

# SOLOS E NUTRIÇÃO DE PLANTAS

## SOLUBILIDADE DO SILÍCIO EM SOLOS: INFLUÊNCIA DO CALCÁRIO E ÁCIDO SILÍCICO APLICADOS <sup>(1)</sup>

MÔNICA SARTORI DE CAMARGO <sup>(2\*)</sup>; GASPAR HENRIQUE KORNDÖRFER <sup>(3)</sup>;  
HAMILTON SERON PEREIRA <sup>(4)</sup>

### RESUMO

O silício tem sido muito utilizado na agricultura brasileira, especialmente após sua inclusão na legislação de fertilizantes e corretivos. Poucos são os estudos, no entanto, sobre sua solubilidade em solos tropicais, que é importante para sua utilização. Foi avaliado silício solúvel de solos de cerrado muito argilosos (LVd, LVAd, NVEf), de textura média (PVAe, LVd, LVAd) e arenoso (RQo) incubados com calcário (0, 2, 4 e 6 Mg ha<sup>-1</sup>) e ácido silícico (0 e 400 mg kg<sup>-1</sup>Si) e quatro repetições. As amostras dos solos foram secas, passadas em peneira ABNT 50 (0.297 mm) acondicionadas em potes (250 g) com os tratamentos e incubados por 90 dias (80 % da capacidade de campo). O ácido acético 0,5 mol L<sup>-1</sup>(AA) extraiu mais silício em relação à água (A) e CaCl<sub>2</sub> 0,01 mol L<sup>-1</sup>(CC). Os teores de Si foram maiores nos solos muito argilosos seguidos daqueles de textura média e arenoso e maiores no horizonte B que no horizonte A dos latossolos. Houve efeito apenas das doses de calcário que reduziram a acidez potencial, aumentaram o pH (CaCl<sub>2</sub>) e os teores de Ca e silício extraível em AA para todos os solos. Houve aumento nos teores de silício extraível por CC e A nos solos de textura média e arenoso e diminuição nos solos muito argilosos por efeito da calagem. Verifica-se a necessidade de estudos com plantas para seleção de extratores adequados para avaliar a disponibilidade de silício, especialmente em solos oxidícos, onde o aumento de pH tem efeito negativo sobre a solubilidade de silício.

**Palavras-chave:** extratores, pH, ácido acético, cloreto de cálcio.

### ABSTRACT

#### SOLUBILITY OF SILICON IN SOILS: EFFECT OF LIME AND SILICIC ACID APPLIED

Silicon has been utilized in Brazilian agriculture, specially after its inclusion in regulations concerning fertilizers. However, there are few studies on Si solubility in tropical soils, which is important for silicate fertilization. Soluble silicon was evaluated in clayey (LVd, LVAd, NVEf), loamy (PVAe, LVd, LVAd) and sandy soils (RQo) treated with lime (0, 2, 4 e 6 Mg ha<sup>-1</sup>) and silicic acid (0 e 400 mg kg<sup>-1</sup>), with 4 replications. The soil samples were dried and passed through sieve (50 mesh), placed in pots (250 g) with the treatments and incubated during 90 days (80 % of holding moisture capacity). The 0.5 mol L<sup>-1</sup> acetic acid (AA) extracted more silicon than water (A) and 0.01 mol L<sup>-1</sup> CaCl<sub>2</sub> (CC). Si contents were higher in clayey than in loamy and sandy soils and B horizon had more silicon than A horizon in latosols. There was effect of lime decreasing potential acidity and increasing pH(CaCl<sub>2</sub>), Ca, and AA extractable silicon contents in all soils. CC and A extractable Si increased in loamy and sandy soils and decreased clayey soils. Studies with plants to determinate suitable extractants for available Si are needed, especially in oxidic soils, where increasing pH decreases Si solubility.

**Key words:** extractants, pH, acetic acid, calcium chloride.

<sup>(1)</sup> Recebido para publicação em 7 de março de 2006 e aceito para publicação em 19 de abril de 2007.

<sup>(2)</sup> APTA, Unidade de Pesquisa e Desenvolvimento de Tietê, Caixa Postal 18, 18530-000 Tietê (SP). E-mail: mscamarg@yahoo.com.br (\*) Autora correspondente.

<sup>(3)</sup> Universidade Federal de Uberlândia, Instituto de Ciências Agrárias, Caixa Postal 593, 38400-902 Uberlândia (MG). Email: ghk@triang.com.br.

<sup>(4)</sup> Universidade Federal de Goiás - Campus de Jataí, Centro de Ciências Agrárias e Biológicas. Rod BR 364, km 192, Zona Rural, 75800-000 Jataí (GO). Email: hsp@jatai.ufg.br.

## 1. INTRODUÇÃO

O silício é um elemento benéfico para a produção de várias culturas (KORNDÖRFER et al., 2002). Sua utilização no País tem sido difundida nos últimos anos, principalmente após sua inclusão como micronutriente na legislação de fertilizantes pelo Ministério da Agricultura (BRASIL, 2004).

Os solos da região dos cerrados ocupam 23 % do território brasileiro, apresentando grande potencial para a produção de grãos. Várias classes de solos, no entanto, possuem alto grau de intemperismo, baixo pH e são pobres em silício e nutrientes, sendo dependentes da correção química (PEREIRA et al., 2004). Aliado a isso, cultivos sucessivos, especialmente de gramíneas, tendem a reduzir esses teores, que podem ser 5 a 10 vezes menores que os observados nas regiões temperadas (MC KEAGUE e CLINE, 1963).

O ácido monossilícico ( $H_4SiO_4$ ) é a forma absorvida pelas plantas (JONES e HANDRECK, 1967), sendo predominante na solução do solo em pH menor que 7,0 devido ao pKa (9,6) do ácido. A concentração de  $SiO_2$  extraível nos solos varia de menos de 1 até mais de 100  $mg\ dm^{-3}$  (RAVEN, 1983) em função dos teores de argila (RAIJ e CAMARGO, 1973), dos teores de óxidos de ferro e alumínio (FREITAS et al., 1977) e do pH (BECKWITH e REEVE, 1963; MC KEAGUE e CLINE, 1963). Dentre esses fatores, o pH do solo é um fator importante, pois pode ser alterado com o manejo dos solos, enquanto os outros são intrínsecos de cada tipo de solo.

A disponibilidade de silício às plantas é avaliada por meio de soluções extratoras como o ácido acético 0,5  $mol\ L^{-1}$  (SNYDER, 2001; KORNDÖRFER et al., 1999), o  $CaCl_2$  0,01  $mol\ L^{-1}$  (BERTHESEN et al., 2002) e solução-tampão acetato a pH 4 (SUMIDA, 2002). As soluções mais eficientes são as ácidas em comparação às soluções neutras (BECKWITH e REEVE, 1963) e, em algumas situações, podem superestimar os resultados (SUMIDA, 2002; XU et al., 2001). Isso está relacionado, dentre outros fatores, ao pH da solução extratora que pode influenciar a concentração de silício solúvel.

Como as concentrações de silício solúvel no solo e extraível são influenciadas pelo pH, o manejo químico do solo poderia afetar sua solubilidade e disponibilidade às plantas. Poucos trabalhos tratam da relação entre o pH e o silício solúvel em extratores em solos tropicais. Assim, o objetivo do presente trabalho foi estudar a solubilidade de silício em solos representativos da região do Triângulo Mineiro incubados com doses de calcário e silício, por meio de extratores (ácido acético 0,5  $mol\ L^{-1}$ ,  $CaCl_2$  0,01  $mol\ L^{-1}$  e água) comumente utilizados.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em casa de vegetação, no período de agosto a outubro de 2002, com delineamento experimental em blocos casualizados.

Os tratamentos consistiram de doses crescentes de calcário e equivalentes a 0, 2, 4 e 6  $Mg\ ha^{-1}$  e doses de silício (0 e 400  $mg\ kg^{-1}\ Si$ ), oito tipos de solos (Tabela 1) e quatro repetições. Para quatro desses solos, foi também amostrado o horizonte B. Os solos foram escolhidos pela sua representatividade na Região do Triângulo Mineiro, características contrastantes e materiais de origens diversas: das formações geológicas Marília e Uberaba (grupo Bauru), colúvio em posição inferior de vertente em área de rochas do pré-Cambriano (essencialmente xistos e gnaisses do Grupo Araxá), basalto da Formação Serra Geral (Grupo São Bento) e Coberturas Detrito-Lateríticas Terciárias (Tabela 1). A análise química de rotina foi feita de acordo com a COMISSÃO DE FERTILIDADE DO ESTADO DE MINAS GERAIS (1989).

Para instalação do experimento, foram amostrados os solos nos oito perfis em áreas sob vegetação nativa com o propósito de evitar influência de adubações. Sua caracterização física foi feita de acordo com o método proposto pela EMBRAPA (1999) e os teores de  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ , para o horizonte A dos solos foram obtidos (Tabela 2) pelo ataque sulfúrico (VETTORI, 1969).

No calcário havia 438  $g\ kg^{-1}$  de  $CaO$ , 6,6  $g\ kg^{-1}$   $MgO$ , poder de neutralização calculado = 80,1 e determinado = 77,4. O silício foi aplicado na forma de ácido silícico (P.A.) em pó com 28,7  $g\ kg^{-1}\ SiO_2$ .

As amostras dos solos da região do Triângulo Mineiro foram coletadas, secas, passadas em peneira ABNT-50 (0,297 mm), adicionadas em sacos plásticos com calcário e/ou ácido silícico P.A. para a homogeneização de cada parcela (Tabela 1). Em seguida, esse material foi acondicionado em potes (250 g), que permaneceram fechados, segundo o método descrito por MEDINA-GONZÁLEZ et al. (1988). A umidade do solo foi mantida a 80% da capacidade de campo utilizando-se água destilada (sem silício). A capacidade de campo foi determinada com base no consumo médio de água para atingir o ponto de friabilidade do solo. Nessa determinação, foram utilizadas cinco amostras de 1 kg de cada solo testado, conforme KORNDÖRFER et al. (1999).

**Tabela 1.** Classificação do solo, grupo e formação geológica, frações granulométricas e características químicas dos solos do cerrado do Triângulo Mineiro (MG)

Classificação	Sigla	Grupo Geológico	Formação	g kg <sup>-1</sup>				pH <sub>H2O</sub>	MO	CTC	V	m
				A	S	AG	AF					
Latosolo Vermelho distrófico típico	LVd (A)	Coberturas <sup>(1)</sup>	-	820	70	60	60	5,3	4,2	6,8	2,4	84
	LVd (B)			880	10	60	50	5,0	2,9	4,3	2,9	62
Latosolo Vermelho-Amarelo distrófico típico	LVAd (A)	Coberturas <sup>(1)</sup>	-	780	20	130	70	5,2	6,4	13,6	7,5	57
	LVAd (B)			850	20	70	60	4,5	5,8	6,2	1,1	85
Nitossolo Vermelho Eutroférico chernossólico	NVef	São Bento	Serra Geral	770	160	20	50	6,3	2,9	25,9	77,8	0
Latosolo Vermelho distrófico típico	LVdf	São Bento	-	650	200	100	50	6,1	3,9	9,5	21,1	11,1
Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico típico	PVAe	Ataxá	-	360	80	320	240	6,2	5,8	10,7	57,4	0,8
Latosolo Vermelho distrófico típico	LVd (A)	Bauru	Marília	170	0	290	530	5,1	1,8	4,4	2,1	92
	LVd (B)			170	10	290	540	4,8	1,7	3,1	1,0	96
Latosolo Vermelho-Amarelo distrófico típico	LVAd (A)	Bauru	Marília	180	10	330	490	5,8	1,9	4,3	2,2	84,5
	LVAd (B)			200	10	300	490	6,4	1,6	2,0	1,0	95,4
Neossolo Quartzarênico órtico típico	RQo	Bauru	Marília	120	00	650	230	4,6	1,0	2,8	4,4	83

<sup>(1)</sup> Coberturas Lateríticas Terciárias; A = Argila; S = silte; AF = areia fina; AG = areia grossa.

**Tabela 2.** Teores de silício ( $\text{SiO}_2$ ), alumínio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), ferro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) totais na fração argila e constantes de intemperismo Ki e Kr dos solos

Solo	Argila	%				
		$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	Ki	Kr
LVd <sup>1</sup> (A)	82	18,1	31,4	9,5	0,98	0,82
LVAd <sup>1</sup> (A)	78	20,2	34,8	7,5	0,99	0,87
LVdf	65	10,4	25,9	20,9	0,68	0,45
LVd <sup>2</sup> (A)	17	7,2	6,9	5,4	1,34	0,94
LVAd <sup>2</sup> (A)	18	20,2	34,8	7,5	0,99	0,87
RQo	12	11,2	4,5	2,3	4,2	3,2

(<sup>1</sup>) Latossolos de textura muito argilosa; (<sup>2</sup>) Latossolos de textura média.

LVd - Latossolo Vermelho distrófico típico; LVAd - Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico típico;

LVdf - Latossolo Vermelho distroférrico típico; RQo - Neossolo Quartzarênico órtico típico.

Após 90 dias de incubação, amostras dos solos foram retiradas dos potes, secas ao ar e submetidas às análises de pH( $\text{CaCl}_2$ ), Ca, acidez potencial (H+Al) (EMBRAPA, 1999) e teores de Si solúvel em ácido acético  $0,5 \text{ mol L}^{-1}$  (KORNDÖRFER et al., 1999),  $\text{CaCl}_2$   $0,01 \text{ mol L}^{-1}$  e água (RAIJ e CAMARGO, 1973). Para extração do Si nos solos foi utilizado o método colorimétrico do azul de molibdênio (HALLMARK, 1965). Dez gramas de solo foram adicionados a 100 mL de água ou ácido acético ou  $\text{CaCl}_2$   $0,01 \text{ mol L}^{-1}$  em copos plásticos, sendo fechados e agitados por 1 hora. Em seguida, esperou-se decantar por 15 minutos e foi feita filtragem da suspensão, deixando-a em repouso por 12 horas.

Para determinar o teor de silício no extrator, foram retirados 10 mL do extrato filtrado, sendo adicionado 1 mL da solução sulfo-molibdica a 7,5%. Após 10 minutos, foram acrescentados 2mL da solução de ácido tartárico 20%. Após 5 minutos, adicionaram-se 10 mL da solução de ácido ascórbico. Após uma hora foi feita a determinação do Si em espectrofotômetro no comprimento de onda de 660 nm (KORNDÖRFER et al., 1999).

A análise estatística das variáveis pH( $\text{CaCl}_2$ ), Ca, acidez potencial e silício solúvel nos três extratores incluiu a análise de variância (teste F) e de regressão polinomial através do programa SAS (Statistical Analysis System).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores de pH, Ca, acidez potencial (H+Al) e os teores de silício extraídos em ácido acético ( $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ ),  $\text{CaCl}_2$  ( $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ ) e água foram

influenciados pelas doses de calcário, mas não pelo silício aplicado (Tabelas 3 e 4).

As doses de calcário aumentaram o pH dos solos em função da sua capacidade tampão, alcançando valores próximos à neutralidade, exceto para os solos muito argilosos LVd(B), LVAd(A), LVAd(B) e LVdf (Tabelas 3 e 4), conforme esperado. Essa elevação do pH com o uso do calcário é decorrente do aumento na concentração das hidroxilas, redução da concentração de  $\text{H}^+$  em solução e precipitação do alumínio na forma de  $\text{Al}(\text{OH})_3$  (ALCARDE, 1992; PAVAN e OLIVEIRA, 1997). O aumento nos teores de cálcio nos solos (Tabela 3) confirma que o calcário reagiu com o solo durante o período experimental.

A fonte de silício utilizada (ácido silícico) não promoveu alteração significativa nos valores de pH e de silício nos solos (Tabela 3), conforme era esperado. Essa fonte havia sido escolhida por não promover alteração no pH do solo, apesar da sua baixa solubilidade em água. BENEDITO (2004) e CHAGAS (2004), cultivando arroz em vasos contendo solos arenoso ou argiloso e doses crescentes até  $800 \text{ mg kg}^{-1}$  Si, aplicado na forma de ácido silícico, obtiveram aumento da sua absorção apenas na casca dos grãos e, conforme o presente experimento, não observaram efeitos sobre o Si extraído em ácido acético e no pH do solo.

Quanto aos extratores, o cloreto de cálcio extraiu menos silício que a água, concordando com RAIJ e CAMARGO (1973); o ácido acético extraiu mais silício em todos os solos (Tabela 3). As quantidades de silício extraído dos solos foram inferiores aos teores esperados com base na solubilidade do ácido silícico em água, que é da ordem de 120 a  $140 \text{ mg kg}^{-1} \text{ SiO}_2$  (JONES e HANDRECK, 1967). A diferença entre a solubilidade desse elemento em soluções aquosas e na solução do solo é devida ao pH e à presença de argila e de óxidos de ferro e alumínio (FREITAS et al., 1977; JONES e HANDRECK, 1963).

Independentemente do tipo de solo, as doses de calcário proporcionaram aumento de silício extraído em ácido acético para o horizonte A e B (Tabela 3 e Figuras 1 e 2). Há uma relação direta entre os valores de pH e de silício extraído nesse extrator (Tabela 5). DALTO (2003), utilizando calcário sobre palhada de cana-de-açúcar, obteve mais alta concentração de Si extraído em ácido acético ( $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ ), comparada aos valores obtidos em água no latossolo após colheita de soja. Esses dados concordam com outros artigos em que se constata a eficiência de soluções ácidas comparadas às soluções neutras (BERTHELSEN et al., 2002; SUMIDA, 2002).

**Tabela 3.** Teor de silício solúvel nas soluções de ácido acético 0,5 mol L<sup>-1</sup> (AC) e CaCl<sub>2</sub> 0,01 mol L<sup>-1</sup> (CC) e em água (H<sub>2</sub>O) e valor de pH (CaCl<sub>2</sub>) em solos sob cerrado incubados com calcário e silício

Trt. (1)	Ext.(2) (A)	LVd	LVd	LVAd	LVAd	LVdf	NVef	PVAe	LVd	LVd	LVAd	LVAd	RQo
		(B)	(A)	(B)	LVAd	LVdf			(A)	(B)	(A)	(B)	
Si (mg kg <sup>-1</sup> )													
1	AC	14,2	48,4	8,4	25,2	28,2	203,1	20,6	2,6	9,1	4,6	14,0	2,3
	CC	4,1	4,5	3,7	6,2	9,2	30,2	7,7	2,8	4,2	2,3	5,0	1,1
	H <sub>2</sub> O	4,2	4,5	3,3	5,9	9,6	30,2	7,1	2,6	5,2	2,8	5,5	1,1
	pH	4,3	3,9	3,7	4,2	4,8	5,7	4,9	3,7	3,8	3,9	4,4	3,8
2	AC	17,4	49,9	8,7	22,8	28,6	219,7	24,5	3,8	10,1	6,0	14,3	2,6
	CC	4,4	4,6	3,6	6,7	9,2	29,8	7,8	2,3	4,2	2,4	5,1	1,5
	H <sub>2</sub> O	4,1	4,3	3,7	6,1	9,5	30,9	7,3	2,7	4,9	2,7	6,0	1,0
	pH	4,5	3,8	3,7	4,2	4,7	5,7	4,8	3,6	3,9	3,8	4,4	3,8
3	AC	18,3	51,9	9,7	25,5	31,3	243,3	33,5	5,2	16,9	8,1	25,2	3,2
	CC	3,0	4,1	3,2	5,5	8,4	23,9	9,6	2,2	3,7	2,3	4,2	1,4
	H <sub>2</sub> O	3,6	3,9	3,5	4,6	9,1	26,9	8,3	2,5	4,4	2,5	5,3	1,5
	pH	5,5	4,5	4,0	5,0	5,1	6,2	5,6	4,5	5,5	4,9	6,4	5,3
4	AC	25,7	56,5	9,1	23,4	32,7	253,5	34,2	5,6	19,1	8,1	28,3	4,1
	CC	3,0	4,1	4,2	4,7	8,5	24,4	11,5	2,4	4,3	2,5	5,1	1,6
	H <sub>2</sub> O	3,7	4,2	3,3	5,4	9,1	27,6	8,4	2,4	5,1	2,6	6,7	5,2
	pH	5,7	4,5	3,9	5,0	5,2	6,1	5,5	4,5	5,7	4,9	6,5	5,4
5	AC	31,3	74,5	9,3	30,5	34,8	281,7	52,6	15,3	46,6	14,9	40,1	12,8
	CC	1,7	4,5	4,2	3,7	7,8	19,8	12,0	4,0	2,9	3,4	3,3	2,9
	H <sub>2</sub> O	2,5	4,0	3,2	3,9	8,1	24,2	9,5	4,8	4,8	3,6	4,3	2,9
	pH	6,6	5,2	4,2	5,8	5,6	6,5	6,5	5,8	7,3	5,9	7,4	7,0
6	AC	37,5	81,9	9,9	31,8	35,3	288,9	55,3	17,5	65,7	14,1	49,3	16,3
	CC	2,1	4,3	4,8	4,2	8,3	20,6	13,0	4,1	3,2	3,9	4,3	3,4
	H <sub>2</sub> O	4,4	4,5	3,3	5,2	8,6	22,2	9,2	5,9	5,9	4,4	5,8	4,2
	pH	6,6	5,2	4,2	5,8	5,6	6,5	6,7	5,8	7,4	6,0	7,4	7,0
7	AC	36,3	103,9	10,3	42,9	36,9	302,6	72,9	36,6	60,6	34,2	41,5	18,0
	CC	2,5	4,8	4,6	2,5	7,1	16,6	12,4	4,9	2,2	6,0	3,2	3,4
	H <sub>2</sub> O	1,8	5,1	3,3	4,0	7,3	21,5	9,2	6,5	3,1	6,4	3,2	3,6
	pH	7,2	5,9	4,6	6,5	5,9	6,8	7,0	7,1	7,5	7,0	7,5	7,3
8	AC	44,7	133,3	11,5	50,5	39,7	309,2	73,7	37,9	73,6	28,9	48,3	18,3
	CC	2,2	4,8	3,6	3,3	7,3	16,7	14,4	5,5	3,4	5,4	3,9	3,5
	H <sub>2</sub> O	2,6	5,2	3,4	4,8	8,0	20,3	9,4	6,5	3,7	6,6	4,3	3,6
	pH	7,3	5,9	4,6	6,5	5,9	6,8	7,0	7,0	7,4	7,0	7,5	7,3

(1) Tratamentos: 1) 0; 2) 400 mg kg<sup>-1</sup>Si; 3) 2 Mg ha<sup>-1</sup> calcário; 4) 2 Mg ha<sup>-1</sup> calcário + 400 mg kg<sup>-1</sup>Si; 5) 4 Mg ha<sup>-1</sup> calcário; 6) 4 Mg ha<sup>-1</sup> calcário + 400 mg kg<sup>-1</sup>Si; 7) 6 Mg ha<sup>-1</sup> calcário ; 8) 6 Mg ha<sup>-1</sup> calcário + 400 mg kg<sup>-1</sup>Si.

(2) Extratores: AC= ácido acético (0,5 mol L<sup>-1</sup>), CC=cloreto de cálcio 0,01 mol L<sup>-1</sup> e H<sub>2</sub>O=água.

LVd - Latossolo Vermelho distrófico típico; LVAd - Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico típico;

LVdf - Latossolo Vermelho distroférrico típico; NVef - Nitossolo Vermelho Eutroférrico chernossólico; PVAe - Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico típico; RQo - Neossolo Quartzarênico órtico típico.

**Tabela 4.** Efeito de doses de calcário (X) sobre os teores de Ca trocável, pH, H+Al (Y) nos solos após incubação

Solos	Ca		H+Al		pH	
	Regressão <sup>(1)</sup>	R <sup>2</sup>	Regressão <sup>(1)</sup>	R <sup>2</sup>	Regressão <sup>(1)</sup>	R <sup>2</sup>
LVd(A)	Y=0,58 + 0,515X	0,70*	Y=1,334 - 0,204 X	0,60*	Y=4,527+ 0,473 X	0,96*
LVd(B)	Y=0,001 + 0,354 X	0,91*	Y=4,873 - 0,467 X	0,98*	Y=3,859+ 0,335 X	0,99*
LVAd (A)	Y=0,566 + 0,625 X	0,98*	Y=2,510 - 0,457 X	0,68*	Y=3,673+ 0,148 X	0,98*
LVAd(B)	Y=0,125 + 0,646 X	0,99*	Y=4,258 - 0,487 X	0,96*	Y=4,228+ 0,386 X	0,99*
LVdf	Y=2,035 + 0,755X	0,98*	Y=4,097 - 0,460 X	0,90*	Y=4,763+ 0,194 X	0,98*
NVef	Y=9,063 + 0,923 X	0,93*	Y=1,560 - 0,228 X	0,70*	Y=5,726+ 0,186 X	0,85*
PVAe	Y=5,090 + 0,757 X	0,95*	Y=2,697 - 0,372 X	0,91*	Y=4,986+ 0,351 X	0,91*
LVd(A)	Y=0,172 + 0,436 X	0,78*	Y=2,652 0 0,370 X	0,88*	Y=3,535+ 0,574 X	0,98*
LVd(B)	Y=0,180 + 0,398 X	0,99*	Y=1,728 - 0,190 X	0,85*	Y=4,120+ 0,621 X	0,91*
LVAd(A)	Y=0,110 + 0,630	0,98*	Y=3,398 - 0,409 X	0,99*	Y=3,838+ 0,525 X	0,99*
LVAd(B)	Y=0,053 + 0,639 X	0,99*	Y=2,068 -0,299 X	0,77*	Y=4,884+ 0,518 X	0,85*
RQo	Y=0,038 + 0,677 X	0,99*	Y=1,808 - 0,287 X	0,86*	Y=4,046+ 0,061 X	0,93*

<sup>(1)</sup> Equações de regressão significativas a 5 % de probabilidade (\*).

LVd - Latossolo Vermelho distrófico típico; LVAd - Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico típico;

LVdf - Latossolo Vermelho distroférrico típico; NVef - Nitossolo Vermelho Eutrófico chernossólico; PVAe - Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico típico; RQo - Neossolo Quartzarênico órtico típico.

O maior poder de extração do ácido acético pode ser explicado pelo pH baixo (1,0-2,0) necessário para a formação do complexo silico-molíbídico na determinação do silício pelo método do azul de molibdênio (HALLMARK, 1965). A mudança no pH do solo contribuiu para maior extração de silício, uma vez que essa diferença é maior com as doses de calcário utilizadas. Em solos calcáreos, XU et al. (2001) atribuíram essa alta concentração de silício em solução ácida (pH 4,0) à dissolução de silicato de cálcio.

Os teores de silício extraídos com a água e cloreto de cálcio foram crescentes com as doses de calcário (Figuras 1 e 2) para o PVAe, LVAd (A) textura média e RQo (Tabela 5). Ao contrário, para os solos muito argilosos (NVef, LVd, LVdf), em amostras do horizonte B ocorreu decréscimo significativo dos teores de Si nesses extratores com o aumento do pH, exceto para o LVd (Tabela 5). Para os solos com alto teor de argila e/ou óxidos de ferro e alumínio (Tabela 2), esses resultados podem ser explicados pela formação de aluminossilicato amorfo de composição semelhante à caulinita, insolúvel em água e em cloreto de cálcio, conforme observado por LOPES (1977). A concentração de silício extraível pode ter sido reduzida com a elevação do pH também por uma reação de adsorção de silício solúvel pelos óxidos de ferro e alumínio, dependente do pH (FREITAS et al., 1977; BROWN e MAHLER, 1987; BECKWITH e REEVE, 1963; MC KEAGUE e CLINE, 1963). Para os resultados do horizonte B, isso pode ser explicado pelo maior teor de argila e menor teor de matéria orgânica em profundidade nos Latossolos, sugerindo maior exposição de superfícies adsorventes,

especialmente de óxidos e, conseqüentemente, maior adsorção de silício e menor extração.

De modo geral, o cloreto de cálcio extraiu menos silício que a água, concordando com RAIJ e CAMARGO (1973) e o ácido acético extraiu mais silício em todos os solos. Os teores de silício solúvel nos extratores foram maiores para os solos muito argilosos (NVef, LVdf, LVd, LVAd), seguidos daqueles de textura média (PVAe, LVd e LVd) e arenosa (RQo) (Tabela 3). Esses resultados concordam com vários trabalhos sobre relação linear entre o teor de argila e o silício extraível (RAIJ e CAMARGO, 1973; FREITAS et al., 1977; MEYER e KEEPING, 2001).

As diferenças entre os teores extraídos nos diversos tipos de solos não está baseada apenas no teor de argila, mas também no teor de óxidos de ferro e de alumínio e na sua reserva de silício. Para os solos muito argilosos, o teor de silício nos extratores é maior no NVef, seguido de LVdf, LVd e LVAd, que não correspondem à ordem decrescente do teor de argila (Tabela 1). Em NVef observou-se maior teor extraível, pois contém minerais 1:1 como a caulinita (MELO et al., 2003) já que é um solo mais jovem que os outros, indicado pelo alto teor de silte (Tabela 1). A afirmativa de que existem maiores quantidades de óxido de alumínio nos solos LVAd e LVd, muito argilosos em relação ao NVdj, não é comprovada. O método utilizado (ataque sulfúrico, VETTORI, 1969) para os dados apresentados na tabela 2 extrai Al estrutural e não-estrutural dos minerais de fração argila, o que inclui não somente os óxidos, mas também os argilominerais (caulinita, etc.).

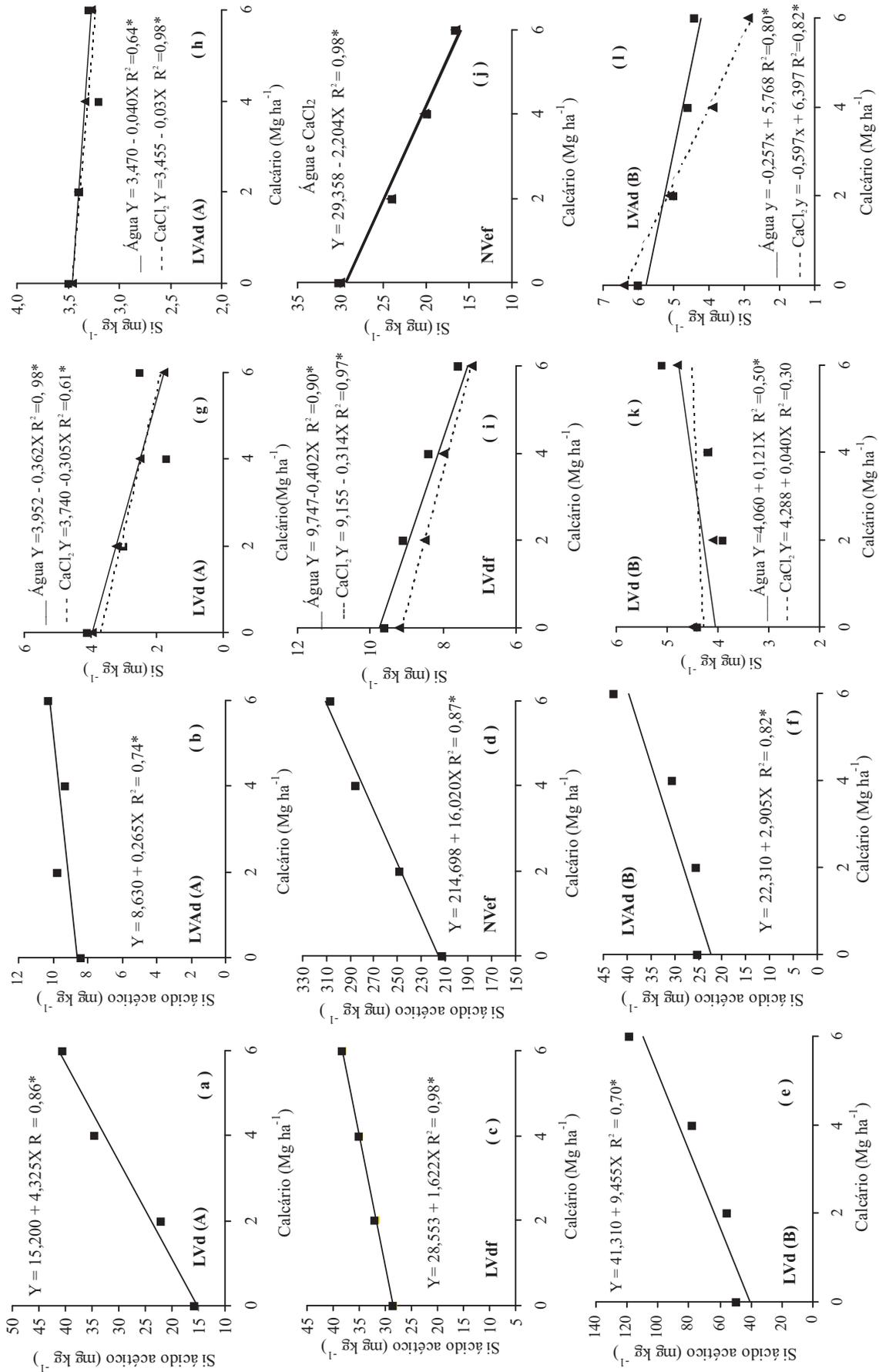


Figura 1. Teores de silício em ácido acético 0,5 mol L<sup>-1</sup> (a-f), CaCl<sub>2</sub> 0,01 mol L<sup>-1</sup> e água (g-l) em solos muito argilosos incubados com calcário.

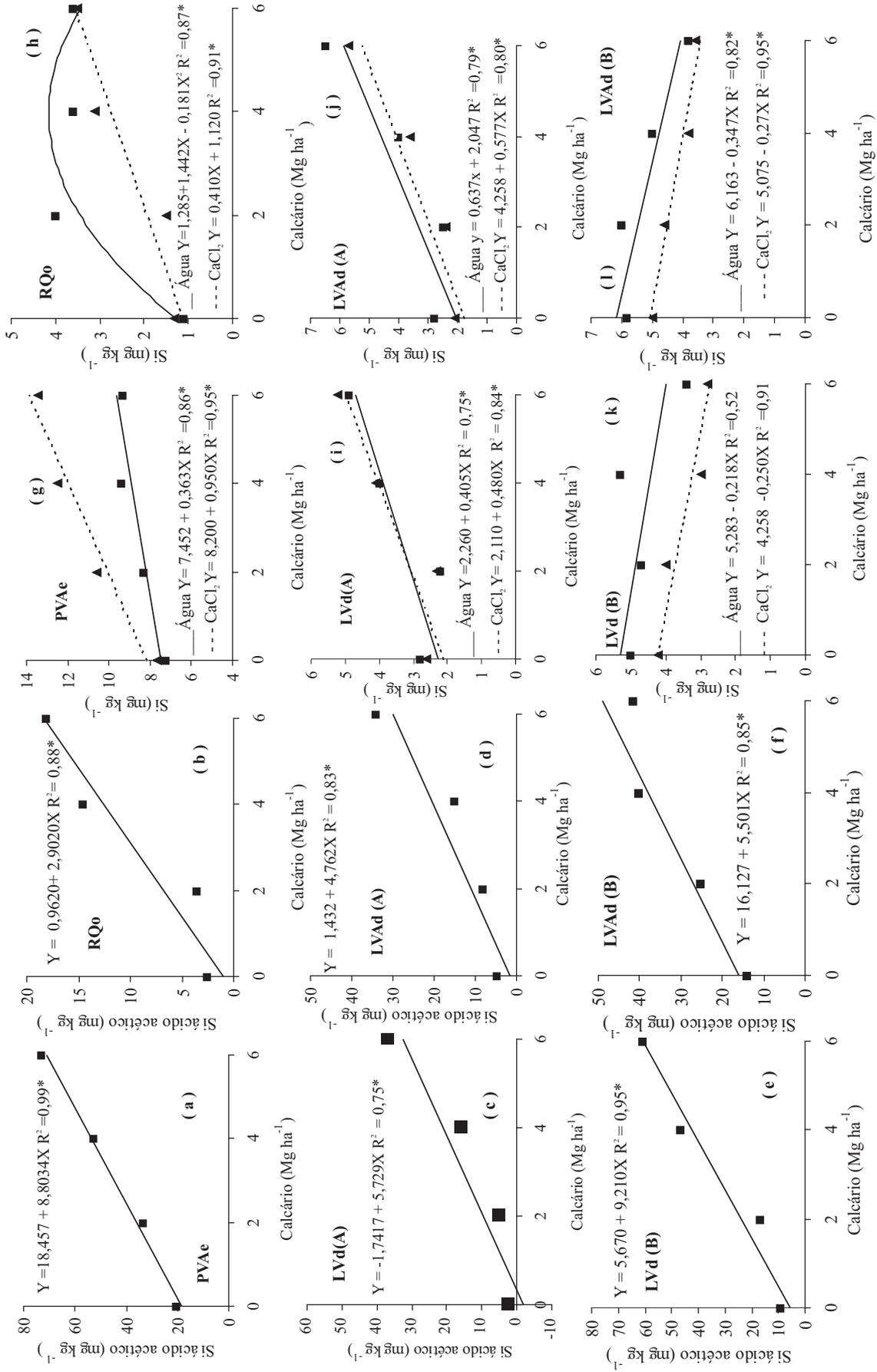


Figura 2. Teores de silício em ácido acético 0,5 mol L<sup>-1</sup> (a- f), CaCl<sub>2</sub> 0,01 mol L<sup>-1</sup> e água (g-l) em solos de textura média e arenoso com calcário.

**Tabela 5.** Efeito do pH (X) sobre os teores de silício em ácido acético (0,5 mol L<sup>-1</sup>), CaCl<sub>2</sub> (0,01 mol L<sup>-1</sup>) e água (Y) nos solos após incubação

Solos ( <sup>1</sup> )	Silício					
	Ácido Acético		CaCl <sub>2</sub>		Água	
	Regressão ( <sup>1</sup> )	R <sup>2</sup>	Regressão ( <sup>1</sup> )	R <sup>2</sup>	Regressão ( <sup>1</sup> )	R <sup>2</sup>
LVd(A)	Y= -25,908 + 9,097X	0,88*	Y= 7,307 - 0,745X	0,68*	Y= 6,848 - 0,505X	0,47ns
LVd(B)	Y= -93,288 + 34,612X	0,70*	Y= 3,815 +0,122X	0,07ns	Y= 2,627 + 0,369X	0,28ns
LVAd(A)	Y= -0,838 + 2,537X	0,54*	Y= 1,302 + 0,656X	0,15ns	Y= 4,401 - 0,161X	0,03ns
LVAd(B)	Y= -19,622 + 9,501X	0,75*	Y= 12,905 - 1,541X	0,89*	Y= 8,593 - 0,668X	0,46ns
LVdf	Y= -11,288 + 8,370X	0,76*	Y= 16,890 - 1,623X	0,89*	Y= 7,128 - 0,445X	0,54*
Nvef	Y=-275,150 + 85,584X	0,88*	Y= 97,154 -11,839X	0,99*	Y= 80,885 - 8,818X	0,90*
PVAe	Y= 6,221 + 0,105X	0,68*	Y= -3,686 + 2,457X	0,81*	Y= 2,647 + 1,099X	0,81*
LVd(A)	Y= -37,693 + 10,106X	0,91*	Y= -1,045 + 0,869X	0,86*	Y=-37,693+10,106X	0,54*
LVd(B)	Y= -58,074 + 15,798X	0,83*	Y= 5,740 - 0,368X	0,59*	Y= 5,881 - 0,206X	0,12
LVAd(A)	Y= -28,808 + 8,074X	0,76*	Y= -2,420 + 1,099X	0,81*	Y= -2,633 + 1,216X	0,79*
LVAd(B)	Y= -31,438 + 9,949X	0,88*	Y= 7,128 - 0,445X	0,54*	Y= 7,962 - 0,445X	0,54*
RQo	Y= 0,941 + 0,143X	0,96*	Y= -1,501 + 0,653X	0,84*	Y=-1,099 + 0,678X	0,41

(<sup>1</sup>) Equações de regressão significativa (\*) e não significativas (ns) a 5 % de probabilidade.

LVd - Latossolo Vermelho distrófico típico; LVAd - Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico típico;

LVdf - Latossolo Vermelho distroférico típico; Nvef - Nitossolo Vermelho Eutroférico chernossólico; PVAe - Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico típico; RQo - Neossolo Quartzarênico órtico típico.

Dentre os solos de textura média e arenosa, em PVAe observou-se baixo estágio de intemperismo e material de origem primário como mica e feldspatos, fontes de silício, pois foi proveniente de material coluvial relacionado a produtos da alteração de gnaisse e micaxistos (grupo Araxá). Apesar de ser solo mais jovem que Nvef, seu teor de silício solúvel foi menor (Tabela 3). Nesse caso, como possui mineralogia rica em Si, o fator quantidade de argila pode explicar esse maior teor de Si. Entre os solos de textura média LVd e LVAd, pertencentes ao mesmo grupo (Bauru) e formação geológica (Marília) e textura e teor de SiO<sub>2</sub> total (Tabela 2), o teor de silício extraído foi semelhante. Já RQo foi o solo com menor teor de silício extraído em todos os extratores estudados, apesar de ser mais jovem que os Latossolos (constante de intemperização-Ki=4,2; Tabela 2), explicado por estar na forma de quartzo (silício na forma de SiO<sub>2</sub>), que não é prontamente disponível para a planta e a pequena parte disponível é facilmente lixiviada.

É preciso ressaltar que o cloreto de cálcio (0,01mol L<sup>-1</sup>) possui pH mais próximo à solução do solo em relação às outras soluções extratoras utilizadas. Aliado a isso, não há problemas com turbidez das partículas de argila no extrato filtrado, ao contrário do que ocorre com a água. Seu inconveniente está na dificuldade em discriminar classes de teores de silício (alto, médio e baixo) para os diferentes tipos de solo e à sua incapacidade de extrair compostos insolúveis devido ao seu baixo

poder de extração. Ao contrário, o ácido acético diferencia de forma acentuada os teores de silício entre os solos, sendo utilizado para avaliar o Si solúvel para a recomendação de adubação de silicatos nos solos orgânicos da Flórida. Os problemas desse extrator ácido consistem no seu alto poder de extração, inclusive de silicatos utilizados anteriormente (PEREIRA et al., 2004), e à alta influência do pH sobre os teores extraídos. No Brasil, onde os solos são altamente dependentes da correção da acidez e com baixo poder tampão, o ácido acético não deveria ser utilizado, conforme os resultados apresentados.

Assim, o extrator CaCl<sub>2</sub> 0,01 mol L<sup>-1</sup> é de maior potencial de utilização para avaliar o silício solúvel nos solos em análises químicas comparada às outras soluções extratoras estudadas no presente experimento. São necessários estudos com plantas para seleção de extratores adequados para avaliar a disponibilidade de silício, especialmente em solos oxidicos, onde o aumento de pH tem efeito negativo sobre a solubilidade de silício.

#### 4. CONCLUSÕES

1. O teor de silício solúvel nos extratores foi maior nos solos muito argilosos, seguidos dos de textura média e arenosa.

2. O teor de silício em ácido acético (0,5 mol L<sup>-1</sup>) foi maior que em água e CaCl<sub>2</sub> (0,01 mol L<sup>-1</sup>).

3. As doses de calcário aumentaram o pH, Ca trocável e silício solúvel em todos os extratores nos solos de textura média e arenoso e reduziram nos solos argilosos.

4. O ácido acético 0,5 mol L<sup>-1</sup>, o CaCl<sub>2</sub> 0,01 mol L<sup>-1</sup> e a água apresentam problemas para avaliação de silício solúvel nos solos com alto teor de óxidos, sendo necessários estudos com plantas.

## REFERÊNCIAS

- ALCARDE, J. C. **Corretivo de acidez do solo**: características e interpretações. São Paulo: Associação Nacional para Difusão de Adubos e Corretivos Agrícolas, 1992. 26p. (Boletim Técnico 6)
- BECKWITH, R. S.; REEVE, R. Studies on soluble silica in soils. 1-The sorption of silicon acid by soils and minerals. **Australian Journal Soil Research**, Melbourne, v.1, n.3, p.157-168, 1963.
- BENEDITO, D. S. **Interação boro x silício na nutrição, crescimento e produção do arroz**. 2004. 62f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, 2004.
- BERTHELSEN, S.; NOBLE, A.; KINGSTON, G.; HURNEY, A.; RUDD, A. Effect of Ca-silicate amendments on soil chemical properties under a sugarcane cropping system. In: SILICON IN AGRICULTURE CONFERENCE, 2., 2002, Tsuruoka, Japão. **Anais....** Tsuruoka: Japanese Society of Soil Science and Plant Nutrition, 2002, p. 57.
- BRASIL Decreto n.º 2954. Aprova o regulamento da lei 6894 de 16 de janeiro de 1980, que dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes ou biofertilizantes destinados à agricultura, e dá outras providências. **Normas Jurídicas** (Texto Integral) - DEC 004954, 14 jan., 2004, 27 p.
- BROWN, T. H.; MAHLER, R. L. Sorption of silica in a northern Idaho Palouse silt loam. **Soil Science**, New Brunswick, v.144, n.3, p.181-189, 1987.
- CHAGAS, R.S.C. **Avaliação de fontes de silício para as culturas do arroz e milho**. 2004. 100f. Tese (Doutorado em Ciências) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Piracicaba.
- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. 4.ª aproximação. Lavras : CFSEMG, 1989. 159p.
- DALTO, G. **Manejo de silicato e calcário em soja cultivada sobre palhada de cana-de-açúcar**. 2003. 90 p. Dissertação (Mestrado em Solos) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2003.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999. 370p.
- FREITAS, L. C.; COSTA FILHO, J. F. da; ALOISI, R. R.; MELO, W. J. Contribuição ao estudo da sílica solúvel em alguns perfis de solos. **Científica**, Jaboticabal, v.5, n.2, p.296-305, 1977.
- HALLMARK, C. T.; WILDING, L. P.; SMECK, N. E. 1982. **Silicon**. Madison: American Society of Agronomy, 1982. p. 263-265. (Agronomy Monograph, 9)
- JONES, J. H.; HANDRECK, K. A. Effect of iron and aluminum oxides on silica in solution in soils. **Nature**, London, v.108, p.852-853, 1963.
- JONES, L. H. P.; HANDRECK, K. A. Silica in soils, plants, and animals. **Advances in Agronomy**, New York, v.19, n.2, p.107-149, 1967.
- KORNDÖRFER, G. H.; COELHO, N. M.; SNYDER, G. H.; MIZUTANI, C. T. Avaliação de métodos de extração de silício para solos cultivados com arroz de sequeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n.2, p.101-106, 1999.
- KORNDÖRFER, G. H.; SNYDER, G. H.; ULLOA, A. M.; PERDOMO, R.; POWELL, C.; DEREN, C.; DATNOFF, L. E. Calibration of soil and plant silicon analysis for rice production. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v.24, n.4, p.1071-1084, 2001.
- KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; CAMARGO, M. S. **Silicatos de cálcio e magnésio**. 2. ed. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2002. 23 p. (Boletim Técnico, 1)
- LOPES, M. S. **Relações entre pH e adsorção de P e Si em solos**. 1977. 117f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas)-Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1977.
- Mc KEAGUE, J. A.; CLINE, M. G. Silica in soils. **Advances in Agronomy**, New York, v.15, n.3, p.339-397, 1963.
- MEDINA-GONZALES, O. A.; FOX, R. L.; BOSSHART, R. P. Solubility and availability to sugarcane (*Saccharum* spp.) of two silicate materials. **Fertilizer Research**, The Hague, v.16, n.1, p.3-13, 1988.
- MELO, V.F.; RIBEIRO, A.N.; MASCHIO, P.A; CORRÊA, G.F.; LIMA, V.C. Mineralogia e formas de potássio e magnésio em diferentes classes de pesos e tamanhos da fração areia de solos do Triângulo Mineiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n.2, p.219-231, 2004.
- MEYER, J.H.; KEEPING, M.G. Past, present and future research of the role silicon for sugarcane in southern Africa. In: DATNOFF, L.E.; SNYDER, G.H.; KORNDÖRFER, G.H. **Silicon in Agriculture**. Elsevier: Amsterdam, 2001. p.257-274.
- PAVAN, M.A.; OLIVEIRA, E.L.de **Manejo da acidez do solo**. Londrina: Instituto Agrônomo do Paraná, 1997. 87 p. (Circular, 95)
- PEREIRA, H. S.; KORNDÖRFER, G. H.; VIDAL, A. A.; CAMARGO, M. S. Silicon sources for the rice plants. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 61, n. 5, p. 522-528, 2004.

- RAIJ, B. van; CAMARGO, O. A. Sílica solúvel em solos. **Bragantia**, Campinas, v. 32, p.223-231, 1973.
- RAVEN, J.A. The transport and function of silicon in plant. **Biological Reviews**, Cambridge, v.58, n.2, p.179-207,1983.
- SNYDER, G. H. Methods for silicon analysis in plants, soils and fertilizers. In: DATNOFF, L.E.; SNYDER, G. H.; KORNDÖRFER, G. H. **Silicon in Agriculture**. Elsevier: Amsterdam, 2001. p.185-196.
- SUMIDA, H. Plant available silicon in paddy soils. In: SILICON IN AGRICULTURE CONFERENCE, 2., 2002, Tsuruoka, Japão. **Anais...** Tsuruoka: Japanese Society of Soil Science and Plant Nutrition, 2002. p.43-49.
- VETTORI, L. **Métodos de análises de solos**. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, 1969. 24 p. (Boletim Técnico, 7)
- XU, G.; ZHAN, X.; CHUNHUA, L.; BAO, S.; LIU, X.; CHU, T. Assessing methods of available silicon in calcareous soils. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 32, n.3, p.787-801, 2001.