

## CRESCIMENTO, SÍNTESE DE SOLUTOS ORGÂNICOS E EQUILÍBRIO IÔNICO DE PLÂNTULAS DE PINHÃO-MANSO SOB ESTRESSE SALINO<sup>1</sup>

PATRÍCIA CARNEIRO DA CUNHA<sup>2</sup>, BRUNA SANTANA DA SILVA MENDES<sup>3</sup>, RONALDO ALVES DE OLIVEIRA FILHO<sup>4</sup>, TEREZINHA RANGEL CAMARA<sup>5</sup>, LILIA GOMES WILLADINO<sup>6\*</sup>

**RESUMO** – O presente trabalho avaliou o efeito de distintas concentrações salinas sobre o crescimento, síntese de solutos orgânicos e equilíbrio iônico ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  e  $\text{K}^+$ ) de *Jatropha curcas* L. durante 28 dias. Foram estabelecidos sete tratamentos: 0, 15, 30, 45, 60, 75 e 90 mol  $\text{m}^{-3}$  de NaCl, em delineamento inteiramente casualizado, com cinco repetições por tratamento. Nas maiores concentrações de NaCl a adição do sal foi feita gradualmente para evitar choque osmótico. O número de folhas e a área foliar foram reduzidos nas plantas submetidas à salinidade a partir de 30 e 45 mol  $\text{m}^{-3}$  de NaCl, respectivamente. A produção de matéria fresca e seca foram reduzidas a partir de 60 mol  $\text{m}^{-3}$  de NaCl com redução de até 36 %. A concentração de carboidratos solúveis e proteínas solúveis totais aumentaram significativamente apenas nas plantas submetidas a 15 e 30 mol  $\text{m}^{-3}$  e 30 mol  $\text{m}^{-3}$  de NaCl, respectivamente. O teor de fenóis totais aumentou nas plantas submetidas à salinidade a partir 30 mol  $\text{m}^{-3}$  de NaCl. O incremento dos teores de fenóis totais, carboidratos solúveis totais e proteínas solúveis associado à ausência de redução do crescimento em plântulas submetidas a 30 mol  $\text{m}^{-3}$  de NaCl indica a ativação de mecanismos de aclimatização eficiente nesta magnitude de estresse. Os teores de  $\text{Na}^+$  e de  $\text{Cl}^-$  aumentaram em todas as partes da planta à medida que foram incrementadas as concentrações de sal na solução nutritiva. Os elevados teores de  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  indicam a ausência de mecanismos de extrusão desses íons.

**Palavras-chave:** Fenol. Prolina. *Jatropha curcas*. Proteínas. Salinidade.

## GROWTH, SYNTHESIS OF ORGANIC SOLUTES AND IONIC BALANCE IN SEEDLINGS OF PHYSIC NUT UNDER SALINE STRESS

**ABSTRACT** – This study evaluated the effect of different salt concentrations on growth, synthesis of organic solutes and ionic balance ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  and  $\text{K}^+$ ) of *Jatropha curcas* L. for 28 days. Seven treatments were established: 0, 15, 30, 45, 60, 75 and 90 mol  $\text{m}^{-3}$  NaCl in a completely randomized design with five replicates per treatment. The largest concentrations of NaCl the addition of the salt was made gradually to avoid osmotic shock. The number of leaves and leaf area were reduced in plants subjected to salinity from 30 to 45 mol  $\text{m}^{-3}$  NaCl, respectively. The production of fresh and dry matter were reduced from 60 mol. $\text{m}^{-3}$  NaCl up to 36%. The concentration of soluble carbohydrates and total soluble proteins increased significantly only in plants exposed to 15 and 30 mol. $\text{m}^{-3}$  and 30 mol. $\text{m}^{-3}$  NaCl, respectively. The total phenol content increased in plants subjected to salinity from 30 mol. $\text{m}^{-3}$  NaCl.

The increase in the levels of total phenols, soluble carbohydrates and soluble proteins and the absence of reduced growth in seedlings subjected to 30 mol. $\text{m}^{-3}$  NaCl indicates the activation of an efficient mechanisms of acclimatization of this stress magnitude. The levels of  $\text{Na}^+$  and  $\text{Cl}^-$  increased in all parts of the plant were increased concentrations of salt in the nutrient solution. The high levels of  $\text{Na}^+$  and  $\text{Cl}^-$  indicate the absence of extrusion mechanisms of these ions.

**Keywords:** Phenol. Proline. *Jatropha curcas*. Proteins. Salinity.

\*Autor para correspondência

<sup>1</sup> Recebido para publicação em 02/03/2012; aceito em 10/03/2013

Trabalho de dissertação do primeiro autor

<sup>2</sup> Programa de Pós-Graduação em Botânica, UFRPE; patcunhabiodoutorado@hotmail.com

<sup>3</sup> Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Algodão, Rua Oswaldo Cruz, 1143, 58428-095, Campina Grande – PB; bruna@cnpa.embrapa.br

<sup>4</sup> Curso de Agronomia, UFRPE, Rua Dom Manoel de Medeiros, s/n, 52511-900, Recife - PE; Brasil; Bolsista do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia do Sal INCTSal/CNPq, ronaldoalvesfoto@hotmail.com

<sup>5</sup> Departamento de Química, UFRPE; tkcamara@bol.com.br

<sup>6</sup> Departamento de Biologia, UFRPE, Pesquisadora do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia do Sal INCTSal/CNPq, lilia.willadino@bol.com.br

## INTRODUÇÃO

Várias são as pesquisas relacionadas aos estresses ambientais que podem afetar o crescimento das plantas, entre eles, destaca-se o estresse salino, que ocorre em uma extensa área do globo totalizando, no início do século vinte e um, 30 milhões de hectares do planeta (FAO 2002). Os efeitos causados pelo estresse salino para os vegetais incluem: efeito iônico e osmótico, desequilíbrio de nutrientes, desequilíbrio hormonal e, aumento na produção de espécies reativas de oxigênio (ASHRAF, 2009; ASHRAF; FOOLAD, 2007), os quais podem afetar severamente o desenvolvimento e a produtividade das plantas.

Entre as várias áreas afetadas pela salinidade encontra-se a região semi-árida do nordeste do Brasil, mais especificamente os perímetros irrigados (HOLANDA et al., 2007). Entre as principais causas da salinidade dessa região estão às condições edafoclimáticas locais, como a elevada temperatura associada à escassez e irregularidade das chuvas assim como, a prática de irrigação e/ou drenagem inadequada, reduzindo assim os rendimentos das culturas e resultando, até mesmo, no abandono dessas áreas (FERREIRA et al., 2005).

Algumas espécies vegetais apresentam ajustes bioquímicos e/ou ajustes iônicos, frente à salinidade dos solos (WILLADINO; CÂMARA, 2010; WILLADINO; CÂMARA, 2004). Entre os ajustes bioquímicos, se destaca o aumento na produção de prolina (MUNNS; TESTER, 2008; MENDES et al., 2011), carboidratos solúveis (OLIVEIRA et al., 2006), proteínas solúveis totais (PARIDA; DAS, 2005; MENDES et al., 2011) e compostos fenólicos (SOUSA et al., 2007). Como ajustes iônicos destacam-se a extrusão e/ou retenção de íons nas raízes, evitando níveis tóxicos no aparato fotossintético que se encontra principalmente na folha (MUNNS; TESTER, 2008), a alocação de íons nos vacúolos e a regulação da concentração de íons pelo aumento da suculência nos tecidos (LARCHER, 2004). A ativação do sistema antioxidativo é também resposta ao estresse salino na medida em que reduz o acúmulo de espécies reativas de oxigênio (ROS), diminuindo os danos oxidativos causados por essas espécies, como a peroxidação lipídica das membranas e alterações na permeabilidade seletiva das mesmas além de danos a proteínas e DNA (PARIDA; DAS, 2005; FOYER; NOCTOR, 2009).

*Jatropha curcas* L., conhecida por pinhão-manso, uma espécie nativa da América tropical (OPENSHAW, 2000), é uma planta arbustiva pertencente à família das Euphorbiaceae, e o seu cultivo apresenta amplas perspectivas para a produção de biodiesel principalmente nas regiões do semi-árido Nordeste e do norte de Minas Gerais, segundo Neves et al. (2009). O pinhão-manso se destaca como opção agrícola para a região Nordeste, por ser uma espécie exigente em insolação e com forte resistência

à seca (OLIVEIRA, et al., 2006). Esta espécie requer tecnologia simples e investimento modesto, o rendimento de suas sementes pode atingir 12 t ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup> e sua vida produtiva mais de 30 anos (CHAVES et al., 2009).

O presente trabalho visou avaliar o efeito de distintas concentrações NaCl sobre o crescimento, síntese de solutos orgânicos e equilíbrio iônico (Na<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup> e K<sup>+</sup>), em plantas de *Jatropha curcas* L.

## MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido na casa de vegetação, em Recife (latitude 8° 04' 03" S e longitude 34° 55' 00" W), no período de dezembro de 2007 a maio de 2008, na Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE). As sementes, oriundas do Centro de Tecnologias Estratégicas para o Nordeste (CETENE), foram coletadas pela Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG) e caracterizadas como setor PRT-Paraguaçu. A semeadura foi realizada em vasos de polietileno, com capacidade para 10 kg, contendo areia lavada como substrato. A areia foi coberta por uma camada de brita para reduzir a evaporação.

Após a germinação, sete dias, as plântulas foram regadas diariamente durante 21 dias, com solução nutritiva contendo 742 mg L<sup>-1</sup> de fertilizante solúvel (Kristalon Marrom®: 3% N; 11% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; 38% K<sub>2</sub>O; 4% MgO; 11% S; 0,025% B; 0,004% Mo; 0,01% Cu-EDTA; 0,025% Zn-EDTA; 0,07% Fe-EDTA e 0,04% Mn-EDTA) e 840 mg L<sup>-1</sup> de nitrato de cálcio (Barco Viking® - 15,5% N e 19,0% Ca). Após esse período foi realizado o desbaste, permanecendo uma planta por vaso, a seleção foi baseada na similaridade da altura e número de folhas das plantas. Em seguida foram estabelecidos sete tratamentos: 0, 15, 30, 45, 60, 75, e 90 mol.m<sup>-3</sup> de NaCl (com as respectivas condutividade elétrica: 1,0; 2,6; 4,3; 5,9; 7,8; 9,3 e 10,8 dS.m<sup>-1</sup>), por adição deste sal à solução nutritiva de rega. Nos três tratamentos com maiores concentrações (60, 75 e 90 mol.m<sup>-3</sup> de NaCl) a adição do NaCl foi feita gradualmente para evitar choque osmótico, inicialmente com 30 mol.m<sup>-3</sup> de NaCl, na primeira semana e na semana seguinte, com as concentrações de NaCl desejadas. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, com sete tratamentos salinos e cinco repetições, totalizando 35 unidades experimentais. O controle dos níveis salinos das soluções foi feito, a cada três dias, medindo-se a condutividade elétrica da solução drenada dos vasos. A drenagem diária da solução evitou o acúmulo de sais no substrato.

Aos 28 dias após o início da aplicação das soluções determinou-se o crescimento das plantas, de acordo com a metodologia de Benincasa (2003), mediante a determinação do número de folhas emitidas, área foliar total, produção de matéria fresca e seca total. A matéria seca foi determinada após seca-

gem das plantas em estufa de aeração a 70 °C, até peso constante.

As análises bioquímicas foram realizadas utilizando-se a matéria fresca da terceira folha completamente expandida (a contar do ápice da planta). Para a quantificação dos teores de prolina foi utilizado o método de Bates et al. (1973), para carboidratos solúveis totais, o método descrito por Yemm e Willis (1954), para fenóis totais, método de Folin-Denis, e para as proteínas solúveis totais o método de Bradford (1976).

A determinação dos teores de Na<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup> e K<sup>+</sup> das folhas, caules e raízes foi realizada em tecido vegetal seco, moído em moinho de facas tipo Willey. O material moído foi submetido à digestão nitroperclórica e os teores de Na<sup>+</sup> e K<sup>+</sup> determinados por fotometria de emissão de chama conforme descrito por Malavolta et al. (1989) e Miyazawa et al. (1992). O teor de Cl<sup>-</sup> foi determinado por titulometria do nitrato de prata (método de MOHR), segundo Malavolta et al. (1989).

Os dados foram submetidos à análise de variância ANOVA e as médias comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade, utilizando o programa ASSISTAT (SILVA; ZEVEDO, 2002).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O incremento da concentração de sal na solução nutritiva resultou em redução do crescimento das plantas de *Jatropha curcas* conforme constatado em todas as variáveis de crescimento analisadas (Tabela 1).

Entre as variáveis de crescimento analisadas, o número de folhas (NF) foi a primeira a ser afetada pela salinidade, foram observadas reduções nas plan-

tas submetidas a concentrações já a partir de 30 mol m<sup>-3</sup> de NaCl, atingindo uma redução de 35% nas plantas submetidas à concentração mais elevada de NaCl. Oliveira et al. (2010), também relataram reduções de 37 e 50% no NF de pinhão-manso, oriundos de duas procedências, quando submetidos a condutividade de 5,5 dS m<sup>-1</sup>, durante 30 dias. Segundo Munns e Tester (2008), o mecanismo de regulação do crescimento da folha sob estresse ainda não é conhecido, todavia, reduções observadas no NF das plantas submetidas à alta salinidade podem ser interpretadas como adaptação que minimiza as perdas de água por transpiração.

A área foliar, apresentou redução significativa, 26%, nas plantas submetidas ao estresse a partir de 45 mol m<sup>-3</sup> de NaCl. Observações de Nery et al. (2009), destacam essa variável de crescimento como a mais sensível quando comparada com a altura, diâmetro do caule e número de folhas em pinhão-manso submetido a estresse salino. Esses autores registraram um decréscimo de 33,6% na AF de plantas de pinhão-manso cultivadas durante 42 dias a uma condutividade elétrica de 3,0 dS m<sup>-1</sup>. Redução similar (38,8%) foi observada no presente trabalho quando as plantas foram submetidas durante um período menor de tempo (28 dias) a uma maior CEa (10,8 dS m<sup>-1</sup>, ou seja, 90 mol.m<sup>-3</sup>). A redução da AF também é considerada um mecanismo de adaptação à salinidade uma vez que uma menor AF resulta em uma menor área de transpiração (TESTER; DAVERPORT, 2003).

Na matéria fresca total (MFT), em magnitude semelhante à MST, foi observada uma redução em plantas submetidas a concentrações iguais ou superiores a 60 mol m<sup>-3</sup> de NaCl. As reduções atingiram reduções de 36,6% nas plantas submetidas à concentração mais elevada de NaCl. O excesso de sais na

**Tabela 1.** Número de folhas emitidas (NF), área foliar (AF), matéria fresca total (MFT) e matéria seca total (MST) de plântulas de *Jatropha curcas* L. cultivadas em casa de vegetação durante 28 dias sob diferentes concentrações de NaCl, Recife, 2008<sup>(1)</sup>.

| NaCl<br>(mol m <sup>-3</sup> ) | NF<br>(unid) | AF<br>cm <sup>2</sup> | MFT<br>g planta <sup>-1</sup> | MST<br>g planta <sup>-1</sup> |
|--------------------------------|--------------|-----------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| 0                              | 9,2ab        | 5866,22a              | 72,06a                        | 7,44a                         |
| 15                             | 9,4a         | 5492,1ab              | 71,24a                        | 7,27a                         |
| 30                             | 7,0bcd       | 4555,61abc            | 59,07ab                       | 6,09ab                        |
| 45                             | 8,8abc       | 4334,3bcd             | 54,75abc                      | 5,27ab                        |
| 60                             | 6,8cd        | 3853,07cd             | 48,74bc                       | 4,79b                         |
| 75                             | 6,2cd        | 2944,61d              | 39,12c                        | 4,23b                         |
| 90                             | 6,0d         | 3585,93cd             | 45,69bc                       | 4,88b                         |
| C.V. (%)                       | 7,11         | 17,07                 | 16,29                         | 19,45                         |

<sup>(1)</sup> Médias seguidas de letras iguais, entre os tratamentos, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

superfície dos solos provoca redução na disponibilidade de água para a captação radicular, o que normalmente diminui o teor de água na planta, refletindo-se diretamente na redução da MFT.

A matéria seca total (MST) foi menor nas plantas cultivadas sob estresse, durante 28 dias, a partir de 60 mol.m<sup>-3</sup> de NaCl com reduções que variaram de 36% a 34%. Plantas de pinhão-manso submetidas durante 15 dias a concentrações de 0 a 100 mol.m<sup>-3</sup> de NaCl apresentaram um comportamento linear decrescente na MST com o incremento das doses de NaCl as reduções atingiram 50% na massa seca das plantas submetidas a aproximadamente 47 mol.m<sup>-3</sup> de NaCl, e na dose mais elevada de sal (100 mM de NaCl) o decréscimo chegou a aproximadamente 64% (SILVA et al. 2009a). Reduções maiores na MST, de 72 a 82, foram relatadas em plantas de pinhão-manso de duas procedências submetidas à condutividade de 5,5 dS m<sup>-1</sup> durante 30 dias de cultivo (Oliveira et al. 2010).

Foi observado aumento no teor de fenóis totais nas plantas de *J. curcas* submetidas à concentrações a partir de 30 mol m<sup>-3</sup> de NaCl, como incrementos variando de 88 a 100% (Tabela 2). O aumento do teor dos fenóis é freqüente em plantas submetidas ao estresse salino (SAKR; EL-METWALLY, 2009), este incremento reflete um mecanismo de adaptação celular para neutralização e/ou seqüestro de radicais livres e quelação de metais de transição (SOUSA et al., 2007).

As variações na concentração de prolina em plântulas de *J. curcas*, não apresentaram um padrão de comportamento de acúmulo ou decréscimo em função do aumento da salinidade (Tabela 2) durante os 28 dias de cultivo sob estresse. Esse comportamento sugere que durante este período o acúmulo de

prolina não foi significativo no mecanismo de osmorregulação e/ou osmoproteção na referida espécie. Por outro lado, plantas de *J. curcas* cultivadas durante nove meses, desde a germinação, apresentaram aumento na concentração de prolina com o incremento da salinidade (0 a 7,9 dS m<sup>-1</sup>, o que equivale, aproximadamente, a 60 mol m<sup>-3</sup> de NaCl na concentração mais elevada) (PATEL et al., 2010). É importante salientar, entretanto, que Silva et al. (2009b) relatam que mesmo com o aumento da produção de prolina em *J. curcas* submetidas concentrações até 100 mol m<sup>-3</sup> de NaCl, durante 15 dias, esse aminoácido não contribuiu de forma significativa na osmorregulação dessa espécie.

Os teores de carboidratos solúveis foram significativamente maiores nas plantas submetidas apenas aos níveis de 15 e 30 mol.m<sup>-3</sup> de NaCl, com incrementos de 53% e 78%, respectivamente, comparando-se com as plantas controle (Tabela 2). Esse incremento sugere uma resposta da planta ao estresse uma vez que seu acúmulo atua como osmoprotetor, reserva de carbono além do combate aos radicais livres (PARIDA; DAS, 2005). Entretanto, é provável que em concentrações salinas acima de 30 mol.m<sup>-3</sup> de NaCl os carboidratos sejam drenados e consumidos para ativação e manutenção de atividade metabólica associada à adaptação à salinidade, uma vez que só ocorre diminuição do crescimento, biomassa fresca e seca, em concentrações salinas superiores a 45 mol.m<sup>-3</sup> de NaCl, evidenciando a manutenção de crescimento no intervalo entre 30 e a 45 mol.m<sup>-3</sup> de NaCl. O aumento dos teores de açúcares solúveis, assim como a prolina, também não contribui de forma expressiva no ajustamento osmótico de *J. curcas* (Silva et al., 2009b).

Em relação aos teores de proteínas solúveis

**Tabela 2.** Teores de prolina, carboidratos solúveis totais, proteínas solúveis totais e fenóis totais de plântulas de *Jatropha curcas* L. cultivadas em casa de vegetação durante 28 dias sob diferentes concentrações de NaCl, Recife, 2008 <sup>(1)</sup>.

| NaCl<br>(mol m <sup>-3</sup> ) | Fenóis totais<br>mg g <sup>-1</sup> MF | Prolina<br>µg g <sup>-1</sup> MF | Carboidratos solúveis<br>mg g <sup>-1</sup> MF | Proteínas solúveis<br>mg g <sup>-1</sup> MF |
|--------------------------------|--|----------------------------------|--|---|
| 0                              | 1,04c                                  | 238,37abc                        | 1,12b  | 4,84b                                       |
| 15                             | 1,43bc                                 | 217,56bc                         | 1,72a  | 4,84b                                       |
| 30                             | 1,96ab                                 | 218,86bc                         | 2,00a  | 6,57a                                       |
| 45                             | 2,09a                                  | 212,70c                          | 1,69ab   | 5,61ab                                      |
| 60                             | 2,14a                                  | 282,38a                          | 1,57ab   | 5,36ab                                      |
| 75                             | 1,66ab                                 | 259,33ab                         | 1,52ab   | 5,04b                                       |
| 90                             | 1,96ab                                 | 277,37a                          | 1,61ab   | 5,53ab                                      |
| C.V. (%)                       | 17,75                                  | 9,22                             | 18,78  | 14,23                                       |

<sup>(1)</sup> Médias seguidas de letras iguais, entre os tratamentos, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5 % de probabilidade.

totais, observou-se um aumento significativo apenas nas plantas submetidas a 30 mol.m<sup>-3</sup> de NaCl, com incremento da ordem de 38% em relação às plantas do tratamento não salino (Tabela 2). Embora seja freqüente a diminuição no teor de proteína solúvel nas plantas submetidas à salinidade em consequência da diminuição da síntese protéica e incremento da proteólise (PARIDA; DAS, 2005), é importante salientar que pode ocorrer um aumento da síntese de

uma ampla variedade de proteínas em resposta ao estresse salino, as quais podem atuar na estabilização das membranas celulares e na sinalização de respostas à salinidade (TESTER; DAVENPORT, 2003), evento que pode ter ocorrido nas plantas submetidas apenas a 30 mol.m<sup>-3</sup> de NaCl.

Foi observado incremento nos teores dos íons sódio e cloreto em todas as partes da planta, chegando a um aumento de 15 e 5,4 (Tabela 3).

**Tabela 3.** Teores de Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup> e Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup> nas folhas, caules e raízes de plântulas de *Jatropha curcas* cultivadas em casa de vegetação durante 28 dias e submetidas a diferentes concentrações de NaCl, Recife, 2008<sup>(1)</sup>.

| Folha                          |                                       |                                      |  |                                 |
|--------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|--|---------------------------------|
| NaCl<br>(mol.m <sup>-3</sup> ) | Na <sup>+</sup><br>g Kg <sup>-1</sup> | K <sup>+</sup><br>g Kg <sup>-1</sup> | Cl <sup>-</sup><br>mg Kg <sup>-1</sup> | Na <sup>+</sup> /K <sup>+</sup> |
| 0                              | 2,8d                                  | 54,0a                                | 7,9f                                   | 0,05e                           |
| 15                             | 22,4c                                 | 40,7b                                | 26,5e                                  | 0,56de                          |
| 30                             | 29,4b                                 | 36,3bc                               | 30,3de                                 | 0,84cd                          |
| 45                             | 33,4b                                 | 36,5bc                               | 33,6cd                                 | 0,93bcd                         |
| 60                             | 39,4a                                 | 31,6bc                               | 42,6a                                  | 1,36abc                         |
| 75                             | 40,2a                                 | 29,4bc                               | 35,8bc                                 | 1,45ab                          |
| 90                             | 42,5a                                 | 28,1c                                | 37,9b                                  | 1,54a                           |
| C.V. (%)                       | 7,8                                   | 16,0                                 | 6,7                                    | 29,61                           |
| Caule                          |                                       |                                      |  |                                 |
| 0                              | 0,1d                                  | 47,4a                                | 5,7c                                   | 0,00e                           |
| 15                             | 4,9c                                  | 44,3a                                | 20,4b                                  | 0,11d                           |
| 30                             | 7,6b                                  | 41,8a                                | 24,2ab                                 | 0,18c                           |
| 45                             | 9,1ab                                 | 43,3a                                | 27,9a                                  | 0,21bc                          |
| 60                             | 10,4a                                 | 44,2a                                | 30,7a                                  | 0,23ab                          |
| 75                             | 10,3a                                 | 40,6a                                | 29,2a                                  | 0,25ab                          |
| 90                             | 10,6a                                 | 38,7a                                | 28,9a                                  | 0,28a                           |
| C.V. (%)                       | 16,6                                  | 10,6                                 | 15,5                                   | 13,00                           |
| Raiz                           |                                       |                                      |  |                                 |
| 0                              | 0,2c                                  | 38,1a                                | 4,5e                                   | 0,00d                           |
| 15                             | 5,8b                                  | 32,9b                                | 16,7d                                  | 0,18c                           |
| 30                             | 7,4b                                  | 29,2bc                               | 21,2c                                  | 0,25bc                          |
| 45                             | 7,0b                                  | 29,5bc                               | 24,6bc                                 | 0,24bc                          |
| 60                             | 6,8b                                  | 28,6bc                               | 26,4ab                                 | 0,24ab                          |
| 75                             | 7,0b                                  | 25,5c                                | 30,1a                                  | 0,27b                           |
| 90                             | 10,5a                                 | 25,5c                                | 29,0a                                  | 0,41a                           |
| C.V. (%)                       | 19,1                                  | 7,3                                  | 9,3                                    | 20,09                           |

<sup>(1)</sup> Médias seguidas de letras iguais, entre os tratamentos, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5 % de probabilidade.

A elevada concentração de sódio nas folhas das plantas submetidas ao estresse salino (22,4 a 42,5 g Kg<sup>-1</sup>) quando comparada às raízes (5,8 a 10,5 g Kg<sup>-1</sup>) indicam que a espécie não apresenta retenção dos íons tóxicos nas células radiculares como mecanismo de defesa. O excesso de sódio e cloreto causa danos por toxicidade quando não compartimentalizados adequadamente, exportados ou secretados (FRICKE et al., 2006), o que é confirmado neste experimento pelos sintomas visíveis de toxidez foliar, como amarelecimento nas bordas das folhas das plantas submetidas a estresse salino a partir de concentrações iguais ou superiores a 30 mol.m<sup>-3</sup> de NaCl.

Paralelamente ao aumento de Na<sup>+</sup> e Cl<sup>-</sup> foi observada redução nos teores do K<sup>+</sup>, característico de plantas glicófitas, exceto no caule (Tabela 3). Os distúrbios metabólicos gerados pelo acúmulo de Na<sup>+</sup> na célula são, em parte, resultantes da competição com o K<sup>+</sup> pelos sítios ativos das enzimas (BLUMWALD, 2000) e ribossomos (TESTER; DAVENPORT, 2003). Segundo Greenway e Munns (1980), uma relação Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup> igual ou menor que 0,6 é necessária para a manutenção da eficiência do metabolismo em plantas não-halófitas. No presente trabalho, foi observado um aumento da relação de Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup> acima de 0,6 nas folhas das plantas submetidas a concentrações iguais ou superiores a 30 mol.m<sup>-3</sup> de NaCl, coincidente com o aparecimento de sintomas como amarelecimento nas bordas das folhas das plantas. Concentrações iguais ou superiores a 60 mol.m<sup>-3</sup> de NaCl provocaram necrose parcial neste órgão.

## CONCLUSÕES

Na concentração de 30 mol m<sup>-3</sup> de NaCl as plantas de *J. curcas* ativam mecanismos de aclimatização mediante o incremento dos teores de fenóis totais, carboidratos solúveis totais e proteínas solúveis;

Concentrações iguais ou superiores a 60 mol m<sup>-3</sup> de NaCl provoca redução do crescimento em plantas de pinhão-manso;

A espécie *J. curcas* não apresenta mecanismos de retenção ou extrusão de íons tóxicos (Na<sup>+</sup> e Cl<sup>-</sup>) nas células radiculares.

## AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de mestrado para a executora do trabalho, ao Centro de Tecnologias Estratégicas do Nordeste (CETENE) e à Empresa de Pesquisa Agropecuária e Minas Gerais (EPAMIG) pelo fornecimento das sementes da espécie estudada.

## REFERÊNCIAS

ASHRAF, M. Biotechnological approach of improving plant salt tolerance using antioxidants as markers. **Biotechnology Advances**, v. 27, n.1, p. 84-93, 2009.

ASHRAF, M.; FOOLAD, M. R. Improving plant abiotic-stress resistance by exogenous application of osmoprotectants glycine betaine and proline. **Environment Experimental Botany**, v.59, n.2, p. 206-216, 2007.

BATES, L. S.; WALDREN, R. P.; TEARE, I. D. Rapid determination os free proline for water-stress studies. **Plant and Soil**, v. 39, n.1, p. 205-207, 1973.

BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas (noções básicas)**. Jaboticabal: FUNEP, 2003. 41 p.

BLUMWALD, E.; Sodium transport and salt tolerance in plant cells. **Current Opinion of Cell Biology**, v. 12, n.4, p. 76-112, 2000.

BRADFORD, M. M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analytical Biochemistry**, v. 72, n.1, p. 248-254, 1976.

CHAVES, L. H. G. et al. Zinco e cobre em pinhão manso. I. Crescimento inicial da cultura. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 22, n. 3, p. 94-99, 2009.

FAO. Crops and drops: making the best use of water for agriculture. Roma, 2002. 22 p.

FERREIRA, P. A. et al. Efeitos da lixiviação e salinidade da água sobre um solo salinizado cultivado com beterraba. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 3, p. 570-578, 2005.

FOYER, C. H.; NOCTOR, G. Redox Regulation in Photosynthetic Organisms: Signaling, Acclimation, and Practical Implications. **Antioxidants & Redox Signaling**, v. 11, n. 11, p. 862-905, 2009.

FRICKE, W. et al. The short-term growth response to salt of the developing barley leaf. **Journal of Experimental Botany**. Plants and Salinity Special Issue, v. 57, n. 5, p. 1079-1095, 2006.

GREENWAY, H.; MUNNS, R. Mechanisms of salt tolerance in nonhalophytes. **Annual Review Plant Physiology**, v. 31, n.1, p. 149-90, 1980.

HOLANDA, A. C. et al. Desenvolvimento inicial de

---

espécies arbóreas em ambientes degradados por sais. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, Campina Grande, v. 7, n. 1, p. 39-50, 2007.

LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. São Carlos: Rima, 2004. 531 p.

NERY, A. R. et al. Crescimento do pinhão-mansão irrigado com águas salinas em ambiente protegido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.13, n. 5, p. 551-558, 2009.

NEVES, J. M. G. et al. Padronização do teste de germinação para sementes de pinhão-mansão. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 22, n. 4, p. 76-80. 2009.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1989. 201 p.

MENDES, B. S. S. et al. Mecanismo fisiológicos e bioquímicos do abacaxi ornamental sob estresse salino. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 24, n. 3, p. 71-77, 2011.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; BLOCH, M. F. M. **Análise química de tecido vegetal**. Londrina: IAPAR, 1992. 17 p.

MUNNS, R.; TESTER, M. Mechanisms of salinity tolerance. **Annual Reviews Plant Biology**, v. 59, n.1, p. 651-681, 2008.

OLIVEIRA, I. R. S. et al. Crescimento inicial do pinhão-mansão (*Jatropha curcas* L.) em função da salinidade da água de irrigação. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 23, n. 4, p. 40-45, 2010.

OLIVEIRA, L. A. A. et al. Solutos orgânicos em genótipos de sorgo forrageiro sob estresse salino. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 1, p. 31-35, 2006.

OPENSHAW, K. A review of *Jatropha curcas*: an oil plant of unfulfilled promise. **Biomass and Bioenergy**, v. 19, n.1, p. 1-15, 2000.

PARIDA, A. K.; DAS, A. B. Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 60, n.1, p. 324-349, 2005.

PATEL, A. D. et al. Growth, water status and nutrient accumulation of seedlings of *Jatropha curcas* L. (Euphorbiaceae) in response to soil salinity. **Anales de Biología**, v.1, n. 32, p. 59-71, 2010.

SAKR, M. T.; EL-METWALLY, M. A. Alleviation of the harmful effects of soil salt stress on growth,

yield and endogenous antioxidant content of wheat plant by application of antioxidants. **Pakistan Journal Biology Science**, v. 12, n. 8, p. 624-630, 2009.

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

SILVA, E. N. et al. Acúmulo de íons e crescimento de pinhão-mansão sob diferentes níveis de salinidade. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 40, n. 2, p. 240-246, 2009a.

SILVA, E. N. et al. Contribuição de solutos orgânicos e inorgânicos no ajustamento osmótico de pinhão-mansão submetido à salinidade. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 5, p. 437-445, 2009b.

SOUSA, C. M. M. et al. Fenóis totais e atividade antioxidante de cinco plantas medicinais. **Química Nova**, São Paulo, v. 30, n. 2, p. 351-355, 2007.

TESTER, M.; DAVENPORT, R. Na<sup>+</sup> tolerance and Na<sup>+</sup> transport in higher plants. **Annals of Botany**, v. 91, n.5, p. 503-527, 2003.

WILLADINO, L.; CAMARA, T. R. Origen y naturaleza de los ambientes salinos. In: REIGOSA, M. J.; PEDROL, N.; SÁNCHEZ, A. **La Ecofisiología Vegetal, Una ciencia de síntesis**. Madrid: Editora Thomsom, 2004, 303:329 p.

WILLADINO, L. G.; CAMARA, T. R. Tolerancia das plantas à salinidade: Aspectos fisiológicos e bioquímicos. **Enciclopedia Biosfera**, Goiânia, v. 6, n.11, p. 1-23, 2010.

YEMM, E. B.; WILLIS, A. J. **The estimation of carbohydrates in plants extracts by anthrone**. Department of Botany, (SI), University of Bristol, v. 57, p. 508-514, 1954.