

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE AGRONOMIA**

**DISPONIBILIDADE DE SILÍCIO NO SOLO AFETADA PELO pH E PELO TIPO
DE EXTRATOR**

DANIEL SCALIA BARBOSA

GASPAR HENRIQUE KORNDÖRFER
(Orientador)

Monografia apresentada ao Curso de
Agronomia, da Universidade Federal de
Uberlândia, para obtenção do grau de
Engenheiro Agrônomo.

Uberlândia - MG
Novembro - 2004

**DISPONIBILIDADE DE SILÍCIO NO SOLO AFETADA PELO pH E PELO TIPO
DE EXTRATOR**

APROVADO PELA COMISSÃO EXAMINADORA EM 23 / 11 / 2004

Prof. Dr. Gaspar Henrique Korndörfer
(Orientador)

Prof. Dr. Antônio Nolla
(Membro da banca)

Anelisa de Aquino Vidal
(Membro da banca)

Uberlândia - MG
Novembro - 2004

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por me conceder inteligência, saúde e forças para a conclusão de mais essa etapa em minha vida, me tornar Engenheiro Agrônomo.

Um agradecimento especial à minha família que me apoiou e me estimulou desde o princípio do curso, inclusive financeiramente.

À minha namorada Karina, minha eterna gratidão pelo companheirismo e paciência durante todo esse tempo. Ao meu amigo Rogério, pela amizade e apoio na realização desse projeto e durante todo o curso, e minha gratidão a todos meus colegas de farra que de uma forma ou de outra sempre me apoiaram em todos os momentos, especialmente o Valtim, o Tadeu, o Amarelo, o Piu-piu, o Kitelo, o Tutina, o William, o Saul, a Bárbara, a Thaís, a Meiry, a Talita, a Amanda e todos os companheiros de República, o Djalma, o Daniel, o Faim, o Lucim, e especialmente meu irmão Thiago.

Agradeço também ao meu orientador, professor Dr. Gaspar Henrique Korndörfer, pelo aprendizado e pela confiança depositada em mim nesse período, à Dra. Mônica Sartori de Camargo e à Anelisa que muito me ajudaram nesse trabalho, e a todos os demais amigos do “Grupo de Pesquisa Silício na Agricultura”, o qual muito me orgulha participar.

ÍNDICE

RESUMO.....	4
1-INTRODUÇÃO.....	5
2- REVISÃO DE LITERATURA.....	7
3-MATERIAL E METÓDOS.....	13
4-RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	17
4.1 Extratores e solos.....	17
4.2 Extratores e pH.....	18
5-CONCLUSÕES.....	23
6-REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	24

RESUMO

A adubação silicatada promove aumento na disponibilidade de silício solúvel no solo, elevação do pH, aumento dos teores de cálcio e magnésio trocáveis, além de reduzir a toxicidade do ferro, manganês e alumínio às plantas. A concentração de silício na solução do solo é influenciada pelo pH pois o uso do calcário ou do silicato afeta sua disponibilidade em função do tipo de extrator. Visando um estudo da influência do pH sobre a disponibilidade de silício, considerando os princípios de ação dos extratores utilizados (ácido acético $0,5 \text{ mol L}^{-1}$, CaCl_2 $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ e H_2O), foi montado um experimento de incubação em ambiente protegido, onde provavelmente a temperatura e a umidade não sofreram grande variações, no Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Uberlândia (MG). O ensaio foi conduzido em blocos casualizados, em esquema fatorial com 13 tipos de solos coletados sob vegetação de cerrado, 4 doses de calcário, 2 doses de silício com 3 repetições. Após 90 dias de incubação a 80% da capacidade de campo, amostras homogêneas de solo foram retiradas, secas ao ar, passadas em peneira ($< 2 \text{ mm}$) e depois foram realizadas análises de textura, silício em ácido acético, CaCl_2 , H_2O e pH CaCl_2 . A calagem proporcionou aumento nos teores de silício extraídos em ácido acético $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ para todos os solos estudados, o que também ocorreu para teores de silício extraídos com CaCl_2 $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ nos solos arenosos e de textura média. Entretanto, nos solos argilosos os teores de silício extraídos com CaCl_2 $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ diminuíram com o aumento do pH.

1 – INTRODUÇÃO

O silício é atualmente considerado pela legislação brasileira (Brasil, 2004) um micronutriente, e sua utilização vem sendo muito difundida na agricultura nos últimos anos.

O silício é um dos elementos mais abundantes da crosta terrestre e a forma mais encontrada desse elemento no solo é a de H_4SiO_4 .

A adubação silicatada promove aumento na disponibilidade de silício solúvel, elevação do pH e aumento dos teores de cálcio e magnésio trocáveis, além de reduzir a toxicidade do ferro, manganês e alumínio, principalmente em solos de cerrado, que geralmente são intemperizados, ácidos e com baixo potencial de fornecimento de nutrientes às plantas. Os benefícios vêm sendo observados em várias culturas, pois apresentam boa eficiência no controle preventivo de doenças (principalmente fúngicas), contra o ataque de insetos, tolerância ao estresse hídrico, aumento da capacidade fotosintética, redução do acamamento e redução da transpiração, além de promover aumento de produtividade principalmente em gramíneas. As principais formas de silício presentes no solo são: os minerais silicatados (cristalinos e amorfos), o silício solúvel (H_4SiO_4), o silício adsorvido ou precipitado com óxidos de ferro e alumínio e o silício polimerizado.

A concentração de silício na solução do solo é influenciada pela acidez, assim o uso de calcário ou de silicato pode afetar sua estrutura química e sua disponibilidade devido à despolimerização provocada pelo aumento do pH. Dessa forma o objetivo do trabalho foi estudar a influência do pH sobre a disponibilidade de silício em três extratores (ácido acético $0,5 \text{ mol L}^{-1}$; CaCl_2 $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ e água).

2-REVISÃO DE LITERATURA

O silício compreende 27,6% da crosta terrestre, sendo encontrado como forma solúvel na solução do solo (H_4SiO_4) e como forma combinada na fase sólida (minerais) (Barbosa Filho, 2000). O seu teor total, devidamente relacionado com outros fatores, permite o estudo de vários fenômenos relativos à formação dos solos (Verdade, 1991).

Na solução do solo, o silício está presente como ácido monossilícico em concentrações variáveis de menos de 1 até mais de 100 mg.dm^{-3} em SiO_2 , sendo a maior parte não dissociada ($\text{pK}_1=9,6$), o qual é prontamente absorvido pelas plantas (Werner & Roth, 1983). Estudos têm demonstrado que 95-99% do silício disponível às plantas encontra-se na forma fracamente adsorvida no solo e somente 1 a 5 % na solução do solo (Matichenkov et al., 1997).

A sílica dissolvida nos solos não será obrigatoriamente lixiviada após a intemperização das rochas (Mc Keague & Cline, 1963). As principais fontes de ácido silícico presentes na solução do solo são: decomposição de resíduos vegetais, dissociação

do ácido silícico polimérico, liberação de Si dos óxidos e hidróxidos de Fe e Al, dissolução de minerais cristalinos e não cristalinos e adição de fertilizantes silicatados.

Os principais drenos incluem a precipitação do silício em solução, formando minerais, a polimerização do ácido silícico, lixiviação, adsorção em óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio e absorção pelas plantas (Lima Filho, 1999).

As principais fontes de silício são os materiais de origem dos solos, os minerais silicatados primários, secundários de alumínio e diversas formas de sílica, SiO₂, tais como tridimita, cristobalita, coesita, opala e quartzo, caracterizado pela alta estabilidade (Lindsay, 1979). Cerca de 80 % das rochas ígneas, das quais derivam outras rochas e das rochas metamórficas são constituídas de silicatos, enquanto em rochas sedimentares o conteúdo é menor (Jackson, 1965). Os silicatos são sais nos quais a sílica está combinada com o oxigênio e outros elementos (Al, Mg, Ca, Na, Fe e K) em mais de 95% das rochas terrestres, meteoritos, em todas as águas, atmosfera (pó silicoso), vegetais e animais (Barbosa Filho, 2000).

Em um levantamento dos teores de silício em 44 perfis de solo do estado de São Paulo, incluindo o horizonte superficial, B textural e B latossólico, Raij & Camargo (1973) encontraram valores de silício CaCl₂ 0,0025 mol L⁻¹ entre 2,2 e 92,2 mg.kg⁻¹.

Solos tropicais e subtropicais, ricos em óxidos de ferro e alumínio e sujeitos a intemperização (onde os minerais primários contendo silício já não existem mais), tendem a apresentar baixos níveis de Si trocável, podendo ser de 5 a 10 vezes menores que os encontrados nos solos das regiões temperadas (Mc Keague & Cline, 1963; Juo & Sanchez, 1986; Foy, 1992). Estes solos apresentam em alguns casos teores menores que 2 mg.kg⁻¹ na

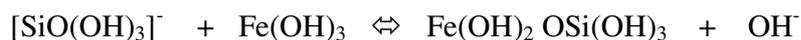
solução (Fox et al, 1978). É o caso de regiões agrícolas importantes como o Centro-Oeste brasileiro (cerrado), pobres em silício devido à dessilificação, que consiste na remoção do silício durante a meteorização das rochas.

A seqüência crescente de intemperização é a seguinte: Molissóis> Vertissóis> Inceptissóis> Alfissóis> Ultissóis>Oxissóis (Lima Filho, 1999).

Um estudo conduzido por Winslow (1992) na Nigéria mostrou que os solos tropicais, altamente intemperizados, apresentam baixa disponibilidade de silício. A aplicação de 18,7 g de Si m⁻² na forma de metassilicato de sódio dobrou a concentração de silício na planta e aumentou em 48% a produção de grãos de arroz cultivado em condições de sequeiro.

Deficiências de silício também têm sido constatadas em solos ricos em óxidos e/ou oxihidróxidos de ferro e hidróxido de alumínio, de baixo Ki (SiO₂/Al₂O₃) e Kr (SiO₂/Al₂O₃ + Fe₂O₃).

A concentração de silício na solução do solo (H₄SiO₄) pode variar segundo Drees et al. (1989) e Epstein (1994). O equilíbrio químico do silício no solo depende principalmente do pH como mostra a equação abaixo:



Em solos de cerrado o ácido monossilícico (H_4SiO_4) é a principal espécie de silicato em solução. Em altas concentrações, cerca de $28 \text{ mg}\cdot\text{md}^{-3}$ de silício na solução do solo, o monômero (H_4SiO_4) se polimeriza para formar precipitados de sílica amorfa, ou ácido polissilícico (McKeague e Cline, 1963).

A solubilidade dos minerais silicatados depende da temperatura, pH, tamanho de partícula, composição química e presença de rachaduras na sua estrutura. A dissolução desses minerais também é afetada por fatores de solo tais como a matéria orgânica, teor de umidade, potencial de oxido-redução e sesquióxidos (Iler, 1979).

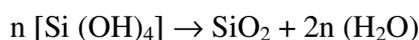
O conteúdo de ácido monossilícico depende da quantidade de minerais ricos em silício, pois ele se forma da dissolução dos minerais ricos em silício. Nos horizontes subsuperficiais do solo como a maior concentração radicular, o silício solúvel depende principalmente da quantidade e tipo de fitólitos (Dobrovolsky et al., 1988). Quanto maior a quantidade de fitólitos deixados pela vegetação (cobertura morta) maior será a concentração do ácido monossilícico.

De acordo com Mc Keague & Cline (1963), o H_4SiO_4 na solução do solo se comporta como um ácido muito fraco de forma que apenas 0,2 % se ioniza na forma carregada negativamente a pH 7,0, sendo que o grau de ionização aumenta com o pH. A espécie H_3SiO_4^- contribui significativamente para o aumento de silício na solução do solo em valores de pH acima de 8,5.

Ácidos monossilícicos e seus ânions apresentam propriedades de ácidos fracos e podem reagir com muitos compostos orgânicos e inorgânicos (Lindsay, 1979; Strelko et al., 1963; Fotiev, 1971). Eles também lixiviam no perfil do solo, diferente do ácido

polissilícico segundo os resultados obtidos por Matichenkov et al. (1997), trabalhando com solo orgânico da Flórida e por Khalid & Silva (1980) com Latossolo.

Quanto aos ácidos polissilícicos, eles possuem dois ou mais átomos de silício, podendo ter forma de anéis, esferas e galhos (Iler, 1979) e não formam complexo da cor amarela com o molibdato de amônio. O seu mecanismo de formação não está muito bem compreendido, sendo a sua polimerização representada, de acordo com Iler (1979) por:



Num sistema fechado, o processo de polimerização inicia com uma concentração acima de 120 mg L⁻¹ de SiO₂ (Iler, 1979). O composto hexacoordenado (H₂Si(OH)₅)⁻ formado nessas condições é o ponto de partida para a polimerização. A polimerização precede a precipitação, e é causada pela combinação de unidades de (H₂Si(OH)₅)⁻. Haverá a precipitação quando se combinarem polímeros desse com monômeros (solúveis) de H₄SiO₄ (McKeague & Cline, 1963; Iler, 1979; Marschner, 1995). Na presença da fase sólida, a polimerização pode ocorrer em concentrações menores do monômero (Alvarez & Sparke, 1985).

Diferente do ácido monossilícico, os ácidos polissilícicos são quimicamente inertes e agem, basicamente, como adsorventes formando partículas coloidais. A passividade química dos ácidos polissilícicos é determinada pela quantidade de cargas nos vértices da molécula, podendo ser adsorvidos por minerais e formando “pontes” de silício (Chadwick et al., 1987). Eles podem aumentar a plasticidade dos solos e também de horizontes sódicos quando a concentração dos mesmos for aumentada em várias vezes. A presença de cátions bivalentes em grande quantidade (Ca⁺² e Mg⁺²), como nos solos salinos, pode destruir os

ácidos polissilícicos e transformá-los em formas não-expansivas de silício (Iler, 1979). Estas considerações podem ser utilizadas na melhoria das propriedades físicas dos solos.

Diferentes soluções extratoras têm sido utilizadas para avaliar a disponibilidade de silício às plantas, sendo a solução tampão de acetato de sódio a pH 4 (Imaizumi & Yoshida, 1958) a mais comum no Japão (Sumida, 2002). Por outro lado, o ácido acético $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ é o extrator mais usado nos Estados Unidos (Snyder et al., 2001) e no Brasil (Korndöfer et al., 1999). O cloreto de cálcio $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ é utilizado na Austrália, apresentando correlação alta entre o silício do solo e o absorvido pelas plantas (Berthelsen et al., 2002). Outros extratores também podem ser utilizados como água, fosfato acidificado (Khalid et al., 1980), NaCl, MgSO_4 (Raij & Camargo, 1973). De modo geral as mais eficientes são as ácidas, e a dissolução aumentam com os agentes quelantes devido ao decréscimo da adsorção de silício resultantes da baixa concentração de alumínio e ferro (Berthelsen et al., 2002), no entanto, podem superestimar os resultados de silício solúvel (Sumida, 2002).

Na determinação do silício solúvel, o pH da solução extratora é outro fator importante. Beckwith & Reeve (1963) encontraram que a concentração de silício em suspensões ácidas excedeu os níveis inicialmente adicionados devido a uma liberação líquida em condições ácidas. Essa relação inversa entre silício e pH na solução do solo é consistente com outros trabalhos (McKeague & Cline, 1963; Jones & Handreck, 1965).

O uso do calcário ou do silicato em solos poderia afetar a química do silício e conseqüentemente a sua disponibilidade em função do extrator, pois sua concentração na solução do solo é influenciada pelo pH. Vários trabalhos têm mostrado a influência do pH

na disponibilidade de silício (Silva, 2002), sendo importante a sua avaliação em solos variados para verificação dos seus efeitos na adubação.

3-MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido com base no estudo desenvolvido por Melo et al. (2003) na região do Triângulo Mineiro, sendo selecionados nove solos distribuídos em áreas sob vegetação nativa de cerrado, para evitar influência de adubações. Foram amostrados os horizontes A nos 9 perfis e o B em 4 desses, totalizando 13 solos. A classificação, localização, profundidade de amostragem e material de origem dos solos estudados são apresentados na Tabela 1.

O experimento foi instalado em ambiente protegido (onde a temperatura e a umidade provavelmente não sofreram grandes variações), no Instituto de Ciências Agrárias

da Universidade Federal de Uberlândia (MG). A metodologia para o experimento de incubação foi a mesma descrita por Medina-González et al., (1988).

As amostras foram coletadas, secas e passadas em peneira de 50 mesh. Os tratamentos consistiram de doses crescentes de carbonato de cálcio p.a (0, 2, 4, 6 Mg ha⁻¹) e silício (0 e 400 mg dm⁻³) na fonte de Ácido Silícico p.a (H₄SiO₄). Os materiais de cada tratamento (carbonato de cálcio e silício) foram misturados com 250g de solo e acondicionados em potes de plástico.

TABELA 1. Classificação, localização, horizonte, profundidade de amostragem e material de origem dos solos estudados (adaptado de Melo et. al., 2003).

Classificação dos solos	Local de coleta	Horiz	Prof. (cm)	Material de origem
Latossolo Vermelho Distrófico típico (LVd)	Uberlândia	A	0 – 29	Sedimentos
		B	52-65	
Latossolo Vermelho - Amarelo Distrófico típico (LVAd)	Uberaba	A	0 – 13	Arenito
		B	29-57	
Nitossolo Vermelho Eutroférico chernossólico (NVef)	Indianópolis	A	0 – 11	Basalto
Latossolo Vermelho Distroférico típico (LVdf típico)	Cachoeira	A	0 – 22	Basalto
Argissolo Vermelho - Amarelo Eutrófico típico (PVAe)	Araguari	A	0 – 20	Migmatito/ Micaxisto
Alissolo Crômico típico (ACt)	Uberaba	A	0 – 20	Arenito
Latossolo Vermelho Distrófico típico (LVd típico)	Monte Alegre	A	0 – 17	Arenito
		B	32-72	
Latossolo Vermelho - Amarelo Distrófico típico (LVAd)	Uberaba	A	0 – 27	Arenito
		B	47-70	
Neossolo Quartzarênico Órtico típico (RQo típico)	Santa Vitória	A	0 – 20	Arenito

Adicionou-se água destilada para atingir 80% da capacidade de campo de cada solo e os potes foram fechados com a finalidade de diminuir a perda de água por evaporação.

Além disso, duas vezes por semana, os potes foram pesados com o objetivo de manter o teor de umidade na capacidade de campo determinada para cada solo.

O ensaio foi conduzido em blocos casualizados, em esquema fatorial com 13 tipos de solos, 4 doses de carbonato de cálcio, 2 doses de silício (13 x 4 x 2) e 3 repetições.

Após 90 dias de incubação, amostras homogêneas de solo foram retiradas, secas ao ar, passadas em peneira (< 2 mm) e depois foram realizadas as análises físicas e químicas. A textura foi o único atributo físico avaliado nas amostras estudadas. Essa avaliação foi realizada empregando-se o método da pipeta (Embrapa, 1997).

A classificação e a textura de cada solo estão representadas na Tabela 2.

TABELA 2. Classe, horizonte, argila, silte, areias, areia fina e areia grossa (adaptado de Melo et. al, 2003).

Classe	Horiz.	Argila	Silte	Areias	Areia	Areia
					Fina	Grossa
----- % -----						
1 - Latossolo Vermelho Distrófico típico (LVd)	A	82	6	12	6	6
2 - Latossolo Vermelho Distrófico típico (LVd)	B	88	1	11	5	6
3 - Latossolo Vermelho - Amarelo Distrófico típico (LVAd)	A	29	1	70	30	40
4 - Latossolo Vermelho - Amarelo Distrófico típico (LVAd)	B	33	1	66	30	36
5 - Nitossolo Vermelho Eutroférico chernossólico (NVef)	A	77	16	7	5	2
6 - Latossolo Vermelho Distroférico típico (LVdf típico)	A	65	20	15	5	10
7 - Argissolo Vermelho - Amarelo eutrófico típico (PVAe)	A	36	8	56	24	32
8 - Alissolo Crômico típico (ACt)	A	30	2	68	35	33
9 - Latossolo Vermelho Distrófico típico (LVd típico)	A	18	1	81	48	33
10 - Latossolo Vermelho Distrófico típico (LVd típico)	B	20	1	79	49	30
11 - Latossolo Vermelho - Amarelo Distrófico típico (LVAd)	A	26	1	73	41	32
12 - Latossolo Vermelho - Amarelo Distrófico típico (LVAd)	B	32	2	66	37	29
13 - Neossolo Quartzarênico Órtico típico (RQo típico)	A	12	0	88	23	65

Posteriormente foram realizadas análises químicas de matéria orgânica, fósforo em resina, silício em ácido acético, pH CaCl₂, cálcio, magnésio, potássio, CTC e V% conforme demonstra a Tabela 3.

O teor de matéria orgânica das amostras foi determinado utilizando-se o método de Walkley – Black (Cantarella et. al., 2001).

A determinação do fósforo resina seguiu a metodologia de Raij et al., (1997). O silício disponível, extraído em ácido acético, cloreto de cálcio e água nos solos em estudo foi determinado segundo Korndörfer et al., (2004).

Foram determinados os valores de pH em suspensões de TFSA em solução de CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹ na proporção sólido - solução de 1: 2,5 (Embrapa, 1997).

Os teores de cálcio, magnésio e potássio foram obtidos mediante extração com KCl 1N e determinação por meio de fotometria de emissão de chama (potássio) e espectrofotometria de absorção atômica (cálcio e magnésio) (Raij & Quaggio, 2001). Os resultados das análises químicas dos solos seguem na Tabela 3.

TABELA 3. Resultados das análises químicas de parte da coleção de solos estudados por Melo et al., 2003 e Camargo, 2003.

Classificação (1)	Procedência	Matéria Orgânica %	P mg.kg ⁻¹	Si	pH CaCl ₂	Ca	Mg	K	CTC	V%
									cmolc.dm ⁻³	
LVd (hor A)	Uberlândia	4,2	0,5	8	4,3	0,2	0,2	0,2	1,8	2,4
LVd (hor. B)		2,9	0,2	24	3,9	0,0	0,1	0,0	5,0	2,9
LVAd (hor. A)	Uberaba	6,4	0,7	8	3,7	0,7	0,3	0,1	7,5	7,5
LVAd (hor. B)		2,6	0,3	14	4,2	0,2	0,0	0,0	4,5	1,1
Nvef	Indianópolis	2,9	14,2	104	5,7	8,9	2,5	1,1	14,1	77
LVdt	C. Dourada	3,8	1,5	25	4,8	2,0	1,1	0,1	7,3	21
PVAe	Araguari	5,7	1,5	29	4,9	5,1	0,9	0,4	8,9	57
ACt	Uberaba	3,5	1,5	14	4,9	6,7	2,0	0,3	12,1	64

LVdt (hor. A)	M.Alegre	3,6	2,2	3	3,7	0,1	0,1	0,0	2,8	2,1
LVdt (hor. B)		0,6	0,7	5	3,8	0,2	0,0	0,0	7,1	1,0
LVAd (hor. A)	Uberaba	0,9	2,3	6	3,9	0,1	0,0	0,0	3,8	2,2
LVAd (hor. B)		0,4	0,2	7	4,4	0,1	0,0	0,0	2,2	0,7
RQo típico	S. Vitória	0,9	0,3	3	3,8	0,1	0,0	0,1	2,5	4,4

(1) LVd: Latossolo Vermelho Distrófico típico; LVAd: Latossolo Vermelho – Amarelo distrófico típico; NVef: Nitossolo Vermelho Eutroférico chernossólico; LVdf típico: Latossolo Vermelho distroférico típico; PVAe: Argissolo Vermelho – Amarelo eutroférico típico; ACt: Alissolo Crômico típico; LVd típico: Latossolo Vermelho Distrófico típico; LVAd: Latossolo Vermelho – Amarelo distrófico típico; RQo típico: Neossolo Quartzarênico Órtico típico. Fósforo (resina). Silício (ácido acético). pH CaCl₂ (1:2,5). Cálcio e Magnésio (KCl 1N). Potássio (Melich 1).

4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 - Extratores e Solos

Os teores de silício extraídos em ácido acético 0,5 mol L⁻¹ foram superiores que em CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹ e água em todos os solos (Figuras 1 e 2). A justificativa seria o baixo pH ácido do ácido acético, proporcionando maior extração de silício. Os resultados em cloreto de cálcio foram semelhantes ao extrator água.

Para todos os extratores, os teores de silício disponível foram maiores nos solos argilosos (Figuras 1 e 2). Essa maior quantidade de silício em solos argilosos é devido à fração argila, mas também deve ser associada ao tipo de solo, pois são diferentes mineralogicamente, podendo disponibilizar quantidades não relacionadas apenas ao teor de argila.

Entre os solos estudados, NVef apresentou maior teor de silício extraído pelo ácido acético, mas não é o solo com maior teor de argila. O LVdf, apesar de possuir maior quantidade de argila (88%), apresentou teores médios de silício menores que aqueles encontrados em NVef. Isso poderia estar relacionado ao tipo de argila presente nesses solos. O NVef é um solo mais jovem, indicado pelo teor de silte, com mineralogia mais rica em bases e minerais 1:1 como a caulinita. Já o LVdf é mais intemperizado, com maior teor de óxidos de ferro e alumínio e, menor reserva de silício (Figuras 1 e 2). Assim, é necessário conhecer o solo além da quantidade de argila para poder prever a quantidade de silício extraída pelo ácido acético.

O RQo foi o solo que apresentou menores teores de silício em ácido acético, CaCl_2 e água, apesar de ser um solo mais jovem que os latossolos (Figuras 1 e 2). Essa baixa quantidade de silício é porque nesse solo o elemento é constituído basicamente de quartzo, o qual não é prontamente disponível para a planta, de modo que a pequena parte disponível seja facilmente lixiviada.

Comparando-se os horizontes A e B dos solos LVd e LVAd de textura argilosa e média, observa-se maiores teores de silício em ácido acético no horizonte B (Figuras 1 e 2).

Isso é explicado porque o material do solo é mais novo em profundidade e, conseqüentemente apresenta maior teor de silício.

4.2 - Extratores e pH

Os teores de silício em ácido acético foram influenciados pelas doses de calcário, sendo crescentes em todos os solos (Figuras 1 e 2). O aumento de silício extraído pelo ácido acético em função da calagem poderia ser explicado pela despolimerização das formas de silício no solo, ou seja, quanto maior o pH do solo, maior é a passagem das formas polimerizadas para ácido monossilícico (H_4SiO_4) e, conseqüentemente, maior extração em ácido acético. No entanto, por ser um extrator muito ácido, o ácido acético também seria capaz de extrair formas despolimerizadas de silício (porém não disponíveis às plantas), o que explicaria o aumento da disponibilidade de silício em todos os solos, inclusive no RQo (Figuras 1 e 2). Nesse caso, a textura dos solos não influenciou nos teores de silício, que aumentaram desde os solos muito argilosos (NVef) até os arenosos (RQo) (Figuras 1 e 2). Assim, o extrator ácido acético estaria superestimando os teores de silício, pois na realidade os teores extraídos não estariam disponíveis às plantas.

Pelos dados apresentados nas Figuras 1 e 2, o ácido acético $0,5 \text{ mol L}^{-1}$, que é o extrator usado no Brasil e nos Estados Unidos para avaliar a disponibilidade de silício nos solos, mostrou ser influenciada pelas variações de pH. Isso pode não ser importante para solos orgânicos com alto poder tampão, como é o caso das áreas com utilização de silício na Flórida, mas para o Brasil em que os solos são altamente dependentes do calcário e com baixo poder tampão, não seria recomendado o uso desse extrator.

Ao contrário do ácido acético, os teores de silício em CaCl_2 e água foram menores em todos os solos (Figuras 1 e 2). Por se tratar de extratores fracos, o CaCl_2 e a água extraem apenas o silício despolimerizado pelo aumento do pH e disponível às plantas (como o ácido monossilícico). Vidal (2003), ao estudar várias fontes de silício em Neossolo Quartzarênico (RQo) para a cultura do arroz, observou que o CaCl_2 $0,0025 \text{ mol L}^{-1}$ foi o extrator que apresentou a melhor correlação com plantas comparado ao ácido acético $0,5 \text{ mol L}^{-1}$.

Entretanto, extratores como o CaCl_2 e a água são mais complicados de serem utilizados, em comparação ao ácido acético, pois extraem baixos teores de silício dos solos, aumentando as possibilidades de erros analíticos na interpretação dos dados uma vez que as variações dos mesmos são em menores proporções, conforme demonstram as Figuras 1 e 2.

Assim, a disponibilidade de silício avaliada por diferentes extratores mostrou que o CaCl_2 $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ e a água são os melhores extratores para os solos estudados, devendo ser dada maior atenção aos mesmos na metodologia de avaliação. Embora os resultados concordem com os dados de Vidal (2003) que incluem absorção de silício pelo arroz, são necessários estudos em casa-de-vegetação para confirmar tais resultados encontrados.

A Tabela 4 representa os teores semelhantes de silício em CaCl_2 , nas testemunhas dos treze solos estudados neste trabalho, com e sem aplicação de Ácido Silícico, o que demonstra a baixa disponibilização de silício pela fonte utilizada.

TABELA 4. Teores de Si em CaCl_2 $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ nas testemunhas dos nove solos estudados com e sem aplicação de Ácido Silícico (H_4SiO_4).

Solos	Dose Si (0 mg kg^{-1})	Dose Si (400 mg kg^{-1})
-------	------------------------------------	--------------------------------------

Latossolo Vermelho Distroférrico típico	9	9
Nitossolo Vermelho Eutroférrico chernossólico	30	30
Latossolo Vermelho Distrófico típico A	4	4
Latossolo Vermelho Distrófico típico B	6	7
Latossolo Vermelho - Amarelo Distrófico típico A	4	4
Latossolo Vermelho - Amarelo Distrófico típico B	5	5
Latossolo Vermelho Distrófico típico A	2	2
Latossolo Vermelho Distrófico típico B	5	5
Latossolo Vermelho - Amarelo Distrófico típico A	3	2
Latossolo Vermelho - Amarelo Distrófico típico B	4	4
Alissolo Crômico típico	28	26
Argissolo Vermelho - Amarelo Eutrófico típico	8	8
Neossolo Quartzarênico Órtico típico	1	1
MÉDIA	8,4	8,2

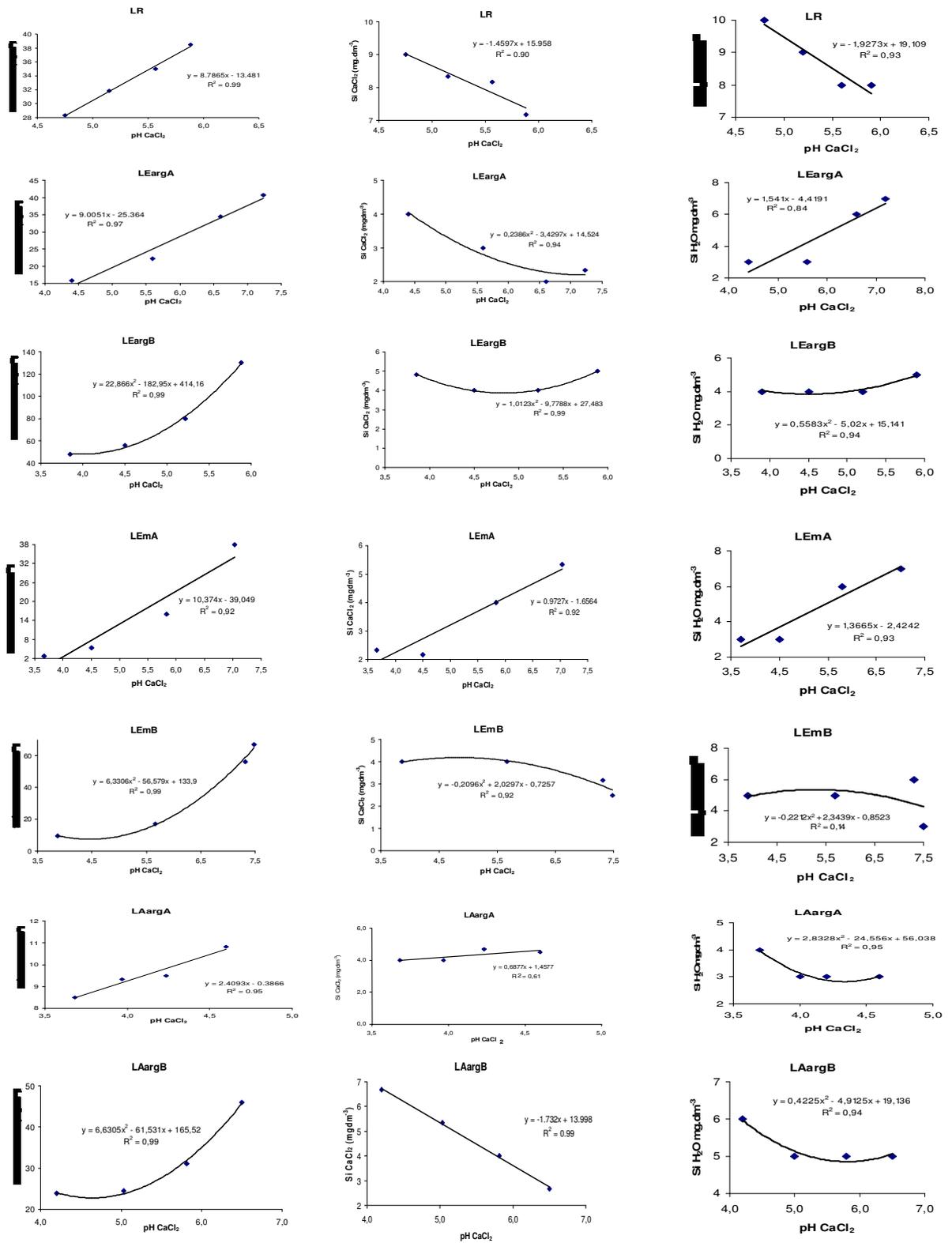
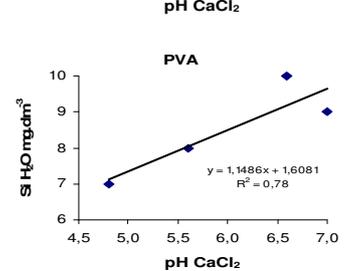
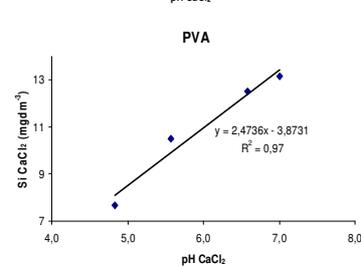
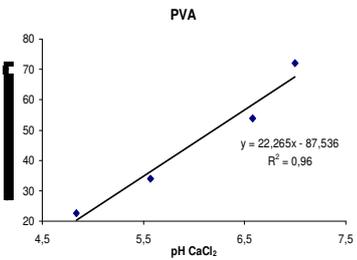
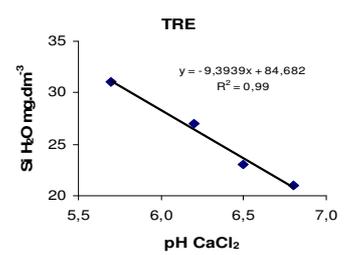
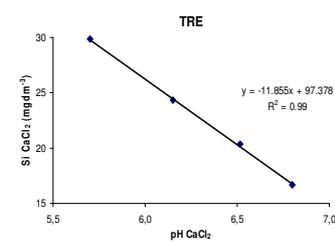
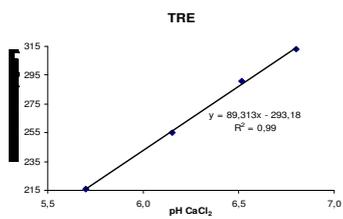
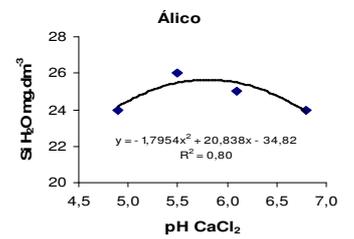
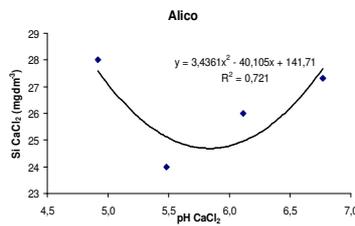
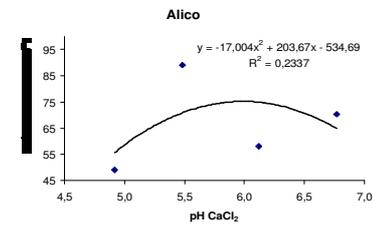
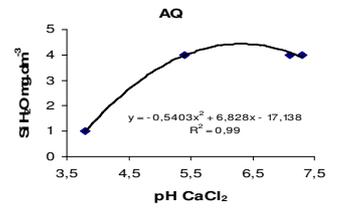
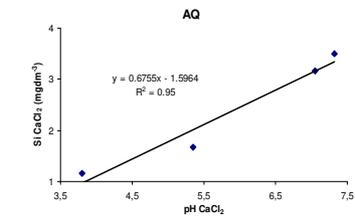
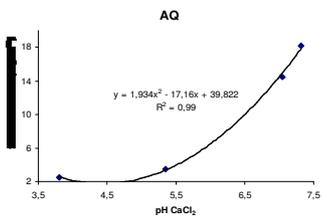
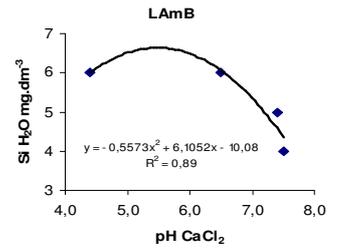
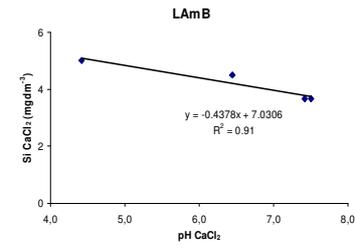
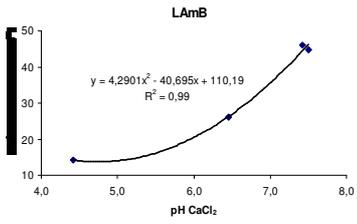
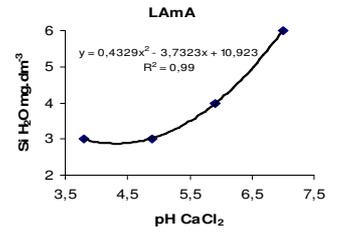
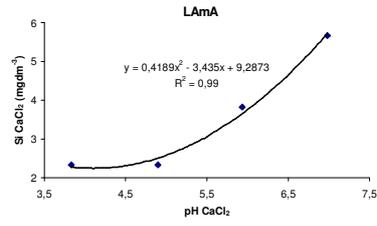
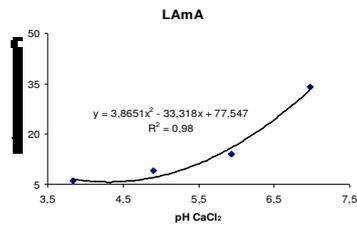


FIGURA 1. Disponibilidade do Si em ácido acético, CaCl₂ e H₂O submetido a diferentes condições



de acidez.

FIGURA 2. Disponibilidade do Si em ácido acético, CaCl₂ e H₂O submetido a diferentes condições de acidez.

5 - CONCLUSÕES

A disponibilidade de silício em ácido acético foi crescente com o aumento de pH dos solos estudados.

O extrator ácido acético extraiu mais silício dos solos estudados em comparação aos extratores CaCl₂ e água.

Os extratores CaCl₂ e água extraíram teores de silício semelhantes.

6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVAREZ, R.; SPARKE, D.L. Polymerization of silicate anions in solutions at low concentrations. **Nature**, v. 318, n.6047, p.649-651, 1985.

BARBOSA FILHO, M.P.; SNYDER, G.H.; PRABHU, A.S.; DATNOFF, L.E.; KORNDÖRFER, G.H. Importância do silício para a cultura do arroz. **Informações Agronômicas**, n.89, p.1-7, 2000. (Encarte Técnico).

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**, 1:157-168, 1963.

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. Anais. Tsuruoka, Japão, Japanese Society of Soil Science and Plant Nutrition, 2002, p. 57.

BRASIL **DECRETO Nº 2954**. Aprova o regulamento da lei nº 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.

CAMARGO, M. S. de; BARBOSA, D. S.; RESENDE, R. H.; RAMOS, L. A.; VIDAL, A. A.; KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S., CORRÊA, G. F. Disponibilidade de silício em solos: efeito do pH, silício e extratores, Cd Rom XXIX **Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**, 2003.

CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; RAIJ, B. van. Determinação da matéria orgânica. In RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C. D; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. (Ed.) **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. cap. 9, p. 173 – 180.

CHADWICK, O.A.; HENDRICKS, D.M.; NETTLETON, W.D. Silica in durick soil **Soil Science Society of America Journal**, v. 51, n.4, p.975-982, 1987.

DOBROVOLSKY G.V.; BOBROV A.A.; GOL'eva A.A.; SHOBA S.A. 1988. The opal phytoliths in taiga biogeocenose of media taiga. **Biological Sci.**, n.2, p.96-101.

DREES, L.R., WILDING, L.P.; SMECK, N.E.; SENKAYI, A.L. 1989. Silica in the soil: Quartz and disordered silica polymorphs. In: **“Minerals in soil environments”** J.B. Dixon & S.B. Weed p.913-974. Soil. Sci. Soc. Am. Madison, Wisconsin, U.S.A.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Manual de métodos de análise do solo**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1997. 212p.

EPSTEIN, E. The anomaly of silicon in plant biology. **Proceedings of the National Academic Science**, USA, v.91, 1994, p.11-17.

FOTIEV, B.A. About nature of water humus. **Doklady Academic Science**, USSR, v.1199, n.1, p.198-201, 197.

FOX, R.L.; SILVA, J.A. 1978. Silicon, and agronomically essential nutrient for sugarcane. In: **Symposium of Plant Nutrition**. 8., 1978. University of Hawaii. College of Tropical Agriculture and Human Resources.

FOY, C.D. Soil chemical factors limiting plant root growth. **Advances in Soil Science**, v.19, p.97, 149, 1992.

GEE, G. W. & BAUDER, J. W. Particle-size analysis. In: KLUTE, A., ed. Methods of soil analysis. **Parte 1: Physical and mineralogical methods**. Madison, Soil Science Society of America, 1986. p.383 – 412.

ILLER, R.K. **The chemistry of silica**. Wiley. New York. 1979. 1124p.

IMAZUMI, K.; YOSHIDA, S. Edaphological studies on silicon supplying power of paddy soils. **Bull. Natl. Inst. Agric. Sci.** (Japan), B8: 261-304, 1958.

JACKSON, M.L. Chemical composition of soils. IN: BEAR, F.E. ed. **Chemistry of the soil**. New York: Reinhold Publishing Corporation, 1965. p.71-134.

JACKSON, M.L. **Soil chemical analysis – advanced course**. Madison, Prentice-Hall, 1979. 895p.

JONES, J.H.; HANDRECK, K.A. Studies of silica in the oat plant. III-Uptake of silica from soils by the plant. **Plant and Soil**, 23:79-96, 1965.

JUO, A.S.R; & SANCHEZ, P.A. 1986. Soil nutritional aspects with a view to characterize upland rice environment. In: **Upland rice research, International Rice Research Institute**, p.81-94, Los banos, Laguna, Philippines.

KHALID, R.A.; SILVA, J.A. Residual effect of calcium silicate on pH, phosphorus and aluminum in a tropical soil profile. **Soil Science Plant Nutrition**, v.26, n.1, p.87-98, 1980.

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**, v.23,n.1, p.101-106, 1999.

KORNDÖRFER, G.H.; PEREIRA, H.S.; CAMARGO, M.S. de Silicatos de cálcio e magnésio, 2^a ed, Universidade Federal de Uberlândia, **Boletim Técnico 1**, 2002, 23 p.

KORNDÖRFER, G.H.; PEREIRA, H.S.; NOLLA, A. Análise de silício: solo, planta e fertilizantes. GPSi/ICIAG/UFU. **Boletim Técnico 2**, 2004, 34p.

LIMA FILHO, O.F. de; LIMA, M.T.G. de; TSAI, S.M. O silício na agricultura. **Informações Agronômicas**, n.87, p.1-7, 1999 (encarte técnico).

LINDSAY, W.L. **Chemical Equilibrium in Soil**. New York: John Wiley & Sons, 1979, 449p.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. London: Academic, 1995. p.445-435.

MATICHENKOV, V.V.; AMMOSOVA, Y.A.M.; BOCHARNIKOVA, E.A. The method for determining of plant available silica in soil. **Agrochemistry**, n.1, p.76-84, 1997.

MC KEAGUE, J.A.; CLINE, M.G. Silica in soils. **Advances in Agronomy**, v.15, 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, Dordrecht, v.16, n. 1, p.3-13, Apr., 1988.

MELO, V.F.; CORRÊA, G.F.; RIBEIRO, A.N.; MASCHIO, P.A.; LIMA, V.C. **Importância das espécies minerais no K total da fração argila de solos do Triângulo Mineiro**, Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.27, n.5,2003 (prelo).

RAIJ, B. van; CAMARGO, O.A. Sílica solúvel em solos. **Bragantia**, v.32, n.11, p.223-236, 1973.

RAIJ, B. van; QUAGGIO, J. A. Determinação de fósforo, cálcio, magnésio e potássio extraídos com resina trocadora de íons. In RAIJ, B. van; ANDRADE, J. C. de; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. (Ed) **Análise química para avaliação da fertilidade dos solos tropicais**. Campinas: Instituto Agronômico, 1997. cap. 11, p. 189 – 199.

SILVA, M.F. Avaliação de fontes de silício através de testes biológico e de incubação. Uberlândia, Universidade Federal de Uberlândia, 2002, 43 p. (**Monografia**).

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, p.185-196, 2001.

STRELKO, V.V.; GUSHIN, P.P.; VISOCKII, Z.Z. About interaction of some amino-rich compounds with dehydrated silicagel. **Doklady Academic Science**, USSR, v.153, n.3, p.619-621, 1963.

SUMIDA, H. Plant available silicon in paddy soils. In: **Silicon in Agriculture Conference**, 2., 2002. Anais. Tsuruoka, Japão, Japanese Society of Soil Science and Plant Nutrition, 2002, p. 43-49.

VERDADE, F.C. Composição química de alguns solos do Estado de São Paulo. **Bragantia**, v.41, p.885-905, 1991.

VIDAL, A.A Fontes de silício para a cultura do arroz. Uberlândia, Universidade Federal de Uberlândia, 2003, 34 p. (**Monografia**).

WERNER, D.; ROTH, R. Silica metabolism. In: PIRSON, A.; ZIMMERMANN, M.H. **Inorganic plant nutrition**. Springer-Verlag, 1983. 870 p. (Encyclopedia of Plant Physiology, 15B).

WINSLOW, M.D. Silicon, disease resistance, and yield of rice genotypes under upland cultural conditions. **Crop-sci**. Madison, Wis. Sept/Oct 1992. v. 32 (5) p. 1208-1213.