

# Enxofre elementar ou sulfato de cálcio para remediação de solos salino-sódicos?<sup>1</sup>

Josinaldo Lopes Araujo<sup>2</sup>, Pedro Jorge da Silva Severo<sup>2</sup>,  
Francisco Tarcísio Cartaxo Lucena<sup>2</sup>, Rafael Guimarães Veriato<sup>2</sup>, Kariolania Fortunato de Paiva<sup>2</sup>

## ABSTRACT

Elementary sulfur or calcium sulfate to the remediation of saline-sodic soils?

The recovery of soils with high salinity and alkalinity requires the use of products that decrease the pH and exchangeable sodium content, in order to improve their fertility. This study aimed at evaluating the effect of calcium sulfate and elementary sulfur on the chemical properties of a soil with high contents of soluble salts and exchangeable sodium. Two experiments were carried out in a greenhouse using samples of a sandy loam saline-sodic soil. In the first experiment, four soil correction treatments (without correction, without correction and washing, corrected with calcium sulfate, and corrected with elementary sulfur) were tested. In the second experiment, five elementary sulfur doses (0 kg ha<sup>-1</sup>, 400 kg ha<sup>-1</sup>, 800 kg ha<sup>-1</sup>, 1,200 kg ha<sup>-1</sup> and 1,600 kg ha<sup>-1</sup>) were tested. The elementary sulfur and calcium sulfate positively affected the chemical properties of the soil, improving its fertility. The elementary sulfur, besides improving the soil chemical properties, is more efficient than calcium sulphate in decreasing alkalinity, however, the use of this product requires the application of additional calcium to the soil. Due to its low clay content, the simple washing process decreases soil salinity and sodicity.

KEY-WORDS: Salinity; sodicity; alkalinity.

## RESUMO

A recuperação de solos com elevada salinidade e alcalinidade requer a utilização de produtos que promovam a redução do pH e diminuam os teores de Na trocável, para melhorar a sua fertilidade. Objetivou-se avaliar o efeito do sulfato de cálcio e do enxofre elementar sobre os atributos químicos de um solo com altos teores de sais solúveis e Na trocável. Dois experimentos foram conduzidos em casa-de-vegetação, utilizando-se amostras de um Neossolo Flúvico sódico sálico de textura franco-arenosa. No primeiro experimento, foram testados quatro tratamentos referentes à correção do solo (sem corretivo, sem corretivo e sem lavagem, corrigido com sulfato de cálcio e corrigido com enxofre elementar). No segundo experimento, os tratamentos compreenderam cinco doses de enxofre elementar (0 kg ha<sup>-1</sup>, 400 kg ha<sup>-1</sup>, 800 kg ha<sup>-1</sup>, 1.200 kg ha<sup>-1</sup> e 1.600 kg ha<sup>-1</sup>). O enxofre elementar e o sulfato de cálcio influenciaram positivamente os atributos químicos do solo, proporcionando melhor fertilidade. O enxofre elementar, além de melhorar os atributos químicos desse solo, é mais eficiente que o sulfato de cálcio na diminuição de sua alcalinidade, contudo, o uso desse produto requer a aplicação de fonte adicional de cálcio ao solo. Devido ao seu baixo teor de argila, a simples lavagem contribui para diminuir a salinidade e sodicidade do solo.

PALAVRAS-CHAVE: Salinidade; sodicidade; alcalinidade.

## INTRODUÇÃO

Nos perímetros irrigados de regiões áridas e semiáridas do mundo, o excesso de sais solúveis e de Na trocável no solo constitui uma das principais causas da diminuição do crescimento e produção das culturas (Qadir et al. 2007). No Brasil, o Nordeste é a região onde esse processo é mais intenso, devido a condições edafoclimáticas como elevada temperatura, baixa pluviosidade e adição de sais via água de irrigação, em condições de drenagem deficiente (Ribeiro et al. 2003).

Solos com excesso de sais solúveis, tais como o cloreto de potássio, cloreto de sódio, cloreto de magnésio, sulfato de sódio e Na trocável, caracterizam-se por apresentarem elevados valores de condutividade eletrolítica, pH e porcentagem de Na trocável, baixos teores de cálcio e magnésio trocáveis e baixa disponibilidade de micronutrientes catiônicos (Talei et al. 2012). Essas características, de forma direta ou indireta, proporcionam desequilíbrios fisiológicos e nutricionais nas plantas, ocasionando diminuição no crescimento e produtividade das culturas (Sousa et al. 2012, Sá et al. 2015).

1. Trabalho recebido em ago./2015 e aceito para publicação em nov./2015 (<http://dx.doi.org/10.1590/1983-40632015v4537090>).

2. Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, Unidade Acadêmica de Ciências Agrárias, Pombal, PB, Brasil. E-mails: [jhosinal\\_araujo@yahoo.com.br](mailto:jhosinal_araujo@yahoo.com.br), [pjorgesevero33@gmail.com](mailto:pjorgesevero33@gmail.com), [tarcisiolucenacartaxo@gmail.com](mailto:tarcisiolucenacartaxo@gmail.com), [rafael\\_veriato@hotmail.com](mailto:rafael_veriato@hotmail.com), [kariolaniafortunato@gmail.com](mailto:kariolaniafortunato@gmail.com).

Uma das consequências da salinização do solo dessas áreas é o abandono de lotes irrigados por colonos, causando sérias implicações socioambientais. Contudo, para que essas áreas voltem a ser produtivas, é fundamental a utilização de técnicas de recuperação que proporcionem melhoria na fertilidade desses solos (Pazhanivelan et al. 2008, Uddin et al. 2011).

Para a recuperação desses solos, é fundamental a remoção do Na trocável do perfil do solo, a qual, em muitos casos, não se consegue com a simples lavagem do solo com água de boa qualidade (Pitman & Laüchili 2002). Assim, produtos como resíduos orgânicos, sulfato ferroso, cloreto de cálcio, sulfato de cálcio, ácido sulfúrico e enxofre elementar têm sido os mais estudados com essa finalidade (Pitman & Laüchili 2002, Zia et al. 2007, Mohamed et al. 2007, Sousa et al. 2012, Sá et al. 2013a). Dentre esses produtos, o enxofre elementar e o sulfato de cálcio parecem ser os mais promissores, quando o excesso de sais é acompanhado pelo excesso de Na trocável (Gharaibeh et al. 2009, Gill et al. 2009, Gollmack et al. 2011). Contudo, devido ao seu baixo custo e facilidade de aquisição, o sulfato de cálcio tem sido o produto mais empregado (Leite et al. 2007, Gill et al. 2008, Leal et al. 2008, Melo et al. 2008, Pazhanivelan et al. 2008).

Apesar de o sulfato de cálcio ser eficiente na remoção do Na trocável do solo, o produto possui reação neutra e não influencia diretamente o pH do solo. Além disso, a principal crítica feita a esse produto é o desequilíbrio que causa entre as bases do solo, elevando muito os teores de cálcio trocável.

O enxofre elementar, por sua vez, em muitos trabalhos, demonstrou ser eficiente na diminuição do Na trocável, além de contribuir com a redução do pH do solo (Fuente et al. 2007, Mohamed et al. 2007, Stamford et al. 2007, Heydarnezhad et al. 2012, Sousa et al. 2012, Sá et al. 2013a e 2013b, Karimizarchi et al. 2014). O processo de oxidação do enxofre elementar ( $S^0$ ) ocorre principalmente pela ação de bactérias do gênero *Acidithiobacillus* (Stamford et al. 2002), que oxidam o  $S^0$  a  $SO_4^{2-}$  e, após reação com o  $H^+$  da hidrólise da água, produzem ácido sulfúrico, reduzindo o pH do solo (Stamford et al. 2002, Heydarnezhad et al. 2012).

Objetivou-se avaliar o efeito do sulfato de cálcio e do enxofre elementar sobre os atributos químicos de um solo com excesso de sais solúveis e Na trocável.

## MATERIAL E MÉTODOS

Dois experimentos foram realizados de novembro de 2014 a março de 2015, em casa-de-vegetação do Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar da Universidade Federal de Campina Grande, em Pombal (PB).

Foram utilizadas amostras de um Neossolo Flúvico sódico sálico, com textura franco-arenosa. As amostras foram coletadas na camada de 0-20 cm, no Perímetro Irrigado de São Gonçalo, localizado a 10 km do município de Sousa (PB) ( $6^{\circ}50'15,24''S$ ,  $38^{\circ}17'53,29''W$  e altitude de 233 m). Na caracterização inicial do solo (Tabela 1), realizada conforme Embrapa (2011), foram avaliados a condutividade eletrolítica do extrato 1:5 ( $CE_{1:5}$ ), pH, teores trocáveis de Na, Ca, Mg, K e P disponível e matéria orgânica. Os teores trocáveis de Na foram determinados pela diferença entre os teores desse cátion extraído com a solução de Mehlich-1 e os teores solúveis de Na obtidos na pasta saturada (Richards 1954). Os teores de matéria orgânica foram estimados pelo método da via úmida (Embrapa 2011). Com os teores trocáveis

Tabela 1. Atributos químicos e físicos do Neossolo Flúvico sódico sálico empregado nos experimentos (Pombal, PB, 2015).

Atributos	Valor
pH ( $CaCl_2$ )	9,40
P ( $mg\ kg^{-1}$ )	8,10
$K^+$ ( $cmol_c\ dm^{-3}$ )	0,33
$Na^+$ ( $cmol_c\ dm^{-3}$ )	4,60
$Ca^{2+}$ ( $cmol_c\ dm^{-3}$ )	0,80
$Mg^{2+}$ ( $cmol_c\ dm^{-3}$ )	0,30
H + Al ( $cmol_c\ dm^{-3}$ )	0,00
SB ( $cmol_c\ dm^{-3}$ )	6,02
CTC ( $cmol_c\ dm^{-3}$ )	6,02
CEes ( $dS\ m^{-1}$ )	11,50
V (%)	100,00
PST (%)	76,30
$Al^{+3}$ ( $cmol_c\ dm^{-3}$ )	0,00
M.O. ( $g\ kg^{-1}$ )	13,00
Areia ( $g\ kg^{-1}$ )	569,00
Silte ( $g\ kg^{-1}$ )	271,00
Argila ( $g\ kg^{-1}$ )	160,00
Ds ( $g\ cm^{-3}$ )	1,47
Dp ( $g\ cm^{-3}$ )	2,63
Porosidade ( $m^3\ m^3$ )	0,44

Análises realizadas conforme Embrapa (2011). PST: porcentagem de Na trocável; CEes: condutividade eletrolítica do extrato de saturação; M.O.: matéria orgânica, pelo método Walkley-Black; P e K: extraídos por Mehlich-1; Na: teor de sódio obtido pela diferença entre os teores extraídos pela solução de Mehlich-1 e os teores da pasta saturada; Ca e Mg trocáveis extraídos em  $KCl\ 1,0\ mol\ L^{-1}$ .

dos cátions analisados, foram estimados a capacidade de troca de cátions potencial (CTC), porcentagem de Na trocável (PST), relação Ca:Mg e as porcentagens de Ca, Mg e K na CTC do solo. Em virtude dos elevados valores de pH do solo, os teores de H + Al não foram avaliados, pressupondo-se que seus valores seriam nulos.

Os experimentos foram realizados em delineamento inteiramente casualizado, com seis repetições. No primeiro experimento, os tratamentos foram: solo sem corretivo (SC), solo corrigido com sulfato de cálcio ( $\text{CaSO}_4$ ), solo corrigido com enxofre elementar ( $\text{S}^\circ$ ) e solo sem corretivo e sem lavagem (SCSL), como testemunha absoluta. A dose de sulfato de cálcio ( $3,17 \text{ g dm}^{-3}$  de solo) foi calculada com o objetivo de diminuir a porcentagem de Na trocável (PST) para 15 %. A dose de enxofre elementar correspondeu à mesma dose de S aplicada na forma de sulfato de cálcio ( $0,6 \text{ g dm}^{-3}$  de solo).

No segundo experimento, foram testadas cinco doses de enxofre elementar ( $0 \text{ kg ha}^{-1}$ ,  $400 \text{ kg ha}^{-1}$ ,  $800 \text{ kg ha}^{-1}$ ,  $1.200 \text{ kg ha}^{-1}$  e  $1.600 \text{ kg ha}^{-1}$ ), empregando-se amostras do mesmo solo coletado para o primeiro experimento, ou seja, sem lavagem e sem corretivo. Em ambos os experimentos, cada unidade experimental foi constituída por um vaso contendo  $6,0 \text{ dm}^3$  de solo. A fonte de  $\text{S}^\circ$  foi o enxofre puro p.a. com 99 % de pureza e a de sulfato de cálcio o di-hidratado ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) p.a. com 99 % de pureza. Após a incorporação dos corretivos a todo o volume de solo, nos tratamentos correspondentes, o solo de todos os vasos foi mantido por 30 dias com umidade correspondente a 70 % da capacidade de campo, por meio de pesagens diárias.

Após o período de incubação, aplicou-se uma lâmina de lixiviação (exceto no tratamento SCSL do primeiro experimento) com volume de água ( $\text{CE} = 0,2 \text{ dS m}^{-1}$ ) equivalente a duas vezes a porosidade total do solo. Após a lixiviação dos sais, foram retirados, de cada vaso, cerca de 300 g de solo, com os quais foi realizada uma nova caracterização química, para fins de fertilidade (Embrapa 2011).

A análise estatística consistiu na análise de variância e teste de médias de Tukey, para o primeiro experimento, e de regressão polinomial, para o segundo experimento, utilizando-se o programa Sisvar 4.1 (Ferreira 2000). Além dessas análises, procedeu-se à análise de correlação linear entre algumas variáveis, utilizando-se o teste t.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos no presente trabalho refletiram, em parte, alguns de seus atributos originais, tais como elevados valores iniciais de pH, condutividade eletrolítica e teores de sais e de Na trocável, e baixos teores de argila (Tabela 1). Além disso, sua mineralogia da fração silte e argila é caracterizada pela presença significativa de plagioclásio, feldspato potássico, micas, clorita e anfibólio, como principais fontes de K, Na e Ca (Correia et al. 2003).

No primeiro experimento, observou-se que a maioria dos atributos avaliados foi influenciada pelos tratamentos testados (Figura 1). Observou-se, também, que houve diminuição nos valores de pH apenas com enxofre elementar (Figura 1a). Contudo, a condutividade eletrolítica (Figura 1b), os teores de sódio trocáveis (Figura 1c) e a porcentagem de Na trocável (Figura 1d) foram inferiores, quando o solo recebeu algum corretivo ou quando foi apenas lavado, sendo que o sulfato de cálcio foi mais eficiente em diminuir a PST do solo.

O sulfato de cálcio e o enxofre elementar elevaram os teores de Ca (Figura 1e) e de Mg (Figura 1f), enquanto os teores de K foram superiores no solo sem corretivo e sem lavagem, e menores no solo sem corretivo após lavagem. A alta mobilidade do K no solo explica sua maior concentração no solo não lavado (McBride 1994). A relação Ca/Mg não foi alterada pelos tratamentos de correção do solo (Figura 1h). Já as porcentagens na CTC desses elementos (Figuras 1i e 1j) foram superiores com a correção do solo, seja com sulfato de cálcio ou enxofre elementar. Contudo, esses produtos diminuíram a saturação de K (Figura 1l), provavelmente como consequência da elevação nas concentrações de Ca e Mg. Os teores de P (Figura 1m), assim como ocorreu na relação Ca/Mg, não foram afetados pelos tratamentos de correção do solo, embora fosse esperado que o  $\text{S}^\circ$  elevasse a solubilização de formas insolúveis de P, especialmente aquelas ligadas a carbonatos, aumentando sua disponibilidade no solo (Heydarnezhad et al. 2012).

A redução do pH provocada pelo enxofre elementar deve-se à oxidação biológica desse produto, a qual gera ácido sulfúrico no solo (Stamford et al. 2007). Adicionalmente, a acidez gerada, possivelmente, favoreceu a solubilização de minerais primários contendo Ca e Mg, como calcita, dolomita e feldspatos, normalmente encontrados nesses solos (Correia et al. 2003, Amezketa et al. 2005), elevan-

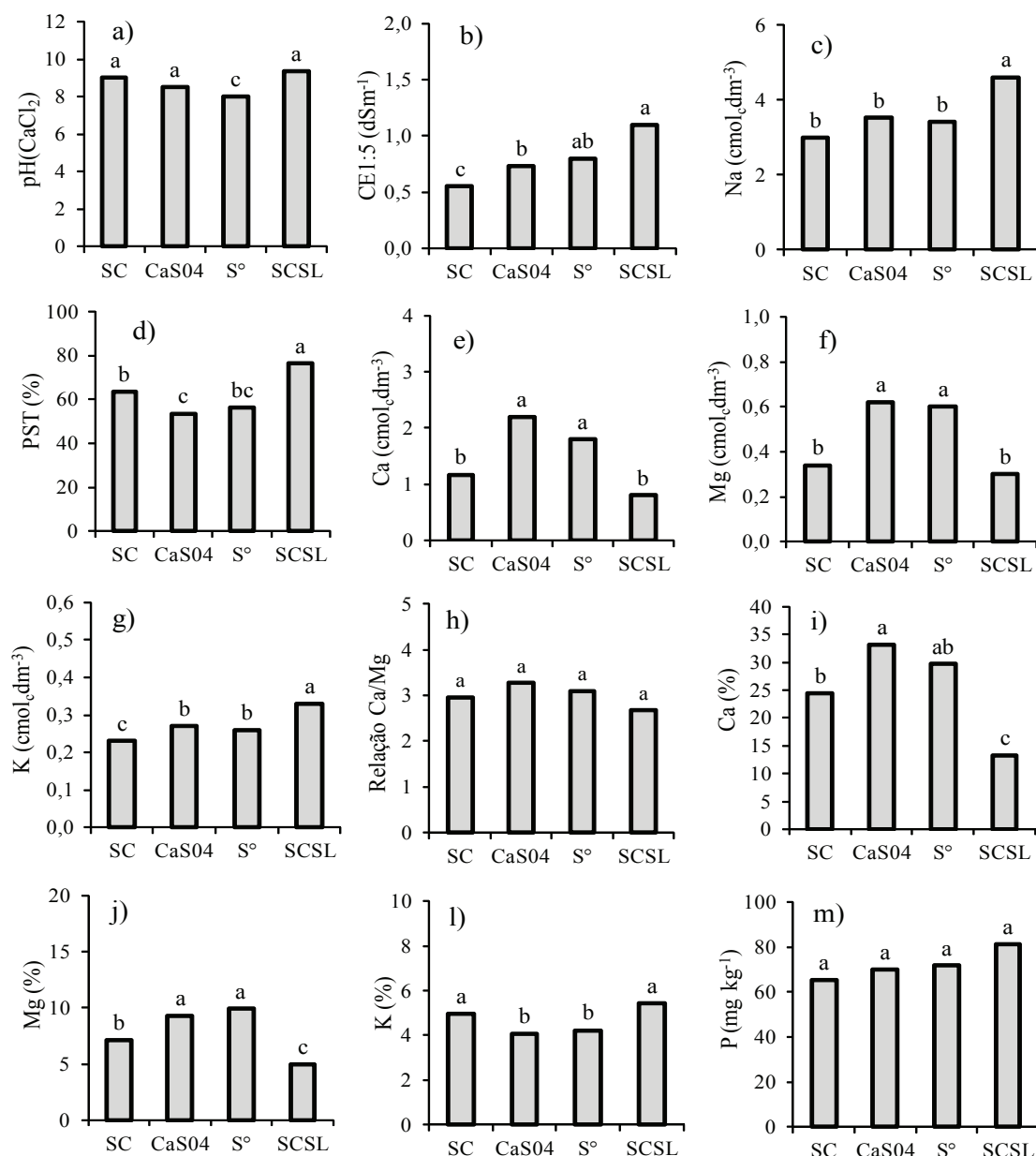


Figura 1. Atributos químicos do solo, em função dos tratamentos de correção, em Neossolo Flúvico sódico sálico (Pombal, PB, 2015). SC = sem corretivo; CaSO<sub>4</sub> = sulfato de cálcio; S° = enxofre elementar; SCSL = sem corretivo e sem lavagem; CE<sub>1:5</sub> = condutividade eletrolítica na relação solo:água 1:5; PST = porcentagem de Na trocável; Ca (%), Mg (%) e K (%) = porcentagens de Ca, Mg e K, respectivamente, na CTC do solo. Colunas identificadas com letras minúsculas indicam diferença significativa pelo teste Tukey, a 5 %.

do, assim, os teores trocáveis daqueles elementos. Resultados semelhantes foram observados por Sousa et al. (2012) e Sá et al. (2013b).

No segundo experimento, apenas os teores de K, P, matéria orgânica e a porcentagem de Mg na CTC não foram influenciados significativamente pelas doses de enxofre elementar aplicadas (Figuras 2, 3 e 5). Observou-se que o pH (Figura 2a), os teores de só-

dio (Figura 2c) e a PST (Figura 2d) diminuíram de forma linear, em função das doses de S°. Por outro lado, houve elevação da condutividade eletrolítica no extrato 1:5 (Figura 2b). Os teores de Ca (Figura 3a), Mg (Figura 3b), relação Ca:Mg (Figura 3d) e CTC (Figura 3e) elevaram-se com as doses de S° aplicadas.

Como já mencionado para o experimento 1, a diminuição nos valores de pH com as doses do

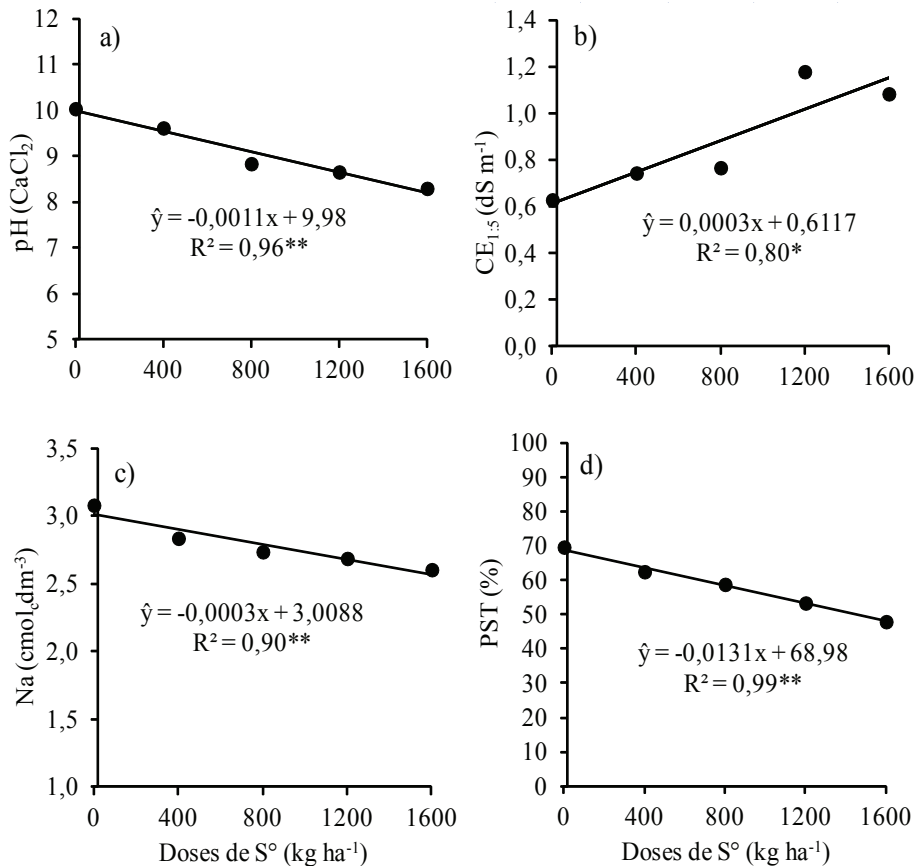


Figura 2. Valores de pH (a), condutividade eletrolítica (CE) da relação solo:água 1:5 (b), Na trocável e porcentagem de Na trocável (PST) do solo salino-sódico, em função de doses de enxofre elementar (S°), em Neossolo Flúvico sódico salino (Pombal, PB, 2015). \* e \*\* significativo a 5 % e 1 %, respectivamente, pelo teste t.

corretivo se deve ao efeito direto da oxidação biológica do enxofre (Stamford et al. 2007) e, também, ao efeito indireto pelo aumento nos teores de Ca e Mg no solo, os quais substituem o Na no complexo de troca. O Na é um dos responsáveis pela elevação do pH nesses solos (Stamford et al. 2007). O aumento nos teores de Ca e Mg favorece o deslocamento do Na do complexo de troca para a solução do solo, para, então, ser removido do solo, após a aplicação da lâmina de água, juntamente com o sulfato ou outro ânion acompanhante. O aumento nos teores de Ca e Mg, por sua vez, ocorreu, provavelmente, devido à ação dos íons H<sup>+</sup> gerados pelo corretivo, acelerando a hidrólise de minerais primários do solo, como observado em outros trabalhos (Sá et al. 2013b, Stamford et al. 2015), mesmo com curto período de incubação.

A diminuição da PST é resultante da diminuição nos teores trocáveis de Na e da elevação dos teores de Ca e Mg, assim como a geração de sulfato

no solo. O aumento da CE<sub>1:5</sub>, com as doses de enxofre, pode ter sido proporcionado pela elevação na concentração de íons solúveis como o Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> e o próprio H<sup>+</sup> gerado com a oxidação do S° (Sá et al. 2015, Stamford et al. 2015). O estudo de correlações entre variáveis demonstrou que o pH do solo foi positivamente influenciado pela porcentagem de Na trocável (Figura 4a), a qual se relacionou negativamente com a porcentagem de Ca na CTC (Figura 4d). Assim, em solos com excesso de Na trocável, a elevação do pH geralmente associa-se com a diminuição dos teores de Ca trocável (Figura 4c). Por outro lado, não foi observada relação entre salinidade e pH (Figura 4e) e entre salinidade e Na trocável (Figura 4f).

A elevação da CTC (Figura 3e) com as doses de enxofre não se deve, em princípio, à geração de cargas negativas no solo, tendo-se em vista as condições de pH inicial e de mineralogia desses solos, cuja CTC é proveniente de minerais de carga permanente.

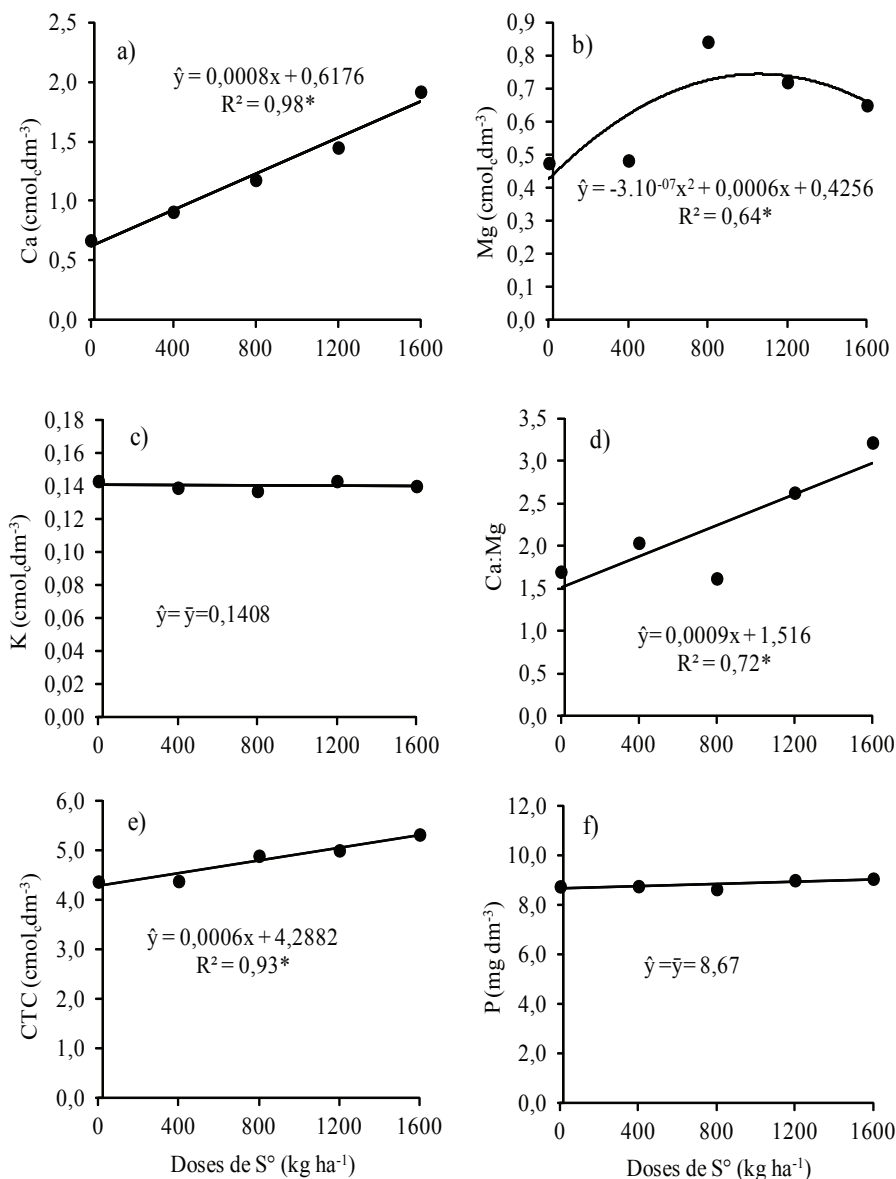


Figura 3. Teores de Ca (a), Mg (b) e K (c), relação Ca:Mg (d), CTC (e) e teores de P (f), em função de doses de enxofre elementar ( $S^{\circ}$ ), em Neossolo Flúvico sódico sálico (Pombal, PB, 2015). \* significativo a 5 %, pelo teste t.

Provavelmente, houve aumento nos teores solúveis de Ca e Mg, os quais foram quantificados juntamente com os extraídos com a solução KCl  $1,0 \text{ mol L}^{-1}$ , superestimando a CTC do solo.

Os teores de matéria orgânica (Figura 5a) não foram afetados pelas doses de  $S^{\circ}$ , indicando que a oxidação do enxofre não influenciou na decomposição da matéria orgânica do solo. O esperado seria um decréscimo no teor de matéria orgânica com as doses de  $S^{\circ}$ , tendo-se em vista o estabelecimento de melhores condições químicas do solo pelo corretivo, aumentando a atividade microbiana (Moreira &

Siqueira 2006). Contudo, é possível que o tempo de incubação do corretivo não tenha sido suficiente para provocar esse decréscimo.

As porcentagens de Ca na CTC (Figura 5b) elevaram-se com as doses de  $S^{\circ}$ . Esse efeito é explicado pelo aumento das concentrações de Ca trocável (Figura 3a) e pelo fato de as concentrações de K trocável se manterem inalteradas (Figura 3c), assim como pela resposta quadrática dos teores de Mg, em função das doses do corretivo. A porcentagem de Mg (Figura 5c), neste experimento, também não foi afetada pelas doses de  $S^{\circ}$ . A diminuição das

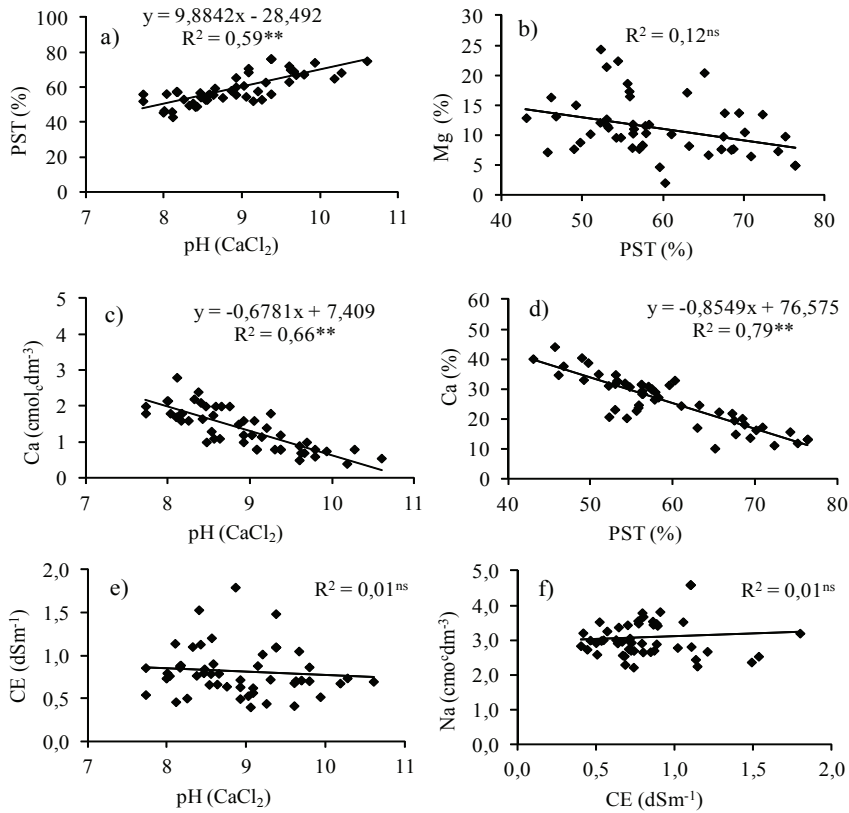


Figura 4. Correlação linear entre variáveis obtidas em ambos os experimentos, em Neossolo Flúvico sódico sálico (Pombal, PB, 2015). PST = porcentagem de Na trocável;  $CE_{1:5}$  = condutividade elétrica na relação solo:água 1:5. \*\* e ns significativo a 1 % e não significativo, respectivamente, pelo teste t.

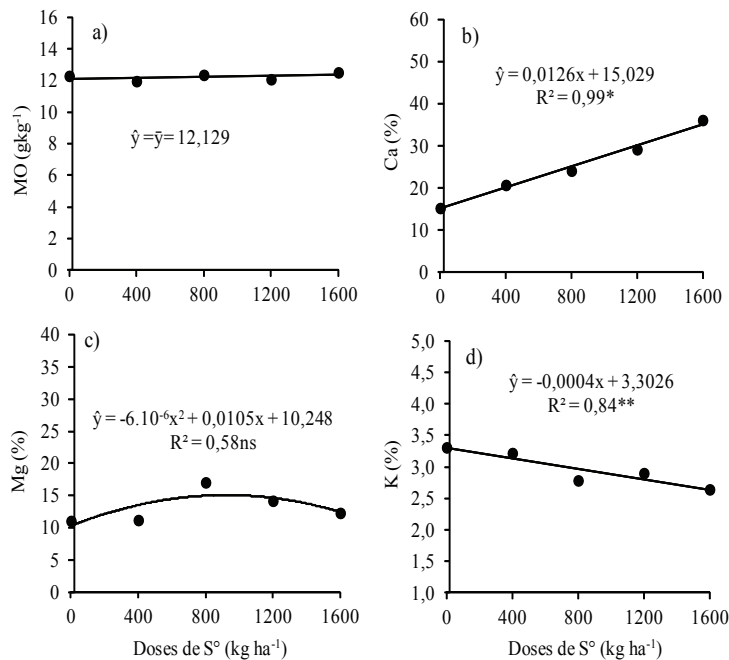


Figura 5. Teores de matéria orgânica (a) e porcentagens de Ca (b), Mg (c) e K (d), em função de doses de enxofre elementar ( $S^0$ ), em Neossolo Flúvico sódico sálico (Pombal, PB, 2015). \*, \*\* e ns: significativo a 5 %, 1 % e não significativo, respectivamente, pelo teste t.

porcentagens de K (Figura 5d) com as doses de S<sup>o</sup> é explicada pela elevação dos teores de Ca, como já mencionado. Ressalta-se que, de acordo com Furtini Neto et al. (2001), as faixas considerados ideais são: Ca = 60-70 %, Mg = 10-20 % e K = 2-5 %. Dessa forma, as porcentagens de Mg e K estariam adequadas para a maioria das culturas, independentemente das doses de S<sup>o</sup>, mas as de Ca estariam muito abaixo do ideal, sendo necessário aplicar ao solo doses mais elevadas do corretivo ou uma fonte adicional de Ca, como o sulfato de Ca.

Assim, os resultados deste trabalho fornecem uma melhor compreensão de como os atributos químicos de solos de textura arenosa com excesso de sais solúveis e sódio trocável são afetados, e como se inter-relacionam durante o seu processo de remediação, principalmente em relação ao equilíbrio entre as bases trocáveis, sendo que esses efeitos devem ser levados em consideração na escolha de produtos com ação corretiva.

## CONCLUSÕES

1. O enxofre elementar e o sulfato de cálcio influenciam positivamente os atributos químicos de solos com excesso de sais e sódio trocável, proporcionando melhor fertilidade.
2. O enxofre elementar, além de melhorar os atributos químicos desses solos, é mais eficiente que o sulfato de cálcio na diminuição de sua alcalinidade. Contudo, o uso dessa fonte requer a aplicação de fonte adicional de Ca ao solo, para que esse elemento esteja disponível em níveis adequados à maior parte das culturas.
3. Devido ao baixo teor de argila, a simples lavagem contribui para diminuir a salinidade e sodicidade do solo.

## REFERÊNCIAS

AMEZKETA, E. et al. Efficiency of sulfuric acid, mined gypsum, and two gypsum by-products in soil crusting prevention and sodic soil reclamation. *Agronomy Journal*, Madison, v. 97, n. 3, p. 983-989, 2005.

CORREIA, M. M. et al. Atributos físicos, químicos e mineralógicos de solos da região das várzeas de Sousa (PB). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 27, n. 2, p. 311-324, 2003.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (Embrapa). Centro Nacional de

Pesquisas de Solos. *Manual de métodos de análises de solos*. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011.

FERREIRA, D. F. *Sisvar: sistema de análises de variância para dados balanceados*. Lavras: UFLA, 2000.

FUENTE, R. G. et al. Biological oxidation of elemental sulphur added to three composts from different feedstocks to reduce their pH for horticultural purposes. *Bioresource and Technology*, Amsterdam, v. 98, n. 18, p. 3561-3569, 2007.

FURTINI NETO, A. E. et al. *Fertilidade do solo*. Lavras: UFLA, 2001.

GHARAIIBEH, M. A. et al. Leaching and reclamation of calcareous saline-sodic soil by moderately saline and moderate-SAR water using gypsum and calcium chloride. *Journal of Plant Nutrition Soil Science*, Temuco, v. 172, n. 5, p. 713-719, 2009.

GILL, J. S. et al. Amelioration of dense sodic subsoil using organic amendments increases wheat yield more than using gypsum in a high rainfall zone of southern Australia. *Field Crops Research*, Amsterdam, v. 107, n. 3, p. 265-275, 2008.

GILL, J. S. et al. Changes in soil physical properties and crop root growth in dense sodic subsoil following incorporation of organic amendments. *Field Crops Research*, Amsterdam, v. 114, n. 1, p. 137-146, 2009.

GOLLDACK, D. et al. Plant tolerance to drought and salinity: stress regulating transcription factors and their functional significance in the cellular transcriptional network. *Plant Cell Reports*, Berlin, v. 30, n. 8, p. 1383-1391, 2011.

HEYDARNEZHAD, F. et al. Influence of elemental sulfur and sulfur oxidizing bacteria on some nutrient deficiency in calcareous soils. *International Journal of Agriculture and Crop Science*, London, v. 4, n. 12, p. 735-739, 2012.

KARIMIZARCHI, M. et al. Elemental sulphur application and sweet maize (*Zea mays* L.) response in a high pH soil of Malaysia. *Malaysian Journal of Soil Science*, Serdang, v. 18, n. 1, p. 75-86, 2014.

LEAL, I. G. et al. Fitorremediação de solo salino-sódico por *Atriplex nummularia* e gesso de jazida. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 32, n. 3, p. 1065-1072, 2008.

LEITE, E. M. et al. Correção da sodicidade de dois solos irrigados em resposta à aplicação de gesso agrícola. *Irriga*, Botucatu, v. 12, n. 2, p. 168-176, 2007.

McBRIDE, M. B. *Environmental chemistry of soils*. New York: Oxford University Press, 1994.

MELO, R. M. et al. Correção de solos salino-sódicos pela aplicação de gesso mineral. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 12, n. 4, p. 376-380, 2008.



- MOHAMED, A. I. et al. Effect of soil amendments on some physical and chemical properties of some soils of Egypt under saline irrigation water. *African Crop Science Conference Proceedings*, El-Minia, v. 8, n. 1, p. 1571-1578, 2007.
- MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. *Microbiologia e bioquímica do solo*. 2. ed. Lavras: UFLa, 2006.
- PAZHANIVELAN, S. et al. Influence of planting techniques and amendments on the performance of tamarind (*Tamarindus indicus*) and changes in soil properties in rainfed alkali soil. *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences*, Faisalabad, v. 4, n. 4, p. 285-288, 2008.
- PITMAN, M. G.; LAÜCHLI, A. Global impact of salinity and agricultural ecosystems. In: LAÜCHLI, A.; LÜTTGE, U. (Eds.). *Salinity: environment-plants-molecules*. Dordrecht: Kluwer Academic, 2002. p. 3-20.
- QADIR, M. et al. Phytoremediation of sodic and saline-sodic soils. *Advances in Agronomy*, Newark, v. 96, n. 1, p. 197-247, 2007.
- RIBEIRO, M. R. et al. Solos Halomórficos do Brasil: ocorrência, gênese, classificação, uso e manejo sustentável. In: CURI, N. et al. *Tópicos em ciência do solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003.
- RICHARDS, L. A. *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*. Washington, DC: USA Department of Agriculture, 1954. (Agricultural handbook, 60).
- SÁ, F. V. S. et al. Influência do gesso e biofertilizante nos atributos químicos de um solo salino-sódico e no crescimento inicial do girassol. *Irriga*, Botucatu, v. 20, n. 1, p. 46-59, 2015.
- SÁ, F. V. S. et al. Crescimento inicial de arbóreas nativas em solo salino-sódico do Nordeste brasileiro tratado com corretivos. *Revista Ceres*, Viçosa, v. 60, n. 3, p. 388-396, 2013a.
- SÁ, F. V. S. et al. Crescimento inicial de craibeira em solo salinizado corrigido com enxofre elementar. *Irriga*, Botucatu, v. 18, n. 4, p. 647-660, 2013b.
- SOUSA, F. Q. et al. Crescimento e respostas fisiológicas de espécies arbóreas em solo salinizado tratado com corretivos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 16, n. 2, p. 173-181, 2012.
- STAMFORD, N. P. et al. Effect of gypsum and sulfur with *Acidithiobacillus* on soil salinity alleviation and on cowpea biomass and nutrient status as affected by PK rock biofertilizer. *Scientia Horticulturae*, Amsterdam, v. 192, n. 1, p. 287-292, 2015.
- STAMFORD, N. P. et al. Effect of sulphur inoculated with *Thiobacillus* on saline soils amendment and growth of cowpea and yam bean legumes. *Journal of Agricultural Science*, Cambridge, v. 139, n. 2, p. 275-281, 2002.
- STAMFORD, N. P. et al. Effectiveness of sulfur with *Acidithiobacillus* and gypsum in chemical attributes of a Brazilian sodic soil. *World Journal of Microbiology Biotechnology*, Amsterdam, v. 23, n. 10, p. 1433-1439, 2007.
- TALEI, D. et al. Salinity effects on macro and micronutrients uptake in medicinal plant king of bitters (*Andrographis paniculata* Nees.). *Plant Omics Journals*, Queensland, v. 5, n. 3, p. 271-278, 2012.
- UDDIN, M. K. et al. Effect of salinity stress on nutrient uptake and chlorophyll content tropical turfgrass species. *Australian Journal of Crop Science*, Queensland, v. 5, n. 6, p. 620-629, 2011.
- ZIA, M. H. et al. Effectiveness of sulphuric acid and gypsum for the reclamation of a calcareous saline-sodic soil under four crop rotations. *Journal of Agronomy & Crop Science*, Berlin, v. 193, n. 4, p. 262-269, 2007.