

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

**HENRIQUE TOMÁS MARÇAL**

**FORNECIMENTO DE SILÍCIO E FÓSFORO POR DIFERENTES FONTES NA  
CULTURA DO MILHO**

**Uberlândia – MG  
Dezembro – 2007**

**HENRIQUE TOMÁS MARÇAL**

**FORNECIMENTO DE SILÍCIO E FÓSFORO POR DIFERENTES FONTES NA  
CULTURA DO MILHO**

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

Orientador: Gaspar Henrique Korndörfer

**Uberlândia – 2007  
Dezembro – 2007**

**HENRIQUE TOMÁS MARÇAL**

**FORNECIMENTO DE SILÍCIO E FÓSFORO POR DIFERENTES FONTES NA  
CULTURA DO MILHO**

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

Aprovada pela Banca Examinadora em 8 de dezembro de 2007

---

Prof. Dr. Gaspar Henrique Korndörfer  
Orientador

---

MSc. Guilherme Bossi Buck  
Membro da Banca

---

MSc. Angélica Araújo Queiroz  
Membro da Banca

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus por ter me dado a oportunidade de cursar este curso e conseguir encerrá-lo após grande luta.

Agradeço aos meus pais, Odilon Tomás Filho e Maria Marta Tomás Marçal e à minha irmã pelo apoio, paciência, carinho, palavras de incentivo e dedico este trabalho a vocês.

Agradeço em especial ao Professor Gaspar Henrique Korndörfer pela oportunidade de trabalhar e fazer parte do GPSi.

Agradeço o Guilherme Bossi Buck pelas orientações e ajudas na condução deste trabalho, e agradeço também aos demais amigos que de alguma forma ajudaram no decorrer deste trabalho.

Aos amigos João Paulo Tostes e Leonardo Silva Araújo pela ajuda na condução deste trabalho, e pela amizade, companheirismo durante estes cinco anos em que cursamos esta faculdade, e tenho certeza que esta amizade continuará por toda vida.

A Marcela pelo afeto, carinho e paciência.

A vocês meu muito obrigado.

## RESUMO

O uso do silício é hoje um nutriente considerado benéfico as plantas, pelo seu papel na proteção da planta, por aumentar a taxa fotossintética das plantas onde é aplicado dentre outros. O fósforo também é um nutriente muito importante para o bom desenvolvimento das plantas. Em nossa região a aplicação de fósforo é necessária e deve ser feita de maneira correta para se evitar as perdas deste elemento. Como existem poucos trabalhos que estudaram a interação entre estes dois elementos em um mesmo granulado o presente trabalho teve por objetivo verificar a disponibilização destes dois elementos para plantas de milho em um curto espaço de tempo. O trabalho foi desenvolvido na Universidade Federal de Uberlândia, na casa-de-vegetação. Foram analisadas seis doses da fonte granulada mista; 0, 25, 50, 100, 200 e 400 kg.ha<sup>-1</sup> de silício e respectivamente 0, 60, 120, 240, 480, 960 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> () e duas fontes padrões; uma de Super Fosfato Triplo (240 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) e outra de Wollastonita (200 kg ha<sup>-1</sup> de Si) em um Neossolo Quartzarênico Órtico típico – RQo e um Latossolo Vermelho Distrófico típico - LVdt. Após 45 dias as plantas de milho foram retiradas e seu peso fresco foi aferido, foram então levadas para estuda a 65° por cinco dias. Depois deste período foi feita a pesagem da massa seca. Análise dos teores de Si e P foliares foram realizadas. Um teste de incubação também foi realizado para determinação dos teores de Si e P contidos no solo após trinta dias. Os resultados mostraram que a fonte possui baixa reatividade, não disponibilizando os nutrientes para as plantas.

## SUMÁRIO

<u>1 INTRODUÇÃO.....</u>	<u>06</u>
<u>2 REVISÃO DE LITERATURA.....</u>	<u>08</u>
2.1 Cultura do Milho.....	08
2.2 Fósforo.....	09
2.3 Silício.....	10
2.4 Interação Fósforo-Silício.....	12
<u>3 MATERIAL E MÉTODOS.....</u>	<u>14</u>
3.1 Teste Biológico.....	14
3.2 Teste de Incubação.....	16
<u>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</u>	<u>18</u>
4.1 Teste Biológico.....	18
4.2 Teste de Incubação.....	20
5 CONCLUSÕES.....	22
REFERÊNCIAS .....	23

## 1 INTRODUÇÃO

O milho, (*Zea mays* L.), sem dúvida é uma das culturas mais importantes em todo o mundo com uma área total de cerca de 142 milhões de hectares e produção em torno de 615 milhões de toneladas. O milho é utilizado tanto no consumo *in natura*, ingredientes de pães, bolos, margarinas, fubá, amido e outras iguarias como também na fabricação de rações do setor da avicultura, suinocultura, bovinocultura e de outros animais representando importante fator sócio-econômico.

O milho é uma planta de origem no México, América Central ou Sudoeste dos Estados Unidos (DUARTE, 2004). Como possui uma ampla faixa de adaptação, a cultura do milho é cultivada em diversas regiões do mundo e tem os Estados Unidos como maior produtor. O Brasil é o terceiro maior produtor de milho no mundo e segundo maior exportador, tendo o nosso estado como uma dos maiores produtores.

O milho tem tido grandes avanços nas mais diversas áreas agrônômicas, promovendo bons resultados em produtividade, qualidade do produto, sustentabilidade do produto e lucros. Estes avanços na produção do milho têm ocorrido através do aumento das áreas irrigadas, plantio em sucessão às culturas de verão, conhecido como milho safrinha e também pelo uso de híbridos altamente produtivos. Para que esses avanços possam acontecer são necessários uso de tecnologias cada vez mais modernas nos vários segmentos que cercam a cadeia de produção deste cereal. Dentre essas tecnologias temos o uso de fertilizantes que são essenciais para alcançar altas produtividades. Os fertilizantes são os responsáveis pelo fornecimento dos nutrientes que farão com que a planta possa se desenvolver sem nenhum problema.

Dentre os diversos nutrientes importantes para a cultura do milho temos o Fósforo (P), componente de importantes elementos da planta como ADP, ATP, fosfolipídios, coenzimas e outros. Como em muitas das ocasiões de adubação o fósforo é aplicado todo no momento da semeadura, são necessários o uso de fontes que consigam disponibilizar rapidamente este elemento para a planta. O P tem uma dinâmica muito complicada no solo, uma vez que sofre fixação aos sesquióxidos de ferro e alumínio, outro fenômeno que ocasiona a perda de solubilidade do P é a retrogradação. A retrogradação é o fenômeno onde o P retorna a forma de rocha fosfática (baixa solubilidade) através de reações entre o P e o cálcio e magnésio.

Outro elemento que vem merecendo estudos é o Silício (Si), pois está ligado à produção por seus efeitos de proteção física na planta contra ataque de insetos, fungos, nematóides. Este elemento também confere a planta uma menor evapotranspiração e melhor arquitetura às plantas, pois torna as plantas mais eretas e melhores receptoras de luz. Além de atuar positivamente nas plantas, o silício possui ainda efeitos benéficos também nos solos, atuando como corretivo da acidez e reduzindo os efeitos negativos da toxidez por alumínio e manganês, semelhante ao calcário. Esta capacidade de correção dos silicatos pode aumentar a absorção de P pelas plantas, uma vez que a rizosfera vai se tornar mais alcalina, diminuindo os efeitos da fixação deste elemento.

Visto que os elementos silício e fósforo são tão importantes para a boa produção e como os trabalhos que descrevem a interação Si-P são quase sempre realizados com fontes isoladas, o presente trabalho teve como objetivo testar o fornecimento destes elementos por uma fonte granulada mista na fase inicial da cultura.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Cultura do Milho

O milho é uma monocotiledônea de distribuição mundial pertencente à família das gramíneas (*Poaceae*), tribo *Maydeae*, gênero *Zea*, cientificamente denominado de *Zea mays* L. (FANCELLI, 1983). A tribo *Maydeae* compreende sete gêneros, sendo cinco asiáticos e dois americanos, sendo um deles o *Zea mays*. O gênero *Zea mays*, cuja origem é americana subdivide-se em cinco grupos, os quais são denominados: amiláceo, dentado, duro, pipoca e doce (MANGELSDORF, 1974). O centro de origem do milho (*Zea mays*), segundo Duarte (2004), fica localizada na região do México, Sudoeste dos Estados Unidos e América Central.

Segundo Tsunehiro e Ferreira (1996) nos últimos anos, a atividade agrícola tem sofrido profundas modificações em razão do aumento do custo de produção com reflexos na rentabilidade da cultura, especialmente em grãos como o milho. A adubação é reconhecidamente o fator que mais afeta a produtividade e a sustentabilidade da atividade, de modo que o consumo de adubo pela cultura do milho no País tem crescido acentuadamente nos últimos anos. A participação do custo médio da adubação (NPK) na receita bruta média da cultura do milho é de, aproximadamente, 24%, embora maior quando comparada a algumas culturas como arroz e soja.

Para diminuir os custos com a produção de milho, principalmente no gasto de adubos, Resende et al. (2004), afirma que a produção em larga escala de milho e de outros grãos no cerrado somente é viável com o desenvolvimento de tecnologias de melhoria da fertilidade dos solos da nossa região, a de cerrado, que é muito pobre em nutrientes em especial o fósforo.

Outros fatores que oneram o custo de produção do milho são os fungicidas e inseticidas, indispensáveis para alcançar um bom produto. Para se reduzir o uso destes agrotóxicos, são utilizadas cultivares resistentes, adensamento entre outras técnicas. Todas estas formas ajudam na diminuição dos gastos, porém o uso de fertilizantes que além de nutrir a planta, poderia trazer tolerância à insetos e pragas seria muito benéfico. Goussain (2002) conseguiu resultados significativos no controle de *Spodoptera frugiperda* (J.E.Smith) em plantas de milho cultivadas com uso de silício.

## 2.2 Fósforo

Grant et al. (2001) afirma que o fósforo é um elemento essencial no metabolismo das plantas, desempenhando papel importante na transferência de energia da célula, na respiração e na fotossíntese. É também componente estrutural dos ácidos nucleicos de cromossomos, assim como de muitas coenzimas, fosfoproteínas e fosfolípidos. Desse modo, limitações na disponibilidade de P no início do ciclo vegetativo podem resultar em restrições no desenvolvimento, das quais a planta não se recupera posteriormente, mesmo aumentando o suprimento de P a níveis adequados.

Confirmando a importância do fósforo, Malavolta (1985), relatou que esse elemento possui um papel fundamental na vida das plantas, por participar dos chamados compostos ricos de energia, como o trifosfato de adenosina (ATP), sendo absorvido pelas raízes como  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ , encontrando-se no xilema em maior proporção nessa forma. O fósforo na planta estimula o crescimento das raízes, garantindo uma arrancada vigorosa.

Segundo Raij (1991), o fósforo é após o nitrogênio o elemento mais limitante para o desenvolvimento das plantas. Mesmo sendo um elemento importante, seu acúmulo raramente ultrapassa os 0,5%. Não obstante, trata-se do nutriente mais usado em adubação no Brasil. Esta situação pode ser explicada pela carência generalizada de fósforo nos solos brasileiros e, também, porque o elemento tem forte interação com o solo, sofrendo forte fixação. Atestando a forte interação com o solo, Mello et al. (1983) relata que o conteúdo de P total nos solos minerais é variável. Expresso em  $\text{P}_2\text{O}_5$ , raramente excede 0,5%, geralmente variando entre 0,12 a 0,15%. O P disponível origina-se da solubilização de minerais fosfatados, da mineralização da matéria orgânica e da adição de fertilizantes.

Para Malavolta (1989), as plantas não conseguem aproveitar mais que 10% do fósforo total aplicado, pois nos solos tropicais ácidos, ricos em ferro e alumínio, ocorre a adsorção deste elemento. Segundo Queiroz (2006), o fósforo solúvel adicionado a solos ácidos, como os da região de cerrado, serão solúveis ou então ligados a Al, Fé (fixação), e ao Ca, ocasionando no fenômeno de retrogradação.

Essa alta fixação, aliada em nossa região com a baixa quantidade de P nos solos para Lopes (1984), têm sido consideradas as limitações mais severas para a utilização destes solos no

processo produtivo e para o aumento da produtividade, já que se fazem necessárias aplicações de altas doses de fósforo. O autor também ressalta que os fosfatos são recursos naturais não renováveis, escassos e sem sucedâneos, devendo, portanto, ter utilização eficaz.

Outro fator de importância nas perdas do P é a retrogradação. Ela ocorre através da mistura de matérias primas ricas em Ca e Mg que acarretaram na perda de solubilidade do fósforo de fontes solúveis, através de formação de compostos no solo, logo diminuindo sua disponibilidade para as plantas (QUEIROZ, 2006). O mesmo autor ao misturar silicato granulado, fonte de Ca e Mg, a diferentes formulados NPK não observou o efeito da retrogradação do P na cultura do milho.

Segundo o Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1990, essa não-renovação dos fosfatos apresentará problemas nos próximos anos, pois a taxa anual de crescimento da demanda destes fosfatos é de 5%, e a estimativa é que as reservas brasileiras acabem nos próximos 40 anos. Também se devem levar em consideração as altas perdas desse elemento, que atingem até 98%, ocorridas desde a etapa de lavra até a assimilação pelas culturas. Boa parte destas perdas são causadas no início da exploração dos solos, quando são realizadas adubações com fosfatos altamente solúveis, como são os superfosfatos e os fosfatos de amônio. Esses adubos, ao se dissolverem em água, transformam-se em ácido fosfórico ( $H_3PO_4$ ) e fosfato ácido de cálcio ( $CaHPO_4$ ). Essa solução ácida que se forma no solo exerce um efeito marcante na disponibilidade de P para as plantas, uma vez que o  $H_3PO_4$  produzido concorre para a dissolução dos óxidos de Fe, Al e Mn, acelerando o processo de fixação de fósforo.

### 2.3 Silício

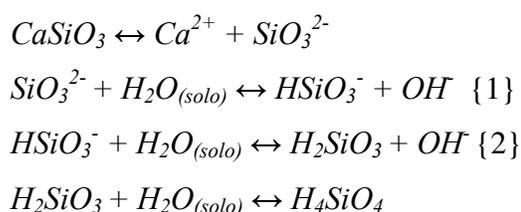
De acordo com Mengel e Kirkby (1987) o Si, depois do  $O_2$ , é o elemento mais abundante da crosta terrestre. Mesmo não sendo considerado elemento essencial para o desenvolvimento das plantas, sua absorção pode trazer inúmeros benefícios, principalmente para culturas acumuladoras de Si, como o arroz. Kornförför et al. (1999) reafirma que mesmo com esta abundância na crosta terrestre e na maioria dos solos, os cultivos consecutivos podem diminuir o teor de Si até o ponto em que a adubação silicatada seja necessária para maximizar a produção.

O uso de silício traz muitas melhorias para as plantas, dentre elas na arquitetura destas, o que promove maior aumento na fotossíntese, resultado da menor abertura do ângulo foliar, que torna as folhas mais eretas, diminuindo o auto-sombreamento, sobretudo em condições de altas densidades populacionais e altas doses de N verificada por Yoshida et al. (1962) e Balastra et al. (1989). Outros benefícios com o uso de Si segundo Agarie et al. (1998), é na resistência da planta à incidência de doenças fúngicas, por ser tal elemento depositado na folha, nos tecidos da epiderme logo abaixo da cutícula, precisamente nas paredes celulares mais externas, conferindo-lhe resistência mecânica à penetração das hifas (BARBOSA FILHO et al., 2001).

Quanto à produção de matéria seca da parte aérea, tem-se verificado que a aplicação de Si não altera essa variável na cultura do arroz (TANAKA; PARK, 1966; LIANG et al., 1994; CARVALHO, 2000); porém, quanto à produtividade de grãos, Deren et al. (1994), Liang (1994), Barbosa Filho et al. (1998), Korndörfer et al. (1999) e Faria (2000) observaram que na aplicação do elemento tem proporcionado incremento, porém Carvalho (2000) observou ausência de resposta.

Além de todos os benefícios na parte aérea das plantas, Dayanendam et al. (1983) afirmou que o silício possui a capacidade de correção dos solos. Esta correção da acidez do solo pelas escórias, resulta na formação do ácido monossilícico ( $H_4SiO_4$ ) que é a forma química, pela qual as plantas absorvem o silício por fluxo de massa. Absorvido pelas raízes, junto com a água, o silício tende a acumular-se na epiderme das folhas, formando uma barreira física contra o ataque de insetos e fungos, além de regular a perda de água da planta por transpiração.

Alcarde (1992) afirmou que os silicatos comportam-se no solo de maneira similar aos carbonatos, elevando o pH, neutralizando o alumínio tóxico às plantas, além de serem ricos em Ca e Mg. Basicamente a ação neutralizante dos silicatos é claramente explicada com as seguintes reações:



Barbosa Filho et al. (2001) observou que o óxido de silício ( $SiO_2$ ) é o mineral mais abundante nos solos, constituindo a base da estrutura da maioria dos argilominerais; entretanto,

em razão do avançado grau de intemperização em que se encontram os solos tropicais, o Si é encontrado basicamente na forma de quartzo, opala ( $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ) e outras formas não-disponíveis às plantas.

## 2.4 Interação Fósforo-Silício

O silício presente nos solos está em formas pouco dissociadas e facilmente ativas, podendo ser facilmente adsorvidas por vários minerais no solo como, sílica cristalina e amorfa, óxidos de ferro, alumínio e magnésio (McKEAGUE; CLINE, 1963). Segundo Obihara; Russel (1972), Oliveira (1984) e Leite (1997) esta adsorção também pode acontecer pelos óxidos de ferro e de alumínio da fração argila, pode trazer uma competição entre o Si e o P pelos mesmos sítios de adsorção.

Já Hingston et al. (1972) afirma que após a alcalinização do solo realizada pelo  $\text{CaSiO}_3$ , ocorre a formação de  $\text{H}_3\text{SiO}_4^-$ , que irá adsorver os óxidos de ferro e alumínio presentes na fração argila. Com esta adsorção menor quantidade de fosfato será adsorvida tornando a quantidade de P em solução de solo maior. Smyth e Sanchez (1980) seguindo o mesmo parâmetro de correção utilizando  $\text{CaCO}_3$  e  $\text{CaSiO}_3$  em Latossolo observaram uma redução de 18% e 24% na retenção de fósforo respectivamente. Roy et al. (1971) e Tisdale et al. (1985) disseram que a aplicação de silicato, finamente moído para correção do solo, antes da fosfatagem em solos cultivados com plantas acumuladoras de Si, traz entre outros benefícios, a correção de acidez e a melhoria na disponibilidade de P para as plantas.

Após estudos em laboratório e casa de vegetação sobre a interação Si-P, utilizando Latossolo Roxo, Leite (1997), chegou a sugerir que o Si fosse incluído em programas de adubação com P em latossolos. Isso pelo fato de que em laboratório pode observar deslocamento de P por Si e Si por P o que poderia ser muito benéfico para a disponibilidade dos dois elementos. Owino-Gerroh e Gascho em 2004, cultivando milho em casa-de-vegetação observaram que houve diminuição no teores de P adsorvido em solos com pH baixo, estes resultados foram atribuídos ao aumento do pH do solo devido a aplicação de silicato. Segundo o mesmo autor quando fontes solúveis de silício são aplicadas no solo convertem-se em ácido silícico amorfo

( $\text{H}_3\text{SiO}_4$ ). Como esta forma possui uma superfície de carga negativa menor, o fosfato seria preferencialmente mais adsorvido por possuir maior superfície negativa, mas como houve uma elevação no pH o P ficou mais disponível para a planta.

Segundo Pluckenelt (1972) a aplicação do silicato diminui a fixação de P e aumenta sua solubilidade por: competição entre Si e P pelos sítios de adsorção no solo; menor fixação do P, causada pelo aumento de pH; aumento na adsorção de silício, disponibilizando assim maiores quantidades de P; e pelo conjunto destes fatores.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Teste Biológico

Com objetivo de determinar as quantidades de Fósforo e Silício contidas na fonte granulada mista, análises foram realizadas nos laboratórios LABAS e LAFER. No LABAS (Laboratório de Análises de Solo) foram determinadas as quantidades de P em CNA + H<sub>2</sub>O (Citrato Neutro de Amônia), Ácido Cítrico e Fósforo Total. No Laboratório de Análise de Fertilizantes (LAFER) foi realizada a análise de Silício Total. Todos os resultados estão expressos na Tabela 1.

A Wollastonita, fonte padrão de Si, e o Super Fosfato Triplo, fonte padrão de P, foram utilizadas para comparações com a fonte granulada mista e os teores dos elementos estão expressos também na Tabela 1.

Tabela1. Caracterização química dos materiais utilizados no experimento.

Fonte	Si Total	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> Total	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> CNA* + H <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> Ac. Cítrico
	----- % -----			
<b>Mista</b>	6,04	14,5	13,6	0,7
<b>Super Fosfato Triplo</b>	-	41	37	-
<b>Wollastonita</b>	20,7	-	-	-

\*Citrato Neutro de Amônio

De posse destes resultados os tratamentos foram determinados com base na quantidade de silício total da fonte granulada mista. As doses foram crescentes e aplicadas de tal forma que disponibilizassem 0, 25, 50, 100, 200 e 400 kg ha<sup>-1</sup> de Si e conseqüentemente 0, 60, 120, 240, 480, 960 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, correspondente aos tratamentos Test., T1, T2, T3, T4 e T5. Os tratamentos utilizando a wollastonita (denominado WOLL.) tiveram doses de 200 kg ha<sup>-1</sup> de silício e aqueles em que se utilizaram o super fosfato triplo (denominado TSP) as doses serão de 240 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Cada tratamento teve quatro repetições e foi realizado em dois solos distintos.

Foram utilizados dois solos com diferentes características, um solo com textura arenosa, classificado como Neossolo Quartzarênico Órtico típico – RQo, e um outro solo de textura argilosa, classificado como Latossolo Vermelho Distrófico típico – LVdt, cujas características químicas e físicas estão apresentadas nas Tabelas 2 e 3.

Tabela 2. Caracterização química do Neossolo Quartzarênico Órtico (RQo) e Latossolo Vermelho Distrófico (LVdt).

Solo	pH (H <sub>2</sub> O)	Si	P	K	Al	Ca	Mg	H+Al	T	V	m
		---mg dm <sup>-3</sup> ---			----- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----					---- % ----	
<b>RQo</b>	4,6	1,1	1,3	1,9	0,7	0,1	0,7	4,5	4,8	5	74
<b>LVdt</b>	4,8	3,9	0,9	25,7	0,7	0,7	0,1	9,8	10	3	77

P e K - Extrator Mehlich (HCl 0,05 N + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,025 N); Ca, Mg e Al - Extrator KCl 1 mol L<sup>-1</sup>; t - CTC efetiva; T - CTC potencial (a pH 7,0); V - saturação por bases; m - saturação por alumínio (Embrapa, 1999). Si – Extrator CaCl<sub>2</sub> (Korndörfer, 2004).

Tabela 3. Caracterização física do Neossolo Quartzarênico Órtico (RQo) e Latossolo Vermelho Distrófico (LVdt).

Solo	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila
	----- g kg <sup>-1</sup> -----			
<b>RQo</b>	626	218	1	155
<b>LVdt</b>	90	43	33	834

Observações: Análise textural pelo Método da Pipeta (EMBRAPA, 1997).

Os solos foram devidamente corrigidos utilizando carbonato PA. Cada unidade experimental contou com 5 kg de solo misturado e homogeneizado com seu respectivo tratamento. Ambos os tratamentos foram acondicionados em vasos plásticos como mostra a Figura 1. Os tratamentos foram distribuídos em casa-de-vegetação, e a cada quatro dias foi realizado um remanejamento dos vasos para que houvesse a maior homogeneidade possível. O experimento foi montado em delineamento inteiramente casualizado (DIC) com quatro repetições, totalizando 64 parcelas. No dia 24 de maio de 2005 foram semeadas 10 sementes do híbrido FORT em cada parcela e estes vasos foram irrigados diariamente utilizando-se água destilada. A quantidade de água era suficiente para manter a capacidade de campo dos solos, evitando o encharcamento.

A emergência ocorreu no quinto dia após a semeadura. Sete dias após a emergência, por volta de  $V_2$  (mostrado na Figura 2) foi realizado um desbaste deixando apenas quatro plantas por vaso. Uma adubação de cobertura com 0,8 g/vaso de Uréia também foi realizada.



Figura 1. Foto do experimento, mostrando como ficaram os vasos após a adição do solo.



Figura 2. Foto mostrando o momento em que foi realizado o desbaste.

Após 45 dias das plantas emergidas, foram colhidas as partes áreas (talo+folha) e o peso da massa fresca foi aferido. Após serem pesadas as amostras foram levadas para estufa com ventilação forçada à temperatura de 65°C, até a estabilização do peso. Após esta secagem os pesos secos foram aferidos e as amostras foram moídas em moinho tipo Willey, acondicionadas em sacos plásticos para posterior determinação de Si, pela metodologia descrita por Korndöfer et al. (2004). Os teores de P foram determinados metodologia descrita por Malavolta et al. (1989).

Todos os resultados foram analisados primeiramente por um teste de Tukey (5% de probabilidade) para comparação da fonte granulada mista e os padrões (TSP e Wollastonita). Posteriormente, para avaliar as doses de silício da fonte granulada mista, utilizou-se regressões.

### 3.2 Teste de Incubação

Após análise dos resultados do teste biológico foi decidido que seria realizado um teste de incubação para esclarecer as causas da baixa absorção de P fornecido pela fonte granulada mista.

Para este teste foram utilizados seis tratamentos (Test., T1, T2, T3, T4 e TSP), cada um com quatro repetições. Os solos utilizados foram os mesmos solos (LVdt e RQo) do teste biológico.

As doses do produto foram em relação à quantidade de Si total ficando dispostas da seguinte maneira: 0, 25, 50, 100 e 200 kg ha<sup>-1</sup> de silício e conseqüentemente 0, 60, 120, 240 e 480 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, correspondente aos tratamentos, Test., T1, T2, T3, T4. O sexto tratamento (TSP) consistiu em uma dose de Super Fosfato Triplo, com 240 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> totalizando 48 parcelas como mostra Figura 3.



Figura 3. Foto mostrando as parcelas do teste de incubação.

Utilizou-se 300 g de solo por parcela e a mistura de solo e doses da fonte granulada mista foram colocadas em potes plásticos de 500 g. Os potes foram irrigados até a obtenção de 80% da capacidade de campo, utilizando 84 mL de água para o solo argiloso e 44 mL para o solo arenoso. Durante o período de incubação a capacidade de campo foi mantida para que as prováveis reações pudessem ocorrer.

Após 30 dias de incubação o solo foi retirado, secado ao ar e depois foram feitas análises para determinação do Si e P contidos no solo. Para a determinação de Si foi utilizado o método de Si “extraível” em CaCl<sub>2</sub>, 0,01 mol L<sup>-1</sup> descrito por Korndörfer et al. (2004). No mesmo solo foi determinado o P Mehlich-1, conforme metodologia descrita por CFSMG (1999).

O delineamento experimental foi o delineamento inteiramente casualizado (DIC). As comparações entre os tratamentos foram feitas utilizando um teste de Tukey a 5% de probabilidade. Para as comparações entre as doses da fonte granulada foi utilizada análise de regressão.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Teste Biológico

Não foi possível observar aumento nos teores de massa fresca (MF) e massa seca (MS), nem mesmo nas maiores doses da fonte granulada mista, independente do solo utilizado, como mostrado na Tabela 4. Isso mostra que a fonte não foi eficiente para disponibilizar os nutrientes e promover um bom desenvolvimento das plantas de milho.

Na Tabela 5, quando se analisa estas duas variáveis (MF e MS), comparando todos os tratamentos pelo método proposto (Teste de Tukey), observamos que a wollastonita não se difere dos tratamentos com a fonte granulada mista, sendo o tratamento com TSP diferente dos demais.

Como o P é um dos elementos que mais limita a produção das culturas em solos tropicais (RAIJ, 1991) a aplicação de uma fonte de solubilidade conhecida (TSP) foi suficiente para o aumento da produção de massa fresca e seca das plantas. Esses resultados corroboram com o observado durante a condução do experimento, onde em todas as doses da fonte granulada mista e de wollastonita foi observado o arroxamento no bordo das folhas (Figura 4), sintoma este característico de deficiência de P (MALAVOLTA et al. 1997), logo a ausência de resposta do milho em produção de massa seca e fresca de parte aérea pode estar sendo limitada pela ausência de P disponível para a planta.



Figura 4. Folha A, tratamento TSP sem deficiência;  
Folha B, tratamentos Fonte mista, deficiência de P.

O aumento nos teores de Si não foi observado nos dois solos e tão pouco nas maiores doses da fonte granulada mista, representado na Tabela 4.

Quando se compara os tratamentos contendo a fonte granulada mista ao tratamento contendo wollastonita temos uma diferença entre estes tratamentos (Tabela 5), sendo a wollastonita mais eficaz na disponibilização de Si, alcançando quase o triplo em acumulo de Si que a mesma dose da fonte mista (T4 - 200 kg ha<sup>-1</sup>).

A baixa absorção de silício poderia ser explicada pela competição que ocorre entre o Si e o P pelos seus sítios de adsorção do solo (PLUCKNETT, 1972), porém observamos que mesmo na dose máxima do produto, equivalente ao dobro de Si aplicado no tratamento com wollastonita, a absorção foi inferior. Isso demonstra que o fenômeno da fixação não é o limitante da baixa absorção de Si pela planta e sim a baixa reatividade que esta fonte apresentou.

Tabela 4. Efeitos de doses nos teores de massa seca, massa fresca, concentração de Si e P na folha nos dois diferentes solos (RQo e LVdt).

Tratamento	Arenoso				Argiloso			
	M. Fresca (g)	M. Seca (g)	Si (%)	P (g kg <sup>-1</sup> )	M. Fresca (g)	M. Seca (g)	Si (%)	P (g kg <sup>-1</sup> )
Test.	25.00	3.325	0.575	0.068	23.75	4,05	0.695	0.063
T1	26.25	3.450	0.632	0.064	25.00	4,00	0.725	0.067
T2	23.75	3.037	0.662	0.068	25.00	4,15	0.740	0.072
T3	26.25	3.450	0.710	0.064	25.00	4,15	0.835	0.070
T4	27.50	3.375	0.502	0.070	23.75	4,41	0.502	0.068
T5	26.25	3.312	0.592	0.070	30.00	4,45	0.592	0.066
	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

ns = Não significativo, de acordo com o teste de regressão.

Tabela 5. Efeito de fontes, doses sobre os teores de massa fresca, massa seca, concentração de Si e P na folha.

Tratamento	Arenoso				Argiloso			
	M. Fresca (g)	M. Seca (g)	Si (%)	P (g kg <sup>-1</sup> )	M. Fresca (g)	M. Seca (g)	Si (%)	P (g kg <sup>-1</sup> )
Test.	25,0 b	3,32 b	0,57 b	0,06 b	23,7 b	4,05 b	0,69 bc	0,06 b
T1	26,2 b	3,45 b	0,63 b	0,06 b	25,0 b	4,00 b	0,72 bc	0,06 b
T2	23,7 b	3,03 b	0,66 b	0,06 b	25,0 b	4,15 b	0,74 bc	0,07 b
T3	26,2 b	3,45 b	0,71 b	0,06 b	25,0 b	4,15 b	0,83 b	0,07 b
T4	27,5 b	3,37 b	0,50 b	0,07 b	23,7 b	4,41 b	0,50 c	0,06 b
T5	26,2 b	3,31 b	0,59 b	0,07 b	30,0 b	4,45 b	0,59 bc	0,06 b
Woll.	28,7 b	3,80 b	1,41 a	-----	26,2 b	4,51 b	1,41 a	-----
TSP	163,7 a	19,80 a	-----	0,16 a	83,7 a	12,71 a	-----	0,12 a
C.V. (%)	18,12	19,72	18,14	13,01	13,56	11,32	14,82	12,26

\*Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Assim como nos teores de silício, os teores de fósforo não aumentaram com o aumento das doses da fonte mista nos dois diferentes tipos de solo (Tabela 4).

Quando foi feita a comparação dos tratamentos contendo a fonte granulada mista e o TSP observou-se que o tratamento contendo TSP difere dos demais. O TSP conseguiu obter teores foliares de P superiores as maiores doses da fonte granulada mista.

Esses resultados podem ser explicados pela teoria da retrogradação que ocorreu durante o processo de fabricação desta fonte granulada mista, diminuindo a solubilidade do P. Uma explicação para o acontecimento desta retrogradação foi que a acidez livre da fonte solúvel promoveu a dissociação do silicato liberando para o meio Ca que reage com o P, formando compostos bi, tri, ou policálcicos, que irão minimizar a absorção de P pelas plantas de milho.

#### 4.2 Teste de Incubação

Quando se comparou as doses da fonte granulada mista (através do teste de regressão) observou-se aumento nos teores de silício em ambos os solos, como mostra a Figura 5. Porém as quantidades disponibilizadas são muito pequenas o que confirma a baixa reatividade desta fonte mista em curto período.

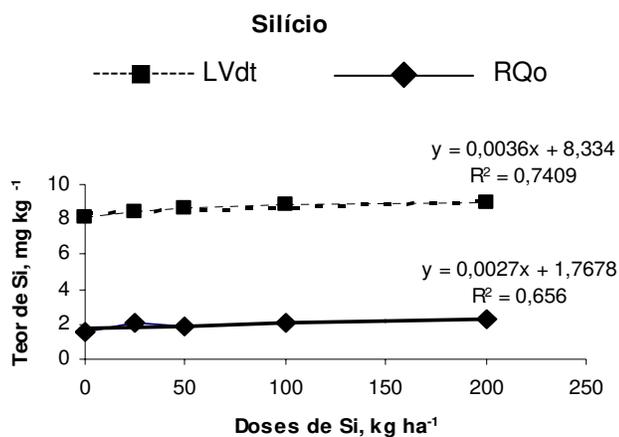


Figura 5. Teor de Si nos solos Lvdt e Rqo após 30 dias de incubação.

Para as doses de P obtivemos um aumento dos teores nos solos, mostrado na Figura 6. Quando comparou a fonte mista ao TSP observou-se que a máxima dose da fonte aplicada, não diferiu do tratamento com TSP. Este fato demonstra mais uma vez que existe uma retrogradação na produção desta fonte, uma vez que para disponibilizar a mesma quantidade de P que o TSP foi necessário aplicar uma dose da fonte mista equivalente ao dobro daquela utilizada no tratamento contendo TSP (Tabela 6).

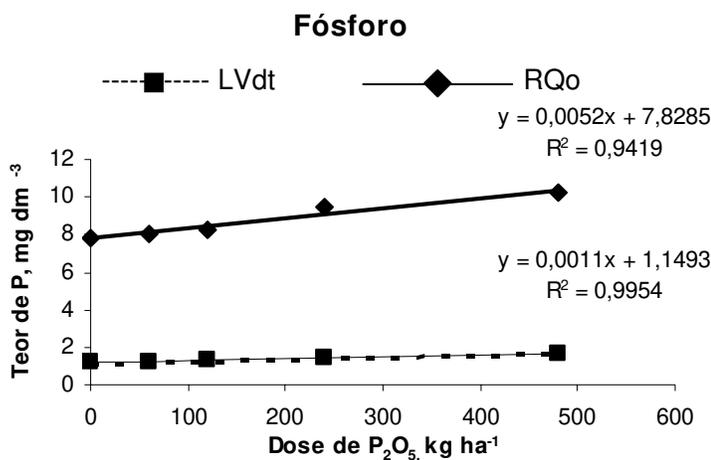


Figura 6. Teor de P nos solos Lvdt e Rqo após 30 dias de incubação.

Tabela 6. Fósforo disponível nos solos RQo e LVdt após 30 dias de incubação (Extrator Melich-1)

Tratamento	Arenoso P (mg dm <sup>-3</sup> )	Argiloso P (mg dm <sup>-3</sup> )
Test.	7,8 b	1,1 b
T1	8,0 b	1,2 b
T2	8,2 b	1,2 b
T3	9,5 b	1,4 b
T4	10,2 ab	1,6 ab
TSP	12,4 a	2,2 b
C.V. (%)	11,40	25,58

\*Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Este fenômeno de retrogradação ainda foi pouco estudado, porém os resultados obtidos neste trabalho diferem daqueles obtidos por Queiroz (2006) que não observou a retrogradação. O fato de Queiroz (2006) ter aplicado as fontes de Si e P separadamente, diferiram completamente da metodologia utilizada quando da mistura dos dois fertilizantes (Si-P) ainda na indústria, cujo veículo de mistura, certamente foi um ácido.

## 5 CONCLUSÕES

A fonte granulada mista não foi capaz de disponibilizar os nutrientes Si e P em um curto espaço de tempo.

A retrogradação foi o fenômeno que mais favoreceu para a baixa quantidade de Massa fresca e seca visto que não disponibilizou fósforo, elemento básico para o crescimento e desenvolvimento das plantas.

## REFERÊNCIAS

- AGARIE, S.; HANAOKA, N.; UENO, O.; MIYAZAKI, A.; KUBOTA, F.; AGATA, W.; KAUFMAN, P.B. Effects of silicon on tolerance to water deficit and heat stress in rice plants (*Oryza sativa* L.), monitored by electrolyte leakage. **Plant Production Science**, Tokyo, v.1, n.1, p.96-103, 1998.
- ALCARDE, J. C. **Corretivo de acidez dos solos: Características e interpretações técnicas**. São Paulo: Associação Nacional para Difusão de Adubos e Corretivos Agrícolas, 1992. 26 p. (Boletim Técnico, 6).
- BALASTRA, M.L.F.; PEREZ, C.M.; JULIANO, B.O.; VILLREAL, P. Effects of sílica level on some properties of *Oriza sativa* straw and hult. **Canadian Journal of Botany**, Ottawa, v.67, p.2356-63, 1989.
- BARBOSA FILHO, M.P.; SNYDER, G.H.; ELLIOTT, C.L.; DATNOFF, L.E.; PRABHU, A.S., SILVA, O.F.; KORNDÖRFER, G.H. Resposta do arroz de sequeiro à aplicação de silício. In: FERTBIO 1998, Caxambu. **Anais...** Lavras, Universidade Federal de Lavras/Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/Sociedade Brasileira de Microbiologia, 1998. p.57
- BARBOSA FILHO, M.P.; SNYDER, G.H.; FAGERIA, N.K.; DATNOFF, L.E.; SILVA, O.F. Silicato de cálcio como fonte de silício para o arroz de sequeiro. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 2, p. 325-330, 2001.
- CARVALHO, J.C. **Análise de crescimento e produção de grãos da cultura do arroz irrigado por aspersão em função da aplicação de escórias de siderurgia como fonte de silício**. Botucatu, Universidade Estadual Paulista 2000. 119p. (Tese de Mestrado)
- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. 5ª aproximação, Viçosa, MG, 1999.
- DAYANANDAM, P., KAUFMAN, P. B., FRAKIN, C. I. Detection of silica in plants. **American Journal of Botany**, St. Louis, v. 70, p. 1079-1087. 1983
- DEREN, C.W.; DATNOFF, L.E.; SNYDER, G.H.; MARTIN, F.G. Silicon concentration, disease response, and yield components of rice genotypes grown on flooded organic histosols. **Crop Science**, Madison, v. 34, n.3, p. 733-737, 1994.
- DUARTE, J. O. **Introdução e importância econômica do milho**. Sete Lagoas: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo. 2000. Disponível em: <<http://www.cnpms.embrap.br/publicacoes/milho/importancia.htm>>. Acesso em: 13 out. 2004.

FANCELLI, A. L. Tecnologia da produção. In: FANCELLI, A. L.; LIMA, U. A., (Ed.) **Milho: produção, processamento e transformação industrial**. São Paulo: Secretaria da Indústria e Comércio, Ciência e Tecnologia, 1983. p. 1-68

FARIA, R.G. **Influência do silicato de cálcio na tolerância do arroz de sequeiro ao déficit hídrico do solo**. Lavras, Universidade Federal de Lavras 2000. 47p. (Tese de Mestrado)

GOUSSAIN, M.M.; MORAES, J.C.; CARVALHO, J.G.; NOGUEIRA, N.L.; ROSSI, M.L. Efeito da Aplicação de Silício em Plantas de Milho no Desenvolvimento Biológico da Lagarta-do-Cartucho *Spodoptera frugiperda* (J.E.Smith). **Neotropical Entomology**, Vacaria, p.305-310, 2002.

GRANT, C.A.; PLATEN, D.N.; TOMAZIEWICZ, D.J.; SHEPPARD, S.C. A importância do fósforo no desenvolvimento inicial da planta. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n.95, 2001.

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

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Tecnologia de produção de fertilizantes**. São Paulo, 1990. 237p.

KORNDÖRFER, G.H.; PEREIRA, H.S.; NOLA, A. **Análise de silício: solo, planta e fertilizante**. Uberlândia: GPSi-ICIAG-UFU, 2004. 34p. (Boletim técnico, 2).

KORNDÖRFER, G.H.; DATNOFF, L.E. Adubação com silício: uma alternativa no controle de doenças da cana-de-açúcar e do arroz. **Informações Agronômicas**, Piracicaba. v. 70, p.1-3.

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.1, p.101-106, 1999.

KORNDÖRFER, G.H.; ARANTES, V,A.; CORRÊA, G.F.; SNYDER, G.H. Efeito do silicato de cálcio no teor de silício e na produção de grãos de arroz de sequeiro. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v.23, p.635-41, 1999a

LIANG, Y.C.; MA, T.S.; LI, F.J.; FENG, Y.J. Silicon availability and response of rice and wheat to silicon in calcareous soils. **Communicative Soil Science Plant Anal**, Philadelphia, v.25, n.18, p.2285-2297, 1994.

LEITE, P. C. **Interação silício-fósforo em Latossolo-Roxo cultivado com sorgo em casa-de-vegetação**. Viçosa : UFV, 1997. 87 p. Tese de Doutorado.

LOPES, A.S. **Solos sob "cerrado": características, propriedades e manejo**. Piracicaba: Potafós, 1984. 162p.

MANGELSDORF, P. C. **Corn: Its Origin, Evolution, and Improvement.** Massachusetts: Harvard University Press, 1974. 262p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. de. **Avaliação do estado nutricional das plantas.** Princípios e aplicações. Piracicaba: POTAFÓS, 1989. p.201.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. de. **Avaliação do estado nutricional das plantas: Princípios e aplicações.** 2ª ed. Piracicaba: POTAFÓS, 1997. p.319.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas.** São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. 251 p.

MALAVOLTA, E. Nutrição mineral. In: FERRI, M. G. (Ed.). **Fisiologia Vegetal.** São Paulo: EPU, 1985. p. 97-116.

McKEAGUE, J. A. E CLINE, M. G. Silica in soil solutions. The form and concentration of dissolved silica in aqueous extracts of some soil. **Canadian Journal of Soil Science**, Lethbridge, v. 43, n.1, p.70-82, 1963.

MELLO, F. A. F.; SOBRINHO, M. O. C. B.; ARZOLLA, S.; SILVEIRA, R. I.; NETTO, A. C.; KIEHL, J. C. **Fertilidade do solo.** São Paulo: Nobel, 1983. 400 p.

MENGEL, K.E.; KIRKBY, E.A. **Principles of plant nutrition.** 4.ed. Worblaufen-Bern, International Potash Institute, 1987. p.573-588

NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; NEVES, J. C. L. Nutrição Mineral do eucalipto. In: BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F. (Ed.) **Relação solo-eucalipto.** Viçosa: Editora Folha de Viçosa, 1990. 330 p.

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

OLIVEIRA, A.J. **Anais do Simpósio sobre fertilizantes da agricultura brasileira.** Brasília: Embrapa - DEP, 1984. p 347-382.

OLIVEIRA, M. G. A. **Determinação, adsorção e deslocamento recíproco de silício e fósforo em Latossolos do Triângulo Mineiro.** Viçosa : UFV, 1984. 68 p. Dissertação de Mestrado.

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

PLUCKNELT, 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. **Interação do silicato de cálcio e magnésio granulado em mistura com adubos fosfatados solúveis**. Uberlândia, MG. Universidade Federal de Uberlândia, 2006. 119 p. Dissertação de Mestrado.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Agronômica Ceres, Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1991. 343p.

RESENDE, A. V.; NETO, A. E. F.; ALVES, V. M. C.; MUNIZ, J. A.; CURI, N.; FAQUIN, V.; KIMPARA, D. I.; SANTOS, J.L.; CARNEIRO, L. F. Fontes e modos de aplicação de fósforo para o milho em solo cultivado da região do Cerrado. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v.30 n.3, p. 453-466, 2006.

ROY, A. C.; ALI, M. V.; FOX, R. L.; SILVA, J. A. Influence of calcium silicate on phosphate solubility and availability in Hawaiian latossols. In: SYMPOSIUM ON SOIL FERTILITY AND EVALUATION, 1971, Honolulu. **Proceedings...** New Delhi : University of Hawaii, 1971. p. 756-765.

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**, New York, v. 44, p. 500-505, 1980.

TANAKA, A.; PARK, Y.D. Significance of the absorption and distribution of silica in the growth of rice plant. **Soil Science Plant Nutrition**, Tokyo v.12, n.1, p. 23-28, 1966.

TISDALE, S. L.; NELSON, W. L.; BEATON, D. J. **Soil fertility and fertilizers. 4. ed.** New York : MacMillan, 1985. 754 p.

TISDALE, S.L.; NELSON, W.L.; BESTON, J.D.; HAULIN, J.L. **Soil fertility and fertilizer**. New York, Macmillam, 1993. p.634.

TSUNECHIRO, A.; FERREIRA, C.R.P.T. Aspectos econômicos da adubação do milho no Brasil. **Informações econômicas**, São Paulo, v.26, p.21-28, 1996.

YOSHIDA, S.; OHNISHI, Y.; KITAGISHI, K. Chemical forms, mobility and deposition of silicon in rice plant. **Soil Science Plant Nutrition**, Tokyo, v.8, p.15-21, 1962.