

Disponibilidade de silício no solo e interação com fósforo em solos oxídicos⁽¹⁾

Aline da Silva Sandim⁽²⁾; Leonardo Theodoro Büll⁽³⁾; Jader Luis Nantes Garcia⁽⁴⁾; Emerson Lolli Garcia⁽⁴⁾; Natália Rodrigues Ferreira⁽⁴⁾; Luciana de Arruda Garcia⁽⁴⁾

⁽¹⁾ Trabalho executado com recursos do CNPq.

⁽²⁾ Doutoranda em Agronomia, Agricultura, Faculdade de Ciências Agronômicas – UNESP. Rua José Barbosa de Barros, 1780 Fazenda Experimental Lageado 18610-307 - Botucatu, SP – Brasil Telefone: (14) 38117169. Email: alinesandim@gmail.com ⁽³⁾ Professor Titular do Departamento de Recursos Naturais/Ciência do Solo, Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu– UNESP. ⁽⁴⁾ Mestrando em Agronomia, Programa Agricultura, Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu – UNESP.

RESUMO: Fósforo e silício interagem no solo de modo que um pode aumentar a disponibilidade do outro, dessa forma objetivou-se estudar a influência da silicatagem, em comparação à calagem, na disponibilidade de silício avaliada por dois extratores. O delineamento experimental foi blocos casualizados, com quatro repetições, esquema fatorial 3x3x5, constituídos por três solos, três doses de fósforo e quatro corretivos de acidez e um tratamento sem correção, totalizando 180 parcelas. O experimento foi realizado em estufa, em vasos de 20 L. Os solos foram submetidos a três doses de P, (0, 50 e 150 mg dm⁻³), fonte superfosfato triplo em pó e mantidos incubados por 90 dias. Após a incubação foram realizadas análises químicas de rotina. Com base nesses resultados foi realizada a aplicação dos corretivos de acidez calculando-se as doses visando a elevar o V% para 70%. Os corretivos foram: calcário dolomítico, escória de aciaria, escória forno de panela, e wollastonita que permaneceram incubados por mais 60 dias e novas determinações dos níveis de Si foram realizadas pelo extrator cloreto de cálcio 0,01 mol L⁻¹ e pelo extrator ácido acético a 0,0025 mol L⁻¹. Os dados foram submetidos à análise de variância comparados pelo teste Tukey a 5%. Quando houve adição de P, o teor de Si foi maior, se comparado àqueles sem adição de P nos três solos. No solo, o teor de Si aumentou de forma linear, independentemente do extrator utilizado. A extração de Si pelo ácido acético revelou valores superiores em relação ao extrator cloreto de cálcio para todos os corretivos.

Termos de indexação: extratores de silício, silicatagem, fósforo no solo.

INTRODUÇÃO

A capacidade de liberação de silício para a solução de um solo é influenciada pela quantidade de sesquióxidos, os quais retêm SiO₂ e pelo grau de intemperismo do solo, mostrando que essa quantidade é diretamente dependente da estabilidade dos minerais da fase sólida.

A correção da acidez do solo com silicatos, além

de elevar o pH, pode disponibilizar o P, pelo efeito de interação com o silício que pode deslocar o P adsorvido para a solução.

Atualmente, os métodos empregados para avaliar a disponibilidade de Si às plantas utilizam soluções extratoras, como o ácido acético 0,5 mol L⁻¹ e o CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹. As soluções mais eficientes são as ácidas, em comparação às soluções neutras. No entanto, em algumas situações, os extratores ácidos resultam na superestimativa dos teores de Si solúvel (Sumida, 2002), o que tem sido relacionado, dentre outros fatores, ao pH da solução extratora.

Um dos fatores mais estudados e que interfere na solubilidade do silício no solo, em condições aeróbicas, é o pH. A adsorção de silício monomérico por hidróxidos de ferro e alumínio recém-precipitados e por argilas de um Latossolo aumenta com a elevação do pH de 4,0 até 9,0 (McKeague & Cline, 1963).

Os níveis críticos de Si no solo, em relação a algumas espécies de plantas, estão sendo atualmente estabelecidos no Brasil, usando-se como extratores de Si do solo o ácido acético e o cloreto de cálcio (Korndörfer & Lepsch, (2001), no entanto, ainda não está definido qual o melhor extrator a ser usado.

Partindo do princípio que o ânion silicato pode ocupar os pontos de adsorção do ânion fosfato e vice e versa, objetivou-se estudar a influência da silicatagem, em comparação à calagem, em solos oxídicos com fósforo previamente adsorvido, na disponibilidade de silício, avaliada por dois extratores.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em vasos de 20 L, em casa de vegetação na área experimental do Departamento de Ciência do Solo, pertencente à Faculdade de Ciências Agronômicas/UNESP/FCA, no município de Botucatu, SP, incubando três solos com fósforo que, posteriormente, receberam materiais corretivos de acidez e foram cultivados com milho. Foram selecionados três solos oxídicos que apresentaram variações texturais, todos ácidos,

com baixos teores de P lábil e classificados, de acordo com EMBRAPA (2006): como NEOSSOLO QUARTZARÊNICO distrófico (RQ), LATOSSOLO Vermelho Distrófico (Lvd), textura argilosa e LATOSSOLO Vermelho Distrófico (LVd), textura média, cujas características químicas são descritas na **tabela 1**.

Tabela 1. Características químicas dos solos estudados.

Características	Solos		
	LVd	Lvd	RQ
pH (CaCl ₂)	4,0	4,1	4,3
M.O. (g dm ⁻³)	30	37	11
P _{resina} (mg dm ⁻³)	4	5	trç
Si (mg dm ⁻³)	3,1	1,8	1,2
Al ³⁺ (mmol dm ⁻³)	19	15	4
H+Al (mmol dm ⁻³)	67	71	24
K (mmol dm ⁻³)	0,3	1,0	0,7
Ca (mmol dm ⁻³)	3	5	2
Mg (mmol dm ⁻³)	1	2	1
SB (mmol dm ⁻³)	4	9	4
CTC (mmol dm ⁻³)	71	79	28
V%	6	11	15

Cada solo foi submetido a três doses de P, (0, 50 e 150 mg dm⁻³), tendo como fonte superfosfato triplo em pó, umedecidos a 70% da capacidade máxima de retenção de água e mantidos incubados por 90 dias para que ocorresse a adsorção.

Após o período de incubação foram realizadas amostragens, para análise química de rotina, com base nesses resultados foi realizada a aplicação dos corretivos de acidez calculando-se as doses visando a elevar a 70% o valor de saturação por bases. Os corretivos de acidez utilizados foram: Calcário dolomítico, Escória de aciaria, Escória Forno de Panela (FP) e Wollastonita, cujas características são apresentadas na **Tabela 2**. Após a aplicação dos corretivos os solos permaneceram incubados por mais 60 dias e novas determinações dos níveis de Si foram realizadas.

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, com quatro repetições, sendo os tratamentos dispostos em esquema fatorial 3x3x5, com quatro repetições constituídos por três solos, em esquema fatorial 3x3x5, com quatro repetições constituídos por três solos, três doses de fósforo e quatro tipos de corretivos de acidez, além de um tratamento sem correção da acidez, totalizando 180 unidades experimentais.

Tabela 2. Análise dos materiais corretivos utilizados no experimento.

	Calc.	Escória FP	Wollas.	Esc. Aciaria
	g kg ⁻¹			
Ca	277	274	262	216
Mg	164	15,6	13,1	15,6
Si	80,0	121	168,2	90,1
P ₂ O ₅	trç	2,5	1,5	1,1
	(%)			
PN	84	77	60	70
RE	68	80	100	71
PRNT	58	62	60	50

A amostragem do solo foi efetuada em cada vaso, ao final do período de incubação com fósforo e com os materiais corretivos da acidez. Nas amostras de solo foram realizadas as determinações de: pH em CaCl₂, P, Ca, Mg e K extraídos pela resina trocadora de íons, H+Al³⁺ por acetato de cálcio (Raij et al., 2001). Os teores de fósforo foram determinados também pelo extrator Mehlich 1, na relação solo: solução de 1:10, com tempo de agitação de 5 min.

Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, com auxílio do programa SISVAR. Os efeitos das doses de P foram testados por meio de equações de regressão. Os modelos de regressão foram escolhidos com base no teste F, com significância de 1% e 5 % de probabilidade, e nos seus respectivos coeficientes de determinação. A eficiência dos extratores foi avaliada através da análise de correlação linear simples de Pearson, empregando-se a quantidade total de fósforo absorvida pelo milho e os teores de fósforo e silício extraídos pelos diferentes métodos testados. Foram consideradas correlações com níveis de significância maiores que 80% ($\alpha < 0,01$).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No solo, o teor de Si aumentou de forma linear, independentemente do extrator utilizado, (**Figura 1**). Demonstrando que os dois extratores foram eficientes na extração de Si.

Trabalhos de pesquisa mostram que o cloreto de cálcio extrai quantidades menores de silício do solo, porém discernindo e medindo melhor o silício disponível presente na solução do solo. Por outro lado, o ácido acético extrai silício originário, também, de polímeros simples, os quais são afetados por

mudanças no pH, CTC e a relação Si:Al solúveis na solução do solo (Berthelsen, 2005).

Comparando-se os extratores, nota-se que o ácido acético extraiu maior quantidade de Si do solo em todas as fontes estudadas. Provavelmente, esse processo ocorreu porque este extrator é capaz de extrair formas de Si não disponíveis para as plantas, tais como formas polimerizadas ou mesmo Si presente na fase sólida do solo (argilominerais) superestimando os valores de silício em solução (Queiroz, 2003).

Os teores de silício extraídos em ácido acético $0,025 \text{ mol L}^{-1}$, CaCl_2 $0,01 \text{ mol L}^{-1}$, foram influenciados pelas doses de fósforo e corretivos em todos os solos, (**Tabelas 2 e 3**). Os teores de silício em ácido acético foram maiores em relação aos teores obtidos com CaCl_2 . Isto pode ser devido, ao pH do ácido acético ser muito baixo (1,0 a 2,0), para a formação do complexo silico-molibdico (Korndörfer et al., 1999).

Para os dois extratores utilizados, os teores de silício solúvel foram maiores no solo argiloso, seguido pelo de textura média e arenoso. Isso concorda com os resultados obtidos por Freitas et al. (1977). A maior concentração de silício em solos argilosos pode ser devido à fração de silício extraído com ácido acético ser proveniente da fração argila.

De acordo com dados obtidos por Vidal (2005), nos solos onde houve adição de P, o Si remanescente foi maior estatisticamente, se comparado àqueles sem adição de P. O aumento do Si na solução, provocado pela adição de P ao solo, pode ser explicado pela maior preferência do P pelos sítios de adsorção dos sesquióxidos de ferro e alumínio, reduzindo a adsorção de Si. A adsorção de fósforo pelos sesquióxidos de ferro e alumínio pode diminuir de acordo com o pH.

CONCLUSÕES

Quando houve adição de P, o teor de Si foi maior, se comparado àqueles sem adição de P nos três solos estudados.

No solo, o teor de Si aumentou de forma linear, independentemente do extrator utilizado.

A extração de Si pelo ácido acético revelou valores superiores em relação ao extrator cloreto de cálcio para todos os corretivos.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq.

REFERÊNCIAS

BERTHELSEN, S.; KORNDÖRFER, G. H. Methods for Si analysis in plant, soil and fertilizers. In: SILICON IN

AGRICULTURE CONFERENCE, 3Proceedings. Universidade Federal de Uberlândia, 2005. p. 85-90. Uberlândia, 2005.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2.ed. Rio de Janeiro, 2006. 306p.

FREITAS, L. C. et al. Contribuição ao estudo da sílica solúvel em alguns perfis de solos. **Científica**, Jaboticabal, v. 5, n. 2, p. 296-305, 1977.

KORNDÖRFER, G. H.; LEPSCH, I. Effect of silicon on plant growth and yield. In: DATNOFF, L. E.; KORNDÖRFER, G. H.; SNYDER, G. H. (Ed.). **Silicon in agriculture**. Amsterdam: Elsevier, 2001. p. 133-147.

KORNDÖRFER, G. H. et al. Avaliação de métodos de extração de silício para solos cultivados com arroz de sequeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 23, p. 101-106, 1999.

MCKEAGUE, J. A.; CLINE, M. G. Silica in soils. II. The adsorption of monosilicic acid by soil and by other substances. **Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 43, n. 1, p. 83-95, 1963.

RAIJ, B. van et al. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas Instituto Agrônomo, 2001. 285p.

SUMIDA, H. Plant available silicon in paddy soils. In: SILICON IN AGRICULTURE CONFERENCE, 2., 2002, Tsuruoka. **Proceedings...** Tsuruoka: Japanese Society of Soil Science and Plant Nutrition, 2002. p.43-49.

VIDAL, A. **Efeito do pH na solubilidade de silício em solos da região do Triângulo Mineiro**. 2005. 69 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2005.

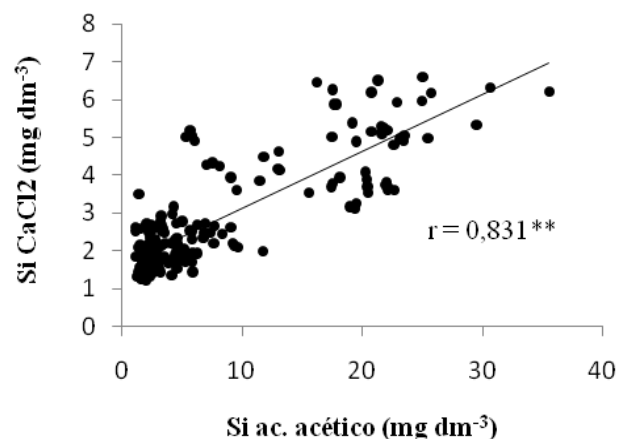


Figura 1 - Correlação entre silício determinado pelos métodos ácido acético e CaCl_2 em todos os solos estudados.

Tabela 2 - Teor de Si em ácido acético no solo, em função da aplicação dos corretivos e doses de P nos solos.

Doses	Si ácido acético (mg dm ⁻³)				
	Sem correção	Calcário	Wollastonita	Esc. FP	Esc. Aciaria
(RQ) Solo de textura arenosa ⁽¹⁾					
0	1,4 b	1,9 b	2,4 b	5,6 a	6,2 a
50	1,9 c	2,2 c	2,6 c	7,9 b	12,0 a
150	1,2 c	1,5 c	2,4 b	5,1 a	5,3 a
Ef. de doses	Q*	N.S	N.S	Q**	Q**
C.V (%) 14,79					
(LVd) Solo de textura média ⁽²⁾					
0	2,2 b	2,9 b	4,6 b	18,9 a	18,9 a
50	2,4 b	2,9 b	4,9 b	20,6 a	20,6 a
150	1,6 c	2,1 c	4,6 c	17,8 b	19,5 a
Ef. de doses	N.S	N.S	N.S	Q*	N.S
C.V (%) 27,27					
(Lvd) Solo de textura argilosa ⁽¹⁾					
0	2,8 b	5,1 b	5,3 b	23,4 a	20,4 a
50	3,4 d	4,9 cd	7,9 c	28,3 a	21,5 b
150	2,3 c	3,8 c	5,7 c	17,3 b	23,1 a
Ef. de doses	N.S	N.S	Q*(3)	Q**	N.S
C.V (%) 16,80					

1) Médias com letras minúsculas diferentes na mesma linha diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 1 %. 2) Médias com letras minúsculas diferentes na mesma linha diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5 %. (3) - L: efeito linear; Q: efeito quadrático; N.S – não significativo.*: P<0,05; ** P<0,01

Tabela 3 - Teor de Si CaCl₂ no solo, em função da aplicação dos corretivos e doses de P nos solos.

Doses	Si CaCl ₂ (mg dm ⁻³)				
	Sem correção	Calcário	Wollastonita	Esc. FP	Esc. Aciaria
(RQ) Solo de textura arenosa					
0	1,3 c ⁽¹⁾	1,3 c	1,3 c	2,5 a	1,9 b
50	1,6 c	1,7 bc	1,7 bc	2,6 a	2,1 b
150	1,6 b	1,9 b	1,8 b	2,5 a	2,3 a
Ef. de doses	L**	L**	Q*	N.S	N.S
C.V (%) 10,30					
(LVd) Solo de textura média					
0	1,5 c	1,8 c	1,5 c	4,9 b	3,7 a
50	1,8 b	1,8 b	2,2 b	3,8 a	3,7 a
150	1,9 c	2,0 c	2,3 c	3,9 a	3,3 b
Ef. de doses	Q*	L*	N.S	Q**	N.S
C.V (%) 11,40					
(Lvd) Solo de textura argilosa					
0	2,2 c	2,3 c	2,5 c	6,2 a	5,1 b
50	2,2 e	2,6 d	4,2 c	6,3 a	5,2 b
150	2,5 d	2,9 c	5,0 b	6,1 a	4,9 b
Ef. de doses	N.S	Q**(2)	Q**	N.S	N.S
C.V (%) 4,54					

(1) - Médias com letras minúsculas diferentes na mesma linha diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 1%. (2) - L: efeito linear; Q: efeito quadrático; N.S – não significativo.*: P<0,05; ** P<0,01