

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

MARIANA FERREIRA BITTENCOURT

**INTERAÇÃO ENTRE SILÍCIO E FÓSFORO APLICADOS NO SOLO E SEUS
EFEITOS NA CULTURA DO MILHO**

**Uberlândia – MG
Fevereiro – 2007**

MARIANA FERREIRA BITTENCOURT

**INTERAÇÃO ENTRE SILÍCIO E FÓSFORO APLICADOS NO SOLO E SEUS
EFEITOS NA CULTURA DO MILHO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Agronomia, da Universidade Federal de Uberlândia, para obtenção do grau de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Gaspar Henrique Korndorfer

**Uberlândia – MG
Fevereiro - 2007**

MARIANA FERREIRA BITTENCOURT

**INTERAÇÃO ENTRE SILÍCIO E FÓSFORO APLICADOS NO SOLO E SEUS
EFEITOS NA CULTURA DO MILHO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado
ao curso de Agronomia, da Universidade
Federal de Uberlândia, para obtenção do
grau de Engenheiro Agrônomo.

Aprovado pela Banca Examinadora em 05 de fevereiro de 2007

Prof. Dr. Gaspar Henrique Korndorfer
Orientador

Prof^a. MSc. Angélica Araújo Queiroz
Membro da Banca

Prof^a. MSc. Lucélia Alves Ramos
Membro da Banca

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelo dom da vida e por todas as realizações a mim concedidas. Aos meus pais Ana e Willian e a minha irmã Renata pelo amor e apoio incondicionais que hoje me proporcionam a conclusão de mais uma etapa da minha vida. Aos meus amigos do LAFER obrigada pela amizade e pelos estudos compartilhados. E ao Prof. Gaspar, agradeço por ter sido um verdadeiro mestre, incetivando a busca e o amor pelo conhecimento.

RESUMO

Interação entre silício e fósforo aplicados no solo e seus efeitos na cultura do milho

Os solos da região do cerrado brasileiro são naturalmente pobres em P e possuem alta capacidade de fixar o P. Uma das formas para aumentar a eficiência da fertilização fosfatada seria a utilização de ânions (silicatos) competidores com o fosfato pelo mesmo sítio de adsorção do solo. O silício tem sido reportado por ter vários efeitos benéficos no crescimento de planta, incluindo o aumento na disponibilização do fósforo, quando os solos possuem altas quantidades de fósforo adsorvido. Dessa forma, esse trabalho teve por objetivo avaliar a mistura de fertilizantes fosfatados com silicato de cálcio e magnésio na disponibilidade de silício e fósforo no solo para a cultura do milho. Para isso um experimento foi instalado em casa-de-vegetação, utilizando um Latossolo Vermelho Distrófico típico como base experimental. O solo foi previamente incubado com carbonato de cálcio e magnésio e após 15 dias, simulando a aplicação do adubo em linha, aplicou-se 800 kg ha⁻¹ das formulações granuladas: 4-14-08, 05-25-15, 5-30-10A (A = 3,62 acidez livre alta da fonte de P) e 5-30-10B (B = 1,85 baixa acidez livre da fonte de P), em mistura com a fonte de Si granulada (Siligran-12% Si total) nas doses de 0, 80, 160 e 320 kg ha⁻¹. Logo após a adubação, foi realizada a semeadura do milho, que foi colhido aos 60 dias de cultivo. A parte aérea total foi analisada quanto o acúmulo de matéria fresca, matéria seca, teor de S e teor de P. O sistema radicular foi analisado quanto ao peso de matéria seca. Após o cultivo o solo foi analisado quanto ao pH em CaCl₂, Ca e Mg trocáveis, P e Si disponível no solo. Os resultados demonstram que a fonte de silício, não foi capaz de aumentar a disponibilidade de Si e do P no solo. Não houve diferença entre as formulações com alta e baixa acidez livre. O silicato de cálcio aplicado ao solo não afetou a produção de matéria seca do milho.

Palavras-chave: silicato, adsorção de fósforo, milho

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	8
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	10
2.1 Silício no solo.....	10
2.2 Fósforo no solo.....	11
2.3 Interação silício - fósforo no solo.....	12
2.4 Fósforo nas plantas.....	13
2.5 Silício nas plantas.....	14
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	16
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	20
5. CONCLUSÕES.....	25
REFERÊNCIAS.....	26

INTRODUÇÃO

A quantidade de silício solúvel presente nos solos das regiões tropicais, como os Latossolos, é geralmente menor do que na maioria dos solos de regiões temperadas (FOY,1992), isso ocorre em decorrência da dessilicatização, o que gera a gênese de solos ricos em óxidos de ferro e alumínio e com baixas quantidades de silício (Si).

Os solos da região do cerrado brasileiro apresentam em sua maioria estágio avançado de intemperismo, baixa capacidade de troca de cátions, ou seja, CTC menor que $0,3 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, baixa saturação por bases ($V < 50\%$), são ricos em óxidos de Fe e Al, e possuem alta capacidade de “fixação” de P.

A alta capacidade de adsorção de fósforo (P) em alguns solos deficientes neste elemento e com baixos valores de pH, reduz a eficiência da fertilização fosfatada usada nas culturas exploradas economicamente.

Além disso, outro fator pode prejudicar a absorção do adubo fosfatado, sendo esse denominado acidez livre. A acidez livre originada durante a fabricação dos adubos fosfatados, pois, são adicionados ácidos, que reagem com as substâncias que compõem os mesmos, para que o ácido reaja totalmente com os outros elementos da composição são necessários alguns dias. Pelo fato da grande demanda de adubos, durante certos períodos do ano, pode ser que o tempo de reação não seja suficiente, ficando assim o adubo com acidez livre.

A mistura de silicato de Ca com fosfatos de Ca solúveis como os superfosfatos $[\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2]$ pode reduzir a acidez livre dos fosfatos acidulados e por outro lado pode retrogradar o fósforo, isto é, a presença do Ca poderia promover a formação de fosfato monocálcicos a bi-cálcicos e tri-cálcicos. Assim, a neutralização da acidez livre poderia melhorar as características físicas do fertilizante.

A reação de adsorção do íon fosfato aos colóides do solo esta diretamente relacionada ao pH do mesmo, pois com a elevação do pH ocorre aumento da solubilidade dos fosfatos de ferro e alumínio e redução da adsorção do anion fosfato a fase sólida do solo. Como técnica alternativa para a correção de acidez do solo, pode-se utilizar o silicato de cálcio (CaSiO_3), com reações semelhantes ao calcário, que além de elevar o pH, disponibiliza o anion silicato (H_3SiO_4), que concorre com o anion fosfato pelo mesmo sitio de adsorção, saturando dessa forma o ponto onde possivelmente seria adsorvido o fósforo (MELO, 2005).

O silício tem sido reportado como benéfico em solos de pH baixo em muitas culturas, principalmente nas gramíneas (D'HOORE; COULTIER, 1972), e atualmente é considerado

um micronutriente benéfico pela legislação brasileira de fertilizantes de acordo com o decreto Nº 4.954 e aprovação do Ministério da Agricultura (BRASIL, 2004).

A maioria das pesquisas desenvolvidas atualmente no Brasil, com silicatos, analisou apenas seu efeito corretivo e como fonte de nutrientes. Porém, são escassos os trabalhos que avaliaram o efeito desses materiais quando em misturas com adubos NPK.

Assim, é possível que o silicato em mistura com fertilizantes fosfatados diminua a acidez residual dos fertilizantes fosfatos acidulados e aumente a eficiência agronômica dos mesmos.

Dessa forma, esse trabalho teve por objetivo avaliar a mistura de fertilizantes fosfatados com silicato de cálcio e magnésio na disponibilidade de silício e fósforo no solo para a cultura do milho.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Silício no solo

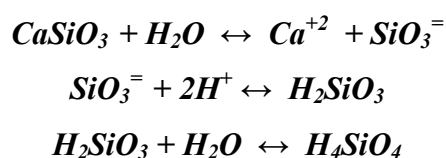
O silício é o segundo elemento mais abundante na crosta terrestre e componente majoritário de minerais do grupo dos silicatos (RAIJ, 1991). Ocorre em altos teores em solos, principalmente, na forma de silicatos, no quartzo (SiO_2 – mineral inerte das areias), bem como na caulinita e outros minerais de argila (KORNDÖRFER et al., 2002).

Em regiões temperadas os teores de silício, como SiO_2 excedem os dos sesquióxidos de alumínio e ferro, enquanto nos solos de regiões tropicais ocorre o contrário. Os solos dos trópicos que são altamente intemperizados podem apresentar, em alguns casos, quantidade de silício cinco a dez vezes menores que solos de regiões temperadas (FOY, 1992).

A concentração de silício na solução do solo na forma de ácido silícico está ente 3,5 e 40 mg L^{-1} (MARSCHNER, 1995). As principais formas de silício presentes no solo são: a) silício solúvel (H_4SiO_4 - ácido monossilícico) prontamente absorvido pelas plantas, que é desprovido de carga elétrica; b) silício adsorvido ou precipitado com óxidos de ferro e alumínio, c) os minerais silicatados (cristalinos e amorfos), d) silício polimerizado, e) silício orgânico e f) silício na forma de fitólitos.

Os silicatos comportam-se de maneira similar aos carbonatos no solo, sendo capazes de elevar o pH, neutralizando o Al trocável e outros elementos tóxicos, além de serem ricos em Ca e Mg. Apresentam ainda, em sua composição, alguns dos principais macro e micro nutrientes requeridos na agricultura como P, Fe, Mn (KLUGER, 1989).

Os prótons que promovem a acidificação do solo (H^+ e Al^{+3}) são neutralizados pela aplicação de produtos que liberam ânions, efetuando assim a correção da acidez do solo (ALCARDE; RODELLA, 2003). A ação neutralizante do silicato pode ser explicada pela reação abaixo, adaptada de Alcarde (1992), onde o mecanismo de correção da acidez pelo silicato resulta na formação de ácido monossilícico (H_4SiO_4), que se dissocia menos que os H^+ adsorvidos ao complexo de troca, e por isso, o pH do solo se eleva.



O ácido monossilícico (H_4SiO_4), a forma disponível de Si na solução do solo, pode ter origem da decomposição dos resíduos de culturas, dos fertilizantes silicatados, da água de irrigação, da dissociação dos polímeros do ácido monossilícico, da dessorção dos óxidos de ferro e de alumínio ou da dissolução dos minerais do solo. Por outro lado, quando o H_4SiO_4 encontra-se na solução do solo pode ser adsorvido a óxidos e hidróxidos de ferro e de alumínio, precipitar e formar minerais cristalinos ou não, formar polímeros, ser absorvido pelas plantas ou lixiviado (LIMA FILHO et al., 1999).

Como fontes de silício podem ser citadas as escórias de altos-fornos, constituídos de silicatos de cálcio e outros metais, o silicato de sódio e o termofosfato sílico-magnésiano.

A maioria dos solos contém consideráveis quantidades de silício, mas os cultivos consecutivos podem diminuir a concentração deste elemento até o ponto em que a aplicação de silício tenha contribuição na obtenção de mais elevadas produções das plantas. Os solos de clima tropical, de modo geral, tem baixa disponibilidade desse elemento e devem responder à aplicação de silicato (MELO, 2005).

2.2 Fósforo no solo

A reação ácida e as baixas concentrações de P disponível em solos tropicais limitam a produtividade das culturas. Portanto, estes solos requerem altas quantidades de fertilizantes fosfatados para manter a produtividade das culturas em níveis economicamente sustentáveis.

Os solos brasileiros são carentes de P, em consequência do material de origem e da forte adsorção específica do P com o solo (RAIJ, 1991), apresentando apenas 0,1% do total na solução do solo (FARDEAU, 1996).

Nos solos, o fósforo está desigualmente distribuído em cinco compartimentos: precipitado com alumínio, ferro ou cálcio, adsorvido aos óxidos de ferro e alumínio da fração argila, em solução, na forma orgânica ou fazendo parte de compostos insolúveis. Esses compartimentos apresentam variadas capacidades de fixação e, portanto de liberação do nutriente disponível às plantas na solução do solo. Devido ao pH dos solos o fósforo pode ser encontrado nas formas aniônicas H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} ou PO_4^{3-} (RAIJ, 1991). O fato dos solos tropicais apresentarem normalmente um pH baixo, o fósforo ocorre quase que exclusivamente na forma de ânion ortofosfato (H_2PO_4^-), derivado do ácido ortofosfórico (H_2PO_4).

As formas inorgânicas de P mais conhecidas em solos ácidos são as de fósforo ligado ao ferro e ao alumínio. O fósforo solúvel adicionado ao solo como fertilizante, pode assumir formas diferentes, sendo agrupadas em P-solúvel, P-Al, P-Fe e P-Ca, fosfatos oclusos de ferro e alumínio que são formas orgânicas de P.

Um aumento de superfícies que contenham ferro e alumínio no solo contribui para um crescente aumento na adsorção de fósforo, razão por que solos argilosos necessitam de maiores quantidades de adubos fosfatados do que solos arenosos, para aumentar a concentração de fósforo na solução.

Após a aplicação dos adubos fosfatados, ocorre a dissolução onde grande parte do fósforo é retido na fase sólida, formando compostos menos solúveis, e parte do fósforo é aproveitada pelas plantas. A recuperação do P depende da espécie cultivada e é afetada pela textura, tipos de minerais de argila e acidez do solo. Além disso, a forma e local de aplicação da fonte de P também influenciam nesse processo (SOUSA et al., 2004).

A eficiência agrônômica dos adubos fosfatados pode ser afetada pelas fontes de fosfato, propriedades do solo, modos de aplicação e espécies vegetais (CHIEN; MENON, 1995).

Diversos autores demonstraram que, em solos ácidos, os óxidos de ferro da fração argila são os principais responsáveis pela adsorção de fósforo em detrimento de outros minerais, como gibbsita e a caulinita (HINGSTON et al., 1972; BAHIA FILHO, 1982; SOUZA et al., 1991; CURI, 1993).

2.3 Interação Silício-Fósforo no solo

Uma das formas para aumentar a eficiência da fertilização fosfatada seria a utilização de ânions (silicatos) que competem com o fosfato pelo mesmo sítio de adsorção do solo (FASSBENDER, 1987).

O silício tem sido reportado por ter vários efeitos benéficos no crescimento das plantas, incluindo o aumento na disponibilização do fósforo, quando os solos possuem altas quantidades de fósforo adsorvido (KOSKI-VAHALA et al., 2001; MA; et al., 2001). Explicações sobre o efeito desse fenômeno são ainda muito discutidas e mesmo contraditórias, pois segundo Ma e Takahashi (1991) ocorre uma substituição parcial do Si pelo P que está presente no solo, e ainda segundo Smyth e Sanchez, (1980) ocorre um

incremento da disponibilidade do P. Ma, Miyake e Takahashi (2001) atribuíram a redução da adsorção de P ao aumento do pH do solo quando o silicato de cálcio ou sódio foi usado como fonte de Si.

Owino-Gerroh e Gascho (2004) cultivando milho em casa-de-vegetação para verificar o efeito do silicato na adsorção de P em solos de baixo pH, observaram que a adsorção do P foi diminuída pela aplicação de silício solúvel. O íon silicato aplicado converteu-se a ácido silícico amorfo (H_3SiO_4). Em solos com pH baixo a superfície de carga negativa do H_3SiO_4 é menor do que a superfície de carga negativa do ânion fosfato, portanto, o fósforo é preferencialmente adsorvido no solo nos sítios de ligação, quando ambos, silicato e fosfato estão na solução do solo. A aplicação de silicato aumentou o peso seco do milho pelo aumento do pH deixando o fósforo mais disponível e, portanto, aumentando a absorção e utilização do P pela planta (OWINO-GERROH; GASCHO, 2004).

Vidal (2005) estudando 13 solos da região do Triângulo Mineiro (Brasil), verificou que a aplicação de fósforo ao solo aumentou a disponibilidade do silício, e que, o Si foi muito menos afetado pelas reações de adsorção do que se comparado com o fósforo, isto é, as reações de adsorção são mais intensas e importantes para o P se comparado com o Si.

Segundo Pluckenelt (1972), a aplicação de silicato aumenta a solubilidade do fósforo no solo e diminui a fixação deste elemento contido nos fertilizantes fosfatados. Porém, discute-se o efeito favorável deste fertilizante na absorção de P e na produção de matéria seca. Provavelmente isso ocorre por: a) aumento na absorção de silício; b) a menor fixação do P causado pela elevação do pH, já que o silicato é um corretivo de acidez do solo; c) competição entre o silicato e o fosfato pelos mesmos sítios de adsorção no solo; ou d) ao conjunto destes fatores. Assim, a correção da acidez com silicatos, além de elevar o pH do solo poderia aumentar a disponibilidade de fósforo para as plantas, pelo efeito adicional do deslocamento do fósforo adsorvido nos colóides para a solução e também pela diminuição da fixação deste elemento contido nos fertilizantes fosfatados, além de aumentar a disponibilidade de Ca e Mg nos solos.

Owino-Gerroh e Gascho (2004) estudando o efeito do silício em solo com baixo pH e adsorção de fósforo na cultura do milho, concluíram que a adsorção de P foi diminuída pela aplicação de silício solúvel e que o resultado foi atribuído ao maior valor de pH no solo.

Leite (1997) pesquisou a interação Si-P em Latossolo roxo sob condições de laboratório e casa de vegetação com sorgo (*Sorghum bicolor*). Em laboratório constatou deslocamentos de P por Si e vice-versa, chegando a sugerir a inclusão de fontes de silício em

programas de adubação com P em Latossolos, especialmente aqueles com baixos teores de silício disponível (solúvel).

2.4 Fósforo nas plantas

O fósforo é um elemento indispensável para o completo ciclo das plantas, influenciando de modo particular o crescimento de raízes (MARSCHNER, 1995), decorre daí que a extensão do sistema radicular é de fundamental importância na absorção do elemento. Além disso, as exigências das plantas quanto ao P são maiores no período inicial de seu desenvolvimento (NOVAIS et al., 1982; RÖMER; SCHILLING, 1986); o satisfatório suprimento de P nessa fase é decisivo para a formação de mudas vigorosas (NATALE et al., 2000).

O fósforo é absorvido preferencialmente como H_2PO_4^- , conseqüência não só do efeito do pH na abundância dessa espécie iônica em solução, mas também de um marcante decréscimo de absorção de fósforo com a elevação do pH da solução. Após a absorção, o fósforo é quase que imediatamente incorporado em compostos orgânicos.

Este elemento é um componente de moléculas chaves como ácidos nucleicos fosfolipídios e ATP e, conseqüentemente, as plantas não podem se desenvolver sem o suprimento deste nutriente. O fósforo inorgânico está também envolvido no controle de reações de enzimas chaves e na regulação de caminhos metabólicos (THEODOROU; PLAXTON, 1993).

A baixa disponibilidade de P em solos argilosos limita a absorção pelas plantas. A forma com que o P inorgânico existe na solução de troca varia conforme o pH do solo. O pKs para a dissociação do H_3PO_4 para H_2PO_4^- e para HPO_4^{2-} são de 2,1 e 7,2, respectivamente. Portanto, abaixo de pH 6,0, a maioria do P inorgânico estará presente na forma de espécies monovalente de H_2PO_4^- , onde H_3PO_4 e HPO_4^{2-} estarão presentes somente em menores proporções. Muitos estudos sobre a dependência de pH na absorção de P inorgânico pelas plantas superiores têm revelado que as taxas de absorção são maiores entre pH 5,0 e 6,0, onde a forma H_2PO_4^- é a forma predominante de P em solução (ULLRICH-EBERIUS et al., 1984; FURIHATA et al., 1992), o que sugere que o fósforo inorgânico é absorvido na forma monovalente.

Estudos de Mimura et al. (1996) e Jeschke et al. (1997) tem mostrado a movimentação do fósforo inorgânico em toda planta. Em plantas com P suficiente a maior parte do fósforo inorgânico absorvido pelas raízes é transportada no xilema para as folhas mais novas. Concentrações de fósforo inorgânico no xilema alcançam valores de 1 mM em plantas “famintas” de Pi a 7 mM em plantas em desenvolvimento em solução contendo 125 μ M fósforo inorgânico (MIMURA et al., 1996).

2.5 Silício nas plantas

O Si se acumula nos tecidos de todas as plantas, representando entre 0,1 e 10% da matéria seca das mesmas (KORNDÖRFER et al., 2002). O Si é absorvido pela planta na forma de ácido monossilícico H_4SiO_4 (YOSHIDA,1975; TAKAHASHI,1996). O Si é transportado como H_4SiO_4 no xilema e sua distribuição na planta está relacionada com a taxa transpiratória das partes da planta. No interior da planta, 99% de Si acumulado encontra-se na forma de ácido silício polimerizado e o restante, 1%, encontra-se na forma coloidal ou iônica (YOSHIDA, 1975). Frey-Wyssling, citado por Jones e Handreck (1967), sugere que a sílica é absorvida pelas gramíneas através do fluxo de massa, por processo não seletivo.

A acumulação de silício é relativa, pois a composição química de uma planta é característica de cada espécie. Três modos de absorção de silício, ativa, passiva e rejeitiva têm sido sugeridos para as plantas acumuladoras, intermediárias e exclusoras de silício respectivamente (TAKAHASHI et al., 1990).

O Si, ao ser absorvido pelas plantas, é facilmente translocado no xilema, e tem tendência natural a se polimerizar, e sua distribuição na planta está relacionada com a transpiração. Na planta, a sílica concentra-se nos tecidos de suporte, no caule e nas folhas, podendo ser encontrada em pequenas quantidades nos grãos. O conteúdo médio de sílica das raízes é um décimo da concentração do caule (KORNDÖRFER et al., 2002).

O acúmulo de Si pode aliviar efeitos de estresse abióticos incluindo o estresse salino, a toxidez por metais como Mn, Fe e Al, estresse ocasionado por períodos de seca, altas temperaturas e geada (EPSTEIN, 1999). O Si é o único elemento que não causa danos às plantas quando acumulado em grandes quantidades (MA et al., 2001), e plantas de arroz cultivadas na presença de Si apresentam folhas, perfilhos e colmos eretos aumentando com isso a eficiência fotossintética da planta.

Epstein (2001) cita efeitos benéficos relatados em culturas adubadas com Si como resistência a doenças e pragas, resistência à toxicidade a metais, menor evapotranspiração, promoção de nodulação em leguminosas, efeito na atividade de enzimas, efeitos na composição mineral, dentre outros.

O silício também está envolvido na função da regulação da evapotranspiração, e possui a capacidade de formar uma barreira mecânica, entre a cutícula e a epiderme das folhas da plantas, dificultando assim o ataque de insetos sugadores e herbívoros e a penetração de fungos para o interior das plantas (EPSTEIN, 2001; MELO et al., 2003).

3 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado em casa-de-vegetação do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Uberlândia (ICIAG/UFU) entre junho e julho de 2004. O solo utilizado foi o Latossolo Vermelho Distrófico típico (LVdt) representativo da área sob vegetação do cerrado. As características químicas e físicas do solo utilizado estão representadas nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1 - Caracterização química do Latossolo Vermelho Distrófico típico (LVdt) utilizado como base experimental.

Solos	pH (H ₂ O)	Ca	Mg	Al	P	K	Si	H+Al	T	V	m	M.O.
	1:2,5	-cmol _c dm ⁻³ ---			---mg dm ⁻³ ----			cmol _c dm ⁻³		---%---		g kg ⁻¹
LVdt	4,8	0,7	0,1	0,7	0,9	25,7	3,9	9,8	10,06	3	77	2,8

Si disponível em CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹ (KORNDÖRFER et al., 2004); Ca, Mg, Al trocáveis = (KCl 1 mol L⁻¹); P, K disponível = (HCl 0,05 mol L⁻¹ + H₂SO₄ 0,025 mol L⁻¹); H+Al = SMP; T= CTC pH 7; V= Saturação por bases; MO= (Walkley-Black), conforme (RIBEIRO et al., 1999).

Tabela 2 - Caracterização física do Latossolo Vermelho Distrófico típico (LVdt) utilizado como base experimental

Solos	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila
	-----g kg ⁻¹ -----			
LVdt	90	43	33	834

Análise pelo Método da Pipeta (Embrapa, 1997).

O solo foi coletado no município de Uberlândia-MG na camada de 0-20 cm em setembro de 2003. O solo foi incubado por 15 dias em vasos com capacidade para de 4 kg, incorporando-se CaCO₃ e MgCO₃ p.a., na dose de 8,95 g/vaso, equivalente a 4,475 t ha⁻¹ e 0,2 g/vaso de fritas (FTE-BR12) equivalentes a 200 kg ha⁻¹ contendo: Zinco (Zn) 9,0%; Boro (B) 1,8%; Cobre (Cu) 0,8%; Ferro (Fe) 3,0%; Manganês (Mn) 2,0% e Molibdênio (Mo) 0,1%, como fonte de micronutriente.

Após o período de incubação com o calcário aplicou-se os adubos, na dose de 800 kg ha⁻¹ (1,6 gramas por vaso), das formulações granuladas (NPK): 4-14-08, 05-25-15, 5-30-10A (A = 3,62 % acidez livre) e 5-30-10B (B = 1,85% acidez livre), combinadas com a fonte de Si granulada (Siligran-12% Si total), nas doses de 0, 80, 160 e 320 kg há⁻¹, (0,160; 0,320 e 0,640 g/vaso), o que está representado na Tabela 3. Procedeu-se à semeadura, em linha, da cultivar 30k75 de milho, com dez sementes por vaso, a 5 cm ao lado e abaixo da linha de adubação,

com posterior irrigação dos vasos mantidos com umidade próxima a capacidade máxima de retenção de água.

Tabela 3 – Tratamentos aplicados aos vasos (fórmulas NPK + dose de Si kg ha⁻¹)

Tratamentos
4-14-08 800 Kg ha ⁻¹
4-14-08 800 Kg ha ⁻¹ + 80 Kg ha ⁻¹ Si
4-14-08 800 Kg ha ⁻¹ + 160 Kg ha ⁻¹ Si
4-14-08 800 Kg ha ⁻¹ + 320 Kg ha ⁻¹ Si
05-25-15 800 Kg ha ⁻¹
05-25-15 800 Kg ha ⁻¹ + 80 Kg ha ⁻¹ Si
05-25-15 800 Kg ha ⁻¹ + 160 Kg ha ⁻¹ Si
05-25-15 800 Kg ha ⁻¹ + 320 Kg ha ⁻¹ Si
5-30-10 A 800 Kg ha ⁻¹
5-30-10 A 800 Kg ha ⁻¹ + 80 Kg ha ⁻¹ Si
5-30-10 A 800 Kg ha ⁻¹ + 160 Kg ha ⁻¹ Si
5-30-10 A 800 Kg ha ⁻¹ +320 Kg ha ⁻¹ Si
5-30-10 B 800 Kg ha ⁻¹
5-30-10 B 800 Kg ha ⁻¹ + 80 Kg ha ⁻¹ Si
5-30-10 B 800 Kg ha ⁻¹ + 160 Kg ha ⁻¹ Si
5-30-10 B 800 Kg ha ⁻¹ +320 Kg ha ⁻¹ Si

Foi realizado um desbaste após dez dias da sementeira, mantendo-se cinco plantas por vaso, sendo três plantas em uma linha e duas plantas em outra linha e entre as duas linhas se teve a linha de adubação, o que pode ser observado na Figura 1. Aos 30 e 45 dias de cultivo, foi aplicada em cobertura 100 kg ha⁻¹ de N da fonte Uréia (0,44 g/vaso).



Figura 1- Vista do experimento (casa- de- vegetação)

A caracterização das fórmulas (NPK), bem como a quantidade de matéria prima para produzi-las, estão apresentadas nas Tabelas 4 e 5.

A fonte de Silício (Si), silicato de cálcio e magnésio (Siligran), apresentou 25,67% de SiO₂, cerca de 25,8% e 11,3% de CaO e MgO respectivamente e PN em torno de 78% de equivalente em CaCO₃.

Tabela 4 - Caracterização química das formulações.

Produto	N	P ₂ O ₅	K ₂ O		
N-P ₂ O ₅ -K ₂ O	Total	Total	Sol.CNA+H ₂ O	Sol.H ₂ O	Sol.H ₂ O
05-25-15	5,5	28,8	27,4	23,9	15,7
05-30-10	6,3	32,8	33,5	27,6	9,9
04-14-08	4,7	15,3	15,7	14,6	8,1

CNA - Citrato Neutro de Amônio. (Ministério da Agricultura, 1983).

Tabela 5- Quantidade de matéria prima utilizada para produzir 1000kg das fórmulas NPK.

Fórmula	Sulfato de amônio (20% N)	de Cloreto de Potássio	de Mono-amôniofosfato (48% P ₂ O ₅ 9% N)	Superfosfato simples (16% P ₂ O ₅)	Superfosfato triplo (46% P ₂ O ₅)
-----kg-----					
4-14-08	200	133	-----	555	111
5-25-15	70	250	400	236	44
5-30-10A	48	167	450	235	101
5-30-10B	48	167	450	235	101

O milho foi cultivado por 60 dias. Após o corte foi determinada a produção de matéria seca da parte aérea (caule +folha). O material coletado foi seco em estufa a 65 °C, com ventilação forçada até peso constante. Em seguida foi pesado e moído em moinho tipo Willey, acondicionado em sacos plásticos para posterior determinação do teor de Si na planta (parte aérea), conforme metodologia descrita por Korndorfer et al. (2004), e teor de P de na planta, foi determinado segundo a metodologia descrita por Malavolta et al. (1989).

Após o corte do milho foram coletadas amostras de solo. O solo foi seco em estufa e analisado quanto aos teores de Si "extraível" em ácido acético 0,5 mol L⁻¹ e Si "extraível" em CaCl₂ 0,01mol L⁻¹, conforme metodologia descrita por Korndörfer et al. (2004). Nas mesmas amostras foram determinados o pH em CaCl₂ (1:2,5), Ca e Mg (KCl 1,0 mol L⁻¹), P Mehlich-1 conforme metodologia descrita pela Comissão de fertilidade do solo do Estado de Minas Gerais (EMBRAPA 1997).

O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso – DBC - e os dados foram analisados segundo um esquema fatorial 4x4. As comparações entre as médias foram feitas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade e para as doses de Si fez-se análise de regressão.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os solos foram analisados após os sessenta dias de cultivo do milho. A Tabela 17 expressa os resultados do efeito da aplicação do silicato na disponibilidade do fósforo e do silício, onde se constatou que o aumento nas doses de silicato não interferiu na disponibilidade do fósforo e nem do silício. O que pode explicar em parte a falta de resposta das doses do silicato sobre os teores de silício extraído com ácido acético e CaCl_2 (Tabela 17), é a baixa reatividade do silicato utilizado ou ainda o curto período de reação do silicato com o solo, que foi de apenas sessenta dias. Sendo assim, nada se pode concluir quanto à interferência do silicato na disponibilidade do fósforo já que a reação do silicato no solo praticamente não aconteceu.

Os resultados na Tabela 17 mostram que o extrator ácido acético é capaz de extrair mais Si se comparado com o cloreto de cálcio. Este mesmo resultado já foi observado por Queiroz (2003), Martins (2004) e Pereira et al. (2004).

Vidal (2005) estudando o efeito do pH na solubilidade de silício em solos do Triângulo Mineiro, justificou esse resultado, como estando relacionado ao pH do ácido acético. Soluções extratoras de caráter ácido possuem maior capacidade para extrair o Si que está adsorvido aos argilominerais com maior intensidade do que soluções neutras como água e cloreto de cálcio.

Tabela 17 – Silício em ácido acético ($0,5\text{mol L}^{-1}$) e CaCl_2 ($0,01\text{ mol L}^{-1}$) e fósforo disponível nas amostras de terra, após 60 dias de cultivo de milho, em função de doses de silicato adicionadas.

Doses Si kg ha ⁻¹	P Mehlich mg dm ⁻³	Si Ácido Acético -----mg kg ⁻¹ -----	Si CaCl ₂
0	4,2	12,9	3,1
80	4,7	13,1	3,2
160	4,3	12,4	2,9
320	5,1	13,2	3,0
	n.s	n.s	n.s
D.M.S	2,02	2,73	0,52

n.s - não significativo a 5% de probabilidade pelo teste de regressão.

A fórmula 5-30-10A apresentou significativamente mais fósforo disponível em relação à 4-14-08 (Tabela 18). As diferenças observadas nos teores de fósforo entre as formulações se deve principalmente às fontes de fósforo utilizadas influenciando assim nas diferenças no fósforo fixado. O fósforo do superfosfato simples é provavelmente mais fixado que o fósforo proveniente do mono-amôniofosfato. A principal fonte de fósforo presente na fórmula 4-14-08 é o superfosfato simples o qual apresenta em sua composição o fosfato monocálcico, que pode ter sido mais intensamente retrogradado se comparado com a fórmula 5-30-10A onde a fonte de fósforo predominante é o mono-amôniofosfato.

TABELA 18 - Silício em ácido acético ($0,5 \text{ mol L}^{-1}$) e CaCl_2 ($0,01 \text{ mol L}^{-1}$) e fósforo Mehlich-1, após 60 dias de cultivo do milho, em função de formulações.

Formulações N-P ₂ O ₅ -K ₂ O 800 kg ha ⁻¹	P Mehlich mg dm ⁻³	Si Ac. Acético -----mg kg ⁻¹ -----	Si CaCl ₂
4-14-08	3,1B	11,9 A	2,9 B
5-25-15	4,8 AB	14,2 A	3,5 A
5-30-10 A	5,4 A	12,9 A	2,9 B
5-30-10 B	5,0 AB	12,5 A	3,0 AB
C.V	39 %	19%	15 %
D.M.S	2,02	2,73	0,52

*Médias seguidas por letras distintas na coluna apresentam diferença significativa a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Na Tabela 19 observa-se que o Ca, Mg, e pH, respectivamente, não apresentaram diferenças estatísticas com as diferentes formulações utilizadas nem mesmo quando foram aplicadas às doses crescentes de Si no sulco de plantio (Tabela 20). Esse resultado pode ser atribuído ao fato da fonte de silício utilizada (Siligran) não ter reagido no solo, ou reagiu pouco, devido ao curto período de condução do experimento, não liberando assim silício no solo, e conseqüentemente não liberando cálcio, uma vez que essa fonte é considerada um silicato de cálcio, e, não aumentando o pH do solo. Ou ainda, devido ao fornecimento de cálcio e magnésio e a correção de pH realizada no solo antes da semeadura, devido a correção do pH do solo realizado antes da semeadura com a incubação do solo.

Tabela 19 - Teores de cálcio e magnésio trocáveis e pH do solo, após 60 dias de cultivo do milho, em função das formulações.

Formulações N-P ₂ O ₅ -K ₂ O	Ca trocável	Mg trocável	pH CaCl ₂
800 kg ha ⁻¹	-----mmol _c dm ⁻³ -----		
4-14-08	28 A	9 A	5,6 A
5-25-15	28 A	9 A	5,7 A
5-30-10A	29A	9 A	5,6 A
5-30-10 B	29 A	9 A	5,5 A
C.V	14 %	21 %	4 %
D.M.S	0,46	0,20	0,28

*Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem entre si em 5% de significância pelo Teste de Tukey.

Tabela 20 - Teores de cálcio e magnésio trocáveis e pH do solo, após 60 dias de cultivo do milho, em função das doses de silício.

Doses de Si	Ca trocável	Mg trocável	pH CaCl ₂
kg ha ⁻¹	-----mmol _c dm ⁻³ -----		
0	28	9	5,6
80	29	9	5,6
160	29	9	5,6
320	29	9	5,6
	n.s	n.s	n.s
D.M.S	0,46	0,20	0,28

n.s - não significativo a 5% de probabilidade pelo teste de regressão.

Pelo exposto na Tabela 21 constata-se que as diferenças estatísticas observadas nas variáveis analisadas podem ser atribuídas a quantidade de fósforo disponível, uma vez que a menor produção de matéria seca observada para a fórmula 4-14-08 se deve certamente a menor quantidade de fósforo aplicado, já que, este tratamento recebeu 112 Kg ha⁻¹ de P₂O₅ enquanto que os demais receberam de 200 a 240 kg ha⁻¹ P₂O₅ respectivamente.

Também é verificado na Tabela 21 que a acidez livre mais alta da fórmula 5-30-10 não afetou a produção de matéria seca do milho e nem tampouco a disponibilidade do fósforo no solo e na planta. Por outro lado, as doses de silício também não afetaram a disponibilidade do fósforo independente da fórmula testada, alta ou baixa acidez. Pode ser por que no período de armazenamento do adubo a acidez livre, obtida na fabricação do mesmo, possa ter reagido com o adubo. E assim no momento da aplicação é possível que tal acidez já estivesse mais baixa.

Tabela 21 - Acúmulo de massa fresca, seca e peso seco do sistema radicular e concentração foliar de P e Si, na cultura do milho, após 60 dias de cultivo, em função das formulações.

Formulações N-P ₂ O ₅ -K ₂ O	Matéria fresca	Matéria seca	Peso seco de raiz	P Foliar	Si Foliar
800 kg ha ⁻¹	-----g-----			-----g kg ⁻¹ -----	
4-14-08	71,90 B	10,02 B	5,26 A	1,0 B	4,9 A
5-25-15	108,94 A	15,02 A	6,60 A	1,1AB	3,3 B
5-30-10 A	101,80 A	15,30 A	6,33 A	1,1AB	3,3 B
5-30-10 B	107,44 A	14,74 A	5,95 A	1,2 A	3,3 B
C.V	17 %	19%	30%	13%	25%
D.M.S	18	2,93	2,01	0,16	0,10

*Médias seguidas por letras distintas na coluna apresentam diferença significativa a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

O teor foliar de fósforo e de silício apresentados na Tabela 21, mostram diferenças estatísticas para as várias fórmulas utilizadas, sendo que o teor de silício foi maior na formulação com menor concentração de fósforo, pode-se dizer então que o fósforo influenciou na absorção do silício pela planta de milho, ou seja, comparando com os resultados obtidos no solo (Tabela 18), pode se notar que quando se tinha uma menor quantidade de fósforo no solo, menor era também o teor de silício em cloreto de cálcio no solo, porem o menor teor de silício no solo se deve a maior absorção pela planta de milho, sendo assim, quando se tinha uma quantidade maior de fósforo, este estaria indisponibilizando silício para as plantas, fato confirmado na Tabela 21.

O fósforo foliar foi maior com a maior concentração de fósforo no solo, isto foi devido a maior quantidade de fósforo solúvel que estava disponível às plantas e que foi prontamente absorvido por estas.

Os dados observados na Tabela 22 mostram que houve diferença estatística para as doses de silicato utilizadas apenas para o teor de fósforo foliar. O fósforo na folha diminuiu, porque o cálcio do silicato diminuiu a disponibilidade do mesmo para as plantas.

Tabela 22 – Acúmulo de matéria fresca, seca e peso seco do sistema radicular, da cultura do milho após 60 dias de cultivo.

Doses de Si Kg ha ⁻¹	Matéria fresca g	Matéria seca g	Peso seco de raiz g	P Foliar g kg ⁻¹	Si Foliar g kg ⁻¹
0	91,1	13,4	6,09	1,10	3,4
80	99,1	14,1	6,03	1,13	3,6
160	102,8	14,3	6,00	1,12	3,8
320	96,6	13,1	6,01	1,08	3,9
	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s

* significativo a 5% de probabilidade pelo teste de regressão.

n.s. não significativo a 5% de probabilidade pelo teste de regressão

Na Figura 2, pode-se verificar que o P apresentou um declínio no teor foliar a partir da dose 80 kg ha⁻¹ do silicato de Ca, indicando que possa ter ocorrido uma insolubilização do P quando se utilizou a maior dose de Si.

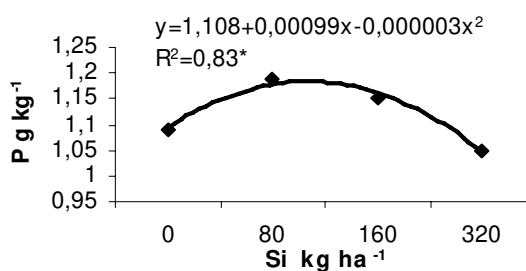


Figura 2 – Fósforo foliar aos 60 dias de cultivo em função de doses de Si.

5 CONCLUSÕES

- O silicato de cálcio e magnésio, em aplicação conjunta com os adubos NPK, fornecendo P na dose de 112 a 240 kg ha⁻¹, não incrementou a disponibilidade de Si e de P no solo.

- Não houve diferença entre as formulações com alta e baixa acidez livre, para as variáveis analisadas.

- A produção de massa seca do milho não foi influenciada pelas doses de silicato de cálcio e magnésio.

REFERÊNCIAS

ALCARDE, J.C. **Corretivos da acidez dos solos**: características e interpretações técnicas. São Paulo: ANDA. 1992. (Boletim técnico, 6).

ALCARDE, J.A.; RODELLA, A.A. Qualidade e legislação de fertilizantes e corretivos. In: CURI, N.; MARQUES, J.J.; GUILHERME, L.R.G.; LIMA, J.M. de; LOPES, A. S.; ALVARES V., V.H. (Ed). **Tópicos em ciência do solo**, Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. p. 291-334.

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) Brasília (DF), 2004, 27 p.

CHIEN, S.H.; MENON, R.G. Factors affecting the agronomic effectiveness of phosphate rock for direct application. **Fertilizer Research**, Dordrecht, v. 41, p. 227-234, 1995.

D'HOORE, J.; COULTIER, J.K. **Soil silicon and plant nutrition**. Soils of the Humid Tropics. Washington, DC; National Research Council Committee on Tropical Soils; National Academy of Sciences 1972, p. 163–173.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de pesquisa de solos (Rio de Janeiro- RJ). **Manual de métodos de análise de solo**. 2 ed. Rev. e atual, Rio de Janeiro; 1997. 212p.

EPSTEIN, E. Silicon. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v.50, p. 641–664, 1999.

EPSTEIN, E. Silicon in plants: facts vs. concepts. In: DATNOFF, L.E.; SNYDER, G.H.; KORNDORFER, G.H. (Ed.) **Silicon in Agriculture**, Amsterdam, Elsevier Science, 2001. p.1-15, 2001.

FARDEAU, J.C. Dynamics of phosphate in soils: an isotopic outlook. **Fertility Research**, Holford, v. 45, p. 91-100, 1996.

FASSBENDER, W. H. **Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina**. 2. ed. San José: Instituto interamericano de cooperación para agricultura, 1987. 420 p.

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

FURIHATA, T.; SUZUKI, M.; SAKURAI, H. Kinetic characterization of two phosphate uptake systems with different affinities in suspension-cultured *Catharanthus roseus* protoplasts. **Plant Cell Physiology**, Kyoto, v.33, p. 1151–1157.1992.

HINGSTON, F.J.; POSNER, A. M., QUIRCK, J.P. Anion adsorption by goethite and gibbsite. I. The role of the proton in determining adsorption envelopes. **Journal of Soil Science**, Oxford, v. 23, p.177-192, 1972.

JESCHKE, W.; KIRKBY, E.; PEUKE, A.; PATE, J.; HARTUNG, W. Effects of P efficiency on assimilation and transport of nitrate and phosphate in intact plants of castor bean (*Ricinus communis L.*). **Journal Experimental Botanic**, Oxford, v. 48. p. 75–91, 1997.

JONES, L. H. P.; HANDRECK, K. A. Silica in soils, plants, and animals. **Advances in Agronomy**, New York, n.19, p. 107-149. 1967.

KLUGER, P. **Utilização de escória de aciaria LD para agricultura – uma visão geral**. I Seminário Nacional de Aproveitamento de Descartes de Resíduos da Indústria. Salvador, 1989.

KORNDORFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; NOLLA, A. **Análise de silício no solo, planta e fertilizante**. (GPSi-ICIAG-UFU). Boletim Técnico; 02. 50f. Uberlândia, 2004.

KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; CAMARGO, M. S. **Silicatos de cálcio e magnésio na agricultura**. – Uberlândia: UFU/ICIAG, 2002 (GPSi-ICIAG-UFU. Boletim técnico; 01).

KOSKI-VAHALA, J.; HARTIKAINEN, H.; TALLBERG, P. Phosphorus mobilization from various sediment pool in response to increase pH and silicate concentration. **Journal Environment Quality**, Oxford, 2001, 30, 546–552.

LEITE, P. C. **Interação silício-fósforo em Latossolo roxo cultivado com sorgo em casa de vegetação**. Viçosa, 1997. 84p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa.

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

MA, J.K., MIYAKE, Y., TAKAHASHI, E. Silicon as a beneficial element for crop plants. In: DATNOFF, L. E., SNYDER, G. H., KORNDORFER, G. H. **Silicon in Agriculture**, Amsterdam, Elsevier, 2001. p. 17-39. (Studies in Plant Science, 8).

MA, J.F.; MIYAKE, Y.; TAKAHASHI, E. Effect of silicate phosphate availability for rice in a P-deficient soil. **Plant Soil**, Amsterdam, Elsevier, 1991. p. 133, 151–155.

MALAVOLTA, E. **Fertilizantes controle de qualidade**. Anda, Associação Nacional para a difusão de adubos, 1978.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. London: Academic Press, 1995 674p.

MARTINS, M. R. **Efeito corretivo de alguns silicatos e carbonatos e disponibilidade de silício no solo**. 2004. 39f. Monografia (Graduação em Agronomia)-Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, 2004.

MELO, S. P. **Silício e fósforo para estabelecimento do capim-marandu num Latossolo Vermelho-Amarelo**. Piracicaba, 2005. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

MELO, S. P.; KORNDORFER, G.H.; KORNDORFER, C.M. Silicon accumulation and water deficit tolerance in Brachiaria grasses. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.60, p. 755-759, 2003.

MIMURA, T.; SAKANO, K.; SHIMMEN, T. Studies on the distribution, re-translocation and homeostasis of inorganic phosphate in barley leaves. **Plant, Cell and Environment**, Hyogo, v. 19, p. 311–320, 1996.

NATALE, W.; CENTURION, J.F.; KANEGAE, F.P.; CONSOLINI, F.; ANDRIOLI, I. Efeitos da calagem e da adubação fosfatada na produção de mudas de goiabeira. **Revista de Agricultura**, Piracicaba, v.75, n.2, p. 247-261, 2000.

OWINO-GERROH, C.; GASCHO, G. J. Effect of Silicon on Low pH Soil Phosphorus Sorption and on Uptake and Growth of Maize. **Communications in Soil Science And Plant Analysis**, New York, v. 35, n. 15-16, p. 2369–2378, 2004.

OBIHARA, C.H.; RUSSELL, E.W. 1972. Specific adsorption of silicate and phosphate by soils. **Journal Soil Science**, Oxford, v.23, p.105–117.

PEREIRA, H. S.; KORNDORFER, G. H.; VIDAL, A.A. ; CAMARGO, M. S. Silicon sources for rice crop. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.61, n. 5, p. 522-528, 2004.

PLUCKNETT, D. L. The use soluble silicate in Hawaiian agriculture. **University of Queensland Papers**, St. Lucia, v.1, n.6, p.203-223, 1972.

QUEIROZ, A. A. **Reação de fontes de Silício em quatro solos do cerrado**. 36f. Monografia (Graduação em Agronomia)-Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, 2003

RAMOS, L.A. **Reatividade de fontes de silício e sua eficiência na absorção e acumulação na cultura do arroz irrigado**. 91f. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia. 2005.

RÖMER, W.; SCHILLING, G. Phosphorus requirements of the wheat plant in various stages of its life cycle. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.91, p. 221-229, 1986.

SILVA, J. A. 1973. **Plant mineral nutrition**. Yearbook of Science and technology. McGraw-Hill Book Co., Inc.

SMYTH, T.J.; SANCHEZ, P. Effect of lime, silicate, and phosphate application to an Oxisol on phosphorus sorption and ion retention. **Soil Science Society American Journal**, Madison, 1980, v. 44, p. 500–505.

SOUSA, D. M. G.; MARTHA, JUNIOR. G. B. ; VILELA L. Manejo de adubação fosfatada em pastagens. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 21, Piracicaba, 2004. **Anais**, Piracicaba: FEALQ, 2004. p.101-138.

TAKAHASHI, E. Uptake mode and physiological functions of silica. In: Science of the Rice Plant. **Physiology Food and Agriculture Policy Center**, Tokyo, v. 2, p. 420-433, 1240 p, 1996.

TAKAHASHI, E.MA; J.F.MIYAKE, Y. The possibility of silicon as an essential element for higher plants. **Comments Agriculture Food Chemical**, v.2, p.99-122, Amsterdam, 1990.

THEODOROU, M.E.; PLAXTON, W.C. Metabolic adaptations of plant respiration to nutritional phosphate deprivation. **Plant Physiology**, Durham, v. 101, p. 339–344, 1993.

ULLRICH-EBERIUS, C.; NOVACKY, A.; VAN BEL, A. Phosphate uptake in *Lemna gibba* G1: energetics and kinetics. **Planta**, Springer Berlin, v. 161, p.46–52, 1984.

VIDAL, A. A. **Efeito do pH na disponibilidade de silício em solos da região do Triângulo Mineiro**. 2005.71f. Dissertação (Mestrado em Agronomia)- Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2005.

YOSHIDA, S. Chemical aspects of the role of silicon in physiology of the rice plant. **Bulletin National Institute of Agriculture and Science**, Ser. B., Ibaraki, v. 15, p. 1-58, 197