICHARDS, L. A. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington: U. S. Department of Agriculture, 1954. 160p. (USDA, Agriculture Handbook, 60).
- RODRIGUES, P. N. F.; ROLIM, M. M.; BEZERRA NETO, E.; PEDROSA, E. M. R.; OLIVEIRA, V. S. Crescimento e composição mineral do milho em função da

- compactação do solo e da aplicação de composto orgânico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, n.1,p.94-99 , 2009.
- SANTANA, M. J.; CARVALHO, J. A.; SILVA, E. L.; MIGUEL, D. S. Efeito da irrigação com água salina em um solo cultivado com o feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). **Ciência e Agrotecnologia**, v.27, n.2, p.443-450, 2011.
- SANTOS, D. B. DOS; FERREIRA, P. A.; OLIVEIRA, F. G. DE; BATISTA, R. O.; COSTA, A. C.; CANO, M. A. O. Produção e parâmetros fisiológicos do amendoim em função do estresse salino. **Idesia**, v.30, n.2, p.69-74, 2012.
- SANTOS, R. F.; KOURI, J. Aspectos econômicos do agronegócio da mamona. In: AZEVEDO, D. M. P. de; BELTRÃO, N. E. de M. (eds.). **O agronegócio da mamona no Brasil**. 2. ed. Campina Grande: Embrapa Algodão; Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2007. p.21-42.
- SCOTT CAMPOS, P.; THU PHAN THI, A. Effect of abscisic acid pretreatment on membrane leakage and lipid composition of *Vigna unguiculata* leaf discs subject to osmotic stress. **Plant Science**, v.130, s.n., p.11-18, 1997.
- SHANNON, M. C.; GRIEVE, C. M. Tolerance of vegetable crops to salinity. **Scientia Horticulturae**, v.78, n.1-4, p.5-38, 1998.
- SILVA, A. R. A. da; BEZERRA, F. M. L.; LACERDA, C. F. de; PEREIRA FILHO, V.; FREITAS, C. A. S. de. Trocas gasosas em plantas de girassol submetidas à deficiência hídrica em diferentes estádios fenológicos. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, n.1, p. 86-93, 2013.
- SILVA, E. N. da; SILVEIRA, J. A. G.; RODRIGUES, C. R. F.; LIMA, C. S. de; VIÉGAS, R. A. Contribuição de solutos orgânicos e inorgânicos no ajustamento osmótico de pinhão-mansão submetido à salinidade. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, n.5, p.437-445, 2009.
- SILVA, F. L. B. da; LACERDA, C. F. de; SOUSA, G. G. de; NEVES, A. L. R.; SILVA, G. L. da; SOUSA, C. H. C. Interação entre salinidade e biofertilizante bovino na cultura do feijão-de-corda. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.4, p.383-389, 2011.
- SILVA, S. M. S.; GHEYI, H. R.; BELTRÃO, N. E. de M.; SANTOS, J. W. DOS; SOARES, F. A. L. Dotações hídricas em densidades de plantas na cultura da mamoneira cv. BRS Energia. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.4, n.3, p.338-348, 2009.

- SOUSA, A. E. C.; LACERDA, C. F. de; GHEYI, H. R.; SOARES, F. A. L.; UYEDA, C. A. Teores de nutrientes foliares e respostas fisiológicas em pinhão manso submetido a estresse salino e adubação fosfatada. **Revista Caatinga**, v.25, n.2, p.144-152, 2012.
- SOUSA, G. B.; CAVALCANTE, L. F.; CAVALCANTE, I. H. L.; BEKMANN-CAVALCANTE, M. Z.; NASCIMENTO, J. A. Salinidade do substrato contendo biofertilizante para formação de mudas de maracujazeiro amarelo irrigado com água salina. **Revista Caatinga**, v.21, n.2, p.172- 180, 2008.
- SUASSUNA, J; AUDRY, P. **Qualidade da água na irrigação do trópico semi-árido: um estudo de caso.** Disponível em <http://www.fundaj.gov.br/docs/tropico/desat/estcaso.html> Acesso em: 12 setembro 2014.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: ArtMed, 2013. 954p.
- TEZARA, W.; MARÍN, O.; RENGIFO, E.; MARTINEZ, D.; HERRERA, A. Photosynthesis and photoinhibition in two xerophytic shrubs during drought. **Photosynthetica**, v.43, n.1, p.37-45, 2005.
- WEATHERLEY, P. E. Studies in the water relations of the cotton plant. I- The field measurements of water deficits in leaves. **New Phytologist**, v.49, n.1, p.81-97, 1950.
- WILLADINO, L.; CAMARA, T. R. **Origen y naturaleza de los ambientes salinos.** In: REIGOSA, M. J.; PEDROL, N.; SÁNCHEZ, A. (ed.). La ecofisiología vegetal – Uma ciencia de síntesis. Madrid: Thompson, 2004. p. 303 - 330.

CAPÍTULO IV

PRODUÇÃO DA MAMONEIRA 'BRS ENERGIA' EM FUNÇÃO DA SALINIDADE E NATUREZA CATIÔNICA DA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO

PRODUÇÃO DA MAMONEIRA 'BRS ENERGIA' EM FUNÇÃO DA SALINIDADE E NATUREZA CATIÔNICA DA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO

Resumo: O elevado crescimento populacional nos últimos anos, aliado a diminuição dos recursos hídricos em quantidade e qualidade torna-se imprescindível o uso de águas salinas nas atividades agrícolas. Neste sentido, realizou-se esta pesquisa com o objetivo de avaliar a produção da mamoneira cv. BRS Energia em função da salinidade e natureza catiônica da água de irrigação. O experimento foi desenvolvido em lisímetros em condições de casa de vegetação no CTRN/UFCG, entre novembro de 2013 e fevereiro de 2014. Estudaram-se seis tipos de salinidade da água (S₁ - Testemunha; S₂ - Na⁺; S₃ - Ca⁺²; S₄ - Na⁺+ Ca⁺²; S₅ - K⁺ e S₆ - Na⁺+Ca⁺²+Mg⁺²), distribuídos em delineamento de blocos ao acaso com quatro repetições, sendo a parcela constituída de cinco plantas úteis, totalizando 120 parcelas experimentais. Salienta-se que as plantas do tratamento testemunha (S₁) foram irrigadas com água de condutividade elétrica (CEa) de 0,6 dS m⁻¹, e os demais tratamentos (S₂; S₃;S₄; S₅ e S₆) foram submetidos à CEa de 4,5 dS m⁻¹, porém com diferente (s) cátion(s). A salinidade afeta, de forma negativa, a produção da mamoneira, independente da natureza catiônica da água; a mamoneira BRS Energia foi mais sensível à salinidade provocada pela presença de sais de potássio na água de irrigação; a massa de sementes do racemo primário é a variável mais sensível para se avaliar o efeito da salinidade e a natureza catiônica da água. A aplicação de fração de lixiviação de 0,10 não foi suficiente para evitar o acúmulo de sais no solo, sendo obtido as maiores condutividade elétrica do extrato de saturação (CEes) nos tratamentos em que se utilizou CEa de 4,5 dS m⁻¹; A irrigação com água de baixa condutividade elétrica proporcionou o menor valor para a percentagem de sódio trocável.

Palavras-chave: *Ricinus communis* L., escassez de água, estresse salino

PRODUCTION OF CASTOR BEAN 'BRS ENERGIA' AS A FUNCTION OF SALINITY AND CATIONIC NATURE OF IRRIGATION WATER

Abstract: The high population growth in recent years, coupled with the decrease of water resources in quantity and quality requires the use of saline water in agricultural activities. In this context, this research was carried out in order to evaluate the

production of castor bean cv. 'BRS Energia' depending on the nature of the cation and salinity of irrigation water. The experiment was conducted in lysimeters under conditions of a greenhouse in CTRN/UFCG, between November 2013 to February 2014. Six types of water salinity (S_1 -Control; S_2 - Na^+ ; S_3 - Ca^{+2} ; S_4 - $Na^+ + Ca^{+2}$, S_5 - K^+ and S_6 - $Na^+ + Ca^{+2} + Mg^{+2}$) were studied, distributed in a randomized block design with four replications, and each experimental unit consisted of five plants totaling 120 plots. The plants of the control treatment (S_1) were irrigated with water of electrical conductivity (ECw) of 0.6 dS m^{-1} , while that of the other treatments (S_2 , S_3 , S_4 , S_5 and S_6) were irrigated with $ECw=4.5 \text{ dS m}^{-1}$ but with different cation. Salinity adversely affects the production of castor bean independently of cationic nature of water; castor bean 'BRS Energia' was more sensitive to salinity caused by the presence of potassium salt in the irrigation water; the mass of seeds of primary raceme is the most sensitive variable to evaluate the effect of salinity and the cationic nature of water. The application of leaching fraction equivalent to 0.10 was not enough to prevent the accumulation of salts in the soil, and resulted in the higher electrical conductivity of saturation extract (CEes) in the treatments with ECw of 4.5 dS m^{-1} ; the lowest value for the exchangeable sodium percentage was obtained in control treatment.

Key words: *Ricinus communis* L., water scarcity, salinity stress

INTRODUÇÃO

No Nordeste do Brasil, sobretudo em áreas semiáridas, a escassez hídrica, por razões climáticas (desbalanço entre pluviosidade e evaporação) afeta gravemente a população, ensejando graves perdas sociais e econômicas refletidas na diminuição da capacidade produtiva (ALVES et al., 2011). Desta forma, a prática da irrigação se torna imprescindível para se garantir a produção agrícola com segurança e, nesta perspectiva, deve-se, também, ressaltar o fato de que a qualidade da água para irrigação nesta região apresenta grande variabilidade, tanto em termos geográficos como ao longo do ano (BEZERRA et al., 2010).

Embora referidas regiões possuam vastas áreas potenciais para exploração da agricultura irrigada, suas fontes hídricas possuem, normalmente, variações na concentração de sais e na composição química com predominância sobretudo nas

áreas de cristalino, de águas cloretadas e sódicas com baixas concentrações de sulfato e concentrações variáveis de cálcio, magnésio, carbonatos e bicarbonatos (OLIVEIRA & MAIA, 1998; SILVA JÚNIOR et al., 1999)

O uso dessas fontes de água pode, dependendo de sua constituição, provocar variados graus de estresse aos vegetais e alterar, de forma negativa, as propriedades físicas e químicas do solo (AQUINO et al., 2007). Entretanto, as concentrações de sais na solução do solo que limitam o desenvolvimento das plantas variam amplamente entre os genótipos mas também em função do tipo de sal, do tempo de exposição da planta ao estresse salino e do estágio do seu desenvolvimento (DEUNER et al., 2011).

Entre as principais restrições da utilização dessas águas na produção das culturas, citam-se os efeitos de diminuição do potencial osmótico, toxidez de íons específicos e desbalanço nutricional, além de outros prejuízos relacionados a efeitos indiretos por alterações físicas e químicas no solo. Tais efeitos resultam em sérias modificações no metabolismo das plantas alterando processos fisiológicos e bioquímicos (NEVES et al., 2009; DIAS et al., 2011).

Dentre as culturas de importância para o semiárido, a mamoneira (*Ricinus communis* L.) se destaca, devido às características de xerofilismo e heliofilismo, além de boa adaptação a distintas condições de solo e manejo. É uma cultura rústica, de crescimento rápido, elevada produtividade e às diversas possibilidades de uso do óleo extraído das sementes (MARINHO et al., 2010).

O óleo extraído por prensagem contém 90% de ácido ricinoleico, o qual confere características singulares ao óleo servindo como matéria-prima para indústria em mais de 700 produtos industrializados (GONÇALVES et al., 2005). De sua industrialização obtém-se como subproduto, a torta, que possui, enquanto fertilizante, excelentes propriedades químicas para uso na agricultura (PAIXÃO et al., 2013).

Em face à importância socioeconômica da cultura da mamoneira para o semiárido do Nordeste Brasileiro e à necessidade de utilização de águas salinas na agricultura, sobretudo de natureza catiônica distinta, desenvolveu-se esta pesquisa objetivando avaliar a produção da mamoneira cv. BRS Energia, em função da salinidade e da natureza catiônica da água de irrigação.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado entre novembro de 2013 e fevereiro de 2014 em lisímetros de drenagem em condições de casa de vegetação pertencente ao Centro de Tecnologia e Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande (CTRN/UFCG), localizada no município de Campina Grande, PB, situado pelas coordenadas geográficas locais 07°15'18" S, 35°52'28" W e altitude média de 550 m.

Os tratamentos se constituíram de seis tipos de salinidade da água (S_1 - Testemunha; S_2 - Na^+ ; S_3 - Ca^{+2} ; S_4 - $\text{Na}^+ + \text{Ca}^{+2}$; S_5 - K^+ e S_6 - $\text{Na}^+ + \text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2}$), distribuídos em delineamento de blocos ao acaso com quatro repetições, sendo a parcela constituída de cinco plantas úteis totalizando 120 parcelas experimentais. Empregou-se, para o preparo das águas, uma proporção equivalente de 1:1 entre Na:Ca e 7:2:1, entre Na:Ca:Mg, respectivamente. Salienta-se que as plantas do tratamento testemunha (S_1) foram irrigadas com água de condutividade elétrica (CEa) de $0,6 \text{ dS m}^{-1}$, conforme características apresentadas na Tabela 1 e os demais tipos de água (S_2 ; S_3 ; S_4 ; S_5 e S_6) foram mantidos com CEa de $4,5 \text{ dS m}^{-1}$.

Tabela 1. Características químicas da água utilizada no tratamento testemunha

Ca^{+2}	Mg^{+2}	Na^+	K^+	HCO_3^-	CO_3^-	Cl^-	CE	pH	RAS
(mmol _c L ⁻¹)							dS m ⁻¹		(mmol _c L ⁻¹) ^{0,5}
1,19	1,58	2,83	0,10	1,45	0,00	4,22	0,60	7,23	2,41

CE - condutividade elétrica. RAS - relação de adsorção de sódio

Utilizou-se a cultivar de mamoneira 'BRS Energia' que, conforme Silva et al. (2009) é um material genético vigoroso, com característica de precocidade (ciclo de 120 a 150 dias), porte baixo, frutos semi-indeiscentes, teor de óleo nas sementes em média de 48% e produtividade média de 1.800 kg ha^{-1} .

Foram utilizados, para o semeio e condução das plantas, lisímetros de drenagem de 100 L de capacidade (altura de 50 cm, diâmetro da base inferior de 30 cm e abertura superior de 33 cm) perfurados na base para permitir a drenagem acoplada a um dreno de 4 mm de diâmetro conectado à sua base. A extremidade do dreno que ficou dentro do lisímetro foi envolvida com uma manta geotêxtil não tecida (Bidim OP 30) para evitar a obstrução do material de solo e abaixo de cada dreno foi

colocada uma garrafa plástica para a coleta de água drenada e estimativa do consumo de água pela planta.

Os lisímetros foram preenchidos com uma camada de 2 kg de brita (nº zero) seguidos de 54 kg de material de solo (devidamente destorroado e homogeneizado) mais 76 kg do mesmo solo, adicionando-se húmus de minhoca para atingir 1% de matéria orgânica no solo. Para facilitar a irrigação os lisímetros ficaram com 10 cm superior livre.

O solo usado na pesquisa foi coletado na profundidade de 0-30 cm (horizonte A) de um Argissolo Acinzentado Eutrófico, procedente do distrito de São José da Mata (Campina Grande-PB). Antes de se iniciar o experimento o solo foi amostrado para determinação das características químicas e físico-hídricas (Tabela 2) no Laboratório de Irrigação e Salinidade (LIS) do CTRN/UFCG, conforme metodologia proposta por Claessen (1997).

Tabela 2. Características químicas e físicas do solo utilizado no experimento, antes da aplicação dos tratamentos

Características químicas								
pH _{ps}	M.O dag kg ⁻¹	P (mg kg ⁻¹)	K ⁺	Na ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Al ⁺³	H ⁺
.....(cmol _c kg ⁻¹).....								
5,10	0,34	20,09	0,07	0,05	0,40	1,30	0,04	1,74
Características físicas								
Fração granulométrica (g kg ⁻¹)			Classe textural	Umidade (kPa)		AD	Porosidade total m ³ m ⁻³	Densidade (kg dm ⁻³)
Areia	Silte	Argila		33,42	1519,5			
..... dag kg ⁻¹								
816,1	90,7	13,2	FA	6,72	1,62	5,10	0,49	1,54

pH_{ps} - pH da pasta de saturação; M.O – Matéria orgânica: Digestão Úmida Walkley-Black; Ca⁺² e Mg⁺² extraídos com KCl 1 mol L⁻¹ pH 7,0; Na⁺ e K⁺ extraídos utilizando-se NH₄OAc 1 mol L⁻¹ pH 7,0; FA – Franco Arenoso; AD – Água disponível

Através dos dados obtidos da análise de solo procedeu-se à correção da acidez, adicionando-se 49,25 g de calcário dolomítico ao material do solo de cada lisímetro (130 kg de solo), quantidade necessária para neutralização do Al⁺³ e elevação dos teores de Ca⁺² e Mg⁺² em 70%, conforme Ribeiro et al. (1999). Após a correção da acidez o solo apresentou as seguintes características químicas: Ca⁺² = 1,14 cmol_c kg⁻¹; Mg⁺² = 1,36 cmol_c kg⁻¹; Na⁺ = 0,30 cmol_c kg⁻¹; K⁺ = 0,14 cmol_c kg⁻¹; H⁺ = 0,11 cmol_c kg⁻¹; Al⁺³ = 0 cmol_c kg⁻¹; CTC = 3,05 cmol_c kg⁻¹; Matéria orgânica = 1,08 dag kg⁻¹; P = 47,80 mg kg⁻¹ e pH em água (1:2,5) = 6,42.

As águas de irrigação foram obtidas a partir da adição do cloreto de sódio (NaCl), cálcio ($\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), magnésio ($\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) e potássio (KCl), conforme os tratamentos pré-estabelecidos tomando-se, como base, a água proveniente do sistema de abastecimento local (Campina Grande-PB), cuja quantidade foi determinada conforme descrito na equação de Richards (1954), levando em consideração a relação entre a CEa e a concentração de sais ($10 \cdot \text{mmol}_e \text{ L}^{-1} = 1 \text{ dS m}^{-1}$). Os sais adicionados à água de irrigação apresentavam pureza de 99%; após a preparação e a calibração da CEa, utilizando-se de um condutivímetro portátil, as águas foram armazenadas em vasos plásticos de 200 L de capacidade, uma para cada nível de CEa, devidamente protegidas, de modo a se evitar a evaporação.

Antes da semeadura foi determinado o volume de água necessária para o solo atingir a capacidade de campo, através do método de saturação por capilaridade seguida de drenagem livre. Após o solo ser previamente elevado a capacidade de campo, realizou-se a semeadura colocando-se dez sementes de mamoneira cv. BRS Energia por lisímetro, a dois centímetros de profundidade e distribuídas de forma equidistante. Dez dias após a semeadura (DAS) foi realizado um desbaste com a finalidade de manter apenas uma planta por vaso.

Após a semeadura o solo foi mantido em capacidade de campo com irrigações diárias aplicando-se, em cada lisímetro, as águas correspondentes aos tratamentos, cujo volume foi aplicado determinado de acordo com a necessidade hídrica das plantas, estimada pelo balanço hídrico: volume de água aplicado menos o volume drenado na irrigação anterior, acrescido de fração de lixiviação de 0,10, conforme pesquisas desenvolvidos anteriormente (NOBRE et al., 2013; LIMA et al., 2014b).

A adubação com nitrogênio, potássio e fósforo, foi realizada com base em indicação contida em Novais et al. (1991) aplicando-se, por lisímetro, 40,62 g de nitrato de potássio e 75 g de fosfato monoamônio, o equivalente a 100, 150 e 300 mg kg^{-1} de solo de N, K e P, respectivamente, aplicando-se em cobertura, em quatro aplicações via fertirrigação, em intervalos de dez dias, com a primeira realizada aos 15 DAS; para suprir possíveis deficiências de micronutriente foram aplicados, mediante pulverizações foliar com solução contendo 2,5 g L^{-1} de Ubyfol [(N (15%); P_2O_5 (15%); K_2O (15%); Ca (1%); Mg (1,4%); S (2,7%); Zn (0,5%); B (0,05%); Fe (0,5%); Mn (0,05%); Cu (0,5%); Mo (0,02%)] aos 30 e 60 DAS.

Os tratos culturais realizados durante o período experimental consistiram de capinas manuais realizadas semanalmente, escarificação superficial do solo antes de cada evento de irrigação e tutoramento das plantas após atingirem o estágio de floração (Apêndice 4A), com o objetivo de evitar o tombamento das plantas. Além disto, foram utilizadas inseticidas do grupo químico neonicotinoide, fungicida do grupo químico triazol e acaricida pertencente ao grupo químico abamectina, na dose de 5,4; 7,0 e 3,5 g L⁻¹ respectivamente.

A colheita dos racemos foi realizada manualmente e teve início aos 70 DAS (Apêndice 4B), prolongando-se até os 100 DAS. Procedeu-se à colheita quando aproximadamente 90% dos frutos de cada racemo atingiram a maturação fisiológica, tendo sido completada a secagem por exposição ao sol. Avaliaram-se a produção da mamoneira, através da determinação do comprimento total (CTRP) e efetivo (CERP), o número de frutos (NFruRP) e de sementes (NSRP); a massa de sementes do racemo primário (MSemRP), a massa de sementes total (MSemT), a massa de cem sementes (MCSR) e a densidade de sementes do racemo primário (DSRP). Para determinação do CTRP mediu-se o ponto de inserção ao ápice dos racemos e o CERP foi mensurado conforme a distância entre a inserção dos frutos na base e o ápice do racemo. Após a secagem determinou-se o NFruRP e, posteriormente, os frutos foram debulhados individualmente e de forma manual mensurando-se o NSRP, MSemRP, MSemT e MCSR e se usando balança analítica. A DSRP foi determinada dividindo-se o NFruRP pelo CERP e se obtendo os valores expressos em g g⁻¹.

Os dados obtidos foram avaliados mediante análise de variância pelo teste 'F'; quando significativo, realizaram-se o teste de comparação de médias e os contrastes entre as médias dos tratamentos (Tukey a 0,05 de probabilidade) utilizando-se do software estatístico SISVAR-ESAL. Para efeito de comparação entre os tratamentos calculou-se, para cada média, seu respectivo erro padrão. Os contrastes foram definidos da seguinte forma: \hat{y}_1 (S₁ vs S₂; S₃; S₄; S₅; S₆); \hat{y}_2 (S₂ vs S₃); \hat{y}_3 (S₂ vs S₆); \hat{y}_4 (S₂ vs S₅); \hat{y}_5 (S₅ vs S₂; S₃; S₄; S₆). Devido da normalidade dos dados observados através dos valores de coeficiente de variação (Tabela 3 e 5), foi necessário realizar análise exploratória dos dados, com transformação de dados em \sqrt{x} .

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Analisando a Tabela 3, na qual estão os resultados da análise de variância para comprimento total (CTRP) e efetivo (CERP), número de frutos (NFruRP) e de sementes (NSRP) do racemo primário da mamoneira, constata-se haver efeito significativo dos diferentes tipos de salinidade da água sobre todas as variáveis estudadas.

Tabela 3. Resumo da análise de variância referente ao comprimento total (CTRP) e efetivo (CERP), número de frutos (NFruRP) e de sementes (NSRP) do racemo primário da mamoneira irrigada com água de diferentes tipos de salinidade

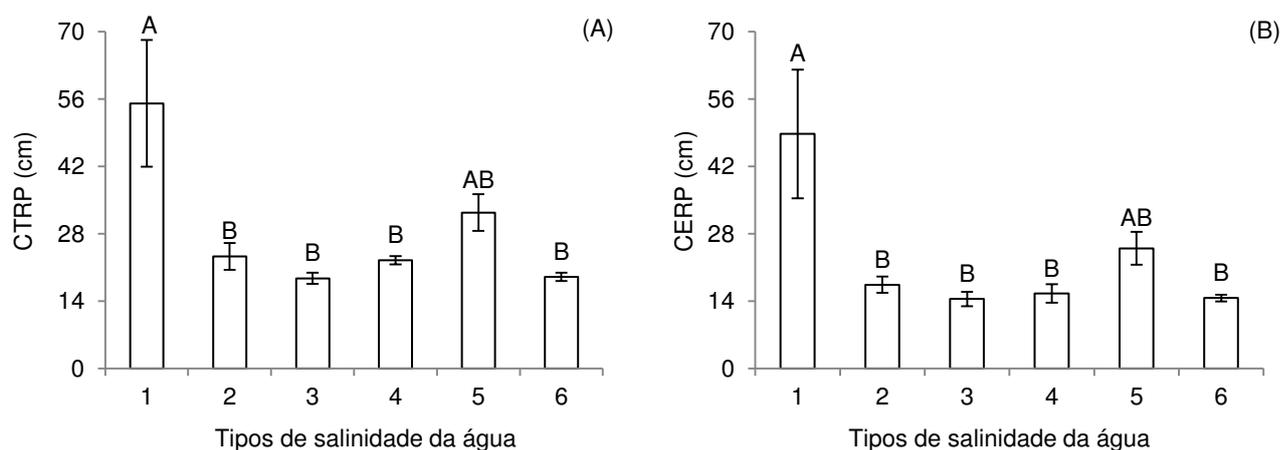
FV	G.L	Quadrados Médios			
		CTRP ¹	CERP ¹	NFruRP ¹	NSRP ¹
Blocos	3	776,29*	716,65*	9340,26**	80897,74**
Tipos de Salinidade	(5)	776,29*	716,65*	9340,26**	80897,74**
\hat{y}_1	1	3390,97**	3276,07**	46413,33**	398707**
\hat{y}_2	1	41,40 ^{ns}	17,70 ^{ns}	200,00 ^{ns}	1953,12 ^{ns}
\hat{y}_3	1	36,12 ^{ns}	15,40 ^{ns}	0,0001 ^{ns}	91,12 ^{ns}
\hat{y}_4	1	166,53 ^{ns}	114,00 ^{ns}	32,00 ^{ns}	968,00 ^{ns}
\hat{y}_5	1	125,04 ^{ns}	285,01 ^{ns}	5,00 ^{ns}	3484,80 ^{ns}
Resíduo	15	117,87	121,36	804,44	4871,16
CV		13,68	16,66	15,81	13,71

\hat{y}_1 (S₁ vs S₂; S₃; S₄; S₅; S₆); \hat{y}_2 (S₂ vs S₃); \hat{y}_3 (S₂ vs S₆); \hat{y}_4 (S₂ vs S₅); \hat{y}_5 (S₅ vs S₂; S₃; S₄; S₆); FV – Fonte de variação; GL - Grau de liberdade; CV - Coeficiente de variação; (*) Significativo a 0,05, (**) Significativo a 0,01 de probabilidade; (ns) Não significativo; ¹ análise estatística realizada após transformação de dados em \sqrt{X}

Verifica-se, através do teste de comparação de médias para o CTRP (Figura 1A) que as plantas de mamoneira, ao receber irrigação com água do tratamento S₁, não diferiram estatisticamente das que estavam sendo irrigadas com água salinizada por potássio (S₅); contudo, ao comparar o CTRP das plantas submetidas ao tratamento S₁ em relação aos tratamentos S₂; S₃; S₄ e S₆, nota-se a ocorrência de efeito significativo. Porém, não houve diferença significativa quando se irrigou com água dos tratamentos S₂; S₃; S₄; S₅ e S₆. Comparando os valores encontrados para CTRP, observa-se que quando foram utilizadas na irrigação águas dos tratamentos S₂; S₃; S₄; S₅ e S₆, houve uma redução no comprimento total do racemo primário de 31,80; 36,35; 32,60; 22,68 e 36,05 cm respectivamente, em relação às plantas que estavam sendo submetidas ao tratamento testemunha (S₁).

Quando se analisam os distintos tipos de salinidade (Apêndice 5), observa-se que a maior redução para CTRP foi observada quando as plantas foram irrigadas com águas com composição química constituída de sódio, cálcio e magnésio. Desta forma é possível sugerir que tal redução no crescimento do racemo primário das plantas cultivadas sob diferentes tipos de salinidade pode ter sido reflexo do desequilíbrio na homeostase do potencial de água e desbalanço iônico na interface solo-planta, provocado pelas altas concentrações de sais encontrados na água de irrigação, especialmente Na^+ , Ca^{+2} e Mg^{+2} .

No que diz respeito à variável comprimento efetivo do racemo primário (Figura 1B), também foi verificada diferença significativa entre os diferentes tipos de salinidade, sendo o maior valor (48,77 cm) observado no tratamento em que houve irrigação com água de baixa salinidade (Testemunha), diferindo estatisticamente dos tratamentos S_2 ; S_3 ; S_4 e S_6 . Por outro lado, os menores CERP (14,45 e 14,65 cm) foram constatados nos tratamentos em que se utilizou água constituída de cálcio (S_3) e sódio+cálcio+magnésio (S_6), respectivamente. Pela superioridade dos dados obtidos para CERP no tratamento S_5 em relação aos demais tipos de sais (S_2 ; S_3 ; S_4 e S_6) percebe-se que, ao irrigar com água de composição potássica, as plantas de mamoneira cv. BRS Energia tiveram menor efeito degenerativo ocasionado pela salinidade da água.



1= Testemunha; 2= Na^+ ; 3= Ca^{+2} ; 4= $\text{Na}^+ : \text{Ca}^{+2}$; 5= K^+ ; 6= $\text{Na}^+ : \text{Ca}^{+2} : \text{Mg}^{+2}$

Figura 1. Comprimento total – CTRP (A) e efetivo- CERP (B) do racemo primário da mamoneira em função dos diferentes tipos de salinidade da água de irrigação

De acordo com o resumo da análise de variância referente aos contrastes de médias (Tabela 3), verifica-se influência significativa dos tratamentos testados para

todas as variáveis avaliadas (CTRP; CERP; NFruRP; NSRP) ao comparar as plantas submetidas ao menor nível de salinidade ($0,6 \text{ dS m}^{-1}$), em relação às que foram submetidas à CEa de $4,5 \text{ dSm}^{-1}$ (S_2 ; S_3 ; S_4 ; S_5 e S_6) e através da estimativa de média (Tabela 4), percebe-se, ao comparar os valores obtidos nas plantas sob CEa de $0,6 \text{ dS m}^{-1}$ em relação às que receberam água de $4,5 \text{ dS m}^{-1}$, incremento no CTRP e no CERP, de 31,89 e 31,35 cm, respectivamente. Já com relação ao NFruRP e NSRP, nota-se aumento na ordem de 118 e 345,85 respectivamente, ao irrigar as plantas com água de CEa de $0,6 \text{ dS m}^{-1}$ em comparação às sob CEa de $4,5 \text{ dS m}^{-1}$. É provável que a redução observada no CTRP; CERP; NFruRP e NSRP das plantas cultivadas sob o maior nível salino da água ($CE=4,5 \text{ dS m}^{-1}$) seja consequência do efeito osmótico dos sais dissolvidos que reduzem o potencial osmótico da solução do solo e inibem a condução da água às células, caracterizando o estresse hídrico nas plantas (FLOWERS, 2004). Nobre et al. (2012) constataram, ao estudar o efeito dos diferentes níveis de CEa ($0,4$ a $4,4 \text{ dS m}^{-1}$) associados a doses de adubação nitrogenada sobre a produção da mamoneira cv. BRS Energia, redução no comprimento do racemo primário, no número de racemos por planta e de frutos totais por planta, tal como na massa de cem sementes do racemo primário.

Tabela 4. Estimativa de média referente ao comprimento total (CTRP) e efetivo (CERP), número de frutos (NFruRP) e de sementes (NSRP) do racemo primário da mamoneira irrigada com água de diferentes tipos de salinidade

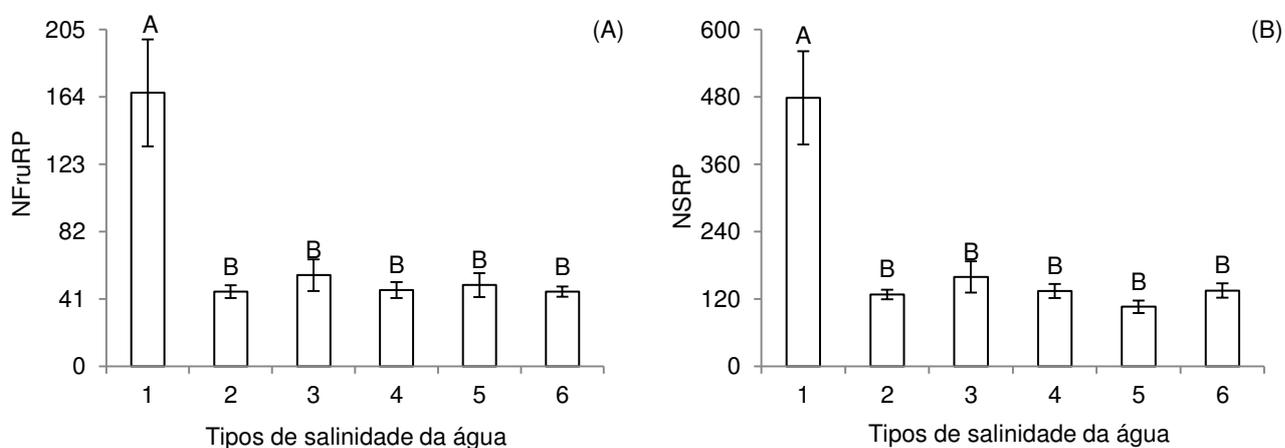
FV	Estimativa de média			
	CTRP (cm)	CERP (cm)	NFruRP	NSRP
\hat{y}_1	31,89	31,35	118	345,85
\hat{y}_2	-	-	-	-
\hat{y}_3	-	-	-	-
\hat{y}_4	-	-	-	-
\hat{y}_5	-	-	-	-

\hat{y}_1 (S_1 vs S_2 ; S_3 ; S_4 ; S_5 ; S_6); \hat{y}_2 (S_2 vs S_3); \hat{y}_3 (S_2 vs S_6); \hat{y}_4 (S_2 vs S_5); \hat{y}_5 (S_5 vs S_2 ; S_3 ; S_4 ; S_6); (-) não significativo

Ao analisar os demais contrastes de médias referentes aos tratamentos S_2 vs S_3 ; S_2 vs S_6 ; S_5 vs S_2 ; S_5 vs S_2 , S_3 , S_4 , S_6 (Tabela 3) nota-se não haver efeito significativo sobre nenhuma variável avaliada. Desta forma se infere, a partir dos resultados obtidos, que o uso de água de natureza catiônica distinta interfere de forma semelhante sobre as variáveis analisadas (CTRP; CERP; NFruRP; NSRP)

sendo, portanto, o efeito de maior magnitude atribuído à variação no potencial osmótico da solução do solo, proporcionado pelos diferentes níveis de condutividade elétrica da água (CEa de 0,6 e 4,5 dS m⁻¹).

Diferente dos resultados apresentados para CTRP e CERP, o NFruRP foi afetado significativamente (Figura 2A) em decorrência da aplicação dos diferentes tipos de sais (S₂; S₃; S₄; S₅ e S₆) em relação à testemunha (S₁). Comparando os distintos tratamentos aplicados evidenciaram-se decréscimos relativos de 72,67; 66,66; 72,07; 70,27 e 72,67%, respectivamente, para o número de frutos do racemo primário, nas plantas submetidas à irrigação com água de mesma condutividade elétrica (4,5 dS m⁻¹), apesar da variação da natureza catiônica da água (S₂; S₃; S₄, S₅ e S₆) em comparação com as plantas irrigadas com água de CEa de 0,6 dS m⁻¹. Fica evidente, com base nos dados obtidos para a variável número de frutos do racemo primário (Figura 2A), que a mamoneira 'BRS Energia' tem a produção mais afetada em condições de salinidade (variando a CEa de 0,6 a 4,5 dS m⁻¹). Por esses resultados percebe-se que, apesar da variação da natureza catiônica da água de irrigação (Na⁺; Ca⁺²; Na⁺+Ca⁺²; K⁺; Na⁺+Ca⁺²+Mg⁺²), o efeito delétero sobre o NFruRP ocorreu de forma semelhante para todos os tratamentos em estudo.



1= Testemunha; 2= Na⁺; 3= Ca⁺²; 4=Na⁺: Ca⁺²; 5=K⁺; 6=Na⁺:Ca⁺²:Mg⁺²

Figura 2. Número de frutos - NFruRP (A) e de sementes – NSRP (B) do racemo primário da mamoneira em função dos tipos de salinidade da água de irrigação

O número de sementes do racemo primário (Figura 2B) se diferenciou estatisticamente e de forma semelhante à observada para NFruRP, constatando-se através do teste de comparação de médias, que ao se irrigar as plantas com água

de $0,6 \text{ dS m}^{-1}$ (Testemunha) o NFruRP foi significativamente superior ao obtido nas plantas irrigadas com água dos tratamentos S₂; S₃; S₄; S₅ e S₆ ($4,5 \text{ dS m}^{-1}$) ocorrendo declínio no número de sementes do racemo primário, de 73,18; 66,66; 71,92; 77,79 e 71,78% nas plantas que foram submetidas aos tratamentos S₂; S₃; S₄; S₅ e S₆, respectivamente.

A diminuição no número de frutos e de sementes do racemo primário observada no presente estudo, reflete o efeito negativo tanto do componente osmótico como iônico, no estresse salino. Outrossim, o aumento da concentração de sais solúveis reduz o potencial hídrico da solução do solo inibindo, desta forma, a absorção de água pelas plantas e a capacidade fotossintética em razão de diversos fatores, tais como: desidratação das membranas celulares, toxicidade por sais, redução do suprimento de CO₂ e, conseqüentemente, contribui para a redução da produção das plantas (WILLADINO & CÂMARA, 2004).

Percebe-se, de modo geral e através dos dados obtidos no presente estudo, que, apesar da irrigação com água de composição iônica potássica ter proporcionado o maior crescimento (Dados apresentados no capítulo II) e também o maior comprimento total (Figura 1A) e efetivo (Figura 1B) do racemo primário das plantas de mamoneira em comparação com as que estavam sob irrigação com água dos demais cátions (S₂; S₃; S₄ e S₆), apresentaram menor NFruRP e NSRP em relação aos tratamentos citados. Tal resposta pode ser atribuída ao fato de o potássio ser frequentemente absorvido por muitas culturas em quantidades superiores às necessárias, no chamado “consumo de luxo”, e nessas condições o excesso de K⁺ pode interferir negativamente na absorção de outros cátions pelas culturas, principalmente quando competem pelos mesmos sítios de absorção nos tecidos radiculares (MEURER, 2006), inibindo a absorção de Ca⁺² e Mg⁺² (MARSCHNER, 1995),

Deste modo, as plantas sob deficiência de Ca⁺², o florescimento e a produção são severamente afetados pois a formação do tubo polínico e a germinação do grão de pólen depende da presença do Ca⁺² no substrato, e a direção do seu crescimento é controlada quimiotropicamente pelo gradiente de cálcio extracelular (BEYOUNG, 1965). Neste sentido, Tisdale et al. (1993) comentam que a concentração ótima de K⁺ na solução do solo é entre 10 e 60 mg L⁻¹, dependendo da cultura, da estrutura e

da fertilidade do solo e suprimento hídrico, ou seja, quantidade esta inferior à aplicada neste trabalho.

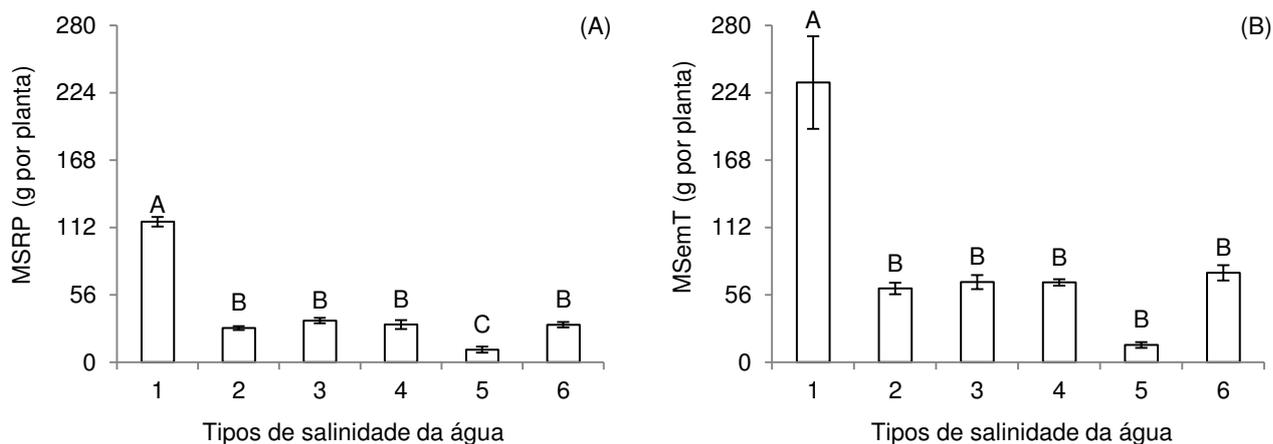
Constata-se, conforme resumo da análise de variância (Tabela 5), que as variáveis M_{SemRP}, M_{SemT}, M_{CSPR} e D_{SRP} foram influenciadas significativamente pelo fator tipos de salinidade da água de irrigação.

Tabela 5. Resumo da análise de variância referente à massa de sementes do racemo primário (M_{SemRP}), massa de sementes total (M_{SemT}), massa de cem sementes (M_{CSPR}) e densidade de sementes (D_{SRP}) do racemo primário da mamoneira irrigada com água de diferentes tipos de salinidade

FV	GL	Quadrados Médios			
		M _{SemRP}	M _{SemT} ¹	M _{CSPR}	D _{SRP} ¹
Blocos	3	43,11 ^{ns}	731,12 ^{ns}	4,48 ^{ns}	3,00 ^{ns}
Tipos de Salinidade	(5)	5649,24 ^{**}	22490,34 ^{**}	182,29 ^{**}	20,78 [*]
\hat{y}_1	1	26761,13 ^{**}	103154,79 ^{**}	490,58 ^{**}	16,17 [*]
\hat{y}_2	1	77,87 ^{ns}	55,44 ^{ns}	4,38 ^{ns}	19,86 [*]
\hat{y}_3	1	15,07 ^{ns}	341,32 ^{ns}	11,35 ^{ns}	5,60 ^{ns}
\hat{y}_4	1	645,84 [*]	4426,69 [*]	299,91 [*]	19,20 [*]
\hat{y}_5	1	1406,83 ^{**}	8947,61 [*]	405,14 ^{**}	67,09 [*]
Resíduo	15	30,18	1126,56	9,68	3,86
CV		13,03	14,03	14,00	12,23

\hat{y}_1 (S₁ vs S₂; S₃; S₄; S₅; S₆); \hat{y}_2 (S₂ vs S₃); \hat{y}_3 (S₂ vs S₆); \hat{y}_4 (S₂ vs S₅); \hat{y}_5 (S₅ vs S₂; S₃; S₄; S₆); FV – Fonte de variação; GL - Grau de liberdade; CV - Coeficiente de variação; (*) Significativo a 0,05, (**) Significativo a 0,01 de probabilidade; (ns) Não significativo; ¹análise estatística realizada após transformação de dados em \sqrt{X}

Verifica-se (Figura 3A) que a massa de sementes do racemo primário das plantas de mamoneira também diferiu significativamente em função do uso de água com distintos tipos de salinidade cujo maior valor foi obtido (116,82 g) quando se utilizou, na irrigação, água de baixa salinidade (0,6 dS m⁻¹). Por outro lado, as plantas irrigadas com água dos tratamentos S₂; S₃; S₄; S₅, e S₆ obtiveram M_{SRP} de 28,41; 34,65; 31,42; 10,44 e 31,16 g, respectivamente, ou seja, redução de 75,68; 70,33; 73,10; 91,06 e 73,32% quando comparadas com a do tratamento testemunha (S₁). Pode-se acrescentar que, em todos os tratamentos avaliados nesta pesquisa, a massa de sementes no racemo primário foi mais afetada pelo estresse salino ocasionado pela irrigação com água de CEa de 4,5 dS m⁻¹ do que com a utilização de água de diferente natureza catiônica.



1= Testemunha; 2= Na⁺; 3= Ca⁺²; 4=Na⁺: Ca⁺²; 5=K⁺; 6=Na⁺:Ca⁺²:Mg⁺²

Figura 3. Massa de sementes do racemo primário –MSemRP (A) e massa de sementes total – MSemT (B) da mamoneira em função dos diferentes tipos de salinidade da água de irrigação

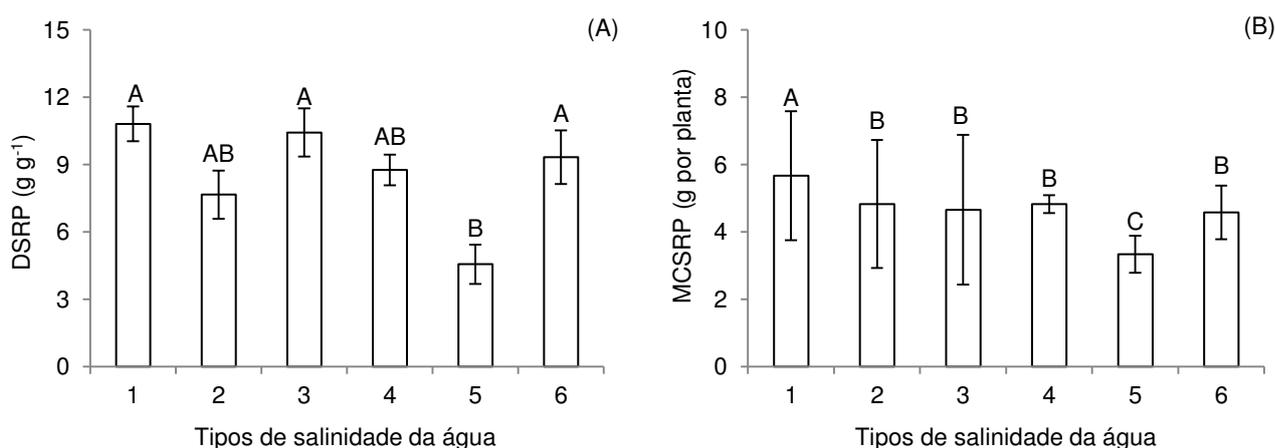
Conforme o teste de comparações de média (Figura 3B), a MSemT das plantas irrigadas com água de baixa salinidade (testemunha) foi estatisticamente superior à das plantas que estavam sob irrigação com água de natureza catiônica distinta (S₂, S₃, S₄, S₅ e S₆) com CEa de 4,5 dS m⁻¹; apesar disto, quando se analisa somente a natureza catiônica da água verifica-se que o efeito ocorreu de forma semelhante porém, é possível observar que, com exceção do tratamento testemunha (0,6 dS m⁻¹) e levando em consideração os valores absolutos da massa de sementes produzidas por planta, a diferença entre o tratamento com maior (S₆) e menor (S₅) massa de sementes total, foi da ordem de 34,01% (39,39 g).

Esta diminuição na massa de sementes do racemo primário (Figura 3A) e na massa de sementes total (Figura 3B) utilizando água de natureza catiônica distinta, foi possível em função do excesso de sais na água de irrigação, provocar alteração no potencial hídrico externo e ao efeito iônico, causado pelo acúmulo de íons nos tecidos vegetais (MUNNS & TESTER, 2008) acarretando, desta forma, alterações a vários processos fisiológicos e bioquímicos como a respiração e fotossíntese (ESTEVES & SUZUK, 2008), fato que resultou em sérios prejuízos ao crescimento e, consequentemente, à produção da mamoneira 'BRS Energia'. Lima et al. (2014) observaram, estudando a influência da irrigação com salina simulada com NaCl (CEa de 0,4 a 4,4 dS m⁻¹), maior massa de sementes total (64,57 g) nas plantas que receberam CEa de 0,4 dS m⁻¹ e menor (13,93 g) nas que estavam submetidas a 4,4

dS m⁻¹, ou seja, resultado inferior ao obtido no presente estudo, tendo em vista que as plantas sob CEa de 0,6 dS m⁻¹ obtiveram uma M_{SemT} de 115,80 g e as irrigadas com 4,5 dS m⁻¹ (S₂) produziram em média 32,94 g por planta.

Verifica-se, pelos valores obtidos para densidade de sementes no racemo primário, diferença significativa entre os tratamentos em estudo (Tabela 5) e através do teste de comparação de médias (Figura 4A), percebe-se que o maior valor para DSRP (10,8 g g⁻¹) foi obtido nas plantas irrigadas com água de baixa condutividade elétrica (testemunha). Ao se analisar a DSRP das plantas submetidas à irrigação com água de composições iônicas distintas (S₂; S₃; S₄; S₅ e S₆), nota-se que houve redução de 29,13; 3,51; 18,96; 57,81 e 13,69% em relação ao tratamento em que a irrigação foi realizada com água de menor nível salino (S₁).

Para a massa de cem sementes do racemo primário constata-se, através do teste de comparação de médias (Figura 4B) que o tratamento em que se utilizou água de baixa salinidade (testemunha), a MCSRP foi superior estatisticamente em relação às plantas que estavam submetidas à irrigação com água dos demais tratamentos (S₂; S₃; S₄; S₅ e S₆); entretanto, as plantas de mamoneira, ao serem irrigadas com água de composição química constituída de sódio, cálcio, sódio+cálcio e sódio+cálcio+magnésio, diferiram estatisticamente das que estavam sob salinidade da água constituída por potássio, sendo observada superioridade na MCSRP entre o S₂; S₃; S₄ e S₆ de 13,95; 12,47; 15,96 e 14,41g, respectivamente, em relação ao tratamento S₅.



1= Testemunha; 2= Na⁺; 3= Ca⁺²; 4=Na⁺: Ca⁺²; 5=K⁺; 6=Na⁺:Ca⁺²:Mg⁺²

Figura 4. Densidade de sementes – DSRP (A) e massa de cem sementes – MCSRP (B) do racemo primário da mamoneira em função dos diferentes tipos de salinidade da água de irrigação

Na Tabela 5 está o resumo da análise de variância para os contrastes de médias referentes às M_{SemRP}, M_{SemT}, M_{C_{SRP}} e a D_{SRP}, observando-se que houve efeito significativo dos diferentes tratamentos sobre todas as variáveis avaliadas. A partir da estimativa de média (Tabela 6), nota-se que as plantas submetidas ao menor nível de salinidade da água (0,6 dS m⁻¹), apresentaram incremento de 89,60; 175,91; 12,13 g, respectivamente, nas M_{SemRP}, M_{SemT}, M_{C_{SRP}} e de 2,20 g g⁻¹ na D_{SRP} em comparação com as plantas cultivadas sob CE_a de 4,5 dS m⁻¹ (S₂; S₃; S₄; S₅; S₆). Silva et al. (2008) também constataram em pesquisa, avaliando o comportamento de cultivares de mamoneira (BRS Paraguaçu e BRS Energia), irrigadas com água de diferentes CE_a (0,7 a 6,7 dS m⁻¹) diminuição na massa de sementes sendo a cv. BRS Energia a mais afetada com o aumento da salinidade da água que a BRS Paraguaçu.

Ao comparar as plantas submetidas à irrigação com água do tratamento S₂ em relação às que estavam sob irrigação com água do S₃, constata-se a ocorrência de efeito significativo apenas para a variável densidade de sementes no racemo primário, sendo a D_{SRP} das plantas irrigada com água de composição constituída de sódio (S₂) reduzida em 3,15 g g⁻¹ em comparação com as que receberam água preparada com cálcio (S₃); contudo, ao analisar os dados obtidos no tratamento S₂ versus S₆, observa-se não haver efeito significativo sobre nenhuma variável estudada. Com relação aos tratamentos S₅ versus S₂ e S₅ versus S₂, S₃, S₄, S₆, verifica-se influência significativa sobre todas as variáveis analisadas. Entretanto se percebe, através da estimativa de média (Tabela 6), que as plantas irrigadas com água constituída de sódio (S₂) apresentaram aumento nas M_{SemRP}, M_{SemT}, M_{C_{SRP}} de 17,97, 175,91, 12,13 g respectivamente, e de 3,09 g g⁻¹ na D_{SRP} em comparação com as plantas que estavam sob o S₅.

Já ao se analisar os dados obtidos para o tratamento S₅ versus S₂, S₃, S₄ e S₆ (Tabela 6), verifica-se declínio de 20,96; 52,87; 11,25 g e de 4,57 g g⁻¹ sobre as M_{SemRP}, M_{SemT}, M_{C_{SRP}} e a D_{SRP} respectivamente. A partir dos dados supracitados (Tabela 5), e tal como ocorreu para as demais variáveis (Tabela 3), percebe-se maior sensibilidade da mamoneira 'BRS Energia' a variação na CE_a (0,6 e 4,5 dS m⁻¹), quando comparado com o uso de água de natureza catiônica distinta na irrigação e dentre os cátions estudados, o excesso de potássio na água de irrigação foi mais prejudicial. Este resultado está de acordo com Rodrigues et al.

(2012) que estudando a influência do manejo da adubação potássica (0; 20; 40; 60; 80 kg ha⁻¹ de K₂O) no feijoeiro, observaram redução na produtividade com doses acima de 60 kg ha⁻¹.

Tabela 6. Estimativa de média referente à massa de sementes do racemo primário (MSemRP), massa de sementes total (MSemT), massa de cem sementes (MCSR) e a densidade de sementes (DSRP) do racemo primário da mamoneira irrigada com água de diferentes tipos de salinidade

FV	Estimativa de média			
	MSemRP (g)	MSemT (g)	MCSR (g)	DSRP (g g ⁻¹)
\hat{y}_1	89,60	175,91	12,13	2,20
\hat{y}_2	-	-	-	-3,15
\hat{y}_3	-	-	-	-
\hat{y}_4	17,97	47,04	12,24	3,09
\hat{y}_5	-20,96	-52,87	-11,25	-4,57

\hat{y}_1 (S₁ vs S₂; S₃; S₄; S₅; S₆); \hat{y}_2 (S₂ vs S₃); \hat{y}_3 (S₂ vs S₆); \hat{y}_4 (S₂ vs S₅); \hat{y}_5 (S₅ vs S₂; S₃; S₄; S₆); (-) não significativo

De forma geral, a maior redução nos NFruRP, NSRP, MSemRP, MSemT, MCSR e na DSRP foi constatada para o tratamento irrigado com água constituída de potássio. Esta diminuição nos componentes de produção da mamoneira pode ser atribuída, possivelmente, ao antagonismo entre os íons de potássio com o cálcio e magnésio, conforme comentado anteriormente por Marschner (1995). Ademais, a deficiência de cálcio pode promover alterações nas membranas em que o cálcio é um íon estabilizante e pode conduzir maior sensibilidade da cultura ao estresse salino haja vista a seletividade das membranas nos processos de absorção e compartimentação iônica (AZEVEDO NETO & TABOSA, 2000), afetando diretamente o crescimento e, em contrapartida, os componentes de produção. Prado et al. (2004) constataram, avaliando os efeitos da aplicação de potássio (0; 75; 150; 225 e 300 mg de K⁺ dm⁻³) sobre a formação de fitomassa seca e a composição nutricional de mudas de maracujazeiro-amarelo (*Passiflora edulis*) na fase de produção de mudas, que doses de K⁺ acima de 225 mg, promoveram redução no acúmulo de fitomassa e inibiram a absorção de N, P, Ca, Mg, Mn, Cu, Zn e S.

Através dos dados apresentados na Tabela 7, que se referem às características para diagnóstico dos problemas de salinidade (CEes, pHps, PST), verifica-se que o uso de água com CEa 4,5 dS m⁻¹ proporcionou um incremento na condutividade elétrica do extrato de saturação em todos os tratamentos estudados

(S₂; S₃; S₄; S₅ e S₆), o que evidencia, conforme Richards (1954), as características de um solo salino (CEes>4,0 dS m⁻¹). O aumento da CEes também foi verificado no tratamento testemunha, em que o valor alcançado foi <1, dS m⁻¹. Percebe-se ainda (Tabela 7) tanto na testemunha como nos demais tratamentos que a CEes foi, em média, 1,5 maior que CEa utilizada na água de irrigação, o que esta de acordo com Ayers & Westcot (1991) considerando uma fração de lixiviação de 0,10. Com relação ao pH_{ps}, nota-se comportamento distinto em referência à CEes, verificando-se menores valores nos tratamentos em que se obtiveram as maiores CEes, ou seja, onde se utilizaram água com maior nível de condutividade elétrica (4,5 dS m⁻¹). Tal comportamento pode estar relacionado à aplicação periódica da fração de lixiviação e com a remoção das bases constituintes do complexo de troca o que, provavelmente, contribuiu para esta redução no pH_{ps}.

A PST indica a saturação do complexo de troca do solo pelo íon sódio, obtida pela relação entre o teor de sódio trocável e a capacidade de troca catiônica efetiva (CTCe) do solo (MEURER, 2010). Assim se constata, entre os tratamentos submetidos à CEa de 4,5 dS m⁻¹, que o maior valor (55,04%) para PST, como era previsto, foi observado com o uso de água salinizada por sódio (100%-S₂), seguida de água com 70 e 50% de sódio na sua composição (Na+Ca+Mg - S₆ e Na+Ca - S₄) respectivamente, com média de 44,97 e 42,23%.

Observa-se, através dos dados da tabela supracitada, que os valores obtidos para os cátions trocáveis e solúveis assumiram a mesma tendência, de acordo com a composição da água; desta forma, águas ricas em potássio e cálcio apresentaram maior proporção do respectivo cátion no complexo sortivo e no extrato de saturação. Através desses dados se comprova o efeito antagônico sugerido anteriormente sobre os componentes de produção, ou seja, na predominância de determinado cátion na solução do solo a disponibilidade de outros cations é diminuída.

Tabela 7. Valores médios dos atributos químicos do solo cultivado com mamona irrigada com água de diferentes tipos de salinidade

Característica	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	S ₅	S ₆
Complexo sortivo (cmol _c kg ⁻¹)						
Cálcio (Ca ²⁺)	0,70	0,68	1,51	1,22	0,63	0,95
Magnésio (Mg ²⁺)	1,14	1,16	0,89	0,79	1,21	1,07
Sódio (Na ⁺)	0,48	2,62	0,46	1,64	0,84	1,86
Potássio (K ⁺)	1,62	0,34	0,35	0,30	3,08	1,20

Alumínio (Al ⁺³)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Hidrogênio (H)	0,35	0,31	0,21	0,24	0,24	0,25
PST	10,39	55,04	13,62	42,23	11,31	44,97
RAS	8,09	27,92	3,84	12,90	8,76	17,41
Extrato de saturação (mmol_c L⁻¹)						
pH _{ps}	5,47	5,13	4,83	4,87	4,97	4,49
CE _{es} – dS m ⁻¹	0,87	7,03	7,47	8,06	8,17	7,35
Cloreto (Cl ⁻)	24,50	70,75	75,94	83,06	73,19	74,81
Carbonato (CO ₃ ²⁻)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Bicarbonato (HCO ₃ ⁻)	0,88	1,15	1,35	0,83	33,55	0,90
Sulfato (SO ₄ ²⁻)	P	P	P	P	P	P
Cálcio (Ca ²⁺)	1,81	1,56	17,37	16,12	2,34	5,28
Magnésio (Mg ²⁺)	5,44	4,48	9,57	9,82	8,25	11,00
Sódio (Na ⁺)	15,18	48,17	15,62	44,37	19,99	49,66
Potássio (K ⁺)	10,53	2,19	2,60	2,91	35,96	3,39

S₁= Testemunha; S₂= Na⁺; S₃= Ca⁺²; S₄=Na⁺+Ca⁺²; S₅=K⁺; S₆=Na⁺+Ca⁺²+Mg⁺²; PST- Percentagem de saturação; pH_{ps} - pH da pasta de saturação; CE_{es}- Condutividade elétrica do extrato de saturação; RAS- Razão de adsorção de Sódio

Ao analisar a composição aniônica da solução do solo, verifica-se predominância de cloreto, fato esperado, uma vez que as águas foram preparadas utilizando-se sais de Na, Ca, Mg e K, em base de cloretos. Quanto à razão de adsorção de sódio (Tabela 7) os maiores valores foram encontrados no tratamento sódio seguido por sódio+cálcio+magnésio e sódio+cálcio. Dikinya et al. (2007) comentam que o aumento na RAS proporciona aumento na PST devido às trocas iônicas que ocorrem no meio; além disto, esta elevação na RAS indica o aumento da proporção de sódio solúvel na solução do solo, com diminuição dos demais cátions, o que pode promover desequilíbrio nutricional, pela dificuldade de absorção de cálcio, magnésio e potássio, elementos essenciais às plantas (PESSOA et al., 2010), esse Na⁺ pode promover dispersão dos colóides presentes nos solos e sua consequente movimentação no perfil, obstruindo poros edificantando a condução de ar e água, além de degradação das propriedades físicas dos solos (FREIRE et al., 2003).

CONCLUSÕES

1. A salinidade afeta, de forma negativa, a produção da mamoneira, independente da natureza catiônica da água;
2. Na fase reprodutiva a mamoneira BRS Energia mostrou-se mais sensível à salinidade provocada pela presença de sais de potássio na água de irrigação;

3. A massa de sementes do racemo primário da mamoneira BRS Energia é a variável mais sensível para se avaliar o efeito da salinidade e a natureza catiônica da água.
4. A aplicação de fração de lixiviação de 0,10 não é suficiente para evitar o acúmulo de sais no solo, sendo obtidos os maiores valores de condutividade elétrica de extrato de saturação (CEes) nos tratamentos em que se utilizou água de condutividade elétrica (CEa) de 4,5 dS m⁻¹;
5. A irrigação com água de baixa condutividade elétrica proporciona o menor valor para a percentagem de sódio trocável.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, M. S.; SOARES, T. M.; SILVA, L. T.; FERNANDES, J. P.; OLIVEIRA, M. L. A.; PAZ, V. P. S. Estratégias de uso de água salobra na produção de alface em hidroponia NFT. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.5, p.491-498, 2011.
- AQUINO, A. J. S. de; LACERDA, C. F. de; BEZERRA, M. A.; GOMES FILHO, E.; COSTA, R. N. T. Crescimento, partição de matéria seca e retenção de Na⁺, K⁺ e Cl⁻ em dois genótipos de sorgo irrigados com águas salinas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, n.5, p.961-971, 2007.
- AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. Campina Grande: UFPB. 1991, 218p. Estudos FAO Irrigação e Drenagem, 29 revisado.
- AZEVEDO NETO, A. D.; TABOSA, J. N. Estresse salino em plântulas de milho: Parte II distribuição dos macronutrientes catiônicos e suas relações com o sódio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.4, n.2, p.165-171, 2000.
- BEYOUNG, H. K. The effects of calcium on pollen germination. **American Society of Horticultural Science**, v.86, p.818-823, 1965.
- BEZERRA, A. K. P.; LACERDA, C. F. de; HERNANDEZ, F. F. F.; SILVA, F. B. da; GHEYI, H. R. Rotação cultural feijão caupi/milho utilizando-se águas de salinidades diferentes. **Revista Ciência Rural**, v.40, n.5, p.1075-1082, 2010.

- CLAESSEN, M. E. C. (org.). **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. rev. atual. Rio de Janeiro: Embrapa-CNPS, 1997. 212p. (Embrapa-CNPS. Documentos, 1).
- DEUNER, C.; MAIA, M. DA S.; DEUNER, S.; ALMEIDA, A. da S.; MENEGHELLO, G. E. Viabilidade e atividade antioxidante de sementes de genótipos de feijão-miúdo submetidos ao estresse salino. **Revista Brasileira de Sementes**, v.33, n.4, p.711 - 720, 2011.
- DIAS, N. S. DA; OLIVEIRA, A. M.; SOUSA NETO, O. N.; BLANCO, F. F.; REBOUÇAS, J. R. L. Concentração salina e fases de exposição à salinidade do meloeiro cultivado em substrato de fibra de coco. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 33, n.3, p.915-921, 2011.
- DIKINYA, O.; HINZ, C.; AYLMOORE, G. Influence of sodium adsorption ratio on sodium and calcium breakthrough curves and hydraulic conductivity in soil columns. **Australian Journal of Soil Research**, v.45, n.8, p.586-597, 2007.
- ESTEVES, B. S., SUZUKI, M. S. Efeito da salinidade sobre as plantas. **Ecologia Brasileira** v.12, n.4, p.662-679, 2008.
- FLOWERS, T. J. Improving crop salt tolerance. **Journal of Experimental Botany**, v.55, n.396, p.307-319, 2004.
- FREIRE, M. B. G. S.; RUIZ, H. A.; RIBEIRO, M. R.; FERREIRA, P. A.; ALVAREZ, V. H.; FREIRE, F. J. Estimativa do risco de sodificação de solos de Pernambuco pelo uso de águas salinas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.7, n.2, p.227-232, 2003.
- GONÇALVES, N. P.; FARIA, M. A. V. R.; SATURNINO, H. M., PACHECO, D.D. Cultura da mamoneira. **Informe Agropecuário**, v.26, p.28-32, 2005.
- LIMA, G. S. de; NOBRE, R. G.; GHEYI, H. R.; SOARES, L. A. dos A.; SILVA, S. S. da. Respostas morfofisiológicas da mamoneira, em função da salinidade da água de irrigação e adubação nitrogenada. **Irriga**, v.19, n.1, p.130-136, 2014a.
- LIMA, G. S. de; NOBRE, R. G.; GHEYI, H. R.; SOARES, L. A. dos A.; SILVA, A. O. da. Crescimento e componentes de produção da mamoneira sob estresse salino e adubação nitrogenada. **Engenharia Agrícola**, v.34, n.5, p. 854-866, 2014b.
- MARINHO, A. B.; MOREIRA, L. G.; VIANA, T. V. de A.; ALBUQUERQUE, A, H, P.; OLIVEIRA, C. W.; AZEVEDO, B. M. de Influência da fertirrigação da nitrogenada

- na produtividade da cultura da mamoneira. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.4, n.1, p.31- 42, 2010.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. London: Academic Press, 1995. 889p.
- MEURER, E. J. **Fundamentos de química do solo**. 4. ed. Porto Alegre: Evangraf, 2010, 266p.
- MEURER, E. J. Potássio. In: FERNANDES, M. S. (ed.) **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p.281-299.
- MUNNS, R.; TESTER, M. Mechanisms of salinity tolerance. **Annual Review of Plant Biology**, v.59, n.1, p.651-681, 2008.
- NEVES, A. L. R.; LACERDA, C. F. de; GUIMARÃES, F. V. A.; HERNANDEZ, F. F. F.; SILVA, F. B.; PRISCO, J. T.; GHEYI, H. R. Acumulação de biomassa e extração de nutrientes por plantas de feijão de corda irrigadas com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento. **Revista Ciência Rural**, v. 39, n.3, p.758-765, 2009.
- NOBRE, R. G.; LIMA, G. S. de; GHEYI, H. R.; LOURENÇO, G. S.; SOARES, L. A. A. Emergência, crescimento e produção da mamoneira sob estresse salino e adubação nitrogenada. **Revista Ciência Agronômica**, v 44, n.1, p. 76-85, 2013.
- NOBRE, R. G.; LIMA, G. S.; GHEYI, H. R.; MEDEIROS, E. P.; SOARES, L. A. A.; ALVES, A. N. 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.
- NOVAIS, R. F.; NEVES, J. C. L.; BARROS, N. F. Ensaio em ambiente controlado. In: OLIVEIRA, A. J.; GARRIDO, W. E.; ARAÚJO, J. D. de; LOURENÇO, S. (coord.). **Métodos de pesquisa em fertilidade do solo**. Brasília: Embrapa SEA, 1991. p.189-253.
- OLIVEIRA, M.; MAIA, C. E. Qualidade físico-química da água para irrigação em diferentes aquíferos na área sedimentar do estado do Rio Grande do Norte. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.2, n.1, p.17-21, 1998.
- PAIXÃO, F. J. R. da; AZEVEDO, C. A. V. de; BELTRÃO, N. E. de M.; SANTOS, D. B. dos; WANDERLEY, J. A. C. Produção de sementes e óleo de mamona com

- déficit de água e doses de nitrogênio. **Revista Educação Agrícola Superior**, v.28, n.1, p.51-55, 2013.
- PESSOA, L. G. M.; OLIVEIRA, E. E. M.; FREIRE, M. B. G. dos S.; FREIRE, F. J.; MIRANDA, M. A.; SANTOS, R. L. dos. Composição química e salinidade do lixiviado em dois solos cultivados com cebola irrigada com água salina. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.5, n.3, p.406-412, 2010.
- PRADO, R. de M.; BRAGHIROLI, L. F.; NATALE, W.; CORRÊA, M. C. de M.; ALMEIDA, E. V. de. Aplicação de potássio no estado nutricional e na produção de matéria seca de mudas de maracujazeiro-amarelo. **Revista Brasileira Fruticultura**, v.26, n.2, p.295-299, 2004.
- RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V. V. H. (ed). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. Viçosa: CFSEMG, 1999. 359p.
- RICHARDS, L. A. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington: U.S, Department of Agriculture, 1954. 160p. Handbook 60.
- RODRIGUES, J. F.; RAGAGNIN, V. A.; SENA JÚNIOR, D. G.; LIMA, R. S.; NOGUEIRA, P. D. M.; TANAKA, M. M. Influência do manejo da adubação potássica no feijoeiro cultivado na safra em condição de sequeiro. **Global Science and Technology**, v.5, n.3, p.117-123, 2012.
- SILVA, S. M. S.; ALVES, A. N.; GHEYI, H. R.; BELTRÃO, N. E. DE M.; SEVERINO, L. S.; SOARES, F. A. L. 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.
- SILVA, S. M. S.; GHEYI, H. R.; BELTRÃO, N. E. DE M.; SANTOS, J.W. DOS; SOARES, F. A. L. Dotações hídricas em densidades de plantas na cultura da mamoneira cv. BRS Energia. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.4, n.3, p.338-348, 2009.
- SILVA, T. G. F.; ZOLNIER, S.; GROSSI, J.A.S.; BARBOSA, J.G.; MOURA, C.R.W.; MUNIZ, M.A. Crescimento do girassol ornamental cultivado em ambiente protegido sob diferentes níveis de condutividade elétrica de fertirrigação. **Revista Ceres**, v.56, n.5, p.602-610, 2009.

SILVA JÚNIOR, L. G. A.; GHEYI, H. R.; MEDEIROS, J. F. Composição química de águas do cristalino do Nordeste Brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.3, n.1, p.11-17, 1999.

WILLADINO, L.; CAMARA, T. R. Origen y naturaleza de los ambientes salinos. In: REIGOSA, M. J.; SÁNCHEZ, P. N. A. **La ecofisiología vegetal - Una ciencia de síntesis**. 1. ed. Madrid: Thompson, 2004. p.303-330.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A diminuição na disponibilidade dos recursos hídricos, quantitativa e qualitativamente, sobretudo nas regiões semiáridas, aumenta a cada dia a necessidade de soluções para suprir esta demanda hídrica deficitária. Ante este quadro de baixa oferta de água de boa qualidade, a geração de tecnologias e pesquisa que permitam o uso de águas salinas, sobretudo de composição distinta no âmbito da produção agrícola constitui, no momento, uma atividade essencial. Com base nesta premissa, o trabalho tratou de avaliar o crescimento, a fisiologia e a produção da mamoneira cv. BRS Energia, em função da irrigação com águas salinas e da natureza catiônica.

Em uma abordagem generalizada dos resultados obtidos no presente estudo pôde-se perceber que a emergência e o crescimento da mamoneira são mais sensíveis a concentração total de sais (CEa) quando comparada com a natureza catiônica de água. Entretanto, a menor redução nas variáveis de emergência e no crescimento ocorre nas plantas irrigadas com água potássica em relação aos demais tipos;

Ficou evidente que as altas concentrações de sódio presente na água de irrigação proporcionam maior redução no status hídrico favorecendo danos severos à integridade da membrana celular. Por outro lado, o íon cálcio é o que mais contribui com o ajustamento osmótico nesta espécie tendo em vista, o menor extravasamento de eletrólitos obtido em ambas as épocas estudadas. Além de que, a natureza catiônica da água de irrigação provoca alterações na atividade fotossintética da mamoneira 'BRS Energia', sendo os seus efeitos intensificados com o tempo de exposição ao estresse; por conseguinte, o aumento da eficiência do uso da água nas plantas sob irrigação com água potássica, representa um dos mecanismos de adaptação às condições de estresse salino.

A redução de forma severa na produção da mamoneira, sobretudo nas plantas sob irrigação com água de composição iônica potássica, pode estar relacionada ao efeito antagônico do K^+ sobre o Ca^{+2} . Verificou-se, também, que a fração de lixiviação de 0,10 não foi suficiente para evitar a salinização do solo, fato que resultou em aumento na condutividade elétrica do extrato de saturação (CEes)

nos tratamentos em que se utilizou CEa de $4,5 \text{ dS m}^{-1}$; o menor valor de PST foi obtido no tratamento em que se irrigou com água de baixa condutividade elétrica.

Por fim, deve-se ressaltar, com base nos resultados alcançados no presente trabalho e devido à incipiência de estudos com o uso de água de natureza catiônica distinta, sobretudo para a cultura da mamoneira cv. BRS Energia, a necessidade de outras pesquisas para elucidar seus efeitos, principalmente com o uso de água de composição iônica potássica na fase de crescimento e cálcio na fase de produção, em prol do avanço do conhecimento nessa temática.

APÊNDICE

Capítulo 2



Apêndice 1. Recipiente coletor de drenagem (A) e vasos utilizados no acondicionamento das águas salinas (B)



Apêndice 2. Detalhes da semeadura (A) e emergência da mamoneira cv. BRS Energia (B)

Capítulo 3



Apêndice 3. Detalhes da determinação do extravasamento de eletrólitos (A) e do conteúdo relativo de água e déficit de saturação hídrica (B) na mamoneira

Capítulo 4



Apêndice 4. Fase de floração (A) e início da colheita dos racemos (B) da mamoneira



1= Testemunha; 2= Na^+ ; 3= Ca^{+2} ; 4= $\text{Na}^+:\text{Ca}^{+2}$; 5= K^+ ; 6= $\text{Na}^+:\text{Ca}^{+2}:\text{Mg}^{+2}$

Apêndice 5. Detalhe do efeito dos tratamentos: S₁ (A); S₂ (B); S₃ (C); S₄ (D); S₅ (E) e S₆ (F) sobre a produção da mamoneira aos 80 dias após a semeadura