



Alterações de atributos químicos do solo e do crescimento de plantas de milho pela aplicação de xisto

Lucia H. G. Chaves¹ & Ana C. F. Vasconcelos²

RESUMO

Este trabalho foi o ponto-chave para se avaliar os efeitos de resíduo xisto retornado nos atributos químicos do solo e no crescimento vegetativo do milho em um experimento conduzido em Neossolo Regolítico Ta Eutrófico, em casa de vegetação. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com três repetições, sendo cinco os tratamentos com xisto retornado (0, 3, 6, 9 e 12 t ha⁻¹). O xisto foi incorporado ao solo em cada unidade experimental, que se compunha de vasos com 2 dm³ de solo, as quais permaneceram incubadas durante 10 dias. Após este período, semeou-se o milho e, depois de 60 dias, foram avaliados: a altura da planta, o diâmetro do caule e a matéria verde e seca das plantas. Amostras de solo das unidades experimentais coletadas antes e depois do plantio do milho foram submetidas às análises químicas. A adição de xisto retornado promoveu aumento significativo na soma de bases trocáveis e nos teores de enxofre e silício no solo, porém não houve aumento nos valores do pH do solo. O crescimento vegetativo das plantas de milho não foi influenciado pelas quantidades utilizadas de xisto retornado.

Palavras-chave: silício, resíduo industrial, correção do solo

Changes in soil chemical attributes and corn growth due to schist application

ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the effects of schist processing waste on soil chemical attributes and on vegetative growth of corn. The experiment was conducted in Regosol Eutrophic under greenhouse conditions. The treatments consisted of five rates of schist processing waste (0, 3, 6, 9 and 12 t ha⁻¹) in a completely randomized experimental design with three replications. The schist was incorporated in the soil in each experimental unit, constituted by pots with 2 dm³ of soil, which remained incubated during 10 days. After this period the corn was sown and after 60 days the plant height, the stem diameter and the fresh and dry matter of the shoots were evaluated. Soil samples were taken from each experimental unit before and after sowing for chemical analysis. Application of schist promoted a significant increase in sulfur and silicon content in soil as well as in the total exchangeable bases, but there was no increase in soil pH. The growth of the maize was not influenced by the treatments.

Key words: silicon, industrial waste, soil amendment

¹ DEAg/UFCG, CP 10087, CEP 58109-970 Campina Grande, PB. Fone: (83) 3310-1285. Email: lhgarofalo@hotmail.com

² Engenharia Agrícola. Rua João Alves de Oliveira 70, CEP 58100-250 Campina Grande, PB, Fone: (83) 3321-1791. E-mail: ana3carol@aol.com

INTRODUÇÃO

O silício (Si) constitui aproximadamente 28% da composição da crosta terrestre e é o elemento mais abundante, após o oxigênio (Heinen & Oehler, 1979). Da mesma forma, o óxido de silício (SiO_2) é o mineral primário mais farto nos solos, constituindo a base da estrutura da maioria dos argilo-minerais; todavia, nos solos tropicais, altamente intemperizados, esses minerais contendo Si são quase inexistentes ou ocorrem na forma de quartzo, opala e outras formas nas quais o Si não é disponível às plantas (Barbosa Filho et al., 2001). Em alguns casos, esses solos apresentam teores menores que 2 mg kg^{-1} no extrato de saturação (Fox & Silva, 1978). A sílica, dissolvida em solução na forma de H_2SiO_4 , ocorre em função de um equilíbrio entre a fase sólida e a solução e, devido a esse equilíbrio, a adição de compostos solúveis de silício não eleva muito a concentração de H_2SiO_4 em solução, já que este passa rapidamente para a fase sólida (Elgawhary & Lindsay, 1972).

O silício não é considerado elemento essencial às plantas superiores; contudo, vários trabalhos têm mostrado o efeito benéfico do elemento sobre o aumento da produção de diversas culturas como, por exemplo, cana-de-açúcar, arroz, milho, aveia, trigo etc. e outras não gramíneas, como tomate, feijão, alface e repolho (Epstein, 1994; Marschner, 1995). Além desse efeito, acredita-se que o silício possa diminuir a incidência de doenças (Agarie et al., 1998), o ataque de insetos e até mesmo favorecer a fotossíntese, por interferir na arquitetura das plantas (Deren et al., 1994).

O xisto betuminoso é uma rocha silto-argilosa, denominada “folhelho oleígeno”, com conteúdo apreciável de matéria orgânica e que, sob aquecimento, pode produzir óleo, gás e enxofre; na sua fração clástica, o xisto betuminoso apresenta mais de 50% de silício. A segunda maior reserva do xisto conhecida no mundo, encontra-se no Brasil e sua exploração teve início em 1970, porém a disposição no ambiente do xisto retornado, que é um subproduto natural do beneficiamento do xisto betuminoso, é considerada o principal problema que limita o desenvolvimento da indústria, visto que a alta alcalinidade deste resíduo, pH em torno de 12, afeta severamente o ambiente onde está sendo disposto. O xisto retornado tem, em sua composição, elevado teor de silício (57%) dentre outros elementos, como fósforo, cálcio, magnésio e enxofre. Ele é rico em micronutrientes e possui cadeias carbônicas fossilizadas, tratando-se de um material quelatizado naturalmente.

Atualmente e devido às pressões sociais que visam conter os desequilíbrios ecológicos provocados pelo descarte de resíduos industriais, tem-se desenvolvido pesquisas no sentido de buscar soluções para a utilização econômica desses resíduos (Prado & Fernandes, 2001; Carvalho, 2000; Prado et al., 2001); neste contexto e se considerando o potencial do xisto retornado para ser utilizado na agricultura objetivou-se, com este trabalho, avaliar o efeito deste resíduo nos atributos químicos do solo e no desenvolvimento do milho.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em casa de vegetação no Centro de Ciências e Tecnologia/UFMG, Campina Grande, PB, no qual se utilizaram amostras deformadas de solo proveniente da camada arável de um Neossolo Regolítico Ta eutrófico textura areia franca (EMBRAPA, 1999). Após a coleta das amostras, o solo foi secado ao ar, passado em peneira de 2,0 mm de abertura e analisado física e quimicamente, conforme métodos descritos em EMBRAPA (1997). Os resultados dessas análises mostraram 833 g kg^{-1} de areia, 38 g kg^{-1} de silte e 129 g kg^{-1} de argila; pH em água de 6,1, $32,9 \text{ mg dm}^{-3}$ de P, 2,8, 15,2, 7,5, 1,7 e $9,0 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, respectivamente, de K, Ca, Mg, Na e H + Al, e $4,4 \text{ g kg}^{-1}$ de matéria orgânica.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com três repetições, sendo cinco os tratamentos consistiram com xisto retornado, 0, 3, 6, 9 e 12 t ha^{-1} , proveniente da Petrobrás-SIX, São Mateus do Sul, PR, apresentando, em sua composição, (% em peso): 0,43 de P_2O_5 ; 2 de Ca; 1,50 de Mg; 0,80 de S e 57,00 de SiO_2 .

Cada unidade experimental foi constituída de uma amostra de 2 dm^3 de terra, acondicionada em vaso plástico, a qual foi misturada e homogeneizada com seu respectivo tratamento e umedecida a 80% da capacidade de campo. Após a montagem, os vasos foram pesados obtendo-se, assim, a referência para a manutenção da umidade inicial durante o período experimental. Esta umidade foi controlada por meio de pesagens diárias e regas, com água destilada, pela superfície.

Após dez dias do início do experimento, período no qual as unidades experimentais estiveram incubadas com seus respectivos tratamentos, o milho (*Zea mays* L.), utilizado como planta teste, foi semeado, permanecendo, após o desbaste, duas plantas por vaso. Transcorridos sessenta dias do plantio, realizaram-se as medições de diâmetro de caule e altura de planta, sendo esta considerada da base da planta até a primeira lígula visível; em seguida, procedeu-se ao corte da parte aérea a qual, após ter sido pesada, foi secada em estufa com circulação forçada de ar a 70°C e pesada novamente.

Amostras de solo de cada unidade experimental, coletadas antes da semeadura e no final do experimento, após o corte das plantas, foram submetidas a caracterização química tendo-se analisado os índices pH em H_2O (1:2,5), Ca, Mg, Na, K, P, H + Al, segundo EMBRAPA (1997), S- SO_4 e Si conforme Vitti (1989) e Smith (1984), respectivamente.

Os resultados obtidos foram submetidos a análise de variância e as médias dos tratamentos comparadas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Antes do plantio, os valores de pH do solo não foram influenciados de forma significativa pelos tratamentos, corroborando com os resultados obtidos por Pereira & Vitti (2004) e Pereira et al. (2003); o inverso se observa com os dados obtidos após a colheita, sendo que o pH diminuiu em

relação à testemunha (Tabela 1). A redução do pH do solo em função da aplicação de xisto retornado, também foi observada por Pereira et al. (2003). Apesar do xisto retornado ser considerado alcalino, a baixa concentração de carbonatos e a baixa reatividade dos silicatos fizeram com que o mesmo apresentasse pouca ação na reação do solo; mesmo assim, comparando-se os dados obtidos antes do plantio e após a colheita vê-se que, com exceção do tratamento 12 t ha⁻¹, ao longo do tempo houve pequenos aumentos nos valores do pH devido à ação neutralizante do SiO₃⁻² presente no xisto retornado, ação esta também constatada por Prado & Natale (2005).

Antes do plantio, os teores de cálcio no solo não foram influenciados pelos tratamentos de forma significativa mas esta influência pode ser observada nos teores do elemento, no final do experimento. Embora o xisto retornado apresente cálcio na sua composição e a variação dos teores do elemento ter sido pequena, eles apresentaram tendência decrescente, em função dos tratamentos; já em relação aos teores de magnésio no solo, os tratamentos proporcionaram aumentos significativos nos mesmos tendo eles variado de forma crescente, ao contrário do que foi observado por Pereira et al. (2003), permitindo ajustar as equações: $y = -0,0044x^2 + 0,0813x + 0,78$ ($R^2 = 0,99$) para antes do plantio e $y = 0,001x^2 + 0,0072x + 0,6091$ ($R^2 = 0,88$) para após colheita.

Conforme a Tabela 1, os tratamentos com xisto retornado não promoveram aumentos significativos nos teores de sódio e potássio do solo, porém as pequenas variações nos teores desses elementos, em conjunto com as variações nos teores de cálcio e magnésio, fizeram com que a soma de bases (SB) variasse de forma significativa, variação esta que refletiu nos valores de saturação por base e se apresentaram maiores no final do experimento. Os valores de capacidade de troca catiônica (T), em geral, aumentaram em função dos tratamentos, antes do plantio e após a colheita (Tabela 1) concordando com

Pereira et al. (2003) e Prado & Natale (2005). No entanto, os valores após a colheita diminuíram, quando comparados aos de antes do plantio, em consequência, provavelmente, da absorção dos nutrientes pelas plantas.

Os dados referentes ao fósforo antes do plantio e após a colheita, mostram que, em geral, ocorreu elevação nos teores do elemento, em função dos tratamentos, mas esta elevação não foi significativa, embora o xisto retornado apresente fósforo na sua composição. Resultados semelhantes foram obtidos por Pereira & Vitti (2004) que tentaram justificar a variação dos teores de fósforo com base na ação dos silicatos contidos no xisto, uma vez que o fosfato e a sílica competem diretamente pelos mesmos sítios de adsorção, mesmo que a força de adsorção do fosfato seja maior que a do silicato em pH ácido. Obihara & Russel (1972) e Smyth & Sanches (1980) também obtiveram resultados semelhantes com a adição de escória de siderurgia mas comentam ter sido a correção do pH do solo promovido por esta fonte, a causa do aumento da disponibilidade do fósforo.

Em relação ao enxofre observa-se que houve aumento nos seus teores, de forma significativa, em função dos tratamentos (Tabela 1), permitindo ajustar as equações: $y = 0,143x^2 + 1,486x + 12,571$ ($R^2 = 0,99$) para antes do plantio e $y = 0,198x^2 + 0,719x + 9,771$ ($R^2 = 0,99$) para após colheita, cujo aumento pode ser justificado pela concentração de enxofre e disponibilidade elevada no xisto retornado. De acordo com Pereira et al. (2003), o enxofre no xisto se encontra principalmente na forma elementar e de sulfeto, sendo que no solo esses compostos formam sulfatos, podendo baixar o pH, fato que vem corroborar com a variação do pH mostrada na Tabela 1.

Apesar da baixa solubilidade dos silicatos contidos no xisto retornado, foram notórios os acréscimos significativos no teor de silício no solo, em função dos tratamentos (Tabela 1), tendo variado de forma linear, permitindo ajustar as equações: $y = 1,1667x + 34,4$ ($R^2 = 0,98$) para antes do plantio e

Tabela 1. Médias dos resultados analíticos das amostras de terra em função dos tratamentos

Tratamento t ha ⁻¹	pH H ₂ O (1:2,5)	Ca	Mg	K	Na	SB	H+Al	T	V	P	S	Si
		cmol _c dm ⁻³							%	mg dm ⁻³		
Antes do plantio												
0	5.89	1.42a	0.77b	0.35a	0.15a	2.69c	0.89c	3.59c	74.9b	35a	12e	34d
3	5.76	1.22a	1.01ab	0.37a	0.16a	2.76b	0.93b	3.69b	74.8b	38a	20d	39c
6	5.64	1.09a	1.09ab	0.36a	0.15a	2.69c	0.85d	3.54d	76.0ab	43a	25c	41c
9	5.79	1.17a	1.15a	0.35a	0.15a	2.82a	0.99a	3.81a	74.0b	38a	38b	44b
12	5.73	1.21a	1.12ab	0.36a	0.15a	2.84a	0.86d	3.69b	77.0a	36a	51a	49a
C.V.%	1.69	11.67	13.32	4.61	5.07	0.41	1.03	0.27	1.03	16.4	3.22	2.4
Após colheita												
0	6.02	1.11b	0.59b	0.13a	0.15a	1.98c	0.54d	2.51d	78.6a	24a	09e	33e
3	6.10	1.17ab	0.69b	0.10a	0.16a	2.12b	0.58c	2.71c	78.2b	28a	16d	37d
6	5.88	1.22a	0.65b	0.13a	0.15a	2.15a	0.61b	2.75b	77.9c	31a	19c	40c
9	5.87	1.15b	0.75ab	0.10a	0.15a	2.15a	0.72a	2.88a	74.6e	27a	33b	43b
12	5.64	1.04c	0.84a	0.10a	0.15a	2.13ab	0.63b	2.77b	76.9d	28a	47a	47a
C.V.%	1.01	2.17	9.20	23.87	5.07	0.47	1.62	0.37	0.13	15.6	4.09	2.5

Médias seguidas das mesmas letras na vertical não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey

$y = 1,1333x + 33,2$ ($R^2 = 0,99$) para após colheita. Comparando-se os teores de silício que foram adicionados ao solo através das quantidades de xisto retornado utilizadas, com aqueles encontrados no solo após a colheita, pode-se dizer que a liberação do elemento para o solo, proveniente do xisto retornado, variou de 0,60 a 0,91%. Em trabalho de Pereira et al. (2003), avaliando a eficiência de liberação de silício para o solo a partir de diferentes fontes desse elemento, como termofosfato, escória Dedini, escória Mannesman e xisto retornado, notou-se que o xisto retornado foi o menos eficiente liberando de 0,58 a 1% de silício enquanto o termofosfato, a fonte mais eficiente, pois liberou entre 8 e 37% do elemento.

Comparando-se os teores dos elementos químicos encontrados no solo antes do plantio e após a colheita, conclui-se que, com exceção do sódio, os demais diminuíram em consequência da absorção pelas plantas.

Os parâmetros analisados quanto ao desenvolvimento das plantas, como altura de planta, diâmetro de caule, peso verde e peso seco das plantas, não foram influenciados de forma

significativa pelos tratamentos (Figura 1), apesar de ter havido pequenos acréscimos nos valores do diâmetro do caule e altura da planta. Considerando-se o xisto retornado como fonte de silício, constata-se que esses resultados estão de acordo com os relatos por Tanaka & Park (1966), Liang et al. (1994), Carvalho (2000) e Mauad et al. (2003), que também não encontraram diferenças significativas entre as quantidades de silício aplicadas e produção de matéria seca de arroz.

A ausência de resposta à aplicação de silício em solos considerados com baixos teores do elemento, muitas vezes está relacionada à carência de informações quanto à exigência e à capacidade de absorver silício por determinadas cultivares, uma vez que há diferença genotípica quanto a esta capacidade (Winslow, 1992; Barbosa Filho et al., 1998); assim, torna-se importante o estudo sobre a exigência de cada cultura em relação ao silício, para que possam ser definidos os níveis considerados adequados para as mesmas. Conseqüentemente, poder-se-ia, então, definir as quantidades mais adequadas de xisto retornado, a serem utilizadas como fonte de silício.

Ressalta-se que os estudos sobre a aplicação na agricultura de xisto retornado são recentes e resultados conclusivos sobre a sua eficiência ainda são poucos na literatura, razão por que se faz necessário a continuação das pesquisas, principalmente no que diz respeito às quantidades ideais a serem utilizadas para as diferentes culturas, uma vez que o xisto retornado se tem mostrado como produto apto a ser usado na agricultura.

CONCLUSÕES

1. O xisto retornado foi capaz de aumentar a soma de bases trocáveis e os teores de enxofre e silício no solo, porém não foi capaz de promover aumento nos valores de pH.

2. As plantas de milho não responderam positivamente à aplicação de xisto retornado, quanto aos parâmetros do crescimento vegetativo.

LITERATURA CITADA

- Agarie, S.; Hanaoka, N.; Ueno, O.; Miyazaki, A.; Kubota, F.; Agata, W.; Kaufman, P. B. Effects of silicon on tolerance to water deficit and heat stress in rice plants (*Oryza sativa L.*), monitored by electrolyte leakage. *Plant Production Science*, Tokyo, v.1, n.1, p.96-103, 1998.
- Barbosa Filho, M. P.; Snyder, G. H.; Elliott, C. L.; Datnoff, L. E.; Prabhu, A. S.; Silva, O. F.; Korndorfer, G. H. Resposta do arroz de sequeiro à aplicação de silício. In: FERTIBIO 1998, Caxambu. Anais... Lavras: UFLA/SBCS/SBM, 1998. p.57.
- Barbosa Filho, M. P.; Snyder, G. H.; Fageria, N. K.; Datnoff, L. E.; Silva, O. F. Silicato de cálcio como fonte de silício para arroz de sequeiro. *Revista Brasileira de Ciência de Solo*, Viçosa, v.25, n.2, p.325-330, 2001.
- Carvalho, J. C. Análise do crescimento e produção de grãos da cultura de arroz irrigado por aspersão, em função da aplicação de escoria de siderurgia como fonte de silício. Botucatu: UNESP, 2000. 119p. Dissertação Mestrado

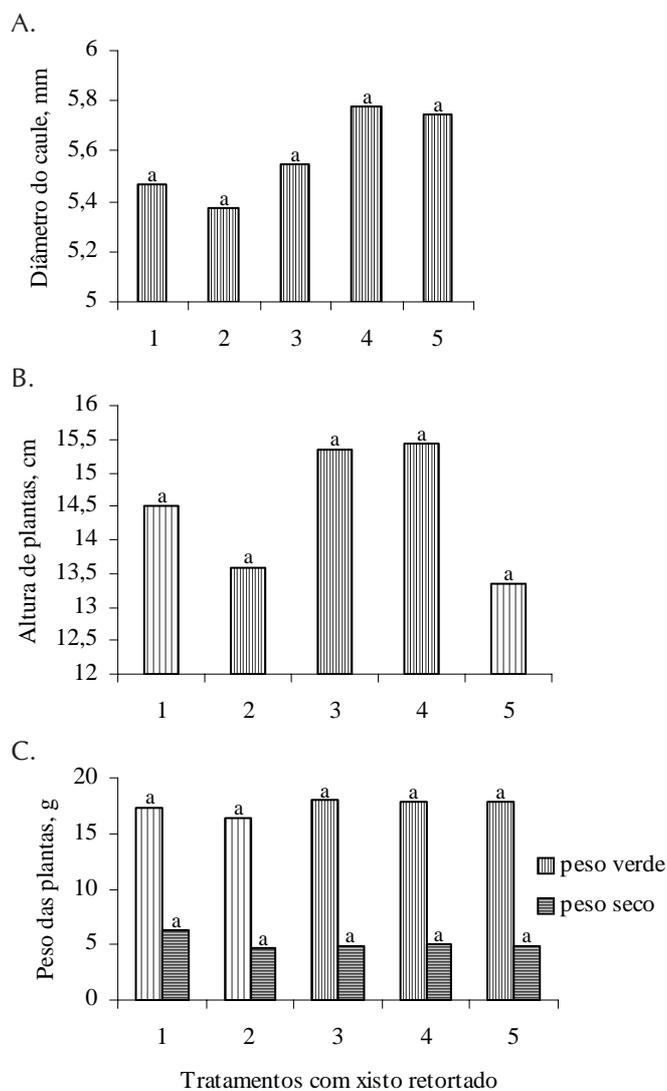


Figura 1. Diâmetro do caule (A), altura de plantas (B) e produção de matéria verde e seca (C) em função dos tratamentos 1, 2, 3, 4 e 5, correspondentes a 0, 3, 6, 9 e 12 t ha⁻¹ de xisto retornado, respectivamente.

- Deren, C. W.; Datnoff, L. E.; Snyder, G. H.; Martin, F. G. Silicon concentration, disease response, and yield components of rice genotypes grown on flooded organic histosols. *Crop Science*, Madison, v.34, n.2, p.733-737, 1994.
- Elgawhary, S. M.; Lindsay, W. L. Solubility of sílica in soil. *Soil Science Society of American Journal*, Madison, v.36, n.3, p.430-433, 1972.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. 2.ed. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1997. 212p.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412p.
- Epstein, E. The anomaly of silicon in plant biology. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, Washington, v.91, n.1, p.11-17, 1994.
- Fox, R. L.; Silva, J. A. Symptoms of plant malnutrition silicon an ergonomically essential nutrient for sugarcane. Hawaii: University of Hawaii, 1978. 85p.
- Heinen, W.; Oehler, J. H. Evolutionary aspects of biological involvement in the cycling of silica. In: Trudinger, P. A.; Swaine, D. J. (ed.). *Biogeochemical cycling of mineral-farming elements*. Amsterdam: Elsevier, 1979. p.431-441.
- Liang, Y. C.; Ma, T. S.; Li, F. J.; Feng, Y. J. Silicon availability and response of rice and wheat to silicon in calcareous soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, Philadelphia, v.25, n.18, p.2285-2297, 1994.
- Marschner, H. *Mineral nutrition of higher plants*. 2.ed. San Diego: Academic Press, 1995. 889p.
- Mauad, M.; Grassi Filho, H.; Crusciol, C. A. C.; Corrêa, J. C. Teores de silício no solo e na planta de arroz de terras altas com diferentes doses de adubação silicatada e nitrogenada. *Revista Brasileira de Ciência de Solo*, Viçosa, v.27, n.5, p.867-873, 2003.
- Obihara, C. H.; Russel, E. W. Specific adsorption of silicate and phosphate by soils. *The Journal Soil Science*, Oxford, v.23, n.1, p.105-117, 1972.
- Pereira, H. S.; Vitti, G. C. Efeito do uso do xisto em características químicas do solo e nutrição do tomateiro. *Horticultura Brasileira*, Brasília, v.22, n.2, p.317-321, 2004.
- Pereira, H. S.; Vitti, G. C.; Korndorfer, G. H. Comportamento de diferentes fontes de silício no solo e na cultura do tomateiro. *Revista Brasileira de Ciência de Solo*, Viçosa, v.27, n.1, p.101-108, 2003.
- Prado, R. M.; Fernandes, F. M. Resposta da cana-de-açúcar à aplicação da escória de siderurgia como corretivo de acidez do solo. *Revista Brasileira de Ciência de Solo*, Viçosa, v.25, n.1, p.199-207, 2001.
- Prado, R. M.; Fernandes, F. M.; Natale, W. Uso agrícola da escoria de siderurgia no Brasil: estudos na cultura da cana-de-açúcar. Jaboticabal: FUNEP, 2001.67p.
- Prado, R. M.; Natale, W. Efeito da aplicação de silicato de cálcio no crescimento, no estado nutricional e na produção de matéria seca de mudas de maracujazeiro. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 9, n.2, p.185-190, 2005.
- Smith, B. F. L. The determination of silicon in ammonium oxalate extracts of soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, Philadelphia, v.15, n.3, p.199-204, 1984.
- Smyth, J. J.; Sanches, P. A. Effects of lime, silicate and phosphorus applications to an oxissol on phosphorus sorption and ion retention. *Soil Science Society of American Journal*, Madison, v.44, n.3, p.500-505, 1980.
- Tanaka, A.; Park, Y. D. Significance of the absorption and distribution of silica in the growth of rice plant. *Soil Science and Plant Nutrition*, Tokyo, v.12, n.1, p.23-28, 1966.
- Vitti, G. C. Avaliação e interpretação do enxofre no solo e na planta. Jaboticabal: FUNEP, 1989.37p.
- Winslow, M. D. Silicon, disease resistance, and yield of rice genotypes under upland cultural conditions. *Crop Science*, Madison, v.32, n.3, p.1208-1212, 1992.