

TROCAS GASOSAS, PIGMENTOS CLOROPLASTÍDICOS E DANO CELULAR NA MAMONEIRA SOB DIFERENTES COMPOSIÇÕES CATIÔNICA DA ÁGUA

GEOVANI SOARES DE LIMA¹; HANS RAJ GHEYI²; REGINALDO GOMES NOBRE³; LAURIANE ALMEIDA DOS ANJOS SOARES⁴; PEDRO DANTAS FERNANDES⁵ E GUILHERME DE FREITAS FURTADO⁶

¹Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande, UFCG, Rua Aprígio Veloso, 882 -Universitário, Campina Grande, PB, geovanisoareslima@gmail.com

² Núcleo de Engenharia de Água e Solo, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, UFRB, Rua Rui Barbosa, 710 -Centro, Cruz das Almas, BA. hans@pq.cnpq.br

³Unidade Acadêmica de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Campina Grande, UFCG, Rua Jario Vieira Feitosa, 1770, Bairro dos Pereiros, Pombal, PB, rgomesnobre@yahoo.com.br

⁴Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande, UFCG, Rua Aprígio Veloso, 882 -Universitário, Campina Grande, PB, laurispo.agronomia@gmail.com

⁵Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande, UFCG, Rua Aprígio Veloso, 882 -Universitário, Campina Grande, PB, pedrodantasfernandes@gmail.com

⁶Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande, UFCG, Rua Aprígio Veloso, 882 -Universitário, Campina Grande, PB, gfreitasagro@gmail.com

1 RESUMO

Devido ao aumento na demanda de água tanto pela atividade agrícola quanto pelo abastecimento urbano e industrial e, considerando a escassez hídrica tanto quantitativa como qualitativamente, especialmente no semiárido do Nordeste Brasileiro, o uso de água salina na agricultura surge como alternativa para expansão das áreas irrigadas. Neste contexto, se avaliaram no presente estudo, as trocas gasosas, os pigmentos cloroplastídicos e o dano na membrana celular das plantas de mamoneira cv. BRS Energia, em função da irrigação com águas salinas de diferente natureza catiônica. O experimento foi desenvolvido em lisímetros de drenagem em condições de casa de vegetação, usando Argissolo Acinzentado Eutrófico de textura franco-arenosa, no município de Campina Grande-PB. Foram estudadas seis combinações catiônica da água (Testemunha; Na⁺; Ca²⁺; Na⁺+Ca²⁺; K⁺ e Na⁺+Ca²⁺+Mg²⁺), no delineamento em blocos casualizados com quatro repetições, sendo cada parcela composta por cinco plantas. No tratamento testemunha, as plantas foram irrigadas com água de condutividade elétrica de 0,6 dS m⁻¹ enquanto se utilizou nos demais tratamentos CEa de 4,5 dS m⁻¹, obtida a partir de diferentes cátions, todos em forma de cloreto. A variação na condutividade elétrica da água promove maior efeito deletério sobre as trocas gasosas, os pigmentos cloroplastídicos e o dano na membrana celular das plantas de mamoneira cv. BRS Energia, na fase de florescimento, em comparação com a natureza catiônica da água; o potássio foi o cátion que proporciona os maiores valores para a taxa de assimilação de CO₂ e eficiência instantânea do uso da água; O maior percentual de dano na membrana celular na mamoneira foi obtido nas plantas irrigadas com água potássica.

Palavras-chave: *Ricinnus communis* L., estresse salino, fisiologia.

LIMA, G. S. de.; GHEYI, H. R.; NOBRE, R. G.; SOARES, L. A. dos A.; FERNANDES, P. D.; FURTADO, G. de F.
GAS EXCHANGES, CHLOROPLAST PIGMENTS AND CELL DAMAGE IN THE CASTOR BEAN PLANT UNDER DIFFERENT CATIONIC WATER COMPOSITIONS

2 ABSTRACT

Due to the increase in water demand both for the agricultural activity and for urban as well as industrial supply and considering water scarcity both quantitatively and qualitatively, especially in semi-arid region of the Brazilian Northeast, the use of saline water in agriculture is an alternative for the expansion of irrigated areas. In this context, gaseous exchanges, chloroplast pigments and cell membrane damage in castor bean plants cv. BRS Energia, due to the irrigation with saline waters of a different cationic nature were evaluated. The experiment was carried out in drainage lysimeters under greenhouse conditions, using the Eutrophic Ultisol of sandy loam texture, in the city of Campina Grande, PB. Six cationic water combinations (Control, Na⁺, Ca²⁺, Na⁺+ Ca²⁺, K⁺ and Na⁺+ Ca²⁺+ Mg²⁺) were studied in the randomized block design with four replicates, each plot being composed of five plants. In the control treatment, the plants were irrigated with water of 0.6 dS m⁻¹ electrical conductivity while in other treatments, ECw of 4.5 dS m⁻¹, obtained from different cations, all in the form of chloride, were used. The variation in the electrical conductivity of the water promotes a greater deleterious effect on the gas exchange, chloroplast pigments and damage to the cell membrane of the castor bean plants cv. BRS Energia, in the flowering phase, compared to the cationic nature of water; potassium is the cation that provides the highest values for the CO₂ assimilation rate and instantaneous efficiency of water use; the highest percentage of damage to the cell membrane of the castor bean plant is obtained in plants irrigated with water containing potassium.

Keywords: *Ricinus communis* L., salt stress, physiology.

3 INTRODUÇÃO

A mamoneira (*Ricinus communis* L.) é uma oleaginosa, cujo óleo extraído de suas sementes é um lipídio natural solúvel em álcool e, do ponto de vista industrial, é a única fonte comercial de ácido ricinoleico (mais de 85% de óleo), possuindo grande multiplicidade de uso, com mais de 700 produtos nas indústrias farmacêutica, cosmética e alimentícia (CHAN et al., 2010). Além disto, como subproduto resultante da extração do óleo das sementes tem-se a torta que tem grande aplicabilidade como fertilizante (RODRIGUES et al., 2009).

A ocorrência de escassez hídrica no semiárido do nordeste brasileiro, por razões climáticas (desbalanço entre as precipitações e a evaporação), fazem com que a prática da irrigação seja imprescindível para se obter produção agrícola satisfatória (ROCHA; SOARES, 2015), entretanto, as águas utilizadas na irrigação nestas regiões possuem teores relativamente altos de sais, sendo encontrados condutividade elétrica superior 5,0 dS m⁻¹ e variações 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 (SILVA JÚNIOR; GHEYI; MEDEIROS, 1999).

O excesso de sais presentes na água e/ou no solo podem proporcionar alterações nas funções fisiológicas das plantas, devido ao mecanismo de fechamento dos estômatos, que reduz as perdas de água por transpiração, como também diminuem o suprimento de CO₂ para as folhas, resultando em distúrbios das relações hídricas, alterações na absorção e utilização de nutrientes essenciais, além do acúmulo de íons potencialmente tóxicos, especialmente Na⁺ e Cl⁻ no metabolismo vegetal (AMORIM et al., 2010). Contudo, a intensidade com que o estresse salino afeta as trocas gasosas, os pigmentos cloroplastídicos e provoca dano na membrana celular das plantas dependem de outros fatores como espécie, cultivar, tipos de sais, intensidade e duração do estresse, manejo cultural e da irrigação, condições edafoclimáticas e adubação (MUNNS; TESTER, 2008).

Deste modo, várias pesquisas foram realizadas visando avaliar os efeitos deletérios do estresse salino sobre a cultura da mamoneira (PINHEIRO et al., 2008; SANTOS et al., 2013; LIMA et al., 2014; SEVERINO et al. 2014; LIMA et al., 2015), todavia, estes estudos limitam-se a analisar apenas a irrigação com águas de diferentes níveis salinos.

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 uma atividade essencial. Com base nesta premissa, objetivou-se com este trabalho avaliar as trocas gasosas, os pigmentos cloroplastídicos e o dano na membrana celular das plantas de mamoneira cv. BRS Energia, em função da irrigação com águas salinas de diferentes naturezas catiônicas.

4 MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi conduzida em lisímetros de drenagem, em condições de casa de vegetação localizada no 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 7°15'18'' latitude S, 35°52'28'' de longitude W e altitude média de 550 m.

Os tratamentos foram constituídos de seis combinações catiônicas da água de irrigação (S₁ - Testemunha; S₂ - Na⁺; S₃ - Ca²⁺; S₄ - Na⁺+Ca²⁺; S₅ - K⁺ e S₆ - Na⁺+Ca²⁺+Mg²⁺), de modo a se ter uma proporção equivalente de 1:1 entre Na:Ca e 7:2:1, entre Na⁺+Ca²⁺+Mg²⁺, respectivamente. Ressalta-se que as plantas em testemunha (S₁) foram irrigadas com água de condutividade elétrica (CEa) de 0,6 dS m⁻¹, enquanto que os demais tipos de água (S₂; S₃; S₄; S₅ e S₆) utilizou-se um nível de CEa de 4,5 dS m⁻¹, preparada com diferentes cátions, em forma de cloreto, conforme características apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Características químicas das águas utilizadas no experimento

CCA	CE dS m ⁻¹	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	RAS
			(mmol _c L ⁻¹)					(mmol L ⁻¹) ^{0,5}
S ₁	0,60	7,23	1,19	1,58	2,83	0,10	4,22	2,41
S ₂	4,50	7,40	6,12	3,50	33,10	0,16	38,00	15,11
S ₃	4,50	7,35	31,37	5,25	5,22	0,18	38,75	1,08
S ₄	4,50	7,38	17,75	5,00	20,22	0,16	41,25	6,00
S ₅	4,50	7,75	1,75	6,87	5,59	22,28	38,00	1,29
S ₆	4,50	7,40	11,00	9,00	25,74	0,14	39,75	8,14

CCA= Composição catiônica da água; S₁ = Testemunha; S₂ = Na⁺; S₃ = Ca²⁺; S₄ = Na⁺+Ca²⁺; S₅ = K⁺ e S₆ = Na⁺+Ca²⁺+Mg²⁺; CE - condutividade elétrica. RAS - relação de adsorção de sódio; CO₃²⁻= Ausente.

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. Estudou-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).

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), perfurado e acoplada a um dreno de 4 mm de diâmetro na base. A extremidade do dreno que ficou dentro do lisímetro foi envolvida com uma manta geotêxtil, não tecida (Bidim OP 30) e abaixo de cada dreno foi colocado um recipiente plástico para a coleta de água drenada.

Os lisímetros foram preenchidos com uma camada de 2 kg de brita (nº zero), seguida de 54 kg de um Argissolo Acinzentado Eutrófico de textura franco-arenosa (devidamente destorroado e homogeneizado) mais 76 kg do mesmo solo misturado com 1,70 kg de húmus de minhoca equivalente a 1% de matéria orgânica em base de peso total. 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), procedente do distrito de São José da Mata (Campina Grande-PB). Antes de iniciar o experimento, o solo foi caracterizado quanto as propriedades químicas e físico-hídricas (Tabela 2), conforme metodologia proposta por Donagema et al. (2011).

Tabela 2. Características químicas e físicas do solo utilizado no experimento

Características químicas							
pH(H ₂ O) (1:2,5)	M.O (dag kg ⁻¹)	P (mg kg ⁻¹)	K ⁺(cmol _c kg ⁻¹).....	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	PST (%)
5,13	0,34	20,09	0,07	0,05	0,40	1,30	0,52
Características físicas							
Fração granulométrica (g kg ⁻¹)			CT	Umidade (kPa)		PT (m ³ m ⁻³)	DA (kg dm ⁻³)
Areia	Silte	Argila		33,42	1519,5 (dag kg ⁻¹)		
856,10	110,70	33,20	0,49	6,72	1,62	0,49	1,54

pH_{Ps} - pH da pasta de saturação; M.O - Matéria orgânica: Digestão Úmida Walkley-Black; Ca²⁺ e Mg²⁺ extraídos com KCl 1 mol L⁻¹ pH 7,0; Na⁺ e K⁺ extraídos utilizando-se NH₄OAc 1 mol L⁻¹ pH 7,0; PST- Percentagem de sódio trocável; CT=Classe textural; PT= Porosidade total; FA - Franco Arenoso; DA- Densidade aparente.

Procedeu-se, através dos dados obtidos na análise de solo, a correção da acidez adicionando-se 49,25 g de calcário dolomítico [(CaO (45%), MgO (6%), PRNT (85%)] ao solo de cada lisímetro (130 kg de solo), quantidade necessária para neutralização do Al³⁺ e elevação dos teores de Ca²⁺ e Mg²⁺ em 70% no complexo sortivo. Após a correção da acidez, o solo apresentou as seguintes características químicas: Ca²⁺= 1,14 cmol_c kg⁻¹; Mg²⁺= 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; Al³⁺= 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 preparadas pela diluição de cloreto de sódio (NaCl), cálcio (CaCl₂.2H₂O), magnésio (MgCl₂.6H₂O) e de potássio (KCl), com pureza média superior a 99 %, em água do sistema de abastecimento local (Campina Grande-PB), sendo a quantidade

determinada em base da equação de Richards (1954) levando em consideração a relação entre a CEa e a concentração de sais ($\text{mmol}_c \text{L}^{-1} = 10 * \text{CEa}$).

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, usando as distintas águas conforme tratamentos, 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. Aos 10 dias após a semeadura (DAS) foi realizado um desbaste com a finalidade de se deixar apenas uma planta por vaso.

A umidade no solo foi mantido em capacidade de campo, com irrigações diárias, aplicando-se em cada lisímetro as águas correspondentes aos tratamentos, sendo o volume a ser aplicado determinado de acordo com a necessidade hídrica das plantas, estimada pelo balanço de água: volume de água aplicado menos o volume de água drenado na irrigação anterior, acrescido de fração de lixiviação de 0,10, conforme estudo desenvolvido anteriormente (NOBRE et al., 2013).

A adubação com nitrogênio, potássio e fósforo, foi realizada com base em Novais et al. (1991) aplicando-se, 100, 150 e 300 mg de N, P e K por kg de solo fornecidos em cobertura, em quatro aplicações via fertirrigação, em intervalos de dez dias, com a primeira realizada aos 15 DAS; para suprir prováveis deficiências de micronutriente na mamoneira, foram aplicados 7 L de solução contendo 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 disto, foram aplicados 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 60 DAS, período de pleno florescimento e início da formação de frutos, através da determinação das trocas gasosas: condutância estomática (*gs*), transpiração (*E*), taxa de assimilação de CO₂ (*A*), concentração interna de CO₂ (*CI*), eficiência instantânea de carboxilação (*EICI*) e eficiência instantânea do uso da água (*EiUA*), dos pigmentos fotossintéticos: teores de clorofila *a* (*Cl a*) e *b* (*Cl b*), carotenóides (*Car*) e o percentual de dano na membrana celular (%D).

A condutância estomática ($\text{mol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$), a transpiração ($\text{mmol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$), a taxa de assimilação de CO₂ ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e a concentração interna de CO₂ ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) 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 instantânea no uso da água (*EiUA*) (*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/Ci*) [$(\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}) (\mu\text{mol mol}^{-1})^{-1}$] (KONRAD et al., 2005; JAIMEZ et al., 2005).

Os teores de clorofila *a* e *b* (g m^{-2}) foram determinados, seguindo o método laboratorial desenvolvido por Arnon (1949), por meio de amostras de 5 discos do limbo da terceira folha madura a partir do ápice. A partir dos extratos, foram determinadas as concentrações de clorofila e carotenóides nas soluções por meio do espectrofotômetro no comprimento de onda de absorvância (ABS) (470, 646, e 663 nm), por meio das equações: Clorofila *a* (*Cl a*) = 12,21 ABS₆₆₃ – 2,81 ABS₆₄₆; Clorofila *b* (*Cl b*) = 20,13 A₆₄₆ – 5,03 ABS₆₆₃; Carotenóides totais

(Car) = (1000 ABS470 – 1,82 Ca–85,02 Cb)/198. Os valores obtidos para os teores de clorofila *a*, *b* e carotenóides nas folhas foram expressos em $\mu\text{m g}^{-1}$ de matéria fresca ($\mu\text{m g}^{-1}$ MF).

O percentual de dano na membrana celular foi avaliado no sentido de determinar a capacidade de disruptura da membrana celular, sob condições de estresse salino. Para tanto, foram coletados 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 aos folíolos, os quais foram acondicionados em beckers, com 50 mL de água bidestilada e fechado hermeticamente com papel alumínio.

Os beckers ficaram mantidos à temperatura de 25° C, por 90 minutos, onde foi procedida a condutividade elétrica inicial (Ci). Posteriormente, os beckers foram conduzidos à estufa, com ventilação forçada de ar e submetidos à temperatura de 80° C por 90 minutos, onde novamente realizaram-se a medição da condutividade elétrica final (Cf). Desta forma, o percentual de dano na membrana celular, foi obtido de acordo com Scotti-Campos et al. (2013), conforme Eq.1.

$$\%D = \frac{C_i}{C_f} \times 100 \quad (1)$$

Em que:

%D = percentual de danos na membrana celular;

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

Cf= condutividade elétrica final (dS m⁻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. 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). Para efeito de comparação entre os tratamentos calculou-se, para cada média, seu respectivo erro padrão. Diante da normalidade dos resíduos obtidos no presente estudo, observados através dos altos valores de coeficiente de variação (CV>20%), foi necessário realizar análise exploratória dos dados, com transformação de dados em \sqrt{X} .

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Analisando os resultados da análise de variância (Tabela 3), verifica-se efeito significativo dos diferentes tipos de salinidade da água sobre todas as variáveis estudadas.

Tabela 3. Resumo da análise de variância referente à condutância estomática (g_s), transpiração (E), taxa de assimilação de CO_2 (A), concentração interna de CO_2 (CI), eficiência instantânea de carboxilação ($EICI$) e eficiência instantânea do uso da água ($EiUA$) das plantas de mamoneira ‘BRS Energia’ irrigada com águas de diferentes composições catiônica, aos 60 dias após a semeadura.

FV/Contrastes	G.L	Quadrados Médios					
		g_s^1	E	A^1	CI	$EICI^1$	$EiUA^1$
Blocos	3	0,003 ^{ns}	0,66 ^{ns}	4,55 ^{ns}	2742,14 ^{ns}	0,001 ^{ns}	2,04 ^{ns}
CCA	(5)	0,02 [*]	1,22 ^{**}	455,01 ^{**}	21752,52 ^{**}	0,05 ^{**}	37,14 ^{**}
\hat{y}_1	1	0,09 ^{**}	3,91 [*]	1366,66 ^{**}	47375,32 [*]	85,00 ^{**}	0,19 ^{**}
\hat{y}_2	1	0,0003 ^{ns}	0,04 ^{ns}	32,75 ^{ns}	9660,56 [*]	12,50 [*]	0,0009 ^{ns}
\hat{y}_3	1	0,009 ^{ns}	0,09 ^{ns}	103,70 [*]	17578,12 [*]	15,12 [*]	0,007 ^{ns}
\hat{y}_4	1	0,003 ^{ns}	1,34 [*]	760,44 ^{**}	57404,07 ^{**}	91,12 ^{**}	0,05 [*]
\hat{y}_5	1	0,004 ^{ns}	1,83 [*]	803,71 ^{**}	42442,77 [*]	82,01 ^{**}	0,06 [*]
Resíduo	15	0,002	0,07	14,11	1624,34	0,002	2,74
CV (%)		30,27	11,83	25,52	19,68	48,98	27,41

\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); S_1 = Testemunha; S_2 = Na^+ ; S_3 = Ca^{2+} ; S_4 = Na^+ ; Ca^{2+} ; S_5 = K^+ ; S_6 = Na^+ ; Ca^{2+} ; Mg^{2+} ; FV – Fonte de variação; GL - Grau de liberdade; CCA= Composição catiônica da água; CV - Coeficiente de variação; (*) e (**) Significativo a 0,05, e 0,01 de probabilidade, respectivamente; (ns) Não significativo, (1) análise estatística realizada após transformação de dados em \sqrt{X}

Verifica-se, através do teste de comparação de médias para a condutância estomática (Figura 1A) que as plantas de mamoneira, ao receber irrigação com água do tratamento S_1 , diferiram estatisticamente das que estavam sendo irrigadas com água salinizada por Na^+ ; Ca^{2+} ; Na^+ + Ca^{2+} ; K^+ ; Na^+ + Ca^{2+} + Mg^{2+} ; contudo, ao comparar à g_s das plantas submetidas aos tratamentos S_2 ; S_3 ; S_4 ; S_5 e S_6 , nota-se que não houve diferença significativa entre as distintas fontes de sais.

Através da análise dos contrastes para g_s (Tabela 3), verifica-se que as plantas sob irrigação com CEa de 0,6 dS m^{-1} (S_1) variaram de forma significativa ($p < 0,05$) quando comparada com as que estavam sob CEa de 4,5 dS m^{-1} (S_2 ; S_3 ; S_4 ; S_5 e S_6); enquanto que os efeitos dos demais contrastes (S_2 vs S_3 ; S_2 vs S_6 ; S_2 vs S_5 ; S_5 vs S_2 ; S_3 ; S_4 ; S_6) não influenciaram de forma significativa ($p > 0,05$) a g_s e através da estimativa de média (Tabela 3), percebe-se, incremento na g_s de 0,16 mmol de H_2O m^{-2} s^{-1} nas plantas do tratamento em que se aplicou água de baixa salinidade (0,6 dS m^{-1}), em relação à média obtida nas que se encontravam sob CEa de 4,5 dS m^{-1} (S_2 ; S_3 ; S_4 ; S_5 ; S_6).

A diminuição na condutância estomática (Tabela 4), nos tratamentos utilizando-se água de composição catiônica distinta, foi 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). Quando tal fato ocorre, a g_s limita o influxo de CO_2 às folhas (DALLAGNOL et al., 2011) e, como resultado, tem-se o declínio na taxa de assimilação de CO_2 . Os resultados obtidos no presente estudo estão em concordância com Lima et al. (2014) ao observarem, estudando a influência da irrigação com água salina preparada com NaCl (CEa de 0,3 a 3,9 dS m^{-1}), que a g_s da mamoneira BRS Energia, reduziu significativamente.

Tabela 4. Estimativa de média referente à condutância estomática (g_s), transpiração (E), taxa de assimilação de CO_2 (A), concentração interna de CO_2 (CI), eficiência instantânea de carboxilação ($EICI$) e eficiência instantânea do uso da água ($EiUA$) das plantas de mamoneira 'BRS Energia' irrigada com águas de diferentes composições catiônica, aos 60 dias após a semeadura.

Contraste	Estimativa de média						
	s	g_s	E	A	CI	$EICI$	$EiUA$
\hat{y}_1		0,16	1,08	20,24	-119,21	0,24	5,05
\hat{y}_2		ns	ns	ns	69,50	-0,02	ns
\hat{y}_3		ns	ns	-7,20	93,75	-0,06	ns
\hat{y}_4		ns	-0,82	-19,49	169,41	-0,16	-6,75
\hat{y}_5		ns	0,75	15,84	-115,16	0,14	5,06

\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); S_1 = Testemunha; S_2 = Na^+ ; S_3 = Ca^{2+} ; S_4 = Na^+ : Ca^{2+} ; S_5 = K^+ ; S_6 = Na^+ : Ca^{2+} : Mg^{2+} ; (ns) não significativo.

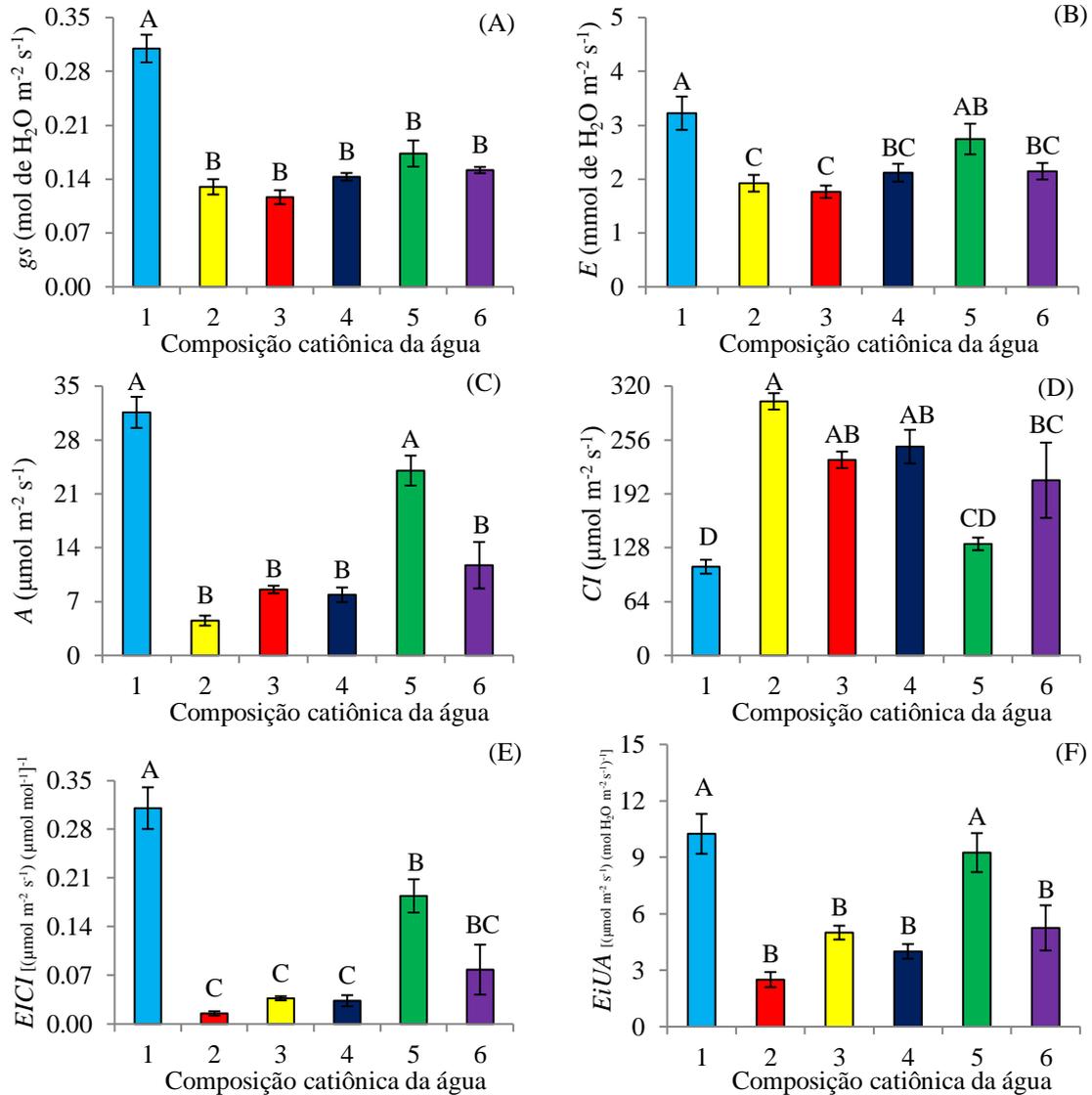
O fechamento parcial dos estômatos afetou as taxas de transpiração foliar da mamoneira e pelos os resultados do teste de médias (Figura 1B) percebe-se que a E das plantas que receberam água do tratamento testemunha (S_1) foi significativamente maior em comparação aos valores encontrados para os demais tratamentos (S_2 ; S_3 ; S_4 e S_6). Todavia, as plantas submetidas à irrigação com águas constituídas de Na^+ e Ca^{2+} diferiram estatisticamente das que receberam o S_5 (K^+), sendo o menor valor para E (1,76 mmol de $\text{H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) encontrado ao se ao utilizar água de composição cálcica (S_3).

Constata-se, através da análise dos contrastes (Tabela 3) para a variável transpiração, a ocorrência de efeitos significativos quando se comparam as plantas submetidas à irrigação com água de CEa de 0,6 dS m^{-1} (S_1) em relação às que receberam 4,5 dS m^{-1} (S_2 ; S_3 ; S_4 ; S_5 e S_6). A partir da análise da Tabela 4, novamente se evidencia superioridade na E das plantas irrigadas com água de CEa 0,6 dS m^{-1} , com média de 1,08 mmol de $\text{H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, em relação às plantas que estavam sob CEa de 4,5 dS m^{-1} .

Redução na transpiração foliar sob condições de estresse salino, geralmente é atribuída ao fechamento parcial dos estômatos associado ao efeito osmótico e à toxidez iônica sobre o metabolismo da planta (NEVES et al., 2009), nessas condições, ocorre defasagem entre a absorção de água pelas raízes e a transpiração, por isso considera-se o fechamento parcial dos estômatos uma estratégia para evitar desidratação excessiva ou uma consequência do desbalanço hídrico na epiderme das folhas (RIBEIRO et al., 2009).

Observa-se (Tabela 4) que as plantas de mamoneira irrigadas com água do tratamento S_2 não apresentaram diferenças significativas quando comparadas com as dos tratamentos S_3 e S_6 . Desta forma é possível inferir que a irrigação com os diferentes tipos de sais (Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) provocou efeitos similares sobre a E . Nas plantas irrigadas com água preparada com sódio (S_2), a transpiração foi inferior à do S_5 em 0,82 mmol de $\text{H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Já ao confrontar os dados obtidos (Tabela 4) nas plantas irrigadas com água de composição potássica (S_5), vê-se incremento da E de 0,75 mmol de $\text{H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ em relação às que estavam sendo irrigadas com água constituída de Na^+ ; Ca^{2+} ; Na^+ : Ca^{2+} ; Na^+ + Ca^{2+} + Mg^{2+} .

Figura 1. Condutância estomática –*gs* (A), transpiração–*E* (B), taxa de assimilação de CO₂-*A* (C), concentração interna de CO₂ - *CI* (D), eficiência instantânea de carboxilação – *EICI* (E) e eficiência instantânea do uso da água- *EiUA* (F) da mamoneira BRS Energia em função da composição catiônica da água de irrigação



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

Barras representam o erro padrão da média (n=4). Médias com letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05)

Para a variável taxa de assimilação de CO₂, observa-se através do teste de comparação de médias (Figura 1C) que no tratamento em que se utilizou água de baixa salinidade (S₁) e de composição iônica potássica (S₅), a *A* se diferenciou estatisticamente em relação às plantas submetidas à irrigação com água dos demais tratamentos (S₂; S₃; S₄ e S₆); entretanto, as plantas de mamoneira, ao serem irrigadas com água de composição química constituída de sódio (S₂), cálcio (S₃), sódio+cálcio (S₄) e sódio+cálcio+magnésio (S₆), não diferiram estatisticamente entre si.

Pela estimativa de média obtida para taxa de assimilação de CO₂ (Tabela 4) identifica-se aumento expressivo na *A* das plantas cultivadas no nível de salinidade (0,6 dS m⁻¹), superando a média em 20,24 μmol m⁻² s⁻¹, em relação àquelas que foram irrigadas com CEa de

4,5 dS m⁻¹. A diminuição observada na taxa de assimilação de CO₂ nas plantas irrigadas com águas de elevada salinidade (4,5 dS m⁻¹), pode ter sido decorrente do fechamento parcial dos estômatos, evidenciado, neste trabalho, pela condutância estomática (Figura 1A), transpiração (Figura 1B) e do aumento da concentração interna de CO₂ (Figura 1D), demonstrando baixa eficiência de uso do CO₂ que adentra a célula, fato que pode estar relacionado ao menor influxo de CO₂ na cavidade subestomática para realização do fenômeno da fotossíntese (TAIZ; ZEIGER, 2013).

Com relação aos tratamentos S₂ versus S₃, verifica-se não haver influência significativa sobre a taxa de assimilação de CO₂. Entretanto, as plantas irrigadas com água constituída de sódio (S₂) apresentaram uma diminuição de 7,20 e 19,49 μmol m⁻² s⁻¹ na A em comparação com as plantas que estavam sob o S₆ e S₅, respectivamente. Verifica-se ainda, mediante a estimativa de média apresentada na Tabela 4, superioridade na A das plantas irrigadas com o S₅ de 15,84 mmol de H₂O m⁻² s⁻¹ em relação aos tratamentos S₂; S₃; S₄ e S₆.

O fato de ter sido observado o maior valor na taxa de assimilação de CO₂ (Figura 1C) quando as plantas foram irrigadas com água salinizadas, por potássio, em relação aos demais tipos de águas salinas, 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).

No estudo da concentração interna de CO₂ (Figura 1D), observa-se nas plantas que receberam água preparada com sódio (S₂) diferenças significativas em relação aos tratamentos S₁, S₅ e S₆. Constata-se ainda (Figura 1D) que as médias de CI das plantas irrigadas com águas de composição iônica cálcio, sódio+cálcio e sódio+cálcio+magnésio variaram significativas em relação as que estavam sob irrigação com água de baixa salinidade (S₁).

Os contrastes de médias para a concentração interna de CO₂ estão apresentados na Tabela 3, onde constata-se entre os tratamentos em estudo ter ocorrido diferença significativa para a CI, em todos os contraste avaliados; com base na estimativa de média (Tabela 4), nota-se que as plantas irrigadas com água de baixa condutividade elétrica (0,6 dS m⁻¹) apresentaram uma diminuição na CI de 119,21 μmol m⁻² s⁻¹, ao compará-las com as que foram irrigadas com CEa de 4,5 dS m⁻¹ (S₂; S₃; S₄; S₅ e S₆).

Em contrapartida, quando as plantas irrigadas com água sódica (S₂) em relação às que estavam sob salinidade da água preparada com cálcio (S₃) ocorreu um aumento na CI de CO₂ de 69,50 μmol m⁻² s⁻¹. Comparando as médias dos tratamentos S₂ versus S₆ e S₅, observa-se (Tabela 3) que as plantas irrigadas com água do tratamento constituído por sódio (S₂) obtiveram CI superior em 93,75 e 169,41 μmol m⁻² s⁻¹ quando comparadas com as que receberam água potássica e sódio+cálcio+magnésio, respectivamente. Verificou-se também que a irrigação com água de composição iônica potássica, proporcionou redução na CI de 115,16 μmol m⁻² s⁻¹ em relação às plantas dos demais tratamentos (S₂; S₃; S₄ e S₆).

A redução na concentração interna de CO₂ no mesófilo foliar (Figura 1D) ocorre devido ao fechamento estomático (Figura 1A) e conseqüentemente proporcionam diminuição na taxa de assimilação de dióxido de carbono (Figura 1C) (JADOSKI et al., 2005). Machado et al. (2009) citam que, a redução na CI pode proporcionar declínio na A devido à diminuição na concentração de CO₂ para enzima rubisco (ribulose-1,5-bisfosfato carboxilase-oxigenase). Todavia, quando a concentração interna de CO₂ na cavidade subestomática é baixa, pode favorecer a abertura dos estômatos permitindo maior influxo de CO₂, fato que pode estabelecer um equilíbrio entre consumo e entrada de CO₂.

A eficiência instantânea de carboxilação (EICI) é uma variável que possui estreita relação com a taxa de assimilação de dióxido de carbono e com a concentração intracelular de CO₂ (MACHADO et al., 2009). Desse modo, constata-se através do teste de comparação de

média (Figura 1E) que a *EICI* foi maior nas plantas irrigadas com água de menor nível salino (S_1), diferindo-se estatisticamente dos demais tratamentos que não se diferiram entre si.

Através dos resultados da análise de variância dos contrastes de média obtido para eficiência instantânea de carboxilação (Tabela 3), observa-se a ocorrência de efeito significativo entre todos os tratamentos avaliados e mediante a estimativa de média (Tabela 3), nota-se que, quando as plantas de mamoneira foram irrigadas com água de menor nível salino ($0,6 \text{ dS m}^{-1}$) tiveram *EICI* superior em $0,24 ((\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}) (\mu\text{mol mol}^{-1})^{-1})$, em relação às que foram irrigadas com CEa de $4,5 \text{ dS m}^{-1}$ (S_2 ; S_3 ; S_4 ; S_5 e S_6). É provável que tal resultado seja reflexo da maior assimilação de CO_2 em relação ao CO_2 encontrado na câmara subestomática, pois se *CI* aumenta em consequência da taxa de abertura dos estômatos, a relação *A/Ci* também aumenta. Entretanto, a entrada de CO_2 no mesófilo foliar pode ter diminuído em função do decréscimo de *gs*, mas o consumo de CO_2 no cloroplasto pode, também, ter sido reduzido (SUASSUNA et al., 2014).

Já as plantas irrigadas com água sódica (S_2), diminuíram a *EICI* em $0,02 ((\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}) (\mu\text{mol mol}^{-1})^{-1})$ quando comparadas com as que estavam sob irrigação com o tratamento S_3 . Mantendo a mesma tendência (Tabela 4) observa-se, que o uso de água com excesso de sódio acarretou em uma redução na *EICI* de $0,06 ((\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}) (\mu\text{mol mol}^{-1})^{-1})$ em relação às plantas irrigadas com o tratamento S_6 . Ao comparar o S_2 com o tratamento S_5 , percebe-se um declínio na *EICI* de $0,16 ((\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}) (\mu\text{mol mol}^{-1})^{-1})$. Por outro lado, ocorreu aumento na *EICI* de $0,14 ((\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}) (\mu\text{mol mol}^{-1})^{-1})$ ao confrontar o tratamento S_5 em relação aos demais tipos de sais (S_2 ; S_3 ; S_4 e S_6).

Quanto à eficiência instantânea do uso da água (Figura 1F), nota-se através do teste de comparação de médias que os tratamentos S_1 e S_5 não diferindo entre si foram estatisticamente superiores aos tratamentos S_2 , S_3 , S_4 e S_6 , que também não se diferenciaram entre si. Percebe-se ainda (Figura 1F) que os maiores valores para *EiUA* foram obtidos nas plantas sob irrigação com água de menor salinidade (S_1) e possuindo potássio em sua composição, respectivamente. Por outro lado, a irrigação com água concentrada em sódio, resultou em menor valor de *EiUA*.

Conforme resumo da análise de variância (Tabela 3), houve efeito significativo entre os tratamentos em estudo sobre eficiência instantânea do uso da água, exceto para o S_2 versus S_3 e S_6 . Por meio da estimativa de média (Tabela 4) nota-se incremento na *EiUA* de $5,05 ((\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}) (\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}))$ nas plantas de mamoneira sob irrigação com CEa de $0,6 \text{ dS m}^{-1}$ comparadas às cultivadas sob salinidade da água $4,5 \text{ dS m}^{-1}$. Ao utilizar o sódio na água de irrigação, ocorreu uma redução na *EiUA* de $6,75 ((\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}) (\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1})^{-1})$ em comparação com as plantas que receberam água potássica (S_5).

A partir desses resultados, pode-se inferir que predominantemente o uso de água sódica ocasiona maior efeito deletério sobre a *EiUA*. Já as plantas irrigadas com o S_5 apresentaram um aumento na *EiUA* de $5,06 ((\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}) (\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1})^{-1})$ em relação aos demais tipos de sais (S_2 ; S_3 ; S_4 e S_6). De modo geral percebe-se, dentre as composições de água estudadas, maior eficiência instantânea do uso da água nas plantas irrigadas com água de composição iônica potássica. Tal resultado corrobora com os dados obtidos para a taxa de assimilação de CO_2 (Figura 1C) e transpiração foliar (Figura 1B).

De acordo com o resumo da análise de variância (Tabela 5), verifica-se efeito significativo dos distintos tipos de salinidade da água de irrigação sobre a clorofila *a* (*Cl a*) e *b* (*Cl b*), carotenóides (*Car*) e percentual de dano na membrana celular (%D), da mamoneira BRS Energia.

Tabela 5. Resumo da análise de variância referente à clorofila *a* (Cl *a*) e *b* (Cl *b*), carotenóides (Car) e percentual de dano na membrana celular (%D) da mamoneira BRS Energia irrigada com águas de diferentes composições catiônica, aos 60 dias após a semeadura.

FV/Contrastes	G.L	Quadrados Médios			
		Cl <i>a</i> ¹	Cl <i>b</i> ¹	Car ¹	%D
Blocos	3	6,26 ^{ns}	1,05 ^{ns}	0,50 ^{ns}	0,95 ^{ns}
CCA	(5)	37,94*	3,64*	1,72*	14,61*
ŷ ₁	1	40,68*	0,001 ^{ns}	2,82*	28,51*
ŷ ₂	1	66,95*	2,01 ^{ns}	0,14 ^{ns}	1,42 ^{ns}
ŷ ₃	1	45,91*	7,44*	1,89*	0,44 ^{ns}
ŷ ₄	1	1,84 ^{ns}	1,67 ^{ns}	0,01 ^{ns}	19,84*
ŷ ₅	1	44,33*	9,97 ^{ns}	0,007 ^{ns}	30,11*
Resíduo	15	5,67	1,14	0,47	3,36
CV (%)		11,51	15,08	15,54	18,15

ŷ₁ (S₁ vs S₂; S₃; S₄; S₅; S₆); ŷ₂ (S₂ vs S₃); ŷ₃ (S₂ vs S₆); ŷ₄ (S₂ vs S₅); ŷ₅ (S₅ vs S₂; S₃; S₄; S₆); S₁= Testemunha; S₂= Na⁺; S₃= Ca²⁺; S₄=Na⁺; Ca²⁺; S₅=K⁺; S₆=Na⁺;Ca²⁺;Mg²⁺; FV – Fonte de variação; GL - Grau de liberdade; CCA= Composição catiônica da água; CV - Coeficiente de variação; (*) e (***) Significativo a 0,05, e 0,01 de probabilidade, respectivamente; (ns) Não significativo,⁽¹⁾ análise estatística realizada após transformação de dados em \sqrt{X}

Para o teor de clorofila *a* (Figura 2A), constata-se através do teste de comparação de médias que, quando se utilizou água de baixa salinidade (testemunha), a Cl *a* foi superior em relação às plantas que estavam submetidas à irrigação com água dos tratamentos S₃ e S₆; entretanto, as plantas de mamoneira, ao serem irrigadas com água de composição química sódica e potássica, diferiram estatisticamente das que estavam sob salinidade da água preparada com cálcio e sódio+cálcio+magnésio, sendo observado o menor teor de clorofila *a* nas plantas submetidas ao tratamento S₃, porém não diferiram de forma significativa das que receberam sódio+cálcio+magnésio na água de irrigação.

Observa-se, com base na análise dos contrastes (Tabela 5), para o teor de clorofila *a*, que as plantas quando irrigadas com água de CEa de 0,6 dS m⁻¹ (S₁) foram influenciadas significativamente se comparadas com as que receberam água de 4,5 dS m⁻¹ (S₂; S₃; S₄; S₅ e S₆) e através da estimativa de média (Tabela 6) pode-se verificar que as plantas irrigadas com água de baixo nível salino (0,6 dS m⁻¹) apresentaram aumento de 3,49 µm g⁻¹ MF no teor de clorofila *a* em relação à média observada nas plantas irrigadas com águas de alta salinidade e distintas composições iônicas (S₂; S₃; S₄; S₅ e S₆). A redução do teor de clorofila *a*, nas plantas submetidas à salinidade da água, ocorre devido ao aumento da síntese da enzima clorofilase, que atua na degradação das moléculas deste pigmento fotossintetizante (FREIRE et al., 2013).

Nota-se na Tabela 6, que ao se utilizar água salinizada por sódio (S₂) na irrigação, a Cl *a* foi estatisticamente menor, com diminuição de 5,78 µm g⁻¹ MF em relação às plantas que estavam sob irrigação com água preparada com cálcio. Analisando os efeitos dos tratamentos S₂ versus S₅ (Tabela 5), constata-se não haver influência significativa (p>0,05) sobre a Cl *a*. Com referência aos tratamentos S₂ versus S₆ e S₅ versus os demais tipos de sais (S₂, S₃, S₄ e S₆), identifica-se incremento no teor de clorofila *a* de 4,79 e 3,72 µm g⁻¹ MF, respectivamente.

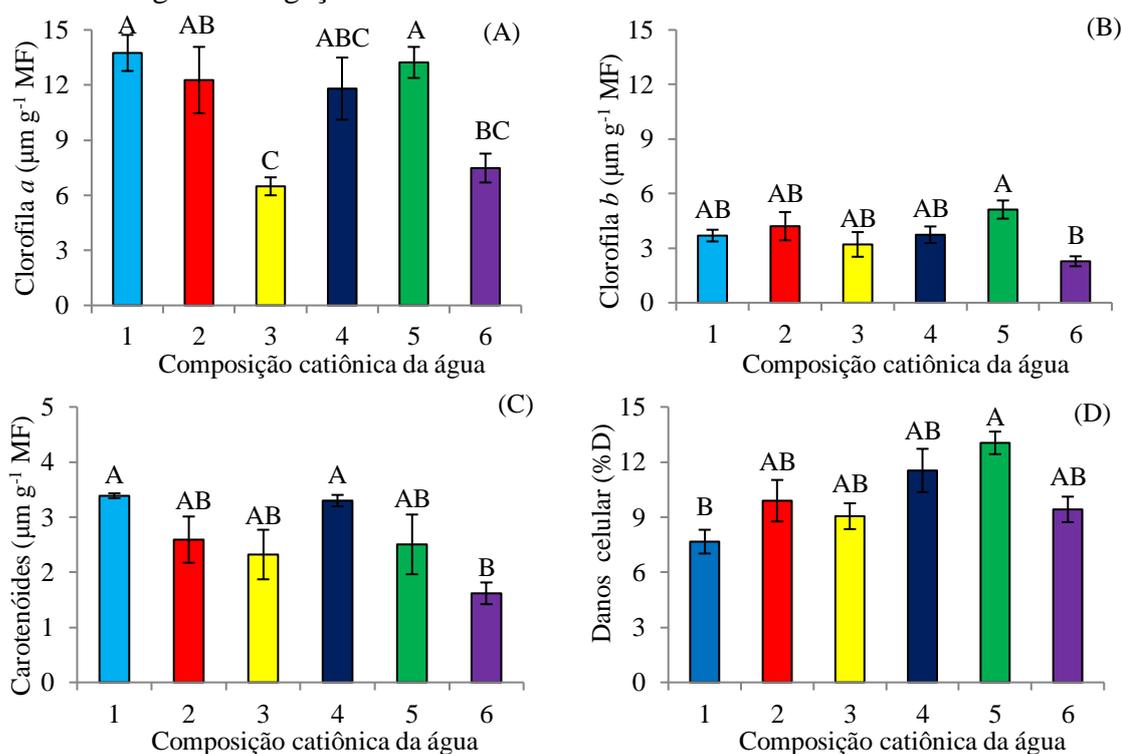
Com base no teor de clorofila *b*, verifica-se através do teste de médias (Figura 2B) que, a irrigação com águas salinizadas por sódio+cálcio+magnésio proporcionou o menor valor para Cl *b* (2,27 µm g⁻¹ MF), diferenciando-se de forma significativa apenas em relação às plantas que estavam submetidas à água de composição potássica. Ao comparar as plantas irrigadas com

água de baixo nível de CEa (testemunha) em relação aos demais tratamentos (S₂; S₃; S₄ e S₆) nota-se que não houve diferença significativa entre si.

Analisando o teor de clorofila *b* em função dos contrastes de média (Tabela 5), verifica-se que houve diferença significativa ($p < 0,05$) apenas para os tratamentos S₂ versus S₆. Mediante a estimativa de média observa-se incremento no teor de clorofila *b* de $1,93 \mu\text{m g}^{-1}$ MF (Tabela 6) nas plantas cultivadas com água preparada com sódio (S₂) em comparação às que foram irrigadas com a água constituída de sódio+cálcio+magnésio (S₆).

De acordo Jamil et al. (2007), o excesso de sais pode diminuir a sintase de pigmentos fotossintéticos em plantas sensíveis ao estresse salino e aumentar em plantas tolerantes ao estresse salino. Por outro lado, o efeito da salinidade sobre o teor da clorofila das plantas também depende da concentração e do tipo de cátion, bem como da espécie vegetal. Neste sentido, Carvalho et al. (2003) citam que os decréscimos nos teores de clorofila podem favorecer a formação de espécies reativas de oxigênio (ROS) e oxidação dos pigmentos fotossintéticos, lipídeos de membrana, proteínas e ácidos nucleicos.

Figura 2. Clorofila *a* (A), clorofila *b* (B), carotenóides (C) e percentual de dano na membrana celular - %D (D), da mamoneira BRS Energia em função da composição catiônica da água de irrigação.



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

Barras representam o erro padrão da média (n=4). Médias com letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey, $p < 0,05$.

Quanto aos teores de carotenóides foliares (Car), esse é um pigmento acessório que reflete a absorção e transferência de energia radiante, e protetores da clorofila no tocante à fotooxidação (LIMA et al., 2004). Neste contexto, verifica-se através do teste de comparação de médias (Figura 2C) que os teores de carotenóides foram maiores nas plantas cultivadas com água de baixa condutividade elétrica (S₁) e de composição potássica (S₅), porém diferiu estatisticamente daquelas submetidas a água com Na⁺+Ca²⁺+Mg²⁺. Deste modo, percebe-se

através dos dados (Figura 2C), menor teor de carotenóides ($1,61 \mu\text{m g}^{-1}$ MF) nas plantas irrigadas com águas constituídas por $\text{Na}^+ + \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$, denotando-se maior sensibilidade da cultivar BRS Energia a esses sais.

A superioridade no teor de carotenóides das plantas irrigadas com água de CEa $0,6 \text{ dS m}^{-1}$, com média de $0,92 \mu\text{m g}^{-1}$ MF, em relação às plantas que estavam sob CEa de $4,5 \text{ dS m}^{-1}$ (S_2 ; S_3 ; S_4 ; S_5 e S_6) (Tabela 6). A redução nos teores de pigmentos fotossintéticos, especialmente carotenóides (Figura 2C), em plantas cultivadas sob estresse salino, pode ser uma estratégia de proteção e/ou aclimatação em que a redução no gasto de energia, esqueletos de carbono e nutrientes necessários à síntese de clorofila pode favorecer outros processos fisiológicos associados à atenuação do estresse salino (CHAVES; FLEXAS; PINHEIRO, 2009).

Com referência aos contrastes \hat{y}_2 (S_2 vs S_3); \hat{y}_4 (S_2 vs S_5); \hat{y}_5 (S_5 vs S_2 ; S_3 ; S_4 ; S_6), constata-se não haver diferença significativa entre si (Tabela 4). Porém, comparando-se as médias dos tratamentos S_2 versus S_6 (Tabela 5), observa-se haver efeito significativo e, através dos dados de estimativa de média (Tabela 6) verifica-se que as plantas irrigadas com água do tratamento constituído por sódio (S_2) obtiveram um teor de carotenóides superior em $0,97 \mu\text{m g}^{-1}$ MF quando comparadas com a água salinizada por sódio+cálcio +magnésio (S_6).

Tabela 6. Estimativa de média referente à clorofila *a* (Cl *a*) e *b* (Cl *b*), carotenóides (Car) e percentual de dano na membrana celular (%D) da mamoneira BRS Energia irrigada com águas de diferentes composições catiônicas, aos 60 dias após a semeadura.

Contrastes	Estimativa de média			
	Cl <i>a</i> ($\mu\text{m g}^{-1}$ MF)	Cl <i>b</i> ($\mu\text{m g}^{-1}$ MF)	Car ($\mu\text{m g}^{-1}$ MF)	%D
\hat{y}_1	3,49	ns	0,92	-2,92
\hat{y}_2	5,78	ns	ns	ns
\hat{y}_3	4,79	1,93	0,97	ns
\hat{y}_4	ns	ns	ns	-3,14
\hat{y}_5	3,72	ns	ns	3,06

\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); 1= Testemunha; 2= Na^+ ; 3= Ca^{2+} ; 4= Na^+ ; Ca^{2+} ; 5= K^+ ; 6= Na^+ ; Ca^{2+} ; Mg^{2+} ; (ns) não significativo.

Para a variável percentual de dano na membrana celular - %D (Figura 2D) registrou-se diferença significativa apenas nas plantas irrigadas com água preparada com potássio (S_5) em comparação com as que estavam submetidas ao menor nível salino (S_1). Por outro lado, não houve diferença significativa no %D em decorrência da aplicação da água preparada com as distintas composições catiônicas (S_2 ; S_3 ; S_4 ; S_5 e S_6).

Entretanto, destaca-se o maior valor (12,84%) nas plantas irrigadas com água preparada utilizando-se sais de potássio (S_5). Assim, o maior percentual de dano na membrana celular da mamoneira, sobretudo nas plantas sob irrigação com água de composição iônica potássica, pode estar relacionado ao fato deste elemento não se encontrar ligado a nenhum composto orgânico, tendo sua liberação quase que total nos tecidos vegetais (DAMATTO JUNIOR et al., 2006).

Ao avaliar os contrastes de médias referentes ao percentual de dano na membrana celular (Tabela 5) 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). Através dos dados de estimativa de média (Tabela 6), verifica-se que as plantas quando irrigadas com água de $0,6 \text{ dS m}^{-1}$, o percentual de dano na membrana celular foi menor em 2,92% às que foram submetidas à CEa de $4,5 \text{ dS m}^{-1}$.

A desruptura da membrana celular ocorre através da liberação de eletrólitos em níveis severos de estresse salino-hídrico (ALONSO; QUEIROZ; MAGALHÃES, 1997). Desta forma, os decréscimos na estabilidade da membrana refletem a extensão da peroxidação de lipídios causados por espécies reativas de oxigênio (ROS). O radical superóxido (O_2^-), além de outras espécies químicas altamente reativas como o oxigênio singleto (1O_2), o radical hidroxila (OH^-) e o peróxido de hidrogênio (H_2O_2) são capazes de iniciar a peroxidação lipídica (SHARMA et al., 2012).

Ao analisar os demais tratamentos referentes ao percentual de danos na membrana celular (Tabela 5), constata-se que não houve alteração significativa no contraste (S_2 vs S_3) e \hat{y}_3 (S_2 vs S_6). Entretanto, os tratamentos S_2 versus S_5 e S_5 versus os demais (S_2 ; S_3 , S_4 e S_6) exerceram influência significativa sobre o %D. Nota-se através da estimativa de média (Tabela 6) que houve, nas plantas submetidas ao S_2 , uma redução no percentual de dano na membrana celular de 3,14% em relação às que estavam sob o S_5 . Ao confrontar as médias obtidas (Tabela 6) ao utilizar água de composição potássica, verifica-se que as plantas sofreram um incremento no %D de 3,06% quando comparado com as que estavam sob salinidade provocada por Na^+ ; Ca^{2+} ; $Na^+ + Ca^{2+}$ e $Na^+ + Ca^{2+} + Mg^{2+}$.

6 CONCLUSÕES

1. As trocas gasosas, os pigmentos cloroplásticos e o percentual de dano na membrana celular da mamoneira cv. BRS Energia na fase de florescimento são mais sensíveis à variação na condutividade elétrica em comparação com a composição catiônica da água;
2. O potássio é o cátion que proporciona os maiores valores para a taxa de assimilação de CO_2 e eficiência instantânea do uso da água;
3. O maior percentual de dano na membrana celular na mamoneira é obtido nas plantas irrigadas com água de composição iônica potássica.

7 AGRADECIMENTOS

Ao Programa Nacional de Pós-Doutorado (PNPD/CAPES/UFCEG), pela concessão de bolsa de estudo ao primeiro autor e ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Salinidade - INCTSal, pelo financiamento do projeto.

8 REFERÊNCIAS

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**, Amsterdam, v. 1323, n. 1, p. 75-84, 1997.

AMORIM, A. F.; GOMES FILHO, E.; BEZERRA, M. A.; PRISCO, J. T.; LACERDA, C. F. de. Respostas fisiológicas de plantas adultas de cajueiro anão precoce à salinidade. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 41, n. 1, p. 113-121, 2010.

ARNON, D. I. Copper enzymes in isolated chloroplasts: polyphenoloxidases in *Beta vulgaris*. **Plant Physiology**, Waterbury, v. 24, n. 1, p. 1-15, 1949.

CARVALHO, L. M.; CASALI, V. W. D.; SOUZA, M. A.; CECON, P. R. Disponibilidade de água no solo e crescimento de Artemísia. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 21, n. 4, p. 726-730, 2003.

CHAN, A. P.; CRABTREE, J.; ZHAO, Q.; LORENZI, H.; ORVIS, J.; PUIU, D.; ELAKE BERHAN, A.; JONES, K. M.; REDMAN, J.; CHEN, G.; CAHOON, E. B.; GEDIL, M.; STANKE, M.; HAAS, B. J.; WORTMAN, J. R.; FRASER-LIGGETT, C. M.; RAVEL, J.; RABINOWICZ, P. D. Draft genome sequence of the oil seed species *Ricinus communis*. **Nature Biotechnology**, New York, v. 28, n. 9, p. 951-956, 2010.

CHAVES, M. M.; FLEXAS, J.; PINHEIRO, C. Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. **Annals of Botany**, Oxford, v. 103, n. 4, p. 551-560. 2009.

DALLAGNOL, L. J.; RODRIGUES, F. A.; MARTINS, S. C. V.; CAVATTE, P. C.; DAMATTA, F. M. Alterations on Rice leaf physiology during infection by *Bipolaris oryzae*. **Australasian Plant Pathology**, Clayton, v. 40, n. 4, p. 360-365, 2011.

DAMATTO JUNIOR, E. R.; BÔAS, R. L. V.; LEONEL, S.; FERNANDES, D. M. Alterações em propriedades de solo adubado com doses de composto orgânico sob cultivo de bananeira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 28, n. 3, p. 546-549, 2006.

DONAGEMA, G. K.; CAMPOS, D. V. B.; CALDERANO, S. B.; TEIXEIRA, W. G.; VIANA, J. H. M. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011.

FREIRE, J. L. O.; CAVALCANTE, L. F.; NASCIMENTO, R.; REBEQUI, A. M. Teores de clorofila e composição mineral foliar do maracujazeiro irrigado com águas salinas e biofertilizante. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v. 36, n. 1, p. 57-70, 2013.

GURGEL, M. T.; UYEDA, C. A.; GHEYI, H. R.; OLIVEIRA, F. H. T.; FERNANDES, P. D.; SILVA, F. V. Crescimento de meloeiro sob estresse salino e doses de potássio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 1, p. 3-10, 2010.

JADOSKI, S. O.; KLAR, A. E.; SALVADOR, E. D. Relações hídricas e fisiológicas em plantas de pimentão ao longo de um dia. **Ambiência**, Guarapuava, v. 1, n. 1, p. 11-19, 2005.

JAIMEZ, R. E.; RADA, F.; GARCIA-NÚÑEZ, C.; AZÓCAR, A. Seasonal variations in leaf gas exchange of plata in cv. Hartón (*Musa AAB*) under different soil water conditions in a humid tropical region. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 104, n. 1, p. 79-89, 2005.

JAMIL, M.; REHMAN, S.; LEC, K. J.; KIM, J. M.; KIM, H. S.; RHA, E. S. Salinity reduced growth PS2 photochemistry and chlorophyll content in radish. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 64, n. 2, p. 111-118, 2007.

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**,

Campinas, v. 64, n. 3, p. 339-347, 2005.

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**, Chile, v. 32, n. 3, p. 91-99, 2014.

LIMA, G. S.; NOBRE, R. G.; GHEYI, H. R.; SOARES, L. A. A.; SILVA, E. M. Irrigation water salinity and nitrogen doses affect the cultivation of castor bean (*Ricinus communis* L.) at different phenological stages. **Australian Journal of Crops Science**, Sydney, v. 9, n. 9, p. 870-878, 2015.

LIMA, M. G. S.; LOPES, N. F.; BACARIN, M. A.; MENDES, C. R. Efeito do estresse salino sobre a concentração de pigmentos e prolina em folhas de arroz. **Bragantia**, Campinas, v. 63, n. 3, p. 335-340, 2004.

MACHADO, R. S.; RIBEIRO, R. V.; MARCHIORI, P. E. R.; MACHADO, D. F. S. P.; MACHADO, E. C.; LANDELL, M. G. A. Respostas biométricas e fisiológicas ao déficit hídrico em cana-de-açúcar em diferentes fases fenológicas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 44, n. 12, p. 1575-1582, 2009.

MUNNS, R.; TESTER, M. Mechanism of salinity tolerance. **Annual Review of Plant Biology**, New York, v. 59, n. 1, p. 651-681, 2008.

NEVES, A. L. R.; LACERDA, C. F.; 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. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 3, p. 758-765, 2009.

NOBRE, R. G.; LIMA, G. S.; GHEYI, H. R.; LOURENÇO, G. S.; SOARES, L. A. A. Emergência, crescimento e produção da mamoneira sob estresse salino e adubação nitrogenada. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 44, p. 1, p. 76-85, 2013.

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.; SANTOS FILHO, B. G. 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**, Amsterdam, v. 27, n. 1, p. 385-392, 2008.

RIBEIRO, R. V.; MACHADO, E. C.; SANTOS, M. G.; OLIVEIRA, R. F. Photosynthesis and water relations of well-watered orange plants as affected by winter and summer conditions. **Photosynthetica**, Prague, v. 47, n. 2, p. 215-222, 2009.

RICHARDS, L. A. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington: USDA Department of Agriculture, 1954. 160 p. (Agriculture Handbook, 60).

ROCHA, R.; SOARES, R. R. Water scarcity and birth outcomes in the Brazilian semiarid. **Journal of Development Economics**, Amsterdam, v. 112, n. 1, p. 72-91, 2015.

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**, Campina Grande, v. 13, p. 825-835, 2009.

SANTOS, J. B.; SANTOS, D. B.; AZEVEDO, C. A. V.; 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**, Campina Grande, v. 17, n. 2, p. 145-152, 2013.

SCOTTI-CAMPOS, P.; PHAM-THI, ANH-THU; SEMEDO, J. N.; PAIS, I. P.; RAMALHO, J. C.; MATOS, M. C. Physiological responses and membrane integrity in three Vigna genotypes with contrasting drought tolerance. **Emirates Journal of Food and Agriculture**, Abu Dhabi, v. 25, n. 12, p. 1002-1013, 2013.

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**, Amsterdam, v. 57, n. 6, p. 90-97, 2014.

SHARMA, P.; JHA, A. B.; DUBEY, R. S.; PESSARAKLI, M. Reactive oxygen species, oxidative damage, and antioxidative defense mechanism in plants under stressful conditions. **Journal of Botany**, New York, v. 2012, n. 1, p. 1-26, 2012.

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**, Campina Grande, v. 3, n. 1, p. 11-17, 1999.

SILVA, S. M. S.; GHEYI, H. R.; BELTRÃO, N. E. M.; SANTOS, J. W.; SOARES, F. A. L. Dotações hídricas em densidades de plantas na cultura da mamoneira cv. BRS Energia. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 4, n. 3, p. 338-348, 2009.

SUASSUNA, J. F.; FERNANDES, P. D.; BRITO, K. S. A.; NASCIMENTO, R.; MELO, A. S.; BRITO, M. E. B. Trocas gasosas e componentes de crescimento em porta enxertos de citros submetidos à restrição hídrica. **Irriga**, Botucatu, v. 19, n. 3, p. 464-477, 2014.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 918 p.