

Interação entre salinidade e fósforo em plantas de sorgo forrageiro¹

Salinity-phosphorus interaction in forage sorghum plants

Claudian Feitosa de Lacerda², Henrique Michael Matos de Moraes³, José Tarquínio Prisco⁴, Enéas Gomes Filho⁴ e Marlos Alves Bezerra⁵

Resumo - O experimento foi montado seguindo um delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial (2 genótipos x 2 níveis de sais x 3 doses de P) e utilizando-se quatro repetições. Foram utilizados um tratamento controle (sem adição de NaCl) e um tratamento salino (com NaCl a 72 mM). Os níveis de fósforo utilizados foram 0,025, 0,250 e 0,500 mM, aplicados desde o início dos tratamentos. Após 15 dias do início da adição dos sais foram coletadas amostras de limbos foliares de folhas completamente maduras para determinação dos teores de P. Em seguida, as plantas foram colhidas, sendo determinadas a área foliar e a produção de massa seca das raízes e da parte aérea. Os teores de P nas folhas foram maiores nas plantas submetidas ao estresse salino e as respostas de crescimento das plantas controle e estressadas diferiram em relação à aplicação de P na solução nutritiva. Comparando-se a maior com a menor dose de P verifica-se que as plantas controle do genótipo CSF 20 tiveram um incremento na produção de matéria seca de cerca de 34,0%. Por outro lado, as plantas submetidas ao tratamento salino embora tenham apresentado um ligeiro incremento na dose intermediária de P, apresentaram uma produção 5,0% menor na dose mais elevada em relação à menor dose de P. Os resultados evidenciaram a existência de interação entre salinidade e fósforo em plantas de sorgo para todas as variáveis analisadas.

Termos para indexação: *Sorghum bicolor*, estresse salino, toxidez de fósforo.

Abstract - It was conducted an entirely randomized experiment using 3x2 factorial arrangement with four replications. A treatment was used as control (without addition of NaCl) and another as saline (containing 72 mM of NaCl). Both control and salt-stressed seedlings were subjected to three phosphorus concentrations in the nutrient solution: 0.025, 0.250 and 0.500 mM. After 15 days of salt treatment, plants were harvested and leaf area and shoot and root dry mass were measured. The mature leaves were harvested, frozen dried, grounded and used to measure P contents. Leaf P contents were higher in salt-stressed than in control plants for both genotypes. The growth responses to P application in the nutrient solution were different in control and salt-stressed plants. Shoot dry mass of control plants of this genotype raised 34, 0% when the P concentration in nutrient solution was increased from 0,025 to 0,500 mM. On the other hand, it was observed a decrease of 5% in shoot dry mass of salt-stressed plants for the same increase in P concentration. The results showed a significant salinity x phosphorus interaction in sorghum plants for all evaluated parameters.

Index terms: *Sorghum bicolor*, salt stress, phosphorus toxicity.

¹ Recebido para publicação em 11/04/2005; aprovado em 22/12/2005.
Trabalho financiado pela FUNCAP

² Eng. Agrônomo, D. Sc., Prof. do Dep. Engenharia Agrícola, CCA/UFC, Caixa Postal 12.168, CEP 60.201-970, Fortaleza, CE, cfeitosa@ufc.br

³ Eng. Agrônomo, Fortaleza, CE.

⁴ Eng. Agrônomo, Ph. D., Prof. do Dep. de Bioquímica e Biologia Molecular, CC/UFC, Fortaleza, CE, jtprisco@superig.com.br, egomesf@ufc.br

⁵ Eng. Agrônomo, D. Sc., Pesq. da Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza, CE, marlos@cnpat.embrapa.br

Introdução

O sorgo (*Sorghum bicolor*) é uma espécie vegetal considerada moderadamente tolerante à salinidade e está entre as espécies cultivadas que possuem genótipos com diferentes graus de tolerância ao estresse salino. Seleções de materiais genéticos de sorgo forrageiro, visando à tolerância à salinidade, têm sido feitas quanto a sua adaptabilidade em condições salinas no campo (Fernandes et al., 1994), ao crescimento de plantas em solução nutritiva em casa de vegetação (Silva et al., 2003a) e ao crescimento foliar de plantas cultivadas em solução nutritiva em condições controladas (Lacerda et al., 2003).

As reduções no crescimento estão associadas aos efeitos osmóticos, tóxicos e nutricionais provocados pelo excesso de sais no solo (Munns, 2002). No entanto, a predominância do tipo de efeito que pode explicar a redução no crescimento das plantas é motivo de muita controvérsia entre os pesquisadores (Greenway & Munns, 1980; Bernstein et al., 1995). Em geral, a salinização dos solos ocorre com a acumulação de determinadas espécies iônicas, como os cátions Na^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} e os ânions Cl^- e SO_4^{2-} . No caso específico do Nordeste Brasileiro, a maioria dos solos afetados por sais nos perímetros irrigados pertence à subordem Neossolos Flúvicos, onde predominam os sais de sódio, principalmente o NaCl (Coelho, 1983; Fernandes, 1993; Oliveira, 1997). A predominância de Na^+ e Cl^- no meio de crescimento, além de causar toxidez, quando se acumulam nos tecidos vegetais, acarreta mudanças na capacidade da planta para absorver, transportar e utilizar os íons necessários ao seu crescimento. Por exemplo, foram observados acúmulos de fósforo nas folhas de plantas de milho (Maas & Grieve, 1987), arroz (Andrade, 1989), tomate (Awad et al., 1990) e de feijão-de-corda (Lacerda, 1995; Silva et al., 2003b) submetidas a estresse salino.

Os resultados sobre o acúmulo de fósforo nas folhas de plantas estressadas evidenciam a necessidade de cautela no caso de adubação fosfatada em meio salino. É possível que o nível ótimo do nutriente para a produção vegetal, na ausência de sais, possa ser tóxico para algumas plantas quando cultivadas em meio salino (Nieman & Clark, 1976; Grattan & Maas, 1984). Portanto, o objetivo do presente trabalho foi avaliar o crescimento, os teores de P e a interação P x salinidade em genótipos de sorgo forrageiro.

Material e Métodos

O experimento foi conduzido na casa de vegetação do Departamento de Bioquímica e Biologia Molecular, si-

tuado no Campus do Pici (UFC), Fortaleza, Ceará, Brasil. Sementes dos dois genótipos de sorgo forrageiro (*Sorghum bicolor* (L) Moench), um tolerante (CSF 20) e um sensível (CSF 18), foram obtidas do banco de germoplasma da Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária (IPA). As sementes, após serem selecionadas quanto ao tamanho e a forma, foram esterilizadas superficialmente com solução de hipoclorito de sódio 2%, durante 10 minutos. Após lavadas em água corrente e destilada, foram colocadas para germinar em vermiculita em casa de vegetação.

Sete dias após a semeadura, as plântulas foram selecionadas com base no critério de uniformidade e transferidas para bandejas de 10 litros contendo solução nutritiva de Clark (Clark, 1975) com metade de sua concentração, pH 5,5, sendo mantidas em casa de vegetação, com o sistema hidropônico sob aeração contínua. O volume da solução foi mantido pela adição diária de água destilada. Após sete dias de adaptação a estas condições, as plântulas foram transferidas para vasos de 3 litros (uma planta/vaso) contendo a mesma solução e sob as mesmas condições.

O experimento foi montado seguindo-se um delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial (2 genótipos x 2 níveis de sais x 3 doses de P) e utilizando-se quatro repetições. Foram utilizados um tratamento controle (sem adição de NaCl) e um tratamento salino (com NaCl a 72 mM), sendo este último obtido pela adição parcelada de NaCl na proporção de 24 mM a cada 48 horas. Os níveis de fósforo utilizados foram 0,025; 0,250 e 0,500 mM, aplicados na forma de KH_2PO_4 desde o início da adição do NaCl. As soluções nutritivas foram trocadas a cada cinco dias e o pH foi ajustado diariamente para 5,5, utilizando-se NaOH ou HCl, ambos na concentração 0,1 N. A concentração de K foi ajustada para 2,0 mM, utilizando-se KH_2PO_4 e KCl.

Após 15 dias do início da adição dos sais foram coletadas amostras de limbos foliares de folhas completamente maduras, as quais foram liofilizadas, pesadas e finamente moídas para determinação dos teores de P. Em seguida, as plantas foram colhidas, medindo-se a área foliar (LI – 3100, Area Meter, Li-Cor., Inc., Lincoln, Nebraska, USA) e as matérias frescas das raízes e da parte aérea. O material colhido foi colocado para secar em estufa, com circulação forçada de ar, a 60°C, para obtenção das massas secas das raízes e da parte aérea.

Utilizando-se os dados de crescimento, calculou-se o índice de tolerância à salinidade (IT) para cada nível de P, de acordo com a seguinte fórmula:

$$IT = \frac{\text{Pr produção no tratamento salino}}{\text{Pr produção no tratamento controle}} \times 100$$

Para determinação dos teores de P, amostras de cerca de 500 mg de limbos foliares liofilizadas, finamente moídas, foram submetidas à digestão nítrico-perclórica e nos extratos resultantes foram determinados os teores P por colorimetria, de acordo com Malavolta et al. (1989).

Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), utilizando-se o programa SAEG (Sistema de Análises Estatísticas e Genéticas), desenvolvido pela Universidade Federal de Viçosa.

Resultados e Discussão

As variáveis de crescimento analisadas foram influenciadas pelo genótipo, pela salinidade e pelas concentrações de P na solução nutritiva (Tabela 1). Também foram verificadas interações significativas entre genótipo e nível de sais e entre fósforo e salinidade para as variáveis estu-

dadas, o que confirma resultados obtidos com outras espécies (Nieman & Clark, 1976; Lacerda et al., 2001). Por outro lado, não foram observadas interações significativas entre genótipo e concentração de fósforo, exceto para o índice de tolerância da parte aérea (IT_{PA}).

Os teores de P nas folhas aumentaram de acordo com a sua concentração na solução nutritiva, tanto nas plantas controle como nas plantas submetidas a estresse salino (Figura 1). No entanto, os teores de P foram maiores nas folhas das plantas estressadas dos dois genótipos, principalmente nas concentrações maiores desse nutriente na solução nutritiva. Os maiores teores de P nas folhas de plantas estressadas com NaCl pode ser consequência do aumento na absorção desse nutriente pelas raízes, como sugerido por Roberts et al. (1984) e Navarro et al. (2001). Entretanto, não se pode descartar um possível efeito de concentração devido à redução do crescimento foliar ou às diferenças na distribuição desse elemento entre as diferentes partes da planta (Silva et al., 2003b).

Tabela 1 - Resumo da análise de variância com os quadrados médios, os níveis de significância e os coeficientes de variação (CV) para as variáveis estudadas

Variáveis	Quadrado Médio						CV (%)
	Genótipo	Nível de sal	Fósforo	Gen x sal	Gen x P	Sal x P	
MSPA ¹	0,70**	15,86**	0,69**	0,63**	0,11 ns	0,22*	9,1
MSR	0,49**	0,81**	0,44**	0,07*	0,01 ns	0,08**	7,9
MSPA/MSR	0,46*	3,38**	2,81**	0,01 ns	0,14 ns	0,36**	11,2
AF	6,94**	100,5**	4,51**	2,48**	0,67 ns	1,47*	6,8
IT_{PA}	489,8**		166,3**		207,9**		5,9
IT_R	227,6**		429,8**		53,4 ns		4,9
P	0,22*	2,1**	19,2**	0,13*	0,16*	0,26*	8,5

¹ MSPA = matéria seca da parte aérea (g), MSR = matéria seca das raízes (g), MSPA/MSR = relação parte aérea raiz, AF = área foliar (dm²), IT_{PA} = índice de tolerância da parte aérea (%), IT_R = índice de tolerância das raízes (%); *Significativo pelo teste F a 5%; **Significativo pelo teste F a 1%; ns = não significativo.

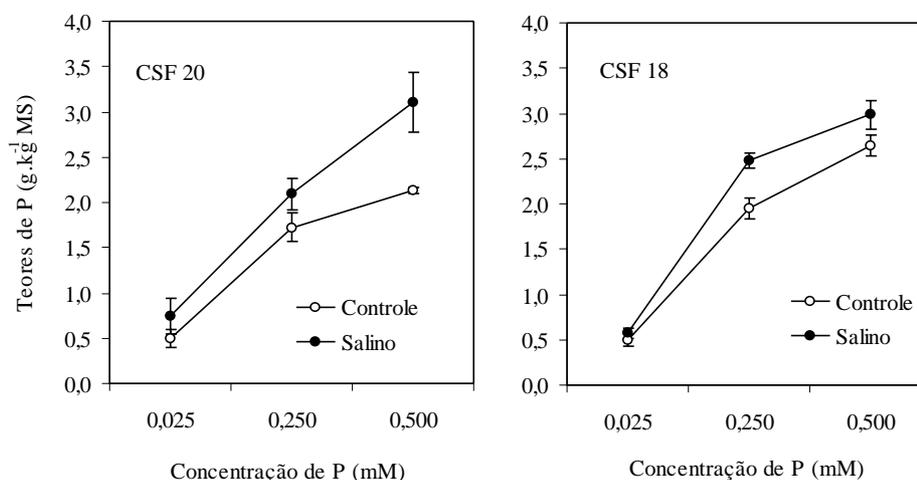


Figura 1 - Teores de P em folhas de dois genótipos de sorgo cultivadas na ausência (controle) ou presença de NaCl a 72 mM, em função da concentração de fósforo na solução nutritiva. As barras verticais representam os desvios padrões da média.

A salinidade reduziu o crescimento das plantas dos dois genótipos de sorgo, sendo que as maiores reduções foram observadas no crescimento da parte aérea (Figura 2), indicando a maior sensibilidade dessa parte da planta ao estresse salino (Greenway & Munns, 1980; Lacerda et al, 2001). Considerando a média das inibições nos três níveis de P na solução nutritiva, a salinidade reduziu o crescimento da parte aérea em 33,3 e 44,0% nos genótipos CSF 20 e CSF 18, respectivamente. Para as raízes, essas reduções foram de 17,3 e 24,0% nos genótipos CSF 20 e CSF 18, respectivamente.

Comparando-se os diferentes níveis de fósforo, observa-se que as porcentagens de redução no crescimento da parte aérea do genótipo CSF 20 provocadas pela salinidade aumentaram com o aumento de P na solução nutritiva (Figura 2). Isso se deveu ao fato de que as plantas controle responderam positivamente à aplicação de P na solução nutritiva, ao passo que as plantas estressadas não

responderam à aplicação de P e tiveram inclusive um pequeno decréscimo no crescimento no nível mais elevado desse elemento essencial. Comparando-se a maior com a menor concentração de P na solução nutritiva verifica-se que as plantas controle do genótipo CSF 20 tiveram um incremento na produção de matéria seca de cerca de 34,0%. Por outro lado, as plantas estressadas embora tenham apresentado um ligeiro incremento na dose intermediária de P, apresentaram uma produção 5,0% menor na dose mais elevada em relação à menor dose de P.

O aumento nos teores de P nas folhas (Figura 1) pode ter contribuído para o incremento na produção de matéria seca da parte aérea verificado nas plantas controle do genótipo CSF 20 (Figura 2). Por outro lado, o maior acúmulo de P nas folhas das plantas estressadas não favoreceu e pode ter contribuído para a inibição do crescimento das plantas desse genótipo verificada no nível mais elevado de P na solução nutritiva. Este resultado sugere que,

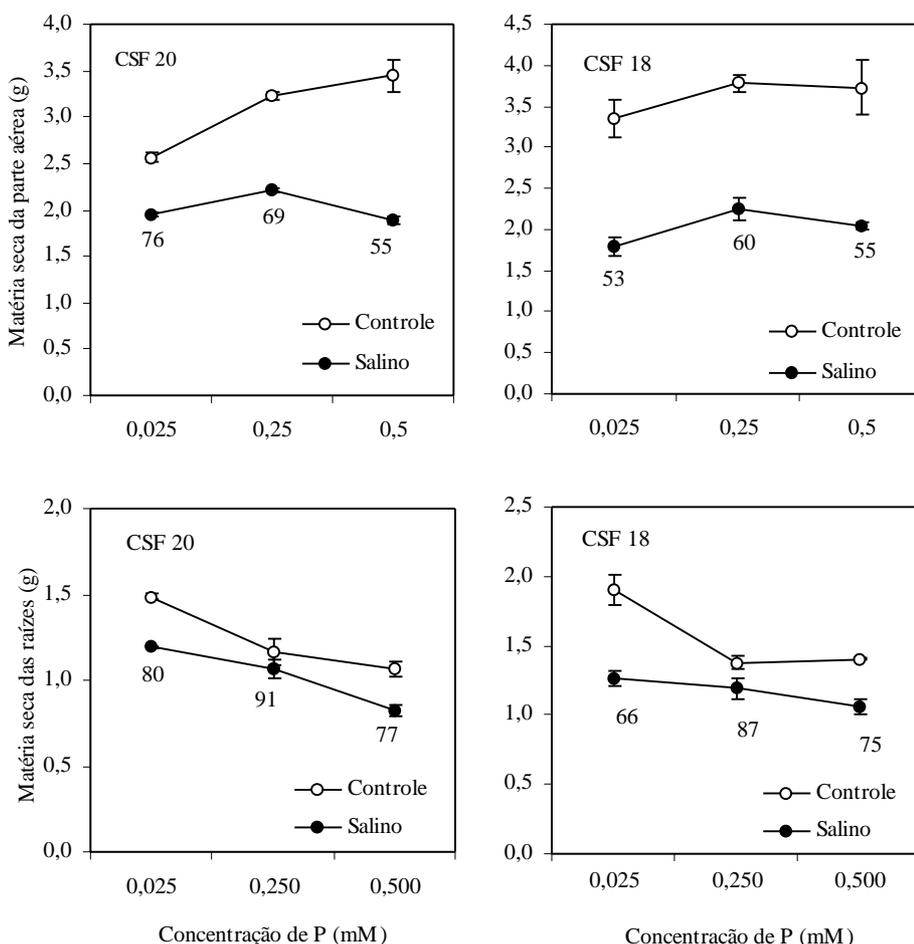


Figura 2 - Matéria seca da parte aérea e matéria seca das raízes de plantas de dois genótipos de sorgo cultivadas na ausência (controle) ou presença de NaCl a 72 mM, em função da concentração de fósforo na solução nutritiva. Valores entre parêntese representam os índices de tolerância da parte aérea e do sistema radicular. As barras verticais representam os desvios padrões da média.

diferente das plantas controle, as plantas estressadas desse genótipo podem crescer com níveis mais baixos de P no meio nutritivo e que níveis supra-ótimos desse nutriente podem ser alcançados mais rapidamente em plantas submetidas a estresse salino do que em plantas cultivadas em meio não salino (Nieman & Clark, 1976; Roberts et al., 1984; Marschner, 1995).

As percentagens de redução do crescimento da parte aérea do genótipo CSF 18 foram elevadas e pouco variaram em função dos níveis de P na solução nutritiva (Figura 2). Esse resultado é um indicativo de que, diferente do genótipo CSF 20, as plantas controle e estressadas do genótipo CSF 18 responderam de maneira semelhante aos níveis desse elemento na solução nutritiva. É importante destacar, ainda, que no nível mais elevado de P, os dois genótipos mostraram o mesmo grau de sensibilidade ao estresse salino, apresentando redução no crescimento da parte aérea de cerca de 45,0%. Resultados semelhantes foram obtidos com relação à da área foliar (dados não mostrados). Por outro lado, o crescimento radicular foi inibido pelo incremento na concentração de P na solução nutritiva,

tanto nas plantas controle como nas plantas estressadas dos dois genótipos (Figura 2), podendo representar uma adequação entre o tamanho do órgão responsável pela absorção e a disponibilidade do nutriente no meio de crescimento (Marschner, 1995; Taiz & Zeiger, 2002).

Os diferentes comportamentos do crescimento da raiz e da parte aérea acarretaram alterações na relação parte aérea/raiz, obtida com os dados de produção de matéria seca, sendo que as plantas estressadas dos dois genótipos apresentaram redução média de cerca de 23,0% em relação às plantas controle (Figura 3). De modo contrário, o aumento na concentração de P na solução nutritiva provocou aumento na relação parte aérea/raiz, sendo que os aumentos foram maiores nas plantas controle que nas plantas estressadas. No genótipo CSF 20, o aumento na concentração de P de 0,025 para 0,500 mM provocou aumento na relação matéria seca da parte aérea/matéria seca das raízes de 89,0 e 40,0% nas plantas controles e estressadas, respectivamente. Nas plantas do genótipo CSF 18, esses aumentos foram de 51,0 e 37,0% nas plantas controles e estressadas, respectivamente.

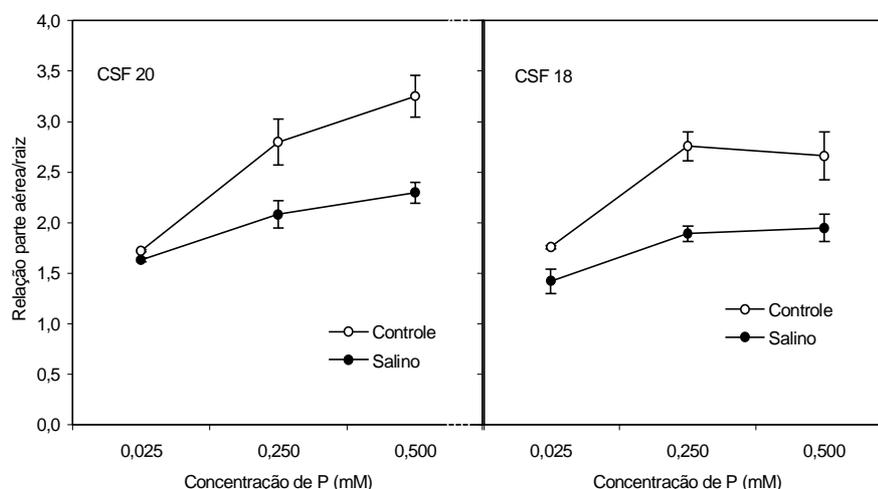


Figura 3 - Relação parte aérea/raiz de plantas de dois genótipos de sorgo cultivadas na ausência (controle) ou presença de NaCl a 72 mM, em função da concentração de fósforo na solução nutritiva. As barras verticais representam os desvios padrões da média.

Conclusões

1. Os teores de P nas folhas foram maiores nas plantas submetidas ao estresse salino e as respostas de crescimento das plantas controle e estressadas diferiram em relação à aplicação de P na solução nutritiva.
2. Os resultados evidenciaram a existência de interação entre salinidade e fósforo em plantas de sorgo, para todas as variáveis analisadas.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Estado do Ceará pelo apoio financeiro para a realização da pesquisa.

Referências Bibliográficas

AYRES, R. S.; WESCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. Tradução de GHEYI, H. R.; MEDEIROS, J. F.;

- DAMASCENO, E. F. A. V. Campina Grande, UFPB, 1999. 153p.
- ANDRADE, S. M. G. **Efeito do Ca na germinação, composição mineral e crescimento de arroz (*Oryza sativa* L.) cultivado em solução de NaCl**. 1989. 94 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas), Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 1989.
- AWAD, A. S.; EDWARDS, D. G.; CAMPBELL, L. C. Phosphorus enhancement of salt tolerance of tomato. **Crop Science**, v.30, p.23-128, 1990.
- BERNSTEIN, N.; SILK, W. K.; LÄUCHLI, A., Growth and development of sorghum leaves under conditions of NaCl stress: possible role of some mineral elements in growth inhibition. **Planta**, v.196, p.699-705, 1995.
- CLARK, R. B. Characterization of phosphatase of intact maize roots. **Journal Agriculture Food Chemistry**, v.23, p.458-460, 1975.
- COELHO, M. A. Aspectos da dinâmica da água em solos sódicos e salino-sódicos. **Ciência Agrônômica**, v.14, p. 61-68, 1983.
- FERNANDES, V. L. B. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado do Ceará**. Fortaleza: UFC, 1993. 248 p.
- FERNANDES, M. B.; CASTRO, J. R.; AQUINO, B. F.; FERNANDES, V. L. B.; ALVES, J. S.; GÓIS, F. C. Avaliação de cultivares de sorgo forrageiro em solos afetados por sais no estado do Rio Grande do Norte. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.29, p.255-261, 1994.
- GRATTAN, S. R.; MAAS, E. V.. Interactive effects of salinity and substrate phosphate on soybean. **Agronomy Journal**, v.76, p.668-676, 1984.
- GREENWAY, H.; MUNNS, R. Mechanisms of salt tolerance in nonhalophytes. **Annual Review Plant Physiology**, v.31, p.149-190, 1980.
- LACERDA, C. F. **Efeitos da salinidade no desenvolvimento e composição mineral do feijão-de-corda (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) e utilização do Ca²⁺ como meio para minorar tais efeitos**. 1995. 87f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 1995.
- LACERDA, C. F.; CAMBRAIA, J.; CANO, M. A. O.; RUIZ, H. A. Plant growth and solute accumulation and distribution in two Sorghum genotypes, under NaCl stress. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v.13, p.270-284, 2001.
- LACERDA, C. F.; CAMBRAIA, J.; CANO, M. A. O.; RUIZ, H. A.; PRISCO, J. T. Solute accumulation and distribution during shoot and leaf development in two sorghum genotypes under salt stress. **Environmental and Experimental Botany**, v.47, p.107-120, 2003.
- MAAS, E. V.; GRIEVE, C. M.. Sodium-induced deficiency in salt-stressed corn. **Plant, Cell and Environment**, v.10, p.559-564, 1987.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. de. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1989. 201p.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2. ed. London: Academic Press, 1995. 889p.
- MUNNS, R. Comparative physiology of salt and water stress. **Plant, Cell and Environment**, v.25, p.239-250, 2002.
- NAVARRO, J. M.; BOTELLA, M. A.; CERDA, A.; MARTINEZ, V. Phosphorus uptake and translocation in salt-stressed melon plants. **Journal of Plant Physiology**, v.158, p.375-381, 2001.
- NIEMAN, R. H.; CLARK, R. A.. Interactive effects of salinity and phosphorus nutrition on the mature photosynthesizing corn leaves. **Plant Physiology**, v.57, p.157-161, 1976.
- OLIVEIRA, M. Gênese, classificação e extensão de solos afetados por sais. In: GHEYI, H. R.; QUEIROZ, J. E.; MEDEIROS, J. F. **Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada**, Campina Grande: UFPB/SBEA, 1997. cap 1, p.1-35.
- ROBERTS, J. K. M.; LINKER, C. S.; BENOIT, A. G.; JARDETZKY, O.; NIEMAN, R. H. Salt stimulation of phosphate uptake in maize root tips studied by ³¹P nuclear magnetic resonance. **Plant Physiology**, v.75, p.947-950, 1984.
- SILVA, J. V.; LACERDA, C. F.; AZEVEDO-NETO, A. D.; COSTA, P. H. A.; PRISCO, J. T.; ENÉAS-FILHO, J.; GOMES-FILHO, E. Crescimento e osmoregulação em dois genótipos de sorgo forrageiro submetidos a estresse salino. **Revista Ciência Agrônômica**, v.33, p.125-131, 2003a
- SILVA, J. V.; LACERDA, C. F.; COSTA, P. H. A.; ENÉAS-FILHO, J.; GOMES-FILHO, E.; PRISCO, J. T. Physiological responses of NaCl stressed cowpea plants grown in nutrient solution supplemented with CaCl₂. **Brazilian Journal Plant Physiology**, v.15, p.99-105, 2003b.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant physiology**. 3.ed. California: Sinauer Associates, 2002. 690p.