

Alterações químicas de dois solos irrigados com água salina¹

Chemical changes in two soils irrigated with saline water

Giovanni de Oliveira Garcia², Sebastião Martins Filho³, Edvaldo Fialho dos Reis⁴,

Willian Bucker Moraes⁵ e Aline de Azevedo Nazário⁶

Resumo - Com objetivo de determinar os efeitos da irrigação com água salina sobre as características químicas de um Neossolo e um Latossolo cultivados com 30 genótipos de feijoeiro em caixas de polietileno em casa de vegetação, foi conduzido um experimento seguindo um delineamento inteiramente casualizado, em arranjo fatorial (5×2) com cinco níveis de salinidade da água de irrigação (0,1; 2,5; 5,0; 7,5 e 10,0 dS m⁻¹), dois solos e três repetições. Após a retirada das plantas, foram coletadas de cada caixa amostras de solo que foram encaminhadas para laboratório para a determinação do pH, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, sódio, alumínio, H+Al, soma de bases, CTC total e efetiva, saturação por bases e por alumínio, porcentagens de potássio, cálcio, magnésio e sódio trocáveis, relação cálcio/magnésio bem como a razão de adsorção de sódio e a condutividade elétrica do extrato da pasta de solo saturado. A aplicação de água salina, bem como o aumento da salinidade da água de irrigação nos dois solos, aumentou a disponibilidade de cálcio e sódio trocáveis, bem como os valores da soma de bases, CTC total e efetiva, saturação por bases, porcentagens de cálcio e sódio trocáveis, salinidade do solo, razão de adsorção de sódio e as relações cálcio/magnésio e da porcentagem de sódio trocável com a razão de adsorção de sódio. Por outro lado, as porcentagens de potássio e magnésio trocáveis diminuíram enquanto que a disponibilidade de potássio e magnésio trocáveis, os valores de alumínio, H+Al e a saturação por alumínio não foram afetados.

Palavras-chave: Irrigação. Salinidade. Solo.

Abstract – The objective of this work was to determine the effects of the irrigation with saline water over the chemical characteristics of a Neossol and a Latossol cultivated with 30 bean plants genotypes in boxes of polyethylene in a greenhouse environment. It was used a completely randomized design with factorial arrangement (5×2), five levels of irrigation salinity water (0,1; 2,5; 5,0; 7,5 and 10,0 dS m⁻¹), two soils and three replicates. After removing the plants, soils were collected from each box and samples were sent to the laboratory for the determination of pH, phosphorus, potassium, calcium, magnesium, sodium, aluminum, H+Al, sum of bases, total and effective CTC, saturation by bases and aluminum, potassium, calcium, magnesium and sodium exchangeable percentages, calcium/magnesium relation as well as the ratio of sodium adsorption and the electric conductivity of the paste extract of the saturated soil. The application of saline water, as well as the enhanced of irrigation salinity water in the two soils increased the availability of calcium and exchangeable sodium, and the values of the sum of bases, total and effective CTC, saturation by bases, percentages of calcium and exchangeable sodium, soil salinity, ratio of sodium adsorption, calcium/magnesium relation and exchangeable sodium percentage with the ratio of sodium adsorption. On the other hand, the potassium percentages and exchangeable magnesium decreased while the potassium availability and exchangeable magnesium, the aluminum values, H+Al and the saturation by aluminum were not affected.

Key words: Irrigation. Soil. Salinity.

¹ Recebido para publicação em 21/06/2007; aprovado em 03/09/2007

² Eng. Agrônomo, D. Sc., Prof. do Depto. de Engenharia Rural, CCAUFES, Alegre, ES, giovanni@cca.ufes.br

³ Eng. Agrônomo, D. Sc., Prof. do Depto de Informática, UFV, Viçosa, MG, smartins@ufv.br

⁴ Eng. Agrícola, D. Sc. Prof. do Depto de Engenharia Rural, CCAUFES, Alegre, ES, edreis@cca.ufes.br

⁵ Eng. Agrônomo, Mestrando em Produção Vegetal, CCAUFES, Alegre, ES, moraeswb@hotmail.com

⁶ Acadêmica de agronomia, Aluno de IC, Depto de Engenharia Rural, CCAUFES, Alegre, ES, aline_nazario@yahoo.com.br

Introdução

A escolha do método de irrigação a ser implantado na área cultivada deve ser baseado na viabilidade técnica e econômica do projeto, benefícios sociais, tipo de solo, quantidade, qualidade e o custo da água (BERNARDO et al., 2005).

A utilização na irrigação de águas com elevadas concentrações de sais deve ser seguida de práticas que impeçam a acumulação excessiva de sais no solo em níveis prejudiciais ao desenvolvimento das culturas. A lixiviação, passagem de água através do perfil do solo, é uma alternativa prática e eficiente para reduzir o excesso de sais solúveis nos solos, a uma taxa que permite manter a salinidade média na zona radicular em valores toleráveis às culturas (RHOADES et al., 1999).

A concentração elevada de sais no solo é um fator de estresse para as plantas, pois acarreta um gradiente osmótico retendo água, além de promover a ação dos íons no protoplasma. Um estresse salino progressivo acarreta a inibição dos mecanismos de crescimento das plantas, o desenvolvimento da gema apical é afetada, os ramos ficam atrofiados, as folhas apresentam-se com menor área e amareladas e grandes porções da parte aérea dessecam totalmente (MARSCHNER, 1995).

O efeito da irrigação com água salina sobre o solo varia em função do sistema que está sendo utilizado na aplicação de água. Os métodos de irrigação afetam a eficiência de aplicação da água e a salinidade, enquanto os sistemas por inundação e aspersão são projetados de forma que distribuam a água uniformemente sobre toda a área irrigada, produzindo um perfil de salinidade, no qual a maior parte dos sais se acumula na parte inferior da zona radicular. Em contraste com os sistemas por inundação e aspersão, os sistemas por sulco e por gotejamento aplicam água somente em parte do terreno.

Na irrigação por gotejamento os sais se acumulam na periferia do bulbo molhado do solo. Nos sistemas de irrigação por aspersão quando a irrigação é realizada com água com elevado teor de sódio, esse íon se acumula nos primeiros centímetros de profundidade, em conseqüência, ocorre a dispersão dos agregados em partículas muito pequenas que obstruem os poros do solo.

O impacto das gotas de água no solo desagrega as partículas superficiais, criando ou agravando os problemas de infiltração e produzindo escoamento superficial e, dessa

forma, diminui a infiltração da água no solo, causando um déficit hídrico à cultura (AYERS; WESTCOT, 1999).

Dessa forma, concentrações elevadas de sais na água de irrigação pode ser um fator determinante na produtividade e na produção das culturas. Sua ação pode ir além de uma simples diminuição no potencial hídrico do solo até uma injúria celular causada por um estresse oxidativo na planta. Portanto, o aproveitamento de água salina para o uso agrícola implica compatibilizar a produção da cultura com um estresse salino progressivo. O estresse salino, induzido por manejo, é um fator progressivo de distúrbios fisiológicos nas plantas que afeta, em última instância, a produção. As possibilidades de atenuar as perdas na agricultura decorrentes desses estresses são uma dessalinização do solo via lixiviação e emprego de culturas sabidamente resistentes ao sal.

Este estudo objetivou avaliar o efeito da irrigação com água salina em dois tipos de solos utilizados no cultivo de feijoeiro sob estresse salino em casa de vegetação.

Material e Métodos

O trabalho foi conduzido em caixas de polietileno com capacidade de 15 L, em casa de vegetação no Campus do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo (CCAUFES), Alegre – ES, com coordenadas geográficas de 20° 45' de latitude Sul, 41° 28' de longitude Oeste e altitude de 150 m.

Cada caixa de polietileno era provida de um sistema de drenagem de fundo o qual era ligado a um dispositivo para a coleta do efluente. Os solos utilizados no experimento foram coletados nos perfis naturais de um Latossolo Vermelho e um Neossolo Flúvico existentes na área experimental do CCAUFES.

A caracterização físico-química dos solos (Tabela 1) foi feita nos laboratórios de Análise de Rotina do Departamento de Produção Vegetal do CCAUFES. As análises químicas constituíram na determinação dos teores de P disponível, K, Ca, Mg, Na, Al trocável, H+Al, CTC efetiva, CTC total, pH, saturação de bases. Na análise física do solo, foi efetuada a determinação da análise granulométrica (EMBRAPA, 1997).

O estudo das alterações das características químicas dos solos decorrentes da irrigação com água salina foi feito após o término de um experimento com 30 genótipos

Tabela 1 – Características físico-químicas do solo utilizado no preenchimento das bandejas

Característica	Solo	
	Neossolo	Latossolo
Areia (%)	0,40	0,26
Silte (%)	0,20	0,34
Argila (%)	0,40	0,40
pH em água	6,17	5,73
Na ⁺ (mg dm ⁻³)	5,09	4,33
P (mg dm ⁻³)	3,30	6,01
K ⁺ (mg dm ⁻³)	80,33	25,67
Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	1,60	0,97
Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	1,00	0,83
Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,00	0,00
H+Al (cmol _c dm ⁻³)	0,83	0,77
Soma de Bases (cmol _c dm ⁻³)	2,83	1,90
CTC efetiva (cmol _c dm ⁻³)	2,83	1,90
CTC total (cmol _c dm ⁻³)	3,67	2,70
Saturação por alumínio (%)	0,00	0,00
Saturação por bases (%)	77,57	70,90
Salinidade do solo (dS m ⁻¹)	0,04	0,06
Porcentagem de sódio trocável (%)	1,09	1,85

de feijoeiro cultivados sob níveis crescentes de salinidade que foi conduzido no delineamento inteiramente casualizado, no arranjo fatorial 5×2 (cinco níveis de salinidade da água de irrigação e dois tipos de solos) com três repetições. Os níveis de salinidade da água de irrigação constituíram-se na condutividade elétrica de 0,10; 2,5; 5,0; 7,5; e 10,0 dS m⁻¹.

A água salina utilizada nas irrigações foi preparada em reservatórios com capacidade de 60 L mediante a adição de NaCl e CaCl₂ em quantidades necessárias para se obter a condutividade elétrica mencionadas anteriormente e uma relação iônica, em peso, equivalente a 3Na:2Ca, relação essa predominante nas águas salinas utilizadas na irrigação no nordeste do país, conforme citado por Silva Junior (1999).

Dos genótipos de feijoeiro utilizados no experimento preliminar alguns foram resgatados em pequenas comunidades de agricultores familiares do Sul do Estado

do Espírito Santo e outros foram obtidos do banco de germoplasma de genótipos comerciais da Instituição.

As sementes foram postas para germinar em recipientes do tipo “gerbox”, forrados com papel mata-borrão e umedecidos em água destilada. Aos cinco dias após a germinação, as plântulas foram transferidas para as respectivas unidades experimentais compostas de bandejas de polietileno. Em cada bandeja foram colocadas três plântulas de cada cultivar, ficando o sistema radicular imerso no substrato salino conforme cada tratamento, sendo que a coleta dos materiais foi feita aos 25 dias após transplantio.

Durante o período experimental, cada bandeja foi irrigada diariamente com água salina correspondente ao seu tratamento de forma a manter o solo sempre próximo à capacidade de campo.

Após a retirada das plântulas de feijoeiro das bandejas, amostras de solo de cada bandeja foram retiradas de forma homogênea que, depois de identificadas, foram encaminhadas ao laboratório de Análise de Solo do Departamento de Produção Vegetal do CCAUFES para a determinação das análises de rotina segundo a metodologia da Embrapa (1997).

Foram determinadas também a condutividade elétrica do extrato da pasta de solo saturado, a razão de adsorção de sódio (RAS), as porcentagens de sódio, potássio, cálcio e magnésio trocáveis e a relação entre a porcentagem de sódio trocável e a RAS. O extrato da pasta de solo saturado foi obtido conforme descrito por Ruiz (2003) e a condutividade elétrica foi determinada por leitura direta, na solução extraída, com auxílio de um condutímetro.

A RAS (mmol_c L⁻¹)^{1/2} foi determinada pela relação:

$$RAS = \sqrt{\frac{Na^+}{\frac{(Ca^{2+} + Mg^{2+})}{2}}}$$

Em que as concentrações dos íons de Na⁺, Ca²⁺ e Mg²⁺ são em mmol_c L⁻¹.

Os dados foram analisados por meio de análise de variância, regressão e teste de média de modo a analisar o contraste entre a irrigação com água doce e a água salina.

Resultados e Discussão

A aplicação da água salina diminuiu o valor do pH apenas no Neossolo (Figura 1A) apresentou uma relação quadrática, diminuindo seus valores com o aumento da salinidade da água de irrigação. Por outro lado, o Latossolo permaneceu com valores próximos a 5,31 (Tabela 3). Segundo Brady (1989) o decréscimo nos valores do pH, com a aplicação de água salina, pode ser atribuído à adição de CaCl_2 ao solo via água de irrigação, resultando, assim, no aumento da concentração dos íons de H^+ na solução do solo.

Na Tabela 2, estão apresentadas as equações ajustadas que relacionam o pH, fósforo, potássio e cálcio em função da salinidade da água de irrigação no Latossolo e Neossolo.

Em adição a esse trabalho, Santana et al. (2003) observaram que o aumento da salinidade da água de irrigação na cultura do feijoeiro diminuiu os valores do pH. Do mesmo modo, Freitas et al. (2007) observaram que os valores do pH em um Latossolo Amarelo Distrófico e um Espodosolo Cárbico Hidromórfico diminuíram com o aumento da salinidade da água de irrigação. Gomes et al. (2000), estudando o comportamento do solo em cultivo de arroz sob inundação em um solo salino-sódico, observaram um decréscimo do valor do pH pelas mesmas razões.

A aplicação de água salina diminuiu a disponibilidade de fósforo apenas no Latossolo, no entanto, no Neossolo a disponibilidade desse elemento não foi afetada e seus valores permaneceram próximos a $3,20 \text{ mg dm}^{-3}$ (Figura 1B). O decréscimo da disponibilidade de fósforo no Latossolo pode ser decorrente da maior

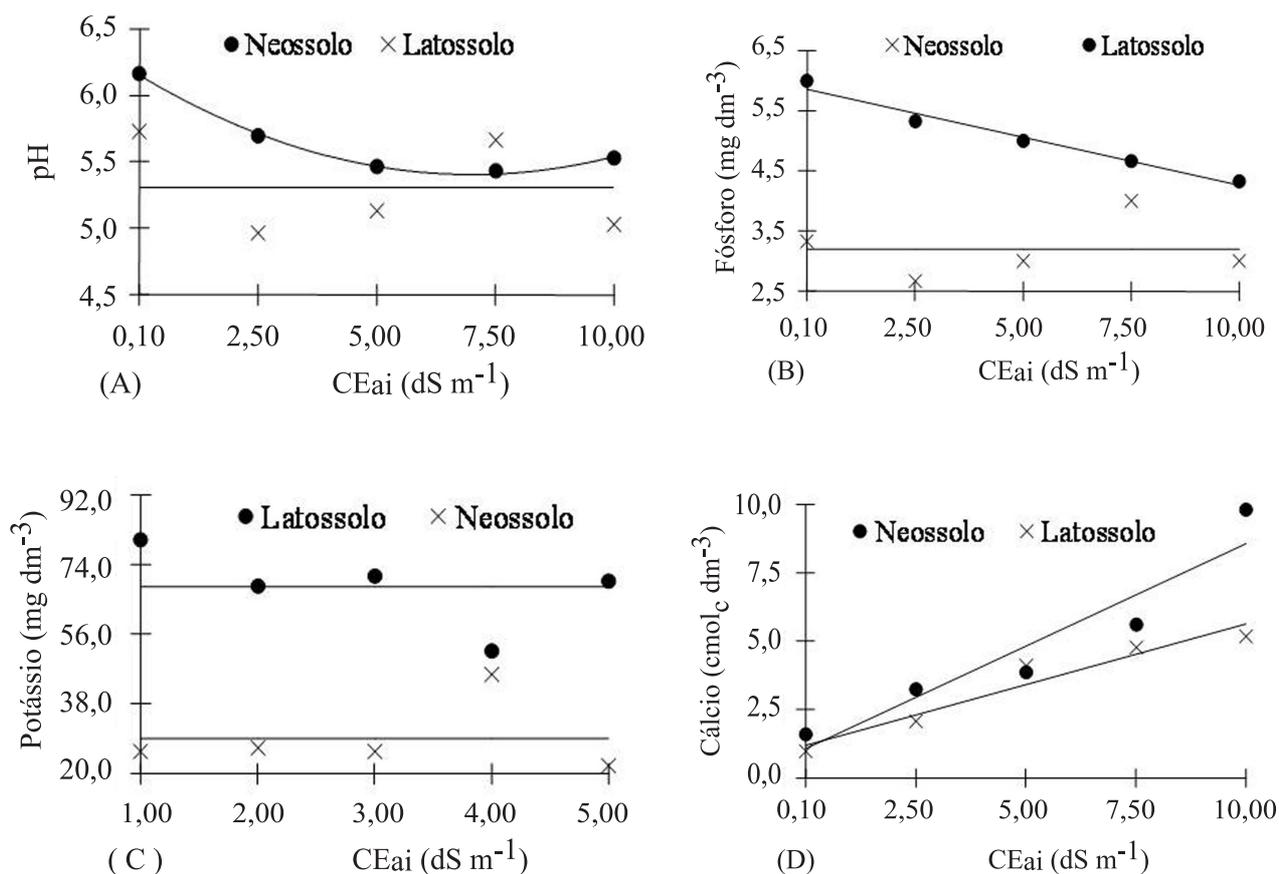


Figura 1 – Curvas de respostas do pH (A), fósforo (B), potássio (C) e cálcio (D) determinados nos solos Neossolo e Latossolo função dos níveis de salinidade da água de irrigação (CEai)

Tabela 2 – Equações ajustadas relacionando-se os valores do pH, fósforo, potássio e cálcio em função da salinidade da água de irrigação (CEai) nos solos estudados após o experimento com os genótipos de feijoeiro

Característica	Solo	Equação	R ²
pH	Neossolo	$w = 6,1761 - 0,2202^{**}CEai + 0,0157^{**}CEai^2$	0,9959
	Latossolo	$w = \bar{y} = 5,31$	-
Fósforo	Neossolo	$w = 3,20$	-
	Latossolo	$w = 5,8752 - 0,1611^{**}CEai$	0,9703
Potássio	Neossolo	$w = 68,20$	-
	Latossolo	$w = 29,13$	-
Cálcio	Neossolo	$w = 1,0172 + 0,7575^{**}CEai$	0,9003
	Latossolo	$w = 1,1685 + 0,4472^{**}CEai$	0,9334

* e ** - significativo a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente

adsorção desse elemento nesse tipo de solo. Segundo Novaes e Smyth (1999), a retenção do fósforo no solo, em formas lábeis ou não, ocorre tanto pela precipitação do P em solução com formas iônicas de Fe, Al e Ca, como, principalmente, de maneira mais significativa, pela sua adsorção pelos oxidróxidos de Fe e de Al, presentes, de modo geral, em maiores quantidades em solos tropicais mais intemperizados, de modo particular nos mais argilosos. Santana et al. (2003) observaram resultados semelhantes em um solo cultivado com feijoeiro irrigado com água salina.

A irrigação com água salina não afetou a disponibilidade de potássio (Figura 1C) e magnésio trocáveis (Figura 2A) bem como a acidez potencial (H + Al) (Figura 2C) nos solos, no entanto, a disponibilidade de cálcio (Figura 1D) e sódio (Figura 2B) aumentou.

Na Tabela 3, estão apresentadas as equações ajustadas que relacionam a concentração de magnésio, sódio, H+Al e soma de bases em função da salinidade da água de irrigação no Latossolo e Neossolo.

Na Figura 1C, nota-se que a disponibilidade de potássio trocável no Neossolo e Latossolo, respectivamente, permaneceram próximos aos valores médios de 68,20 e 29,13 mg dm⁻³, com o aumento da salinidade da água de irrigação. Da mesma forma, a disponibilidade de magnésio (Figura 2A) permaneceu próxima aos valores médios de 0,94 e 0,91 cmol_c dm⁻³ no Neossolo e Latossolo,

respectivamente, e o valor de H + Al (Figura 2C) permaneceu próximo ao valor médio de 1,00 e 0,77 cmol_c dm⁻³, no Neossolo e Latossolo, respectivamente. Corroborando esses resultados, Freitas et al. (2007) observaram que a disponibilidade de potássio, magnésio e os valores de H+Al em dois solos não foram afetados pelo aumento dos níveis de salinidade da água de irrigação.

No que se refere aos valores de cálcio e sódio trocáveis no solo, observa-se nas Figuras 1D e 2B, respectivamente, que o acréscimo da salinidade da água de irrigação aumentou linearmente a concentração desses minerais nos solos, sendo que esse aumento pode ser atribuído à característica das águas salinas utilizadas nas irrigações, pois as mesmas possuíam íons de Ca²⁺ e Na⁺ na sua composição.

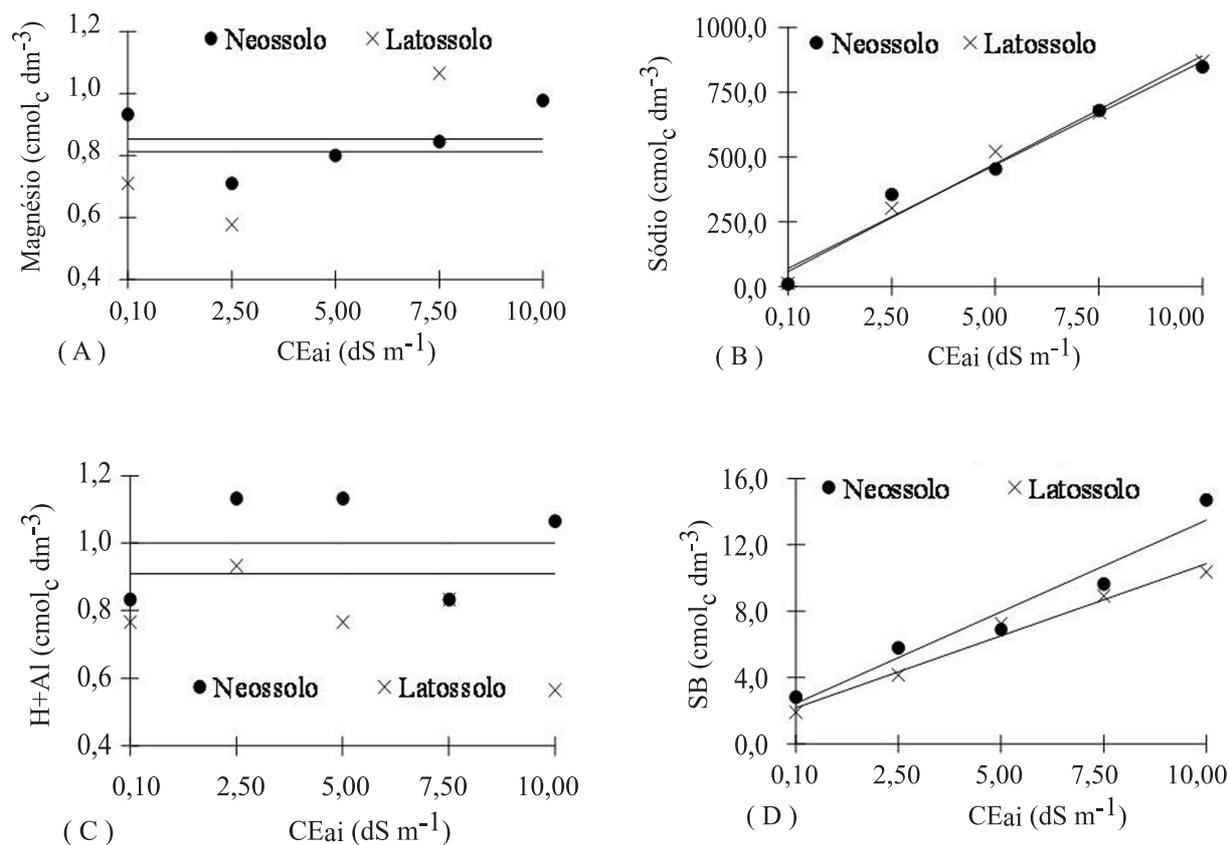
Concordando com os resultados obtidos, Almeida e Gisbert (2003), estudando o efeito da utilização de água de drenagem em diferentes frações de lixiviação em um solo de textura argilosa, encontraram resultados semelhantes. Do mesmo modo, Macedo e Santos (1992), estudando o efeito da aplicação com água salina sobre os solos irrigados na região de Sumé, PB., encontraram resultados semelhantes.

O acréscimo da salinidade da água de irrigação aumentou linearmente os valores da soma de bases, CTC total, efetiva nos solos (Figuras 2D, 3A e 3B, respectivamente), no entanto, a saturação por bases aumentou

Tabela 3 – Equações ajustadas relacionando-se os valores de magnésio, sódio, H+Al e soma de bases em função da salinidade da água de irrigação (CEai) nos solos estudados após o experimento com os genótipos de feijoeiro

Característica	Solo	Equação	R ²
Magnésio	Neossolo	w = =0,94	-
	Latossolo	w = =0,91	-
Sódio	Neossolo	w = 64,6725 + 80,6230**CEai	0,9686
	Latossolo	w = 54,1681 + 84,0303**CEai	0,9836
H+Al	Neossolo	w = =1,00	-
	Latossolo	w = =0,77	-
Soma de bases	Neossolo	w = 2,3906 + 1,1121**CEai	0,9473
	Latossolo	w = 2,1301 + 0,8731**CEai	0,9799

* e ** - significativo a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente

**Figura 2** – Curvas de resposta do magnésio (A), sódio (B), H+Al (C) e soma de bases (D) determinados nos solos Neossolo e Latossolo função dos níveis de salinidade da água de irrigação (CEai)

linearmente no Latossolo e apresentou relação quadrática no Neossolo (Figura 3C). O aumento dos valores da soma de bases CTC total, efetiva, soma e saturação de bases nos solos com a aplicação da água salina devem-se, em parte, ao aumento da disponibilidade de cálcio e sódio (Figura 1D e 2B, respectivamente), pois a água salina possuía em sua composição, esses elementos.

Na Tabela 4, estão apresentadas as equações ajustadas que relacionam os valores da CTC total, CTC efetiva, saturação por bases e a relação Cálcio/Magnésio em função da salinidade da água de irrigação no Latossolo e Neossolo.

Em adição a esse trabalho, Santana et al. (2003) observaram que a irrigação com água salina aumentou os valores da CTC total, efetiva, soma e saturação por bases, em um solo cultivados com feijoeiro. Os autores afirmaram,

ainda, que os menores valores da soma de bases nos tratamentos com níveis menores de água salina evidenciaram uma possível maior absorção de nutrientes pelas plantas de feijoeiro. Em relação ao comportamento crescente da saturação por bases, os autores relataram que o aumento dos níveis de salinidade da água de irrigação ocasionou um menor consumo de água nas plantas em função do maior acúmulo de sais no solo, o que provocou uma menor absorção de nutrientes.

No solo, em condições normais, a quantidade de cátions adsorvidos na micela está em equilíbrio com a fração, que permanece na solução. Com o aumento da salinidade do solo, os cátions anteriormente adsorvidos (Ca^{+2} , Mg^{+2} , etc) podem ser substituídos por outros cátions, introduzidos na solução do solo, em especial o Na^+ . Essa substituição ocorre de forma linear em condições de baixa

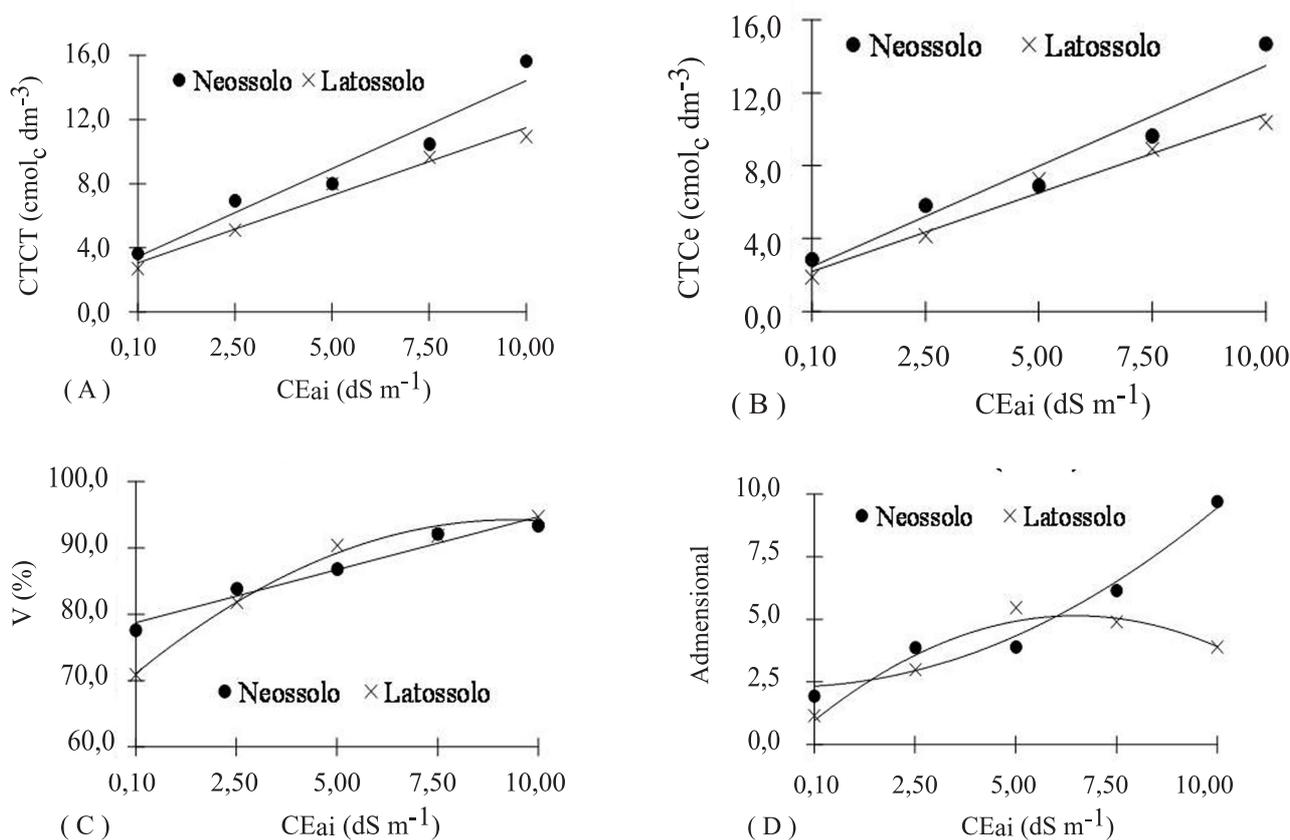


Figura 3 – Curvas de respostas da CTC total (A), CTC efetiva (B), saturação por base (C) e relação Ca/Mg (D) determinados nos solos Neossolo e Latossolo função dos níveis de salinidade da água de irrigação (CEai)

salinidade da solução do solo, reduzindo, exponencialmente, em concentrações mais elevadas, efeito esse retratado na curva de resposta da saturação por bases no Neossolo (Figura 3C).

A irrigação com água salina apresentou uma relação quadrática nos solos estudados aumentando a relação cálcio/magnésio nos mesmos, demonstrando, assim, uma maior adsorção de íons de Ca^{2+} nos sítios de troca (Figura 3D). No entanto, a relação cálcio/magnésio no Latossolo aumentou com o acréscimo dos níveis de salinidade da água de irrigação, porém, no Neossolo, a relação cálcio/magnésio aumentou até próximo ao valor de $5,00 \text{ dS m}^{-1}$.

A importância das relações entre os cátions trocáveis, como Ca^{2+} , Mg^{2+} , no solo tem sido motivo de controvérsias no meio agrônomo brasileiro. Quaggio (2000) fez uma ampla revisão sobre o assunto e a principal conclusão a que chegou é que a relação não tem importância para o crescimento ou produção das plantas. Outros autores mencionam que relações extremas afetam as plantas, mas não se trata de um efeito direto da relação cálcio/magnésio sobre o crescimento ou a produção das culturas, mas sim de deficiências de cálcio ou de magnésio.

Gomes et al. (2003), estudando as características químicas e físicas dos solos do Perímetro Irrigado Califórnia, localizado no noroeste do estado de Sergipe,

constatarem que o aumento da concentração de sais no solo apresentou correlação positiva com a relação cálcio/magnésio. Por sua vez, os autores relataram que o aumento de cálcio e magnésio nos solos poderia ser devido à superaplicação de fertilizantes e ou decorrente da elevação do lençol freático.

Observa-se que a irrigação com água salina diminuiu as porcentagens de potássio e magnésio trocáveis, por outro lado, as porcentagens de cálcio e sódio trocáveis aumentaram (Figuras 4A, 4B, 4C e 4D, respectivamente) nos solos estudados.

Na Tabela 5, estão apresentadas as equações ajustadas que relacionam os valores da porcentagem de potássio, cálcio, magnésio e sódio trocável em função da salinidade da água de irrigação no Latossolo e Neossolo.

A redução das porcentagens de potássio e magnésio e conseqüentemente o aumento do cálcio e sódio trocáveis nos solos, respectivamente, pode ser atribuído ao aumento da concentração de cálcio e sódio (Figuras 1D e 2B, respectivamente) e a não alteração do potássio e o magnésio (Figuras 1C e 2A, respectivamente), pois o excesso de cálcio e sódio em relação ao potássio e magnésio fez com que esses íons fossem adsorvidos menos força nas micelas, ou seja, foram deslocados pelos íons de cálcio e sódio nos sítios de adsorção. Em relação à porcentagem de sódio trocável, Amorim et al. (2002), estudando níveis de salinidade na cultura do alho, Al-

Tabela 4 – Equações ajustadas relacionando-se os valores da CTC total, CTC efetiva, Saturação por bases e Relação Ca/Mg em função da salinidade da água de irrigação (CE_{ai}) nos solos estudados após o experimento com os genótipos de feijoeiro

Característica	Solo	Equação	R ²
CTC total	Neossolo	$w = 3,3719 + 1,1105^{**}\text{CE}_{\text{ai}}$	0,9447
	Latossolo	$w = 3,0258 + 0,8487^{**}\text{CE}_{\text{ai}}$	0,9753
CTC efetiva	Neossolo	$w = 2,3906 + 1,1121^{**}\text{CE}_{\text{ai}}$	0,9473
	Latossolo	$w = 2,1301 + 0,8731^{**}\text{CE}_{\text{ai}}$	0,9799
Saturação por bases	Neossolo	$w = 78,6601 + 1,6095^{**}\text{CE}_{\text{ai}}$	0,9605
	Latossolo	$w = 70,0519 + 5,1123^{**}\text{CE}_{\text{ai}} - 0,2667^{*}\text{CE}_{\text{ai}}^2$	0,9881
Relação Ca/Mg	Neossolo	$w = 1,0501 + 0,7197^{**}\text{CE}_{\text{ai}}$	0,9028
	Latossolo	$w = 0,8475 + 1,3334^{*}\text{CE}_{\text{ai}} - 0,1028^{*}\text{CE}_{\text{ai}}^2$	0,9457

* e ** - significativo a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente

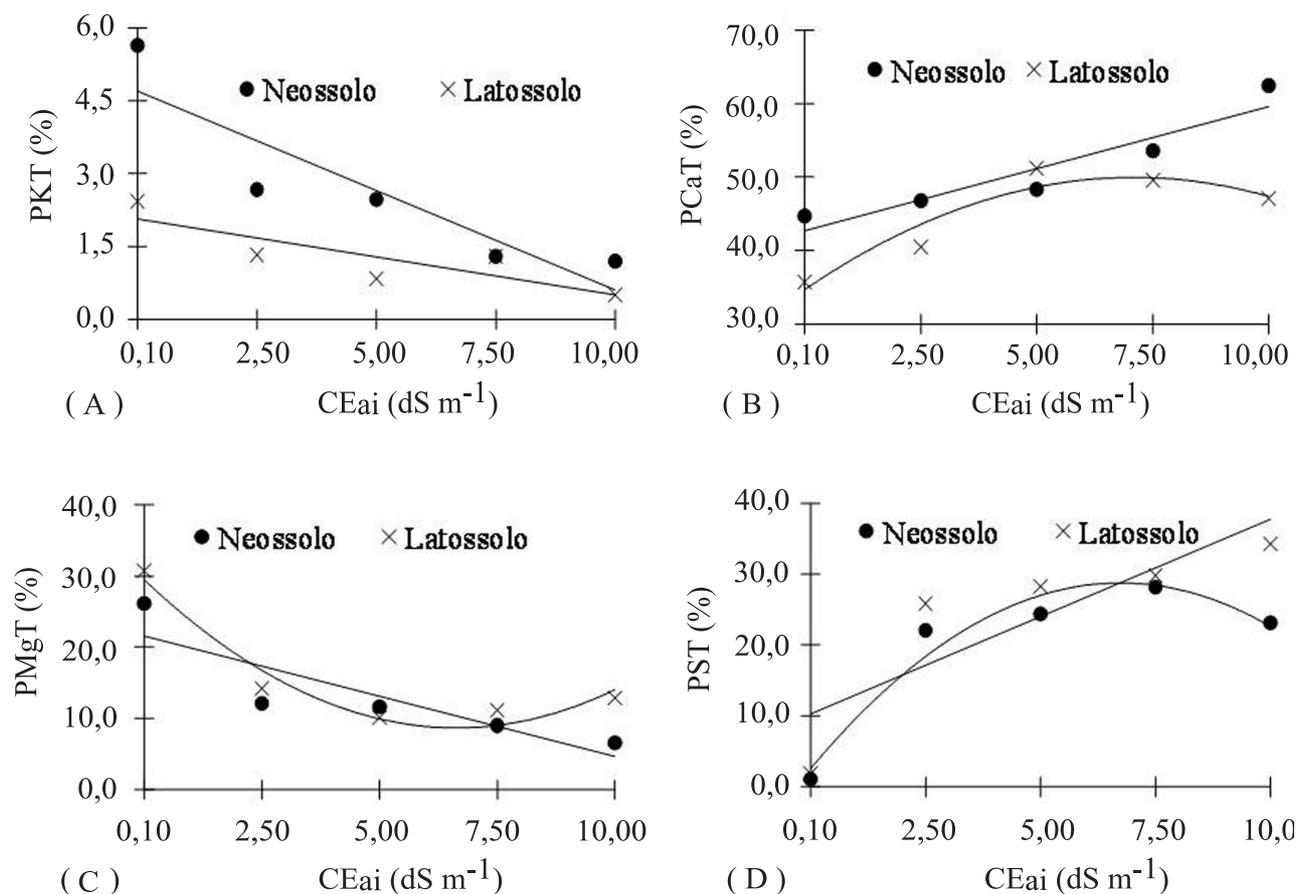


Figura 4 – Curvas de respostas da percentagem de potássio trocável (A), cálcio trocável (B), magnésio trocável (C) e sódio trocável (D) determinados nos solos Neossolo e Latossolo função dos níveis de salinidade da água de irrigação (CEai)

Tabela 5 – Equações ajustadas relacionando-se os valores da percentagem de potássio, cálcio, magnésio e sódio trocável em função da salinidade da água de irrigação (CEai) nos solos estudados após o experimento com os genótipos de feijoeiro

Característica	Solo	Equação	R ²
Porcentagem de potássio trocável	Neossolo	$w = 4,7170 - 0,4119^{**}CEai$	0,8083
	Latossolo	$w = 2,0663 - 0,1566^{**}CEai$	0,7048
Porcentagem de cálcio trocável	Neossolo	$w = 42,6089 + 1,7060^{**}CEai$	0,8888
	Latossolo	$w = 34,2034 + 4,4782^{**}CEai - 0,3169^{*}CEai^2$	0,9034
Porcentagem de magnésio trocável	Neossolo	$w = 21,6443 - 1,6967^{**}CEai$	0,7617
	Latossolo	$w = 30,7031 - 6,4758^{*}CEai + 0,4873^{*}CEai^2$	0,9454
Porcentagem de sódio trocável	Neossolo	$w = 1,8791 + 7,9999^{*}CEai - 0,5928^{*}CEai^2$	0,9439
	Latossolo	$w = 10,1630 + 2,7590^{*}CEai$	0,7194

* e ** - significativo a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente

Nabulsi (2001) e Tedeschi e Dell'Aquila (2005), estudando os efeitos de diferentes níveis de salinidade da água de irrigação sobre as propriedades químicas e físicas em solos de textura argilosa, encontraram resultados semelhantes.

Nas Figuras 5A e 5B, respectivamente, observa-se que o aumento dos níveis de salinidade da água de irrigação aumentou linearmente os valores da salinidade do solo e da razão de adsorção de sódio nos solos, exceto no Neossolo onde a razão de adsorção de sódio apresentou uma relação quadrática na qual seus valores aumentaram até próximo ao valor de $7,5 \text{ dS m}^{-1}$, a partir do qual houve um decréscimo.

O efeito da razão de adsorção de sódio no Neossolo em função do aumento da salinidade da água de irrigação pode ser atribuído pelas mesmas razões da saturação por bases no mesmo tipo de solo (Figura 3C) em particular com

o íons sódio. Como no experimento com os genótipos de feijoeiro não foi utilizada nenhuma prática de controle da salinidade no perfil do solo, a irrigação com água salina nas diferentes e crescentes níveis de salinidade proporcionou o aumento dos valores das características acima citadas, pois a mesma possuía sódio na sua composição.

Na Tabela 6, estão apresentadas as equações ajustadas que relacionam os valores da salinidade do solo e da razão de adsorção de sódio em função da salinidade da água de irrigação e a relação entre a razão de sódio trocável e a razão de adsorção de sódio no Latossolo e Neossolo.

Concordando com este resultado, Al-Nabulsi (2001), Alencar et al. (2003), Tedeschi e Dell'Aquila (2005) e Freitas et al. (2007) encontraram resultado semelhantes.

As Figuras 5C e 5D, mostram, respectivamente no Neossolo e Latossolo, a quantificação, em equilíbrio, da distribuição linear dos íons de sódio na forma trocável

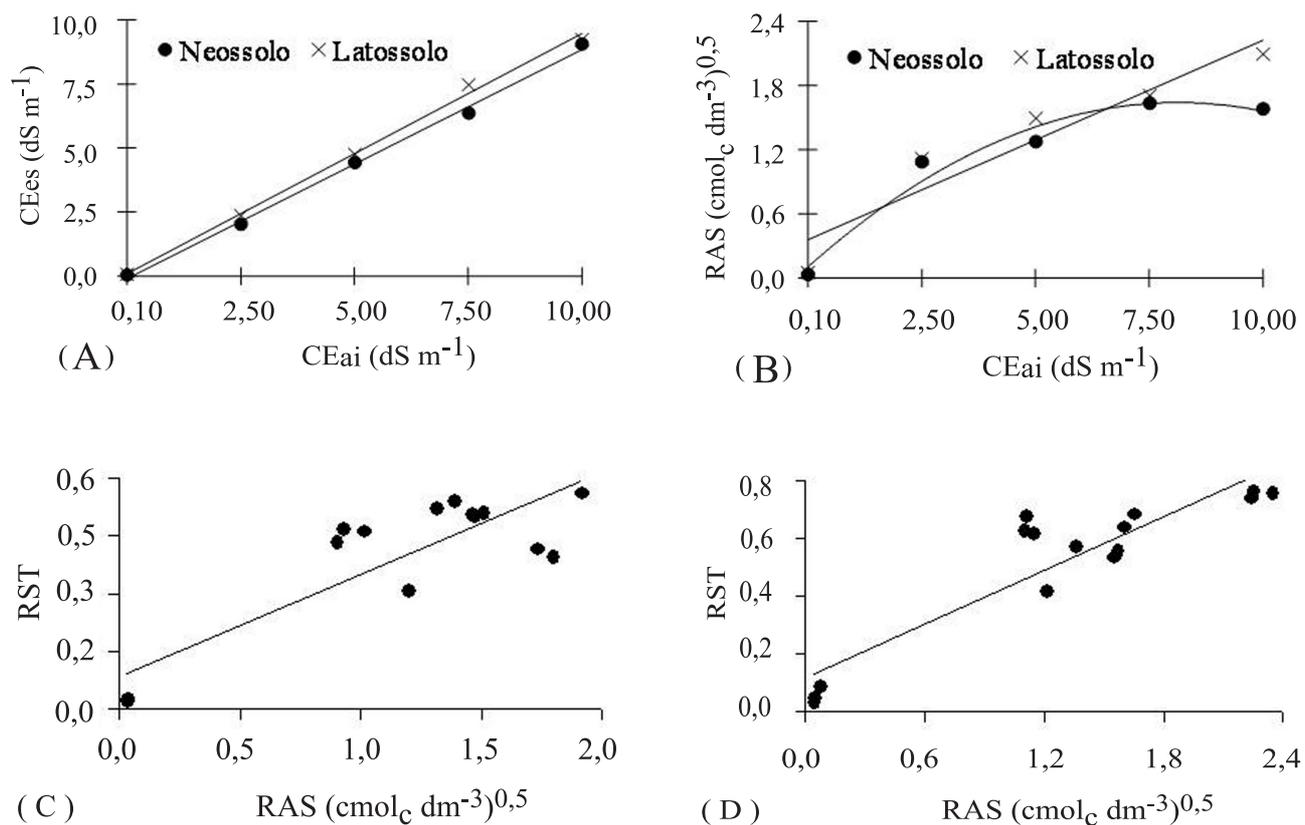


Figura 5 – Curvas de respostas da salinidade do solo (A) e razão de adsorção de sódio (B) determinados nos solos Neossolo e Latossolo em função dos níveis de salinidade da água de irrigação (CEai) e razão de sódio trocável no Neossolo (C) e Latossolo (D) em função da adsorção de sódio (RAS)

Tabela 6 – Equações ajustadas relacionando-se os valores da salinidade do solo e da razão de adsorção de sódio em função da salinidade da água de irrigação (CEai) e da razão de sódio trocável em função da razão de adsorção de sódio nos solos estudados após o experimento com os genótipos de feijoeiro

Característica	Solo	Equação	R ²
Salinidade do solo	Neossolo	$w = -0,1477 + 0,9023^{**}CE_{ai}$	0,9973
	Latossolo	$w = 3,0258 + 0,8487^{**}CE_{ai}$	0,9753
Razão de adsorção de sódio	Neossolo	$w = 0,0701 + 0,3848^{*}CE_{ai} - 0,0236^{*}CE_{ai}^2$	0,9619
	Latossolo	$w = 0,3534 + 0,1857^{**}CE_{ai}$	0,8924
Razão de sódio trocável	Neossolo	$w = 0,0816 + 0,2678^{**}RAS$	0,7552
	Latossolo	$w = 0,1192 + 0,3095^{**}RAS$	0,8386

* e ** - significativo a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente

(adsorvidos) e aqueles em solução. Na Tabela 6 estão apresentadas as equações de quantificam esse equilíbrio. Segundo Ferreira (2001), para pares de cátions de mesma valência, muitas dessas equações têm a mesma forma e conduzem a constantes de equilíbrio satisfatórias. Todavia, resultados descontraídos têm sido obtidos com o emprego de diferentes equações, quando cátions de diferentes valências estão presentes.

O mesmo autor ainda relata que em solos de regiões áridas, o uso de equações de troca de cátions para exprimir a relação entre cátions em solução e cátions adsorvidos envolve dificuldades próprias. Essas dificuldades decorrem da presença de uma mistura de tipos diferentes de argila no solo, além, geralmente, da presença de quatro espécies de cátions.

Conclusões

1. O aumento da salinidade da água de irrigação no Neossolo e no Latossolo aumentou a disponibilidade de cálcio e sódio trocáveis, bem como os valores da soma de bases, CTC total e efetiva, saturação por bases, porcentagens de cálcio e sódio trocáveis, salinidade do solo, razão de adsorção de sódio e as relações cálcio/magnésio e da porcentagem de sódio trocável com a razão de adsorção de sódio;

- Os valores médios do pH e as porcentagens de potássio e magnésio trocáveis diminuíram no Neossolo com o aumento dos níveis de salinidade da água de irrigação enquanto que a disponibilidade de fósforo, potássio, magnésio e os valores de alumínio, H+Al e a saturação por alumínio não foram afetados;
- A disponibilidade de fósforo, as porcentagens de potássio e magnésio trocáveis no Latossolo diminuíram com o aumento dos níveis de salinidade da água de irrigação, enquanto que a disponibilidade de potássio, magnésio e os valores do pH, alumínio, H+Al e a saturação por alumínio não foram afetados.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq pelo apoio financeiro e pelas bolsas de Iniciação Científica e de Pós-doutorado.

Referências

ALENCAR, R. D. et al. Crescimento de cultivares de melão amarelo irrigadas com água salina. *Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental*, Campina Grande, v. 07, n. 02, p. 221-226, 2003.

- ALMEIDA, O. A.; GISBERT, J. M. Efecto de la utilización del agua de drenaje en suelos argilosos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, XII, 2002, Uberlândia. **Resumos...** Uberlândia: ABID, 2002. p. 1-6.
- AL-NABULSI, Y. A. Saline drainage, water, irrigation frequency and crop species effects on soil physical properties. **Journal agronomy & Crop Science**, Berlin, v. 186, p. 15-20, 2001.
- AMORIM, J. R. A. et al. Efeito da salinidade e modo de aplicação da água de irrigação no crescimento e produção de alho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 37, n. 02, p. 167-176, 2002.
- AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. 2. ed. Campina Grande: DEAg/ CCT/UFPB, 1999. 153 p. (Estudos FAO irrigação e drenagem, 29).
- BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 7. ed. Viçosa: Ed.UFV, 2005.
- BRADY, N. C. **Natureza das propriedades dos solos**. 7. ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1989. 218 p.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: CNPS, 1997. 122 p.
- FERREIRA, P. A. **Qualidade de água e manejo água-planta em solos salinos**. Brasília, DF: ABEAS, Viçosa, MG: UFV, 2001. 111 p. (ABEAS. Curso de engenharia e manejo de irrigação. Módulo, 10).
- FREITAS, E. V. S. et al. Alterações nos atributos físicos e químicos de dois solos submetidos à irrigação com água salina. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, João Pessoa, v. 7, n. 1, p. 21-28, 2007.
- GOMES, E. M. et al. Melhorias nas propriedades químicas de um solo salino-sódico e rendimento de arroz, sob diferentes tratamentos. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 3, p. 355-361, 2000.
- MACEDO, L. S. et al. Efeito da aplicação de água salina sobre os solos irrigados na Bacia Sucuru/Sumé, PB. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 27, n.06, p. 915-922, 1992.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plant**. 2. ed. New York: Academy, 1995. 889 p.
- NOVAES, R. F.; SMYTH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. 1. Ed. Viçosa: UFV, 1999. 399 p.
- QUAGGIO, J. A. **Acidez e calagem em solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2000. 111 p.
- RHOADES, J. D.; CHANDUVI, F. LESCH, S. **Soil salinity assessment: Methods and interpretation of electrical conductivity measurements**. Rome: FAO, 1999. 327 p.
- RUIZ, H. A. **Métodos de análises físicas do solo**. Apostila Acadêmica. Programa de Pós-Graduação em solos e nutrição de plantas, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2003.
- SANTANA, M. J. et al. Efeito da irrigação com água salina em um solo cultivado com feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). **Ciência e Agrotecnologia**. Lavras, v. 27, n. 02, p. 443-450, 2003.
- SILVA JUNIOR, L. G. A. et al. Composição química de águas do cristalino do nordeste brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 3, n. 01, p. 11-17, 1999.
- TEDESCHI, A.; DELL'AQUILA, R. Effects of irrigation with saline waters, at different concentrations, on soil physical and chemical characteristics. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 77, p. 308-322, 2005.