



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

**INTERAÇÃO DO SILICATO DE CÁLCIO E
MAGNÉSIO GRANULADO EM MISTURA COM
ADUBOS FOSFATADOS SOLÚVEIS**

ANGELICA ARAUJO QUEIROZ

2006

ANGÉLICA ARAÚJO QUEIROZ

INTERAÇÃO DO SILICATO DE CÁLCIO E MAGNÉSIO GRANULADO
EM MISTURA COM ADUBOS FOSFATADOS SOLÚVEIS

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Uberlândia, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Agronomia – Mestrado, área de concentração em solos, para obtenção do título de “Mestre”.

Orientador

Prof. Dr. Gaspar Henrique Korndörfer

Co-orientador

Dr. Antonio Nolla

UBERLÂNDIA-MG

2006

FICHA CATALOGRÁFICA

Elaborada pelo Sistema de Bibliotecas da UFU / Setor de
Catalogação e Classificação

- Q3i Queiroz, Angélica Araújo, 1980-
 Interação do silicato de cálcio e magnésio granulado em
 mistura com
 adubos fosfatados solúveis / Angélica Araújo Queiroz . -
 Uberlândia, 2006.
 119f. : il.
 Orientador: Gaspar Henrique Korndörfer.
 Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de
 Uberlândia, Pro SILVA, M. L S. **Disponibilidade de fosforo em
 solos com aplicação de escoria silicatada como corretivo de
 acidez.** 2001. 65f. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Produção)-
 Faculdade de Engenharia da Universidade Paulista de Ilha Solteira,
 Universidade Paulista, Ilha Solteira, 2001.
 grama de Pós-Graduação em Agronomia.
 Inclui bibliografia.
 1. Adubação - Teses. I. Korndörfer, Gaspar Henrique. II.
 Universi-
 dade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em
 Agrono-
 mia. III. Título.

CDU: 631.81

ANGÉLICA ARAÚJO QUEIROZ

INTERAÇÃO DO SILICATO DE CÁLCIO E MAGNÉSIO GRANULADO
EM MISTURA COM ADUBOS FOSFATADOS SOLÚVEIS.

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Uberlândia, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Agronomia – Mestrado, área de concentração em Solos, para obtenção do título de “Mestre”.

APROVADA em 04 de maio de 2006.

Prof. Dr. Antonio Nolla
(co-orientador)

UFU

Dr. Manoel Raimundo Guilherme

Fertion

Dr^a Regina Maria Quintão Lana

UFU

Prof. Dr. Gaspar Henrique Korndörfer
ICIAG-UFU
(Orientador)

UBERLÂNDIA
MINAS GERAIS-BRASIL

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus e a todas as pessoas que de alguma forma me ajudaram na realização deste trabalho, em especial:

Ao Professor, Gaspar H. Korndörfer, meu orientador, que me deu a oportunidade de realizar esse trabalho e pelos conselhos dados durante todo o tempo em que participei do Grupo de Pesquisa do Silício (GPSi);

Aos meus amigos que me ajudaram durante todo o andamento deste estudo, Ana Cristina, Douglas, Robson, Leonardo, Mariana, Lucélia, Anelisa e a todos do grupo GPSi;

A todos os estagiários do Laboratório de Fertilizantes da UFU, e as técnicas Valéria e Carla, pelo apoio e suporte laboratorial;

Aos técnicos do Laboratório de Solos da UFU, Gilda, Manuel, Eduardo e Marinho, pela ajuda nas análises laboratoriais;

A todos os professores da UFU que me apoiaram nos momentos difíceis e que me mostraram que por todo o caminho sempre existiram obstáculos, porém é preciso sempre vencê-los;

A Capes pelo suporte financeiro e a coordenação do Programa de Pós Graduação em Agronomia;

A FERTION pelo patrocínio e apoio;

Aos meus familiares, meus pais Amália e José Roberto e irmãos Patrícia e Rodrigo pelo carinho e torcida por mim durante toda a minha vida;

E ao meu namorado Marco Túlio,

A todos MUITO OBRIGADA!!

SUMÁRIO

	Páginas
LISTA DE TABELAS -----	i
LISTA DE FIGURAS -----	
RESUMO -----	vi
ABSTRACT -----	
CAPÍTULO 1	
1-Introdução -----	vii
1.1-Revisão Bibliográfica -----	viii
1.2.1-Silício no solo -----	
1.2.2-Fósforo no solo -----	
1.2.3-Interação Silício-Fósforo no solo -----	
1.2.4- Fósforo nas plantas -----	1
1.2.5-Efeito do silício e da calagem na nodulação de leguminosas ---	
1.2.6-Silício na planta -----	2
CAPÍTULO 2- Retrogradação do fósforo solúvel em mistura com silicato em dois solos do cerrado.	2
	4
Resumo -----	
Summary -----	7
2.1-Introdução -----	
2.2-Material e Métodos -----	9
2.3-Resultados e Discussão -----	
2.4-Conclusões -----	11
CAPÍTULO 3 - Interação silício - fósforo na cultura do milho	13
Resumo -----	
Summary-----	
3.1-Introdução -----	
3.2-Material e métodos -----	
3.2.1-Instalação do experimento -----	
3.3-Resultados e discussão -----	
3.4-Conclusões -----	
CAPÍTULO 4 - Aplicação localizada de adubos granulados contendo silício para a cultura da soja	16
Resumo -----	17
Summary -----	

4.1-Introdução -----	18
4.2-Material e métodos -----	
4.2.1-Análise Estatística -----	20
4.3-Resultados e discussão -----	
4.3.1-Macro e micronutrientes no solo aos 30 e 120 dias -----	24
4.3.2-Concentração de macro e micronutrientes na planta -----	
4.4-Conclusões -----	37
5-Referências Bibliográficas -----	
	38
	39
	40
	41
	41
	45
	51
	52
	53
	54
	56
	60

61

61

81

108

109

LISTA DE TABELAS

	Página
1 Caracterização química do Latossolo Vermelho Distrófico típico (LVdt) e Neossolos Quartzarênico ortico (RQo) utilizado como base experimental.....	20
2 Caracterização física do Latossolo Vermelho Distrófico típico (LVdt) e Neossolos Quartzarênico ortico (RQo) utilizado como base experimental.....	20
3 Composição química da fonte de Silício (Si)	21
4 Composição química das fontes de Fósforo(P)	21
5 Tratamentos e quantidades utilizadas das fontes de P e Si.....	22
6 Cálcio trocável no solo RQo e LVdt , em amostras de solo retiradas após 60 e 120 dias de incubação.....	25
7 Magnésio trocável no solo RQo e LVdt, em amostras de solo retiradas após 60 e 120 dias de incubação.....	27
8 Valores de pH em CaCl ₂ no solo RQo e LVdt , em amostras de solo retiradas após 60 e 120 dias de incubação.....	28
9 Silício disponível em CaCl ₂ no solo RQo e LVdt, em amostras de solo retiradas após 60 e 120 dias de incubação.....	31
10 Silício em ácido acético nos solos RQo e LVdt, em amostras de solo retiradas após 60 e 120 dias de incubação.....	32
11 Fósforo - Mehlich-1 disponível no solo RQo e LVdt, em amostras de solo retiradas após 60 e 120 dias de incubação.....	34
12 Potássio disponível no solo RQo e LVdt, em amostras de solo retiradas após 60 e 120 dias de incubação.....	36
13 Potássio disponível nos solos RQo e LVdt em amostras de solo retiradas após 60e 120 dias de incubação.....	36
14 Caracterização química das formulações.....	42
15 Quantidade de matéria prima utilizada para produzir 1000 kg das fórmulas NPK	42
16 Tratamentos aplicados aos vasos (fórmulas NPK + dose de Si kg há ⁻¹).....	43
17 Fósforo e Silício em ácido acético (0,5mol L ⁻¹) e em CaCl ₂ (0,01 mol L ⁻¹) disponível no solo, após 60 dias de cultivo de milho, em função de doses de silicato adicionadas.....	45

18	Fósforo e Silício em ácido acético ($0,5\text{mol L}^{-1}$) e CaCl_2 ($0,01\text{ mol L}^{-1}$) no solo, após 60 dias de cultivo de milho, em função das formulações	46
19	Cálcio e Magnésio trocáveis e valores de pH no solo, após 60 dias de cultivo do milho, em função das formulações	47
20	Cálcio e Magnésio trocáveis e valores de pH no solo, após 60 dias de cultivo do milho, em função de doses de Si aplicadas.....	47
21	Médias do acúmulo de matéria fresca, seca e peso seco do sistema radicular e teor de P e Si foliar, da cultura do milho, após 60 dias de cultivo.....	48
22	Médias do acúmulo de matéria fresca, seca e peso seco do sistema radicular, da cultura do milho, após 60 dias de cultivo.....	49
23	Caracterização química do Latossolo Vermelho Distrófico típico após a incubação, utilizado na instalação do experimento, com 40% e 60%, respectivamente, de saturação por bases.....	56
24	Caracterização química da fonte de silício.....	57
25	Caracterização química das fontes de fósforo (Superfosfato simples) .	58
26	Tratamentos aplicados quando do plantio da soja.....	58
27	Magnésio trocável no solo, em amostras coletadas 30 dias após a aplicação de doses de Si, em função da saturação por bases e acidez residual do fertilizante.....	62
28	Magnésio trocável no solo, em amostras coletadas aos 120 dias após a aplicação de doses de Si, em função da saturação por bases e acidez residual do fertilizante.....	63
29	Cálcio trocável no solo em amostras coletadas 30 dias após a aplicação de doses de Si, em função da saturação por bases e acidez residual do fertilizante.....	64
30	Cálcio trocável no solo, em amostras coletadas aos 120 dias após a aplicação de doses de Si, em função da saturação por bases e acidez residual do fertilizante.....	65
31	Silício em CaCl_2 $0,01\text{ mol L}^{-1}$ no solo, em amostras coletadas 30 dias após a aplicação de doses de Si, em função da saturação por bases e acidez residual do fertilizante.....	66
32	Silício - CaCl_2 $0,01\text{ mol L}^{-1}$ no solo, em amostras coletadas aos 120 dias após a aplicação de doses de Si, em função da saturação por bases e acidez residual do fertilizante.....	67
33	Silício em ácido acético $0,5\text{ mol L}^{-1}$ no solo, em amostras coletadas aos 120 dias do plantio da soja em função de doses de Si, saturação por bases e acidez residual do fertilizante.....	69
34	Fósforo Mehlich-1 disponível no solo, em amostras coletadas 30 dias	70

	após o plantio da soja em função de doses de Si, saturação por bases e acidez residual do fertilizante.....	
35	Fósforo Mehlich-1 disponível no solo, em amostras coletadas aos 120 dias do plantio da soja em função de doses de Si, saturação por bases e acidez residual do fertilizante.....	71
36	Potássio no solo, em amostras coletadas 30 dias após o plantio da soja em função de doses de Si, saturação por bases e acidez residual do fertilizante.....	72
37	Potássio no solo, em amostras coletadas aos 120 dias do plantio da soja em função de doses de Si, saturação por bases e acidez residual do fertilizante.....	73
38	Valores de pH-CaCl ₂ no solo, em amostras coletadas 30 dias após o plantio da soja em função de doses de Si, saturação por bases e acidez residual do fertilizante.....	75
39	Valores pH-CaCl ₂ no solo, em amostras coletadas aos 120 dias do plantio da soja em função de doses de Si, saturação por bases e acidez residual do fertilizante.....	76
40	Boro no solo em amostras coletadas 120 dias após a aplicação no solo de doses de Si, em função da saturação por bases e acidez residual do fertilizante.....	77
41	Enxofre no solo, em amostras coletadas aos 120 dias após a aplicação no solo de doses de Si, em função da saturação por bases e acidez residual do fertilizante.....	78
42	Cobre no solo, em amostras coletadas aos 120 dias após a aplicação no solo de doses de Si, em função da saturação por bases e acidez residual do fertilizante.....	79
43	Zinco no solo, em amostras coletadas aos 120 dias após a aplicação no solo de doses de Si, em função da saturação por bases e acidez residual do fertilizante.....	80
44	Silício na parte aérea, em amostras coletadas aos 30 dias após o plantio em função de doses de Si, de saturação por bases e da acidez livre do fertilizante.....	82
45	Silício nas folhas, amostradas quando 50% das plantas de soja floresceram, em função de doses de Si, saturação por bases e acidez residual do fertilizante.....	84
46	Fósforo na parte aérea, amostrada após 30 dias de plantio da soja, em função de doses de Si, saturação por bases e acidez residual do fertilizante.....	85
47	Fósforo nas folhas, amostradas quando 50% das plantas de soja floresceram, em função de doses de Si, saturação por bases e acidez	86

	residual do fertilizante.....	
48	Cálcio na parte aérea, em amostra coletada 30 dias após o plantio da soja em função de doses de Si, saturação por bases e acidez residual do fertilizante.....	87
49	Cálcio nas folhas, amostradas quando 50% das plantas de soja floresceram, em função de doses de Si, saturação por bases e acidez residual do fertilizante.....	88
50	Magnésio na parte aérea, em amostras coletada 30 dias após o plantio da soja em função de doses de Si, saturação por bases e acidez residual do fertilizante.....	89
51	Magnésio nas folhas, amostradas quando 50% das plantas de soja floresceram, em função de doses de Si, saturação por bases e acidez residual do fertilizante.....	90
52	Potássio na parte aérea, em amostras coletadas 30 dias após o plantio da soja, em função de doses de Si, saturação por bases e acidez residual do fertilizante.....	91
53	Potássio nas folhas, amostradas quando 50% das plantas de soja floresceram, em função de doses de Si, saturação por bases e acidez residual do fertilizante.....	92
54	Ferro na parte aérea, em amostra coletada 30 dias após o plantio da soja em função de doses de Si, saturação por bases e acidez residual do fertilizante.....	93
55	Ferro nas folhas, amostradas quando 50% das plantas de soja floresceram, em função de doses de Si, saturação por bases e acidez residual do fertilizante.....	94
56	Manganês na parte aérea, em amostra coletada 30 dias após o plantio da soja em função de doses de Si, saturação por bases e acidez residual do fertilizante.....	95
57	Manganês nas folhas, amostradas quando 50% das plantas de soja floresceram, em função de doses de Si, saturação por bases e acidez residual do fertilizante.....	96
58	Zinco na parte aérea, em amostra coletada 30 dias após o plantio da soja em função de doses de Si, saturação por bases e acidez residual do fertilizante.....	97
59	Zinco nas folhas, amostradas quando 50% das plantas de soja floresceram, em função de doses de Si, saturação por bases e acidez residual do fertilizante.....	98
60	Cobre na parte aérea, amostrada após 30 dias de plantio da soja, em função de doses de Si, saturação por bases e acidez residual do fertilizante.....	99

61	Cobre nas folhas, quando 50% das plantas de soja floresceram, em função de doses de Si, saturação por bases e acidez residual do fertilizante.....	100
62	Boro na parte aérea, amostrada após 30 dias do plantio da soja, em função de doses de Si, saturação por bases e acidez residual do fertilizante.....	101
63	Enxofre na parte aérea, amostrada após 30 dias do plantio da soja, em função de doses de Si, saturação por bases e acidez residual do fertilizante.....	102
64	Enxofre nas folhas, amostradas quando 50% das plantas de soja floresceram, em função de doses de Si, saturação por bases e acidez residual do fertilizante.....	103
65	Nitrogênio na parte aérea, amostrada após 30 do plantio da soja, em função de doses de Si, saturação por bases e acidez residual do fertilizante.....	104
66	Número total de nódulos por vaso, amostrados (120 dias) ao final do ciclo da soja, em função de doses de Si, saturação por bases e acidez residual do fertilizante.....	105
67	Peso seco de plantas de soja, aos 15 dias de plantio da soja, em função de doses de Si, saturação por bases e acidez residual do fertilizante.....	106
68	Número total de vagens por vaso, ao final do ciclo da soja em função de doses de Si, saturação por bases e acidez residual do fertilizante.....	107
69	Efeito de doses de Si, da saturação por bases e acidez residual do fertilizante sobre a produção de grãos de soja.....	107

LISTA DE FIGURAS

	Página
1 Cálcio trocável no solo RQo e LVdt, respectivamente aos 60 e 120 dias após a incubação, em função das doses de Si aplicadas no solo.....	26
2 Magnésio trocável no solo RQo e LVdt respectivamente aos 60 e 120 dias de incubação, respectivamente, em função das doses de Si aplicadas no solo.....	27
3 Valores de pH em CaCl ₂ , em função de doses de silicato de cálcio e magnésio no dos solos RQo e LVdt, respectivamente após 60 e 120 dias de incubação.....	29
4 Valores de pH em CaCl ₂ , no solo RQo, respectivamente após 60 e 120 dias de incubação, em função de doses de Si aplicadas no solo.	29
5 Valores de pH CaCl ₂ no solo LVdt, após 120 dias de incubação, em função de doses de Si aplicadas no solo.....	30
6 Silício em CaCl ₂ no solo RQo e LVdt, respectivamente aos 60 e 120 dias após a incubação, em função de doses de Si aplicadas no solo.....	31
7 Silício em ácido acético nos solos RQo e LVdt, respectivamente aos 60 e 120 dias após a incubação, em função de doses de Si aplicadas no solo.....	33
8 Fósforo Mehlich -1 no solo RQo, após 120 dias de incubação, em função das doses de Si aplicadas no solo.....	35
9 Fosforo foliar aos 60 dias de cultivo em função das doses de Si aplicada no sulco de plantio.	50
10 Fotos do experimento, detalhando o modelo de vaso utilizado.....	57
11 Silício em CaCl ₂ no solo, 30 dias após a aplicação das doses de Si no solo.....	66
12 Silício no solo em CaCl ₂ , após a colheita da soja em função das doses de Si aplicadas no solo	68
13 pH em CaCl ₂ no solo, após 30 do plantio da soja, em função das doses de Si aplicadas no solo	75
14 Silício na folha, 30 dias após o plantio da soja em função das doses de Si aplicada.....	82

RESUMO

QUEIROZ, ANGÉLICA ARAÚJO. **Interação do silicato de cálcio e magnésio granulado em mistura com adubos fosfatados solúveis.** 2006. 119f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Solos)-Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia¹

A mistura de silicato granulado aos fertilizantes NPK pode afetar a eficiência agrônômica dos nutrientes. Reações entre os componentes de uma mistura de adubos podem afetar a solubilidade do silício e do fósforo. Três estudos foram montados para avaliar a interação entre Si e P, em dois solos e nas culturas de milho e soja. O primeiro consistiu na incubação de silicato por 120 dias, utilizando-se um Latossolo Vermelho Distrófico típico (LVdt) e um Neossolo Quartzarênico Órtico (RQo). Aplicou-se em potes plásticos 0, 50, 100 e 200 mg kg⁻¹ de Si e 100 mg kg⁻¹ de P das fontes mono-amônio fosfato (MAP), superfosfato triplo (TSP) e superfosfato simples (SSP). Foram determinados, aos 60 e 120 dias de incubação, o pH, silício, cálcio, magnésio e fósforo disponível no solo. No segundo ensaio, utilizou-se o solo LVdt. Consistiu da aplicação em linha, de diferentes formulados (N-P₂O₅-K₂O) na dose equivalente a 800 kg ha⁻¹. Os formulados foram produzidos a partir de fontes de fósforo com diferentes graus de acidez livre (3,62% e 1,85%). As formulações foram acrescidas de dose de Si granulado (0, 80, 160 e 320 kg ha⁻¹). O milho foi colhido aos 60 dias após a emergência (DAE), determinando-se matéria fresca e seca e o teor foliar de Si e P. Amostrou-se o solo, determinando-se Si, pH, Ca, Mg e P. No terceiro estudo, inicialmente, incubou-se o solo LVdt por 30 dias para elevar a Saturação por Bases (40 e 60%). Posteriormente, simulando adubação em linha para a soja, foi feita a aplicação de 240 kg ha⁻¹ de P₂O₅ da fonte de P (SSP), com acidez livre (5,94% e 3,12%), 0, 150, 300 e 600 kg ha⁻¹ do produto comercial Siligran AWM. Coletaram-se folhas, aos 30 e 90 DAE, para a determinação do P, Ca, Mg, Si, N, K, S e micronutrientes. Após a colheita, procedeu-se a contagem do número de nódulos e de vagens por planta. O solo, após a colheita, foi analisado quanto a P, Ca, Mg, Si, pH e micronutrientes. Os resultados mostram que as doses de Si não foram capazes de afetar a disponibilidade de P nos solos LVdt e RQo, porém foi efetivo em aumentar o Si, Ca, Mg e pH. Quando se analisou a mistura de adubos silicatados e formulações NPK no milho observou-se que a disponibilidade de P e de Si no solo não foi afetada, bem como a produção de matéria seca e o pH do solo. Na cultura da soja, o silicato aplicado não foi capaz de influenciar no peso de grãos, número de nódulos e disponibilidade de P no solo, porém, este influenciou no Si e pH do solo.

¹ Comitê Orientador: Gaspar Henrique Korndorfer –UFU (Orientador) e Antonio Nolla-UFU (co-orientador).

ABSTRACT

QUEIROZ, ANGÉLICA ARAÚJO. **Interaction of silicate of calcium and magnesium grained mixture with soluble phosphate fertilizer.** 2006. 119f. Dissertation (Master Program Agronomy/Soil Science)-Federal University of Uberlândia. Uberlândia¹

The mixture of grained silicate with NPK fertilizer, still not evaluated agronomic. Reactions between the components can occur, affecting principally the silicon and phosphorus solubility. Thus, three experiments were set up to evaluate the interaction between Si e P in two soils, with maize and soybean crops. The first study consisted in incubation of silicate for 120 days using a Red Latosol and a Sandy soil. The soil was mixed with 0, 50, 100 and 200 mg kg⁻¹ of Si and 100 mg kg⁻¹ of P sources: monoammonium phosphate (MAP), triple super phosphate (TSP) and ordinary super phosphate (SSP) was added to plastic containers. After 60 and 120 days of incubation the soil was analyzed to determinate: pH (CaCl₂), silicon, calcium, magnesium e phosphorus. The second study was conducted with Red Latosol soil. The treatments consisted of line, side and under the seeds applications, of different (N-P₂O₅-K₂O) formulations at rate 800 kg ha⁻¹. Those formulations were made from different phosphorus sources with different content of free acid (high free acid = 3,62% and low free acid = 1,85%). The NPK formulations were added with different rates of Si (0, 80, 160 e 320 kg ha⁻¹ Si granulated). The cultivar of maize was seeded (P 30k75) and harvested after 60 days of seedling, dry and fresh matter was determined, and foliar contents of P and Si were evaluated. A soil sample was analyzed to determine Si, pH, Ca, Mg e P. In the third study, the soil, red latosol, was initially incubated for 30 days, to elevate the bases saturation to 40 and 60%. Later, simulating fertilization in line, 240 kg ha⁻¹ of P₂O₅ (SSP) was applied with high free acid and low free acid (5,94% e 3,12%, respectively), 0, 150, 300 and 600 kg ha⁻¹ of commercial product Siligran AWM. Leaves were collected with 30 and 90 days after emergence to be analyzed for P, Ca, Mg, Si, N, K, S and micronutrients. After the harvest the number of nodules and pod per plant were counted and samples of soil were collected to determine P, Ca, Mg, Si, pH and micronutrients. The results showed that, the application of Si mixed to phosphates can not affect the P solubility in the clay and sandy soil, but silicon source can increase Si, Ca, Mg and the pH. Analyzing the mixture of silicate and formulation NPK in maize observed that availability of Si and P were not influence by the silicate and, as well dry matter and soil pH. The soybean crop was not influence by the silicate but the Si and pH in the soil were.

¹ Guidance committee: Gaspar Henrique Korndorfer-UFU (Major Professor) and Antonio Nolla-UFU.

CAPÍTULO 1

1 INTRODUÇÃO GERAL

Os solos tropicais são, de forma geral, altamente intemperizados, fato este decorrente da dessilicatização, o que gera a gênese de solos ricos em óxidos de ferro e alumínio e com baixas quantidades de silício (Si). Desta forma, a quantidade de silício solúvel presente nos solos das regiões tropicais, como os Latossolos, é geralmente menor do que na maioria dos solos temperados (FOY,1992).

Desde janeiro de 2004, com o decreto Nº 4.954 e aprovação do Ministério da Agricultura, o silício passou a ser considerado um micronutriente benéfico. Portanto, para a utilização do silício em misturas sólidas ou fluídas, com macronutrientes primários ou secundários, para aplicação no solo diretamente ou via fertirrigação, as garantias mínimas não poderão ser inferiores a 1%, em produtos sólidos, e 0,5%, em produtos fluídos solúveis em água (BRASIL, 2004).

Existem diversas fontes de silício comercializadas no Brasil, como as escórias de siderurgia, e fontes naturais, que são constituídas quimicamente de silicatos de cálcio e/ou magnésio. A maioria das pesquisas desenvolvidas atualmente no Brasil com silicatos analisou apenas seu efeito corretivo e como fonte de nutrientes. No entanto, são escassos os trabalhos que avaliaram o efeito desses materiais quando em misturas com adubos NPK.

A mistura de silicato de Ca com fosfatos de Ca solúveis, como os superfosfatos $[\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2]$, se por um lado pode reduzir a acidez livre dos fosfatos acidulados, 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, além de melhorar as características físicas do fertilizante, diminuir o risco de danos para a simbiose,

quando o adubo fosfatado de elevada acidez livre é colocado junto à semente de leguminosas, aonde as raízes irão se desenvolver.

Desta forma, este trabalho teve por objetivo avaliar a interação entre o silicato de cálcio e magnésio e fosfatos solúveis, etambem o efeito destes sobre a disponibilidade do P para a soja e o milho.

1.2 REVISÃO DE LITERATURA

1.2.1 Silício no solo

Os minerais silicatados são os mais abundantes e importantes na composição mineralógica dos solos. A proporção de Si na litosfera é cerca de 60%, expresso como SiO_2 (JACKSON, 1979). O silício é o principal componente de minerais do grupo dos silicatos, compreendendo 28% da crosta terrestre. Este se apresenta de forma livre ou combinada como parte dominante da fração sólida e dissolvida na solução do solo (MA et al., 2001). O Si faz parte da composição de minerais primários, como feldspatos, augita, quartzo e mica; e em minerais secundários, como a caulinita, montmorilonita, illita e clorita (RAIJ, 1991).

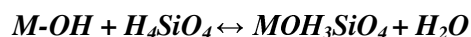
Os solos de regiões tropicais são altamente intemperizados e as quantidades de sesquióxidos de ferro e alumínio excedem os teores de silício, podendo apresentar cerca de cinco vezes mais óxido de silício do que os solos de regiões temperadas (FOY, 1992).

A concentração de Si 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) minerais

silicatados (cristalinos e amorfos), d) silício polimerizado, e) silício orgânico e f) silício na forma de fitólitos.

Vidal (2005), estudando 13 solos da região do Triângulo Mineiro (Brasil), observou que a disponibilidade de silício em ácido acético (0,5 mol L⁻¹) foi maior com o aumento do pH, na maioria dos solos estudados, à exceção do Alissolo (ACt). Dessa forma, pode-se esperar um aumento na disponibilidade do silício com a prática da calagem. Um questionamento a ser levantado seria que, ao fazer a calagem no solo, o Si estaria mais “disponível”, podendo ser absorvido pelas plantas, resultando em maior resistência dos vegetais ao ataque de pragas e doenças. Uma outra discussão seria que, considerando o aumento na concentração de Si no solo e a facilidade com que este elemento é lixiviado, seria possível afirmar que a calagem contribuiria para acelerar o processo de intemperização e de perda do Si para as camadas mais profundas do perfil do solo.

Hingston et al. (1972) afirmam que ocorre a máxima adsorção de silicato em gibbsita e goetita, quando em pH próximo do pKa do ácido silícico (9,6). A reação abaixo permite visualizar qualitativamente o efeito do pH nessa reação:

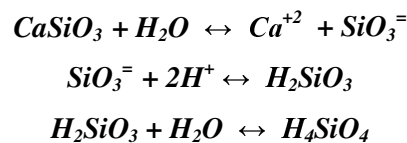


Nessa equação, M representa o sítio de adsorção, que pode ser um íon ferro ou alumínio da superfície dos sesquióxidos. A elevação do pH provoca aumento no número de M-OH e, em consequência, o equilíbrio da reação se desloca para a direita, aumentando com isso a adsorção até pH em CaCl₂ próximo de 9.

Segundo Sanchez e Salinas (1983), a acidez do solo é o fator que mais interfere na produtividade, especialmente nas regiões tropicais. Solos com pH abaixo de 5,5, apresentam uma menor disponibilidade de cálcio, magnésio e

fósforo, o que prejudica o desenvolvimento das plantas afetando de forma negativa a produtividade.

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 desorção 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).

1.2.2 Fósforo no solo

Os solos da região tropical são geralmente pobres em fósforo disponível. Sanchez e Salinas (1981) calcularam que cerca de 82% dos solos agricultáveis da região tropical são deficientes em fósforo. 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).

A aplicação de P, em doses elevadas e em solos intemperizados, é justificada pela intensa adsorção desse elemento, ocasionando baixo conteúdo de P disponível, principalmente em solos onde há predomínio de minerais sesquióxidos (BÜLL et al., 1998; NOVAIS; SMYTH, 1999). A baixa disponibilidade de fósforo é, geralmente, a maior limitação ao crescimento das plantas. Para a cultura da soja, o fósforo e o cálcio encontram-se entre os nutrientes que apresentam as maiores limitações nutricionais ao crescimento (LIMA, 1995).

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, faz com que o fosforo ocorra 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, sendo agrupados em P-solúvel, P-Al, P-Fe e P-Ca, ressaltando que fosfatos oclusos de ferro e alumínio são formas orgânicas de P.

O mecanismo de adsorção-dessorção é um fenômeno de superfície, portanto o tamanho médio dos constituintes mineralógicos se destaca como

sendo o fator mais importante. Devido a isso, uma maior adsorção de fósforo acontece em solos ricos em goethita, em relação à hematita (SOUZA et al., 1991).

Assim, 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.

A aplicação localizada do adubo fosfatado restringe o acesso das raízes das plantas, ou seja, apenas parte do sistema radicular entrará em contato com o fertilizante, absorvendo-o efetivamente (NOVAIS; SMYTH, 1999). Portanto, embora a aplicação de fósforo em volumes restritos de solo reduza sua adsorção e precipitação (ANGHINONI, 1992; MODEL; ANGHINONI, 1992; PRADO et al., 2001), a aplicação localizada do P não acarretará, necessariamente, num suprimento satisfatório desse nutriente às mesmas.

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 aproveitado 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).

Diversos estudos têm sido realizados visando identificar o modo de aplicação de fertilizantes fosfatados para melhor aproveitamento pelas culturas. Pottker (1995), comparando a aplicação de fósforo no sulco e a lanço, e em solo com alto teor de fósforo ($13,6 \text{ mg dm}^{-3}$) e 420 g kg^{-1} de argila, e outro com teor médio de fósforo ($4,3 \text{ mg dm}^{-3}$) e 360 g kg^{-1} de argila, conclui que aplicação de P nas linhas de semeadura foi mais eficiente que a aplicação a lanço.

A eficiência agronômica dos adubos fosfatados pode ser afetada pelas fontes de fosfato, propriedades do solo, modos de aplicação e espécies vegetais (CHIEN; MENON, 1995). O fósforo é de grande importância na cultura da soja, sendo responsável pela maioria das respostas significativas no rendimento. Trabalhos de vários pesquisadores têm mostrado resultados positivos à sua aplicação na cultura da soja, nas mais diferentes formas (SMYTH; SANCHEZ, 1982).

1.2.3 Interação Silício-Fósforo no 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 (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 et al. (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 nos solos e a inibição da toxidez do Fe, Al, e Mn, em alguns solos, e a melhor utilização do P.

Ma et al. (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 (OWINOGERROH; GASCHO, 2004).

Carvalho et al. (2001), estudando a interação Si-P em solos cultivados com eucaliptos, concluíram que a ação do silício na dessorção de fósforo é mais evidente no solo menos intemperizado, com maior teor de caulinita (Cambissolo), do que no solo mais intemperizado, com maior teor de gibbsita (Latosolo), e que o conteúdo de fósforo na matéria seca é um parâmetro eficiente de avaliação indireta da dessorção de P por Si.

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, se comparado com o fósforo, isto é, as reações de adsorção são mais intensas e importantes para o P, se comparado com o Si.

Oliveira (1984) mostrou que o deslocamento do fosfato pelo silicato é muito pequeno. Porém, segundo Plucknett (1972), a aplicação de silicato aumenta a solubilidade do fósforo no solo e diminui a fixação desse elemento contido nos adubos fosfatados, pois estes efeitos tanto poderiam ser devidos a uma competição de silicato pelos sítios de adsorção, como ao aumento do pH, ou ainda devido a ambos os fatores.

Devido à importância da adubação fosfatada para a cultura da soja, vários pesquisadores têm estudado a interação silício-fósforo, visando esclarecer se a aplicação de silício na forma de silicatos poderiam melhorar a eficiência dos fertilizantes fosfatados. Segundo Fassbender (1987), uma das formas de se aumentar essa eficiência seria a utilização de ânions (silicatos) competidores com os fosfatos pelo mesmo sítio de adsorção.

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.

1.2.4 Fósforo nas plantas

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 (RAIJ, 1991).

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 um importante macronutriente para as plantas, sendo, depois do nitrogênio (N), o segundo elemento mais limitante no desenvolvimento destas. O acúmulo de fósforo pelas plantas raramente ultrapassa valores de 0,5%, e tal fato só ocorre no caso em que as sementes são a parte importante na colheita (RAIJ, 1991).

O fósforo é um componente de moléculas chaves como ácidos nucléicos fosfolipídios e ATP e, conseqüentemente, as plantas não podem se desenvolver sem o suprimento deste nutriente. P 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 Pi é absorvido na forma monovalente.

Recentes estudos de Mimura et al. (1996) e Jeschke et al. (1997) têm mostrado a movimentação do Pi em toda planta. Em plantas com P suficiente, a maior parte do Pi absorvido pelas raízes é transportada no xilema para as folhas

mais novas. Concentrações de Pi 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 Pi (MIMURA et al., 1996).

1.2.5 Efeito do silício e da calagem na nodulação de leguminosas

Grande parte dos estudos com leguminosas em casa-de-vegetação tem sido conduzido com o uso de solução nutritiva para o crescimento de plantas em substrato, líquido ou em areia (SMITH et al., 1983). Porém, essas soluções usualmente não possuem silício, onde a omissão do mesmo como nutriente pode afetar a qualidade dos dados coletados e as conclusões, pois diversos trabalhos recentes sugerem que o silício estimula o desenvolvimento das plantas (EPSTEIN, 1994).

Em leguminosas, a nodulação e a fixação de nitrogênio N_2 é dependente de suprimentos adequados de macro e micronutrientes. Esses nutrientes não são apenas essenciais para a interação simbiótica, mas também para a planta hospedeira e o micróbio associado (MUNNS, 1977; SMITH, 1982). Apesar do silício ser um elemento que ocorre abundantemente na solução do solo e na matéria seca de diversas plantas (EPSTEIN, 1994), o seu papel no processo simbiótico não tem sido discutido. Em espécie não leguminosa, como o arroz, cevada e beterraba, o silício tem mostrado ser essencial tanto para o desenvolvimento das plantas, como para o aumento de produção; (OKUDA; TAKAHASHI, 1965; DEREN et al., 1994; WINSLOW et al., 1997). Em leguminosas, como o feijão e a soja, o silício é reportado por aumentar a biomassa total, o comprimento e a massa de raiz, quando fornecido juntamente às raízes (HORST; MARSCHNER, 1978; MIYAKE; TAKAHASHI, 1985). Em leguminosas que possuem o potencial para formação de nódulos, esse aumento no comprimento e na massa de raiz com a adição de silício poderia significar um

aumento no número de sítios com potencial infecção por invasão rizobial, o qual poderia preceder um aumento na nodulação e na fixação de N₂.

Nelwamondo e Dakora (1999), estudando o silício como um promotor da formação e função de nódulos em associação simbiótica de feijão caupi (*Vigna unguiculata*), demonstraram que, apesar de não ser essencial para o crescimento deste vegetal, o silício é importante no processo simbiótico da espécie. Porém, como e quando o silício influencia na nodulação e na fixação de N₂ ainda não está claramente determinado.

As variações na fixação do N₂ resultam principalmente de práticas de manejo em vários climas e condições de fertilidade do solo (VANCE; HEICHEL, 1991). O efeito positivo da calagem sobre o número de nódulos e também sobre a atividade da nitrogenase já foi observado em alfafa por Hartel e Bouton (1989), Pijnenborg e Lie (1990) e Reid (1996). A calagem provoca um aumento no número de nódulos, na fixação de N₂ e no acúmulo de matéria seca (SILVA, 1981). Tais efeitos são atribuídos ao aumento na disponibilidade de nutrientes como P, Ca, Mg, Mo e diminuição do Al e Mn trocáveis no solo.

Gomes et al. (2002), estudando a nodulação e fixação de nitrogênio em alfafa com diferentes doses de calcário, verificaram que os grandes aumentos dos números de nódulos, em função das doses de calcário, se relacionaram com os aumentos nos conteúdos de nitrogênio na matéria seca da parte aérea. Uma eficiente fixação do N₂ atmosférico pressupõe maior produção de matéria seca da parte aérea, disponibilizando melhor suprimento de carboidratos aos nódulos. Verificaram também a ausência de nódulos nos tratamentos em que o cálcio não foi aplicado, demonstrando a importância deste nutriente no processo de nodulação, pois o mesmo apresenta papel relevante na atividade de enzimas que promovem a ligação do rizóbio aos pêlos radiculares.

1.2.6 Silício nas plantas

Os efeitos benéficos do Si para as plantas sob estresse abiótico ou biótico têm tido uma ocorrência amplamente reportada em diversas variedades de culturas como, o arroz, a aveia, o trigo, o pepino e a cana-de-açúcar, em sua maioria plantas pertencentes à família das gramíneas, que são consideradas as plantas com maior capacidade de acumular silício.

O silício é um elemento benéfico para o crescimento de várias espécies de plantas, contribuindo em geral para amenizar os fatores causadores de estresse bióticos e abióticos (MA, 2004). Tem, por exemplo, um importante papel em aumentar a resistência das plantas a patógenos como *Magnaporthe grisea*, na cultura do arroz (*Oryza sativa*) (DATNOFF et al., 1997).

Praticamente todas as plantas contêm Si em seus tecidos, porém o teor varia entre as espécies. Essa acumulação é relativa, pois a composição química de uma planta é característica de cada espécie. As plantas podem ser classificadas como acumuladoras de Si, intermediárias e espécies exclusoras ou não acumuladoras de Si (TAKAHASHI et al., 1990). A diferença na acumulação de silício tem sido descrita como a habilidade das raízes em absorver Si.

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.

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). A absorção de silício pelas plantas

se dá na forma de H_4SiO_4 (ácido monossilícico) e depende da concentração na solução do solo. Na planta, o Si é transportado no xilema, e sua distribuição na planta está relacionada com a transpiração. É depositado em sua maioria na forma de silício polimerizado, o qual é de difícil solubilização e se acumula nas paredes das células e nos espaços intercelulares das raízes e folhas (YOSHIDA, 1965; YOSHIDA et al., 1962). O Si também pode ser encontrado na forma de ácido monossilícico, ácido silícico coloidal e compostos de organossilicone no tecido de plantas (YOSHIDA et al., 1962).

Epstein (2001) cita efeitos benéficos, relatados em culturas adubadas com Si, como resistência à 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.

Observações sobre o efeito do Si no controle de doenças em plantas tiveram início na década de 40 (BELANGER; MENZIES, 2002). Inicialmente, estudaram-se as gramíneas, por serem plantas acumuladoras, e segundo diversos autores, o silício forma uma barreira física, de maneira a impedir a penetração de patógenos.

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).

Atualmente, três hipóteses para o controle de doenças são aceitos pelos pesquisadores: a) Hipótese da barreira física ou mecânica: fundamenta-se na acumulação de Si na epiderme e parede celular. Em seu movimento ascendente via apoplasto desde as raízes até as folhas, o silício sofre polimerização nos espaços extracelulares das paredes das células epidérmicas das folhas e dos vasos do xilema (FAWE et al., 2001). O Si depositado nos tecidos da epiderme

inibe o crescimento das hifas dos fungos, inibindo assim a penetração do tubo germinativo do fungo (DATNOFF et al., 1997; BELANGER et al., 1995); b) Hipótese da barreira química: o silício pode agir como um elemento capaz de induzir mecanismos de defesa da planta, incluindo síntese de fenólicos, lignina, suberina e calose na parede celular. Evidências sugerem que o silício poderia ter um papel ativo, reforçando a resistência das plantas à doenças, por estimular a expressão de reações de defesa natural da planta, a alguns dos metabólicos identificados, como flavonóides e ácidos fenólicos, eram especificamente e fortemente induzidos em um padrão típico de fototoxinas (FAWE et al., 1998); c) Existe ainda a possibilidade das duas hipóteses se complementarem, ou seja, em algumas plantas, tanto a resistência mecânica, como a indução de resistência (produção de fenóis) poderiam atuar conjuntamente na proteção das plantas contra o ataque de pragas e doenças. Outros mecanismos, além destes citados, também poderiam estar envolvidos.

CAPITULO 2

RESUMO

Retrogradação do fósforo solúvel em mistura com silicato em dois solos do cerrado

Na produção de adubos NPK, a mistura de matérias primas ricas em cálcio, como o calcário e o silicato, podem resultar em perda de solubilidade do fósforo proveniente de fosfatos solúveis. Assim, o objetivo do trabalho foi determinar o efeito do silicato de cálcio sobre a retrogradação ou solubilidade do P_2O_5 de fontes aciduladas, em dois solos representativos da área sob vegetação do cerrado, o Neossolo Quartzarênico Órtico típico (RQo) e o Latossolo Vermelho Distrófico típico (LVdt). O estudo consistiu na incubação de dois solos com silicato de cálcio. Os tratamentos foram incubados em potes plásticos, contendo 250 g de solo, e constituíram de 0, 50, 100 e 200 mg kg^{-1} de Si (Siligran) e 100 mg kg^{-1} de P, das fontes mono-amônio fosfato (MAP), superfosfato triplo (TSP) e superfosfato simples (SSP). A umidade do solo foi mantida próxima à capacidade de campo por 120 dias. Determinou-se, aos 60 e 120 dias de incubação, o pH em $CaCl_2$, Ca e Mg trocáveis, Si e P disponíveis no solo. O silicato de cálcio e magnésio, em mistura com os adubos fosfatados acidulados, não acarretou a retrogradação, ou seja, não diminuiu a solubilidade do P no solo, pois os teores de P observados não sofreram variações quando foram misturados a fonte de Si, porém as doses de Si foram capazes de aumentar a disponibilidade de Si, Ca, Mg e elevar o pH do solo. O Si disponível não foi afetado pelas fontes de fósforo aciduladas.

Palavras-chave: silício, fosfatos, adsorção e solubilidade.

SUMARY

Retrogradation of phosphorus soluble in mixture with silicate in two soils from Brazilian savannahs

The production of N-P-K fertilizer mixture with raw material rich in calcium like silicate and limestone can result in lower solubility of phosphorus from soluble forms. The objective of this study was to determine silicon interaction with phosphorus. This study evaluated the effect of calcium silicate on the retrogradation /solubility of P_2O_5 from acidulated phosphate sources. The experiment was conducted in Uberlândia (UFU) using two soils, clay and sandy soil. The treatments consisted of one source of calcium silicate with 12% of total Si at rates: 0, 50, 100 and 200 $mg\ kg^{-1}$ and three sources of phosphorus, monoammonium phosphate (MAP), triple super phosphate (TSP) and ordinary super phosphate (SSP) at 100 $mg\ kg^{-1}$ of P. The treatments were mixed with 250 g of soil, added to plastic pots and incubated with soil humidity close to field capacity for 120 days. The soil was sampled at 60 and 120 days and analyzed for Si, pH, P, Ca and Mg. It was showed that phosphorus was not affected by the increased silicon rates; also, silicon rates did not affect P availability, but was capable of increasing calcium, magnesium, and silicon in soil and the pH value. The soil availability of silicon was not affected by the phosphorus acidulate sources.

Key words: silicon, phosphorus, adsorption, and solubility.

2.1 INTRODUÇÃO

As principais fontes de P empregadas no país são solúveis em água, e a indústria de fertilizantes faz um grande esforço no sentido de transformar o fósforo de baixa solubilidade (apatita) em fósforo solúvel, através dos processos de transformação da apatita, existente nos minérios fosfáticos, com ácido sulfúrico - H_2SO_4 (superfosfato simples), ácido fosfórico - H_3PO_4 (superfosfato triplo) ou pela neutralização do ácido fosfórico com amônio (mono-amônio fosfato). O fósforo, que normalmente se apresenta na forma de fosfato tricálcico, é transformado em fosfato bi-cálcico e principalmente monocálcico. Este esforço de transformação se dá à custa de processos químicos complexos e com grande gasto de energia e dinheiro.

A mistura de matérias primas ricas em Ca e Mg com fontes de fósforo solúveis (fosfato monocálcico) podem resultar na insolubilização do fósforo, pois a aplicação de fosfatos totalmente acidulados, em conjunto com outras fontes de nutrientes, poderá influir na eficiência agrônômica das fontes de P. A dissolução das misturas no solo poderá dar origem a compostos que irão facilitar ou minimizar a absorção de P pelas plantas. Esta reação é normalmente denominada de retrogradação, ou seja, fósforo solúvel se torna menos solúvel. Este processo é indesejável já que pode diminuir a disponibilidade do P para as plantas.

Por outro lado, a mistura de matérias primas de caráter alcalino, como os silicatos e calcários, pode trazer vantagens, tais como: reduzir a acidez livre dos adubos fosfatados acidulados e também melhorar o ambiente radicular das plantas com relação à acidez. Portanto, quanto mais silicato e calcário na mistura de matéria prima para a produção de NPK, mais alto o pH da região afetada. Uma rizosfera mais alcalina pode ser extremamente positiva para algumas

espécies de plantas, como a soja, por exemplo, que depende da simbiose da bactéria (*Rhizobium*) com a planta. Além disso, o pH mais elevado da zona de influência dos fertilizantes pode resultar em uma maior absorção de P pelas plantas devido a menor fixação.

Dessa forma, sugere-se que o uso de silicatos na mistura com adubos NPK possa aumentar a eficiência do P aplicado. Assim, o objetivo do trabalho foi determinar o efeito do silicato de cálcio e magnésio sobre a retrogradação/ ou solubilidade do P_2O_5 de fontes aciduladas em dois solos do cerrado.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

Um estudo de incubação de solo foi conduzido, em ambiente protegido de luz e calor, no Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Uberlândia (ICIAG/UFU), por um período de 120 dias.

Utilizaram-se como base experimental, dois solos representativos da área sob vegetação do cerrado, um Latossolo Vermelho Distrófico típico (LVdt) e um Neossolo Quartzarênico Órtico (RQo), cujas características químicas e físicas estão apresentadas nas TABELAS 1 e 2, respectivamente.

TABELA 1 - Caracterização química do Latossolo Vermelho Distrófico típico (LVdt) e Neossolo Quartzarênico Órtico (RQo) 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
RQo	4,6	0,1	0,1	0,7	1,3	19	0,6	4,5	4,77	5	74	1,7

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 (CFSMG, 1999).

TABELA 2 - Caracterização física do Latossolo Vermelho Distrófico típico (LVdt) e Neossolo Quartzarênico Órtico (RQo) utilizado como base experimental

Solos	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila
	-----g kg ⁻¹ -----			
LVdt	90	43	33	834
RQo	626	218	1	155

Análise pelo Método da Pipeta (Embrapa, 1997).

Aos solos, foram adicionados o silicato de cálcio e magnésio (12% de Si total), nas doses de 0, 50, 100 e 200 mg kg⁻¹ de Si, e três fontes de fósforo (P), mono-amônio fosfato (MAP), superfosfato triplo (TSP) e superfosfato simples

(SSP), na dose de 100 mg kg⁻¹ de P. Tanto as fontes de Si, como as fontes de P foram moídas em gral até passarem 100% em peneira de 50 mesh. As características químicas das fontes utilizadas estão apresentadas nas TABELAS 3 e 4.

TABELA 3 - Composição química da fonte de Silício (Si)

Material	Origem	SiO ₂ Total	CaO	MgO	PN
					Determinado
-----%					
Silicato de cálcio e magnésio	Fertion	25,67	27,8	11,3	78,8

TABELA 4 - Composição química das fontes de Fósforo(P)

Adubos	Umidade	P ₂ O ₅ Total	P ₂ O ₅ * CNA+H ₂ O	P ₂ O ₅ Água	Ac. Livre
SSP	10,7	16,7	16,2	14,6	10,6
TSP	4,55	46,5	44,5	38,7	5,3
MAP	2,5	53,6	51,1	50,0	

*CNA= Citrato neutro de amônio.

Análise realizada de acordo com o Ministério da Agricultura (1983).

Após a moagem, os fertilizantes foram misturados e homogeneizados em sacos plásticos, antes da mistura com o solo. A TABELA 5 apresenta as quantidades utilizadas das respectivas fontes de P e de Si

TABELA 5 - Tratamentos e quantidades utilizadas de fontes de P e Si

TRATAMENTOS	Dose da fonte de P	Dose da fonte de Si
	g/250g solo	
SSP pó (100 mg kg ⁻¹ P) + 0 mg kg ⁻¹ Si	0,343	0,000
SSP pó (100 mg kg ⁻¹ P) + 50 mg kg ⁻¹ Si	0,343	0,104
SSP pó (100 mg kg ⁻¹ P) + 100 mg kg ⁻¹ Si	0,343	0,208
SSP pó (100 mg kg ⁻¹ P) + 200 mg kg ⁻¹ Si	0,343	0,416
STP pó (100 mg kg ⁻¹ P) + 0 mg kg ⁻¹ Si	0,123	0,000
STP pó (100 mg kg ⁻¹ P) + 50 mg kg ⁻¹ Si	0,123	0,104
STP pó (100 mg kg ⁻¹ P) + 100 mg kg ⁻¹ Si	0,123	0,208
STP pó (100 mg kg ⁻¹ P) + 200 mg kg ⁻¹ Si	0,123	0,416
MAP pó (100 mg kg ⁻¹ P) + 0 mg kg ⁻¹ Si	0,107	0,000
MAP pó (100 mg kg ⁻¹ P) + 50 mg kg ⁻¹ Si	0,107	0,104
MAP pó (100 mg kg ⁻¹ P) + 100 mg kg ⁻¹ Si	0,107	0,208
MAP pó (100 mg kg ⁻¹ P) + 200 mg kg ⁻¹ Si	0,107	0,416

Os tratamentos foram incubados em potes plásticos, com capacidade para 250 g de solo, por 120 dias. O solo foi umedecido até próximo à capacidade de campo, sendo os potes fechados com tampas plásticas perfuradas para permitir a saída de CO₂. A cada 15 dias, os potes eram pesados e adicionava-se água destilada, para manutenção da umidade. Aos 60 e 120 dias após a aplicação dos tratamentos, uma amostra de solo foi retirada para realização da análise de solo.

Após a coleta das amostras de solo, estas foram secas e peneiradas determinando-se o Si "extraível" em 0,5 mol L⁻¹ de ácido acético e Si "extraível" em 0,01 mol L⁻¹ de CaCl₂, métodos descritos por Korndörfer et. al. (2004), pH em CaCl₂ (1:2,5), Ca e Mg (KCl 1,0 mol L⁻¹), P e K Mehlich-1, métodos descritos por CFSMG (1999).

O experimento foi montado em delineamento inteiramente casualizado (DIC), em esquema fatorial 3x4, sendo três fontes de P e quatro doses de Si, com

três repetições, totalizando 36 unidades experimentais. As comparações entre as médias foram feitas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade, e análise de regressão para as doses de Si.

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As fontes de fósforo utilizadas diferiram quanto aos teores de Ca trocável no solo, nas duas épocas avaliação (TABELA 6). A maior disponibilidade de Ca ocorreu quando foi utilizado o superfosfato simples (SSP), pois conforme a legislação brasileira de fertilizantes, o superfosfato simples possui cerca de 25-28% de CaO em sua composição e o superfosfato triplo cerca de 14-16% de CaO e o monoamônio fosfato não possui CaO em sua composição.

Na TABELA 6, também são apresentados os resultados da análise de Ca trocável no solo LVdt, aos 60 e 120 dias de incubação. Nota-se que, diferentemente do observado para o solo RQo, a quantidade de Ca disponível aos 120 dias foi maior do que aquela encontrada aos 60 dias.

A fonte que mais disponibilizou P foi a SSP, nos dois solos estudados. Quanto maior a dose de Si, maior o teor de Ca trocável encontrado, mostrando que a fonte de Si é também uma fonte de Ca e provavelmente reativa.

Ramos (2005) concluiu em seu estudo que a fonte de Si (Siligran) pode ser considerada como uma das melhores para o fornecimento de Ca, concordando com os dados obtidos neste estudo, pois observa-se que o silicato foi capaz de reagir no solos e liberar Ca.

Os teores de Ca trocável aos 120 dias no solo RQo foram menores do que os teores encontrados aos 60 dias, isso pode ser explicado em parte pelo alto coeficiente de variação. Outro fato observado, quando se comparou os dois solos estudados, foi a capacidade tampão destes, ou seja, a resistência que estes apresentaram em disponibilizar o Si provido do silicato de cálcio e magnésio. O solo arenoso possui capacidade tampão menor, ou seja, menor resistência em disponibilizar o Ca do silicato de cálcio. Assim, uma pequena quantidade de silicato é capaz de elevar os teores de Ca a níveis mais altos, e isso pôde ser

confirmado quando se comparou este solo com o LVdt, pois a capacidade tampão do solo LVdt, um solo mais argiloso, é maior, e portanto, grandes quantidades de silicato de cálcio deveriam ser adicionadas para que se tivesse um incremento maior no teor de Ca deste solo.

Faria (2000) obteve valores crescentes de Ca trocável no solo, sendo que os maiores valores foram observados no Neossolo Quartzarênico, que aumentou de 5,2 para 7,8 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$. Já no Latossolo Vermelho-amarelo, houve um incremento de 4,3 para 6,1 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$, com as doses de Si aplicadas. Essa diferença entre os dois solos pode ser explicada devido à capacidade tampão dos solos serem diferentes, ou seja, o RQo possui uma resistência menor quanto ao fornecimento de Ca; sendo assim, a resposta inicial do solo é mais rápida do que no solo LVdt, justificando os resultados encontrados neste estudo.

TABELA 6 - Cálcio trocável no solo RQo e LVdt, em amostras de solo retiradas após 60 e 120 dias de incubação

Fonte P	Solo - RQo		Solo - LVdt	
	60 dias	120 dias	60 dias	120 dias
	----- $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ -----			
SSP	2,53 a	1,17 a	1,57 a	1,69 a
TSP	1,30 b	0,47 b	0,74 b	0,91 b
MAP	0,90 c	0,40 b	0,62 b	0,72 b
DMS	0,33	0,14	0,27	0,36
C.V	20%	21%	28%	32%

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

Observando a FIGURA 1, nota-se que as doses crescentes de silicato proporcionaram uma maior disponibilidade de Ca trocável no solo.

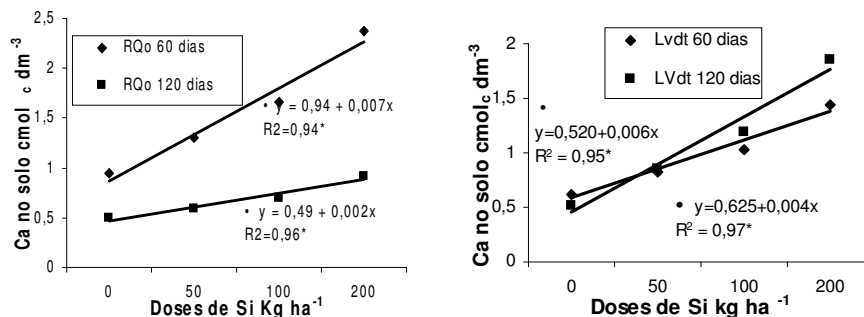


FIGURA 1 - Cálcio trocável no solo RQo e LVdt respectivamente aos 60 e 120 dias após a incubação, em função de doses de Si.

Quanto ao Mg trocável no solo RQo, não ocorreu diferença significativa, para as fontes de P utilizadas aos 60 dias (TABELA 7).

Quanto às doses de Si, as mesmas apresentaram diferenças significativas, indicando que a adição do silicato (Siligran) ao solo, pode gerar uma maior disponibilidade de Mg trocável no solo, concordando com dados obtidos por Ramos (2005) que concluiu que a fonte Siligran fornece Mg e Ca, além de Si ao solo. Pode-se verificar na FIGURA 3, que as doses crescentes de Si proporcionaram teores crescentes de Mg no solo.

No solo LVdt, como observado na TABELA 7, não houve diferença significativa nos teores de Mg trocável no solo, com a utilização das fontes de P, em nenhuma época de amostragem, pois as fontes de P utilizadas não possuem Mg em sua composição.

Quanto às doses de Si, estas apresentaram diferenças significativas, como pode-se observar na FIGURA 3, concordando mais uma vez com os dados obtidos por Ramos (2005).

TABELA 7- Magnésio trocável no solo RQo e LVdt, em amostras de solo retiradas após 60 e 120 dias de incubação

Fonte P	Solo - RQo		Solo - LVdt	
	60 dias	120 dias	60 dias	120 dias
	-----cmol _c dm ⁻³ -----			
SSP	0,70 a	0,40 ab	0,60 a	0,70 a
TSP	0,63 a	0,36 b	0,54 a	0,75 a
MAP	0,66 a	0,45 a	0,59 a	0,71 a
DMS	0,08	0,14	0,10	0,09
C.V	12%	17%	17%	14%

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

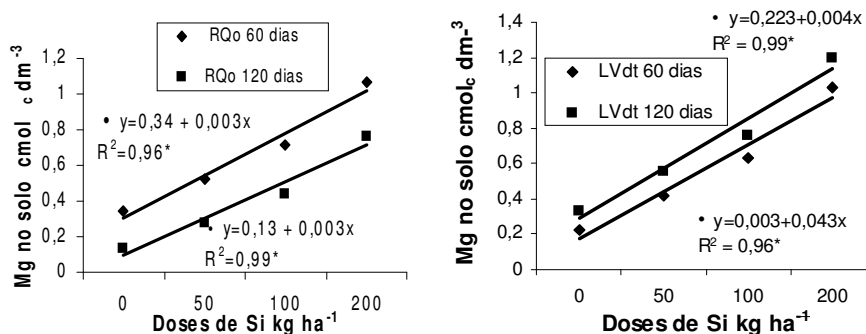


FIGURA 2 - Magnésio trocável no solo RQo e LVdt aos 60 e 120 dias de incubação, respectivamente, em função de doses de Si.

O pH em CaCl₂ (TABELA 8) foi influenciado pela fonte de P e pelas doses de silício no solo RQo, aos 60 dias após a incubação (FIGURA 3).

Nos solos avaliados e nas duas épocas de amostragem, a fonte de P MAP apresentou pH do solo inferior a SSP e TSP (TABELA 8). Este resultado se deve, em parte, ao poder acidificante mais elevado do MAP, em relação ao TSP e SSP. Estes últimos apresentam formas de fósforo residuais ligados a Ca (fosfato bi-cálcico e tri-calcico) que possuem a tendência de elevar o pH do solo.

Korndörfer et al (2002) observaram que quanto maior a dose de silicato aplicada, maior o pH do solo, o que pode ser notado na FIGURA 4, onde a

adição de silicato proporcionou aumento linear no pH dos solos estudados (RQo e LVdt).

Cardoso (2003) também encontrou resultado no incremento de pH com a adição de silicato ao solo, pois estudando o efeito de um silicato de cálcio em pastagem degradada, cultivada em um Neossolo Quartzarênico, constatou que os valores de pH aumentaram linearmente após aplicação de doses crescentes da fonte de silício.

Quanto ao pH no solo LVdt, (TABELA 8), o mesmo comportamento do solo RQo foi observado, ou seja, a fonte SSP proporcionou maior valor de pH nas duas épocas de amostragem.

As doses de Si aumentaram os valores de pH, e segundo Korndörfer et al. (2002), quanto maior a dose de Si, maior o pH do solo. Faria (2000) observou um aumento linear nos valores de pH, à medida que se aumentava o teor de Si disponível no solo. Essa reação é explicada pelo potencial hidrogeniônico gerado pela reação do silicato no solo.

TABELA 8 – Valores de pH em CaCl_2 no solo RQo e LVdt, em amostras de solo retiradas após 60 e 120 dias de incubação

Fonte P	Solo - RQo		Solo - LVdt	
	60 dias	120 dias	60 dias	120 dias
	----- $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ -----			
SSP	4,6 a	4,2 a	4,4 a	4,2 a
TSP	4,7 a	4,3 b	4,3 ab	4,1 ab
MAP	4,3 b	4,0 c	4,2 b	4,0 b
DMS	0,14	0,10	0,14	0,12
C.V	3%	3%	3%	2,9%

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

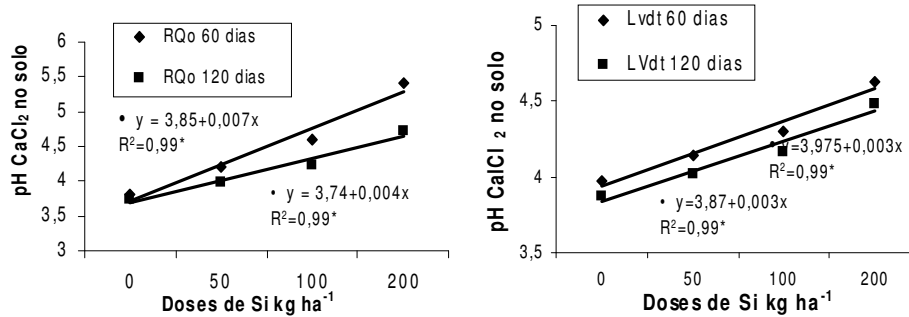


FIGURA 3 – Valores de pH em CaCl₂, em função de doses de silicato de cálcio e magnésio, nos solos RQo e LVdt, respectivamente após 60 e 120 dias de incubação.

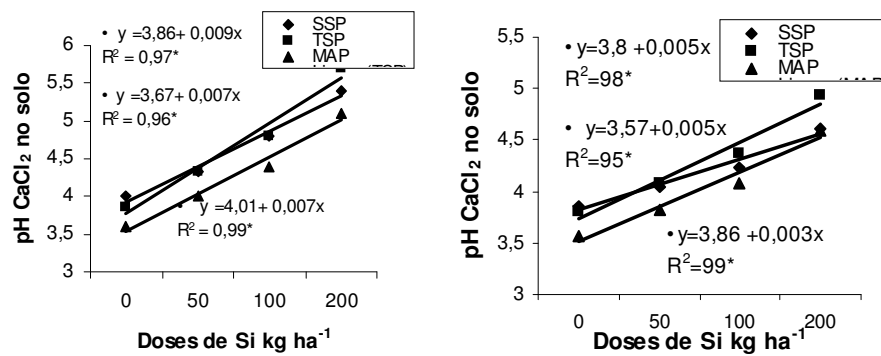


FIGURA 4 – Valores de pH em CaCl₂ no solo RQo, respectivamente após 60 e 120 dias de incubação, em função de doses de Si.

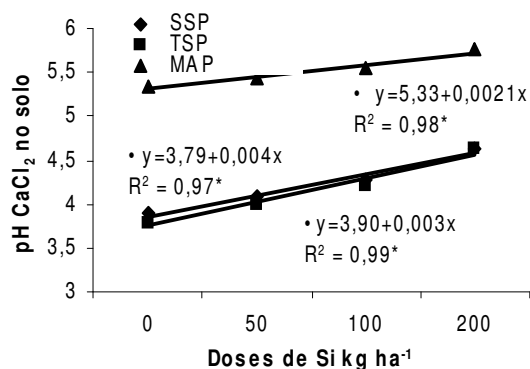


FIGURA 5 – Valores de pH CaCl₂ no solo LVdt, após 120 dias de incubação, em função de doses de Si.

O Si disponível em CaCl₂ no solo RQo, aos 60 dias (TABELA 9), foi significativo apenas para as doses de Si, pois foi observado um aumento linear nos teores de Si no solo (FIGURA 6).

Concordando com dados obtidos por Korndorfer et al. (1999), que também observaram que a aplicação de silicato de cálcio nas doses de silício de 0,120, 240, 480 e 960 kg ha⁻¹, como wollastonita, promoveu incremento nos teores de silício solúvel (0,5M ácido acético) em quatro solos estudados, sendo o maior incremento em um Latossolo roxo de 10,5 para 22,9 mg dm⁻³ e menor em um Neossolo quartzarênico de 3,2 para 7,6 mg dm⁻³. Barbosa et al. (2003) também verificaram que o teor de silício disponível no solo foi incrementado de 1 para 14 mg kg⁻¹, após aplicação de 1000 kg ha⁻¹ silicato de cálcio e magnésio.

Com relação à utilização de fontes de P, estas apresentaram comportamento diferenciado entre as duas épocas de amostragem do solo RQo (TABELA 9). Quando foi feita amostragem, aos 60 dias, não houve diferença significativa. Porém, nas amostras de 120 dias foi observado um teor de Si maior com o TSP (TABELA 9).

Analisando a TABELA 9, pode-se verificar que não houve diferença para o Si disponível para as fontes de P e nem para as doses de Si adicionadas aos 120 dias no solo LVdt.

TABELA 9 - Silício disponível em CaCl_2 no solo RQo e LVdt, em amostras de solo retiradas após 60 e 120 dias de incubação

Fonte P	Solo - RQo		Solo - LVdt	
	60 dias	120 dias	60 dias	120 dias
	-----mg kg ⁻¹ -----			
SSP	2,1 a	2,0 b	3,7 b	4,3 a
TSP	2,3 a	2,4 a	4,1 ab	3,4 a
MAP	2,1 a	2,1 b	4,3 a	3,6 a
DMS	0,36	0,23	0,56	1,01
C.V	16%	10%	13%	26%

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

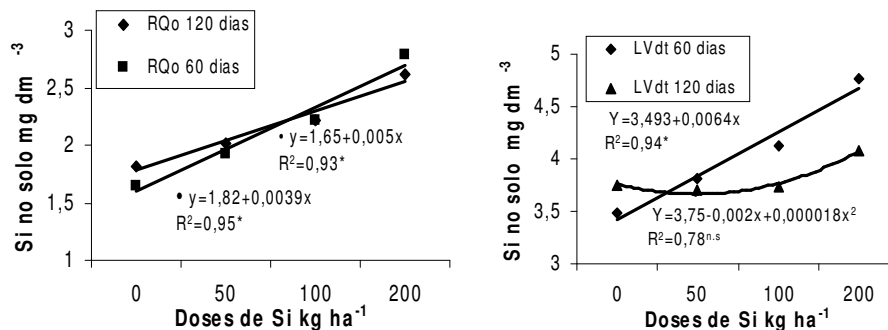


FIGURA 6- Silício em CaCl_2 no solo RQo e LVdt, respectivamente aos 60 e 120 dias após a incubação, em função de doses de Si.

Estudando o Si disponível em ácido acético no solo RQo, aos 60 e 120 dias após a incubação (TABELA 10), observa-se que TSP foi a melhor fonte dentre as estudadas em aumentar a disponibilidade de Si no solo. De acordo com dados obtidos por Vidal (2005), nos solos onde houve adição de P, o Si remanescente foi maior estatisticamente, se comparado àqueles sem adição de P. O aumento do Si na solução, provocado pela adição de P ao solo, pode ser

explicado pela maior preferência do P pelos sítios de adsorção dos sesquióxidos de ferro e alumínio, reduzindo a adsorção de Si. A adsorção de fósforo pelos sesquióxidos de ferro e alumínio pode diminuir de acordo com o pH.

Quanto às doses de Si, vê-se que quanto maior foi a dose de Si, maior foi o teor de Si no solo para as duas épocas de amostragem (FIGURA 7). Os teores de Si em ácido acético foram maiores do que aqueles encontrados pelo extrator CaCl_2 . Provavelmente esse resultado deva-se ao extrator ácido acético, uma vez que este mesmo comportamento não foi observado para o extrator CaCl_2 ($0,01 \text{ mol L}^{-1}$), como mostrou resultados anteriormente obtidos, pois com um extrator ácido não somente o Si da fonte é extraído, mas também o Si que faz parte dos compostos físicos do solo.

Analisando a TABELA 10, pode-se notar que, tanto aos 60 como aos 120 dias para o solo LVdt, após a incubação, os teores de Si não foram influenciados pelas fontes de P, porém pode-se verificar que o teor de Si no solo LVdt foi maior do que no solo RQo, segundo Korndorfer (1999), isso se deve ao baixo teor de argila e de matéria orgânica do solos arenosos e também devido a baixa capacidade de retenção de água, a interação das partículas do silicato com a fase sólida é menor, explicando, em parte, a menor reatividade dos silicatos.

TABELA 10 – Silício em ácido acético nos solos RQo e LVdt, em amostras de solo retiradas após 60 e 120 dias de incubação

Fonte P	Solo - RQo		Solo - LVdt	
	60 dias	120 dias	60 dias	120 dias
	-----mg kg ⁻¹ -----			
SSP	3,3 b	2,5 b	7,4 a	7,2 a
TSP	5,5 a	3,0 a	7,5 a	7,7 a
MAP	3,8 b	2,7 b	7,9 a	7,3 a
DMS	1,48	0,47	1,18	0,75
C.V	17%	8%	15%	10%

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

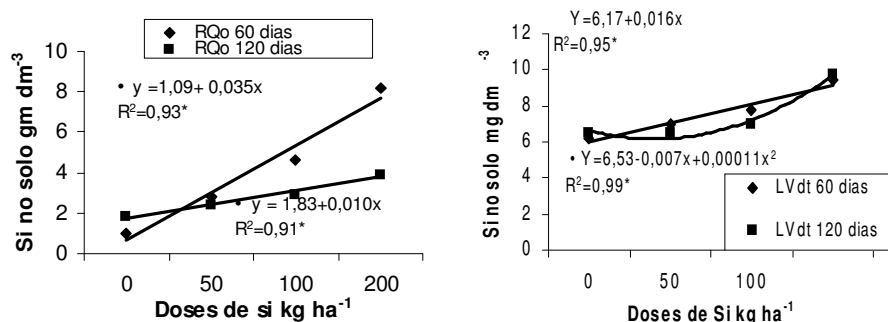


FIGURA 7 - Silício em ácido acético nos solos RQo e LVdt, respectivamente aos 60 e 120 dias após a incubação, em função de doses de Si.

Na TABELA 11, verifica-se que os resultados encontrados de P Mehlich-1, aos 60 e 120 dias no solo RQo, apresentaram comportamentos diferenciados, de acordo com a época de amostragem.

Aos 60 dias, o P disponível no solo somente foi influenciado pelas fontes de P e não pelas doses de Si fornecidas. As doses crescentes de Si não foram capazes de aumentar a disponibilidade de P no solo. A fonte que proporcionou maior disponibilidade de P foi a SSP, porém esta fonte possui uma menor concentração de P₂O₅ do que as demais utilizadas.

Com relação às amostras analisadas após 120 dias de incubação (TABELA 11), as fontes que mais disponibilizaram P foram a SSP e a MAP. A significância foi observada, para as doses de Si, aos 120 dias, como mostra a FIGURA 8.

No solo LVdt, como mostra a TABELA 11, pode-se notar que o comportamento foi diferente para as duas épocas de amostragem, ocorrendo diferença de disponibilidade entre as fontes de P, aos 60 dias de incubação. Isso pode ser provavelmente porque o TSP e MAP possuem uma reação no solo diferenciada do SSP, ou seja, este último possui uma reação mais rápida com o solo do que o TSP e o MAP.

Aos 60 dias, o SSP foi à fonte que proporcionou a maior disponibilidade de P nos solos testados. E não foi observada a influência de doses de Si no teor de P disponível no solo. Obihara e Russel (1972) relataram que a presença de silicatos somente reduz a adsorção de fosfato em pH acima de 7, quando a adsorção de silicato é aumentada e a de fosfato diminuída. Fato que pode ser confirmado, neste estudo, pois o pH em CaCl₂ no solo LVdt atingiu um valor máximo de 4,4, aos 60 dias, sendo que, aos 120 dias, valores menores que estes foram encontrados.

Para o P disponível no solo, após os 120 dias de incubação, não foi observada diferenças, nem para as fontes de P e nem para as doses de Si aplicadas no solo LVdt, porém como mostra a FIGURA 8, houve uma interação entre o silicato de cálcio e magnésio e o P no solo, sendo que a disponibilidade do P apresentou uma queda, quando a dose de Si foi acima de 100 Kg há⁻¹. Apesar do resultado apresentado, não pode se dizer que ocorreu retrogradação, pois no solo LVdt em nenhuma das épocas de amostragem foi verificado tal acontecimento.

TABELA 11- Fósforo Mehlich-1 disponível no solo RQo e LVdt, em amostras de solo retiradas após 60 e 120 dias de incubação

Fonte P	Solo - RQo		Solo - LVdt	
	60 dias	120 dias	60 dias	120 dias
	-----mg dm ⁻³ -----			
SSP	95 a	71 a	15 a	11 a
TSP	74 ab	59 b	7 b	8 a
MAP	65 b	73 a	7 b	10 a
DMS	20	8,35	5,31	3,30
C.V	26%	12%	53%	32 %

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

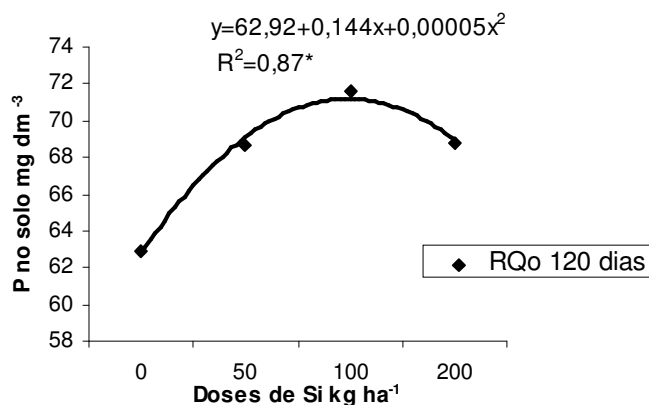


FIGURA 8 - Fósforo Mehlich –1 no solo RQo, após 120 dias de incubação, em função de doses de Si.

Quanto ao K disponível no solo RQo, aos 60 e 120 dias após a incubação, verifica-se que a fonte de P SSP foi a que disponibilizou maiores teores de K, mesmo ela não sendo uma fonte de K, essa maior disponibilidade se deve a reação da fonte no solo (TABELA 12).

As doses de Si proporcionaram um aumento nos teores de K, nos solos RQo e LVdt, (TABELA 13). O teor encontrado aos 60 dias foi maior do que aquele observado aos 120 dias (TABELA 12).

No solo LVdt, (TABELA 12) observa-se que o comportamento nas duas épocas de amostragem foi diferente, apresentando diferença estatística para as duas épocas, sendo aos 60 dias a fonte de P, MAP responsável pelo maior teor de K disponível encontrado, já aos 120 dias foi a fonte SSP.

No solo RQo, as doses de Si apresentaram significância apenas para a primeira época de amostragem (TABELA 13). E quanto ao solo LVdt verificou-se diferença entre as doses, nas duas épocas de amostragem.

TABELA 12 - Potássio disponível no solo RQo e LVdt, em amostras de solo retiradas após 60 e 120 dias de incubação

Fonte P	Solo - RQo		Solo - LVdt	
	60 dias	120 dias	60 dias	120 dias
	-----mg dm ⁻³ -----			
SSP	20 a	14 a	29 b	33 a
TSP	17 b	12 b	28 b	28 b
MAP	13 c	12 b	37 a	28 b
DMS	3,34	2,27	5,46	1,62
C.V	10%	9%	8%	5%

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

TABELA 13 - Potássio nos solos RQo e LVdt, em amostras de solos retiradas após 60 e 120 dias de incubação

Doses de Si	Solo - RQo		Solo - LVdt	
	60 dias	120 dias	60 dias	120 dias
	-----mg dm ⁻³ -----			
0	17,0	13,0	30,7	30,6
50	16,3	12,9	32,4	29,3
100	16,1	12,9	33,0	28,8
200	17,3	12,9	30,1	30,2
R ²	70*	89 ^{ns}	99*	93*

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

ns- não significativo, a 5% de probabilidade, pelo teste de regressão.

2.4 CONCLUSÕES

- O silicato de cálcio e magnésio (Siligran) pode ser considerado fonte de Ca e Mg ao solo; e efetivo em aumentar o Si, Ca e Mg disponível do solo.
- As doses de Si não foram capazes de aumentar a disponibilidade de P no solo; o Si disponível não foi afetado pelo fósforo adicionado;
- O silicato, em mistura com os adubos fosfatados acidulados, não acarretou o fenômeno da retrogradação, ou seja, não diminuiu a solubilidade do P no solo;

CAPÍTULO 3

RESUMO

Interação silício - fósforo na cultura do milho

Um dos principais problemas da região do Cerrado é a baixa eficiência agronômica da adubação fosfatada. Os solos são naturalmente pobres em P e possuem alta capacidade de fixar o P. A adição de fertilizante silicatado misturado a fontes de fósforo solúvel poderia aumentar a eficiência do P para as plantas. O presente trabalho teve como objetivo estudar as possíveis interações entre o silicato e o fósforo aplicado na absorção e crescimento 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 Ca e Mg. Após 15 dias de reação do CaCO_3 e MgCO_3 (p.a), 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} . O milho foi semeada logo após a adubação, e colhido aos 60 dias de cultivo. A parte aérea total foi analisada quanto ao acúmulo de matéria fresca, seca e teor de Si e P. O sistema radicular foi analisado quanto ao peso de matéria seca. O solo, após o cultivo, foi analisado quanto ao pH em CaCl_2 , Ca e Mg trocáveis, P e Si disponível no solo. Os resultados obtidos demonstram que a fonte de silício não foi capaz de aumentar a disponibilidade de Si e de P no solo. O silicato de cálcio aplicado ao solo não afetou o pH, os teores de Ca e Mg trocáveis no solo e a produção de matéria seca do milho.

Palavras-chave: silicato, adsorção de fósforo, formulações.

SUMMARY

Interaction silicon – phosphorus in maize

A significant problem in this area, Brazilian savannah, is the low efficiency when phosphate fertilizer is applied. The soil is naturally poor in P and highly adsorbed when applied. The addition of silicate fertilizer mixture with solubility phosphate sources could increase the efficiency of P for the plants. The objective of this present study was evaluation of Si-P interaction and in the absorption and raise of maize. The experiment was installed in a greenhouse using a clay soil. The soil was incubated with limestone. After incubation period (15 days), simulating fertilizer application in line, 800 kg ha⁻¹ of these granulated formulas were applied: 4-14-08, 05-25-15, 5-30-10A (A = 3,62 high free acid of source of P) and 5-30-10B (B = 1,85 low free acid f source of P), mixed with a granulated silicate source (Siligran-12% Si total) at rates 0, 80, 160 e 320 kg ha⁻¹. Maize was seeded after the fertilization, and was harvested after 60 days of seedling. Aerial part of the plant was analyzed to determine fresh and dry matter, Si and P contents, root dry matter was obtained, soil was analyzed after harvest to determine: pH, Ca, Mg, P and, Si. . The results showed that the silicon source was not capable of increasing Si and P availability in the soil. The silicate of calcium applied did not affect the pH, Ca and Mg in the soil and the maize yield of dry matter.

Key words: silicate, P adsorption, and fertilizer.

3.1 INTRODUÇÃO

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 ($V < 50\%$), 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.

O efeito do Si na troca do P tem recebido pouca atenção por parte dos pesquisadores, embora o ânion silicato (H_3SiO_4^-) também seja capaz de competir com o ânion fosfato por sítios de adsorção. Ambos os ânions são adsorvidos pelo mesmo ligante específico no mecanismo de troca pelos óxidos de Fe e Al (HINGSTON et al., 1967; OBIHARA; RUSSELL, 1972).

O silício é atualmente considerado um micronutriente benéfico pela legislação brasileira de fertilizantes, com o decreto N° 4.954 e aprovação do Ministério da Agricultura (BRASIL, 2004).

Várias pesquisas têm sido realizadas com o intuito de esclarecer melhor o papel do silício em diversas culturas. O silício tem sido reportado com efeito benéfico, em solos de pH baixo, em muitas culturas, principalmente nas gramíneas (D’HOORE; COULTIER, 1972).

Sendo assim, pode ser possível que o silicato, em mistura com fertilizantes fosfatados, pode diminuir a acidez residual dos fertilizantes fosfatos acidulados e aumentar a eficiência agrônômica dos mesmos.

O objetivo do trabalho foi avaliar a mistura de fertilizantes fosfatados com silicato de cálcio e magnésio na disponibilidade de Si e P no solo, para a cultura do milho.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1 Instalação do experimento

Foi conduzido um ensaio em casa-de-vegetação, no Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Uberlândia (ICIAG/UFU), por um período de 60 dias, entre junho e julho de 2004, utilizando-se como base experimental o solo 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 (item 2.2).

O solo foi coletado no município de Uberlândia-MG, na camada de 0-20 cm, em setembro de 2003. Incubou-se por 15 dias em vasos de 4 kg de solo, incorporando se CaCO_3 e MgCO_3 p.a., na dose de 2 t ha^{-1} e 200 kg ha^{-1} de micronutrientes, na forma de fritas (FTE-BR12): 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%.

Após a reação com o calcário, aplicaram-se os adubos, na dose de 800 kg ha^{-1} , 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), combinados com a fonte de Si granulada (Siligran-12% Si Total), nas doses de 0, 80, 160 e 320 kg ha^{-1} . 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 a uma umidade próxima a capacidade de campo.

Após dez dias da semeadura, foi realizado um desbaste mantendo-se cinco plantas por vaso, sendo três plantas em uma linha e duas plantas em outra linha, e entre as duas linhas se tinha a linha de adubação. Aos 30 e 45 dias de cultivo, aplicou-se, em cobertura, 100 kg ha^{-1} de N da fonte Uréia, diluída em H_2O .

A caracterização das fórmulas (NPK), bem como a quantidade de matéria prima para produzi-las, estão apresentadas nas TABELAS 14 e 15.

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 14 - 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. (BRASIL, 1983).

TABELA 15 - Quantidade de matéria prima utilizada para produzir 1000kg das fórmulas NPK

Fórmula	Sulfato de amônio (20% N)	Cloreto de Potássio (60% K ₂ O)	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

TABELA 16 - Tratamentos aplicados aos vasos (fórmulas NPK + dose de Si kg há⁻¹)

<i>Tratamentos</i>
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

O milho foi cultivado por aproximadamente 60 dias. Após o corte, determinou-se a produção de matéria seca da parte aérea (talo+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). O teor de P na planta, foi analisado conforme metodologia descrita por Malavolta et al. (1989).

Amostras de solo foram coletadas após o corte do milho (60 dias após o plantio). 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, 0,01 mol 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 CFSMG (1999).

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados e os dados analisados segundo um esquema fatorial 4x4. As comparações entre as médias foram feitas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade, e para as diferentes doses de Si foi feita análise de regressão.

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observa-se que o aumento nas doses de silicato não interferiu na disponibilidade do P e do Si. A baixa reatividade do silicato utilizado ou o curto período de reação (60 dias) podem explicar em parte a falta de resposta das doses do silicato sobre os teores de Si extraído com ácido acético e CaCl_2 (TABELA 17). No entanto, não é possível estabelecer inferências a respeito da interferência do silicato na disponibilidade do fósforo, já que não se observou alta reatividade do silicato no solo.

Ao se observar a TABELA 17, pode-se concluir 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 (água e CaCl_2).

TABELA 17 - Fósforo e Silício em ácido acético ($0,5\text{mol L}^{-1}$) e em CaCl_2 ($0,01\text{mol L}^{-1}$) disponível no solo, após 60 dias de cultivo de milho, em função de doses de silicato adicionadas

Doses Si kg ha^{-1}	P Mehlich-1 mg dm^{-3}	Si Ác. 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.

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

TABELA 18- Fósforo e Silício em ácido acético ($0,5 \text{ mol L}^{-1}$) e CaCl_2 ($0,01 \text{ mol L}^{-1}$) no solo, após 60 dias de cultivo de milho, em função de formulações

Formulações N-P ₂ O ₅ -K ₂ O	P Mehlich-1	Si Ác. Acético	Si CaCl ₂
800 kg ha⁻¹	mg dm ⁻³	-----mg kg ⁻¹ -----	
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.

Com relação ao Ca, Mg, e pH, respectivamente observados na TABELA 19, estes não apresentaram diferenças estatísticas com as diferentes formulações utilizadas e nem quanto às doses crescentes de Si utilizadas no sulco de plantio (TABELA 20). Este comportamento pode ser devido, ao fato da fonte de silício utilizada (Siligran) não ter reagido no solo, ter reagido pouco, não liberando Si no solo, e conseqüentemente não liberando Ca, uma vez que essa fonte é considerada um silicato de Ca. Ou ainda, este fato foi devido ao fornecimento de

Ca e Mg e a correção de pH realizada no solo antes da semeadura, pois segundo Ramos (2005), em estudo realizado para avaliação de fontes de silício para a cultura do arroz, a ocorrência de pouca diferença entre os valores de pH, e os teores trocáveis de Ca e Mg do solo, entre as fontes testadas (Siligran e Siligran AWM), na dose de 200kg ha⁻¹, foi devido ao balanceamento das bases realizado antes da semeadura, e esse efeito é muito importante, pois é assegurado que as diferenças entre os tratamentos se devem ao efeito da adição das fontes de silício, não havendo interferência do pH, Ca e Mg na reatividade e comparação dos produtos testados.

TABELA 19 - Cálcio e Magnésio trocável e valores de pH no solo, após 60 dias de cultivo do milho, em função de formulações

Formulações	Ca trocável	Mg trocável	pH CaCl ₂
N-P₂O₅-K₂O			
800 kg ha⁻¹	-----cmol _c dm ⁻³ -----		
4-14-08	2,83 A	0,86 A	5,6 A
5-25-15	2,88 A	0,90 A	5,7 A
5-30-10A	2,91 A	0,85 A	5,6 A
5-30-10 B	2,98 A	0,80 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 - Cálcio e Magnésio trocável e valores de pH no solo, após 60 dias de cultivo do milho, em função de doses de Si

Doses de Si	Ca trocável	Mg trocável	pH CaCl ₂
kg ha⁻¹	-----cmol _c dm ⁻³ -----		
0	2,8	0,86	5,6
80	2,9	0,85	5,6
160	2,9	0,85	5,6
320	2,9	0,85	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.

A menor produção de matéria seca da parte aérea do milho observada para a fórmula 4-14-08 se deve certamente a menor quantidade de P aplicado (TABELA 21). Este tratamento recebeu apenas 112 Kg ha⁻¹ de P₂O₅, enquanto que os demais receberam de 200 a 240 kg ha⁻¹ P₂O₅, respectivamente. Assim, as diferenças estatísticas observadas podem ser atribuídas a quantidade de P disponível.

A acidez livre mais alta da fórmula 5-30-10 não afetou a produção de matéria seca do milho e tampouco a disponibilidade do P no solo e na planta (TABELA 21). Além disso, as doses de Si também não afetaram a disponibilidade do P, independente da fórmula testada, alta ou baixa acidez, ou seja, quando o silicato de cálcio e magnésio foi misturado as formulações testadas, não foi verificada diminuição da solubilidade do P.

TABELA 21 - Médias do acúmulo de matéria fresca, seca e peso seco do sistema radicular e teor de P e Si foliar, da cultura do milho, após 60 dias de cultivo

Formulações N-P₂O₅-K₂O	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.

Quanto ao teor foliar de P e de Si (TABELA 21), estes apresentaram diferenças estatísticas para as várias fórmulas utilizadas, sendo que o teor de Si foi maior na formulação com menor concentração de P. Pode-se inferir que o P influenciou na absorção do silício pelo milho. Isso significa que, comparando

com os resultados obtidos no solo (TABELA 18), pode-se notar que quando se tinha uma menor quantidade de P no solo, também era menor o teor de Si em CaCl_2 no solo. Entretanto, o menor teor de Si no solo se deve a maior absorção pela planta de milho. Sendo assim, quando se tinha uma quantidade maior de P, este estaria indisponibilizando Si para as plantas, fato confirmado na TABELA 21.

Quanto ao teor de P foliar ter sido maior com a maior concentração de P, isto foi devido a maior quantidade de P solúvel que estava disponível às plantas e que foi prontamente absorvido por estas.

O resultados da produção de matéria seca da parte aérea do milho, quanto ao teor foliar de P em função das doses de Si (TABELA 22), apresentou diferença significativa. Isso significa que o P na folha diminuiu, quando aumentaram se as doses de Si no solo, demonstrando assim que houve uma diminuição na solubilidade do P quando da presença do Si no solo.

O teor foliar de Si e o acúmulo de matéria fresca e seca do milho não apresentaram diferenças significativas quando foi utilizada a fonte de Si no solo (TABELA 22).

TABELA 22 - Médias do acúmulo de matéria fresca, seca e peso seco do sistema radicular, da cultura do milho após 60 dias de cultivo

Doses de Si	Matéria fresca	Matéria seca	Peso seco de raiz	P Foliar	Si Foliar
kg ha⁻¹	-----g-----			-----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
D.M.S	18	2,93	2,01	0,16	0,10

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

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

Observando a FIGURA 9, 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.

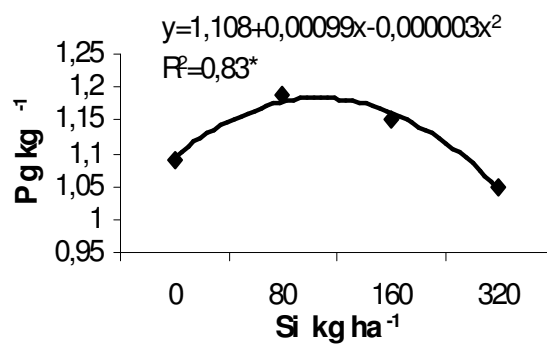


FIGURA 9 – Fósforo foliar aos 60 dias de cultivo, em função de doses de Si

3.4 CONCLUSÕES

- O silicato de cálcio e magnésio, em mistura com os adubos NPK, não aumentaram a disponibilidade de Si e do P disponível no solo.
- Não houve diferença entre as formulações com alta e baixa acidez livre.
- O silicato de cálcio e magnésio não afetou o pH e os teores de Ca e Mg trocáveis no solo;
- A produção de matéria seca do milho não foi afetada pelas doses de silicato de cálcio e magnésio.

CAPÍTULO 4

RESUMO

Aplicação localizada de adubos granulados contendo silício para a cultura da soja

O silício foi incluído recentemente na legislação brasileira para produção e comercialização de fertilizantes, e muito pouco se sabe sobre as possíveis reações entre as fontes de silício e as demais matérias primas utilizadas na formulação bem como das relações com o sistema solo-planta. Assim, o presente trabalho teve por objetivo avaliar a fonte de silício (Siligran AWM) em mistura com superfosfato simples, na cultura da soja, na nodulação e na produção de grãos. O estudo foi desenvolvido em vasos, e os tratamentos constituídos de: dois níveis de acidez do solo (40 e 60% de saturação por bases), uma fonte de fósforo (SSP) com dois níveis de acidez livre (alto e baixo) e uma fonte de Si (silicato de cálcio), aplicado nas doses de 0, 150, 300 e 600 kg ha⁻¹. O experimento foi conduzido em DBC, esquema fatorial 2x2x4, com 4 repetições, totalizando 64 unidades experimentais. O solo Latossolo Vermelho Distrófico típico (LVdt) foi incubado, misturando-se CaCO₃ + MgCO₃ (p.a.), calculado para 40% e 60% de Saturação por Bases, por 30 dias. As sementes da soja foram plantadas, 5 cm ao lado e abaixo da linha do local de aplicação do adubo. Os parâmetros avaliados foram: teores de macro e micronutrientes foliar, em duas diferentes épocas, características químicas do solo, produção de grãos e números de nódulos por vaso ao final do ciclo da cultura. Concluiu-se, que o silicato aplicado ao solo foi capaz de aumentar a disponibilidade de Si no solo e aumentar o pH 30 dias após o plantio da soja. Entretanto, não foi capaz de influenciar no número de vagens, produção de grãos, assim como na quantidade de nódulos nas plantas de soja. Também não houve diferença entre o superfosfato simples de alta e baixa acidez livre.

Palavras-chave: *Glycine max*, adsorção de fósforo, silicatos.

ABSTRACT

Localized application of granulate fertilizer containing silicon for soybean crop

Silicon was recently included in the Brazilian legislation for production and commercialization of fertilizers, but very little is known about the possible reactions between silicon sources and the others raw materials used in fertilizers formulation, as well as its relationship with the soil-plant system. Therefore, the present study objective was to evaluate the silicon source (Siligran AWM) mixed with ordinary super phosphate in soybean crop nodulation and grain yield. The study was conducted in 15 Kg containers and treatments were: two levels of soil acidity (40 e 60% of saturation bases), a source of phosphorus (SSP) with two levels of free acid (high and low) and a source of silicon (silicate of calcium) at rates of 0, 150, 300 e 600 kg ha⁻¹. The study was conducted in complete randomized blocks in a factorial scheme 2x2x4 with 4 replications, totalizing 64 parcels. Red latosol soil was incubated previously with CaCO₃ + MgCO₃ (p.a.) calculated for 40% and 60% of saturation bases, for 30 days. The seeds of soybean were line seeded, 5 cm aside and under the fertilizer line. The parameters evaluated were: tissue macro and micronutrients, in two different times; chemistry characteristic of soil and yield and nodulation after harvest. The results showed that silicate added to soil was capable to increase Si availability and pH 30 days after emergency, however, was not capable to influence at the pod, number of nodules and grain production. Also different was not observed whit ordinary phosphate with low or high free acid.

Key words: *Glycine max*, phosphorus adsorption, silicate.

4.1 INTRODUÇÃO

A indústria de fertilizantes, em alguns casos, não tem respeitado o tempo de cura (em torno de 15 dias) necessário para a completa reação da rocha fosfática com o ácido sulfúrico, para a produção do superfosfato simples. Em consequência, o superfosfato simples pode apresentar acidez livre elevada e esta acidez interfere na eficiência do P aplicado e absorvido pela planta, bem como afetar a nodulação da soja.

Neste sentido, a mistura do silicato de cálcio (componente básico) com o superfosfato simples na composição de fórmulas poderiam contribuir para reduzir a acidez livre e aumentar a eficiência do P aplicado. A presença do silicato na mistura também poderia contribuir para um ambiente mais adequado à multiplicação de bactérias responsáveis pela fixação biológica do nitrogênio em cultura leguminosas, devido a elevação do pH próximo a rizosfera.

A aplicação localizada do adubo fosfatado restringe o acesso das raízes das plantas, ou seja, apenas parte do sistema radicular entrará em contato com o fertilizante, absorvendo-o efetivamente (NOVAIS; SMYTH, 1999). Portanto, embora a aplicação de fósforo em volumes restritos de solo, reduza sua adsorção e a precipitação (ANGHINONI, 1992; MODEL; ANGHINONI, 1992; PRADO et al., 2001), a aplicação localizada do P, não acarretará, necessariamente, suprimento satisfatório desse nutriente às mesmas; tal comportamento estará relacionado à planta em questão.

Após a aplicação dos adubos fosfatados, ocorre a dissolução, onde grande parte do fósforo, é retida 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).

Diversos estudos têm sido realizados visando identificar o modo de aplicação de fertilizantes fosfatados para melhor aproveitamento pelas culturas. Pottker (1995), comparando a aplicação de fósforo no sulco, e a lanço em solo com alto teor de fósforo ($13,6 \text{ mg dm}^{-3}$) e 420 g kg^{-1} de argila, e outro com teor médio de fósforo ($4,3 \text{ mg dm}^{-3}$) e 360 g kg^{-1} de argila, conclui que aplicação de P nas linhas de semeadura foi mais eficiente que a aplicação a lanço.

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). O fósforo é de grande importância na cultura da soja, sendo responsável pela maioria das respostas significativas no rendimento. Trabalhos de vários pesquisadores têm mostrado resultados positivos à sua aplicação na cultura da soja, nas mais diferentes formas (SMYTH; SANCHEZ, 1982).

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito do silicato de cálcio granulado em mistura com adubos fosfatados contendo alta e baixa acidez livre (superfosfato simples), na produção de grãos e nodulação da soja cultivada em vasos, e na disponibilidade do P no solo.

4.2. MATERIAL E MÉTODOS

Para base experimental, foi utilizado um Latossolo Vermelho Distrófico típico (LVdt), coletado no município de Uberlândia-MG, sob vegetação nativa, na profundidade de 0-20 cm, cuja caracterização química e física está apresentada nas TABELAS 1 e 2 (item 2.2).

Inicialmente, o solo foi incubado com $\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$ (p.a.), calculado para 40% e 60% de Saturação por Bases, nas doses de $2,70 \text{ t ha}^{-1}$ e $4,17 \text{ t ha}^{-1}$ (TABELA 23). A mistura do corretivo foi realizada em misturador tipo "betoneira" e o solo umedecido até a capacidade de campo e mantido em sacos plásticos de 50 kg, por 30 dias. Após 30 dias, o solo foi novamente misturado e seco.

Abaixo na TABELA 23, estão representadas as análises químicas dos solos após a incubação.

TABELA 23- Caracterização química do Latossolo Vermelho Distrófico típico, após a incubação, utilizado na instalação do experimento, com 40% e 60%, respectivamente, de saturação por bases

Solo	pH (H_2O)	Ca	Mg	Al	P	K	Si	H+Al	T	V	m	M.O.
LVdt	1:2,5	- $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$	---	---	---	---	---	$\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$	---	---	---	g kg^{-1}
40%	5,5	1,7	0,6	0,0	0,5	36,0	5,8	3,8	2,4	39	0	2,5
60%	6,2	2,1	0,7	0,0	0,8	27,0	6,1	2,6	5,4	52	0	2,8

Si extraído com CaCl_2 em $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ (KORNDÖRFER et. al., 2004); Ca, Mg, Al = (KCl 1 mol L^{-1}); P, K = (HCl $0,05 \text{ mol L}^{-1} + \text{H}_2\text{SO}_4 \text{ } 0,025 \text{ mol L}^{-1}$); H+Al =SMP; T= CTC pH 7; V= Saturação por bases; MO= (Walkley-Black) conforme (CFSMG, 1999).

Após o período de incubação, o solo foi adicionado a vasos do tipo jardineiras, com 20 cm de altura, 80 cm de comprimento por 25 cm de largura, conforme mostra a FIGURA 10 para facilitar a localização do adubo próximo à

semente e simular o que acontece no campo, ou seja, aplicação localizada junto à linha de plantio.



FIGURA 10 - Fotos do experimento, detalhando o modelo de vaso utilizado.

Os tratamentos consistiram em dois níveis de acidez do solo (40% e 60% da saturação por bases) de superfosfato simples, com acidez livre baixa (3,12%) e alta (5,94%), aplicado na dose de 240 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e de doses crescentes de Si 0, 150, 300 e 600 kg ha⁻¹.

A caracterização química da fonte de silício e fósforo utilizada no experimento encontra-se nas TABELAS 24 e 25, respectivamente.

TABELA 24 - Caracterização química da fonte de silício

Fonte de Silício	CaO	MgO	PN	Si Total	Si* Solúvel
-----%-----					
Siligran AWM	29,7	11,7	76,2	12	2,16

PN- Poder de neutralização, * silício solúvel em Na₂CO₃+ NH₄NO₃.

TABELA 25 -Caracterização química da fonte de fósforo (Superfosfato simples)

Fonte de P	P ₂ O ₅ Total CNA*	P ₂ O ₅ Solúvel H ₂ O	Acidez livre
-----%-----			
SSP Baixa	19,38	19,11	3,12
SSP Alata	17,80	17,52	5,94

*Citrato neutro de amônia

TABELA 26 -Tratamentos aplicados quando do plantio da soja.

<i>Tratamentos</i>	
1	V= 40% - P ₂ O ₅ = 240 kg ha ⁻¹ (SSP Gran.- A) + 0 Kg ha ⁻¹ Siligran
2	V= 40% - P ₂ O ₅ = 240 kg ha ⁻¹ (SSP Gran.- A) + 150 Kg ha ⁻¹ Siligran
3	V= 40% - P ₂ O ₅ = 240 kg ha ⁻¹ (SSP Gran.- A) + 300 Kg ha ⁻¹ Siligran
4	V= 40% - P ₂ O ₅ = 240 kg ha ⁻¹ (SSP Gran.- A) + 600 Kg ha ⁻¹ Siligran
5	V= 40% - P ₂ O ₅ = 240 kg ha ⁻¹ (SSP Gran.- B) + 0 Kg ha ⁻¹ Siligran
6	V= 40% - P ₂ O ₅ = 240 kg ha ⁻¹ (SSP Gran.- B) + 150 Kg ha ⁻¹ Siligran
7	V= 40% - P ₂ O ₅ = 240 kg ha ⁻¹ (SSP Gran.- B) + 300 Kg ha ⁻¹ Siligran
8	V= 40% - P ₂ O ₅ = 240 kg ha ⁻¹ (SSP Gran.- B) + 600 Kg ha ⁻¹ Siligran
9	V= 60% - P ₂ O ₅ = 240 kg ha ⁻¹ (SSP Gran.- A) + 0 Kg ha ⁻¹ Siligran
10	V= 60% - P ₂ O ₅ = 240 kg ha ⁻¹ (SSP Gran.- A) + 150 Kg ha ⁻¹ Siligran
11	V= 60% - P ₂ O ₅ = 240 kg ha ⁻¹ (SSP Gran.- A) + 300 Kg ha ⁻¹ Siligran
12	V= 60% - P ₂ O ₅ = 240 kg ha ⁻¹ (SSP Gran.- A) + 600 Kg ha ⁻¹ Siligran
13	V= 60% - P ₂ O ₅ = 240 kg ha ⁻¹ (SSP Gran.- B) + 0 Kg ha ⁻¹ Siligran
14	V= 60% - P ₂ O ₅ = 240 kg ha ⁻¹ (SSP Gran.- B) + 150 Kg ha ⁻¹ Siligran
15	V= 60% - P ₂ O ₅ = 240 kg ha ⁻¹ (SSP Gran.- B) + 300 Kg ha ⁻¹ Siligran
16	V= 60% - P ₂ O ₅ = 240 kg ha ⁻¹ (SSP Gran.- B) + 600 Kg ha ⁻¹ Siligran

Nos vasos, cultivou-se soja (*Glycine max* L.), variedade M-Soy 8001, de alto potencial de produção, pertencente ao grupo de maturação semiprecoce. As sementes foram previamente inoculadas com material turfoso (Glycimax) e logo em seguida realizada a semeadura. O adubo foi colocado 5 cm ao lado e abaixo da semente, simulando adubação em linha.

A adubação da soja foi feita com potássio (K), aplicado na dose equivalente de 200 kg K₂O ha⁻¹ (Cloreto de potássio), e os micronutrientes foram aplicados em linha, na dosagem de aproximadamente 100 kg ha⁻¹, na forma de fritas em pó (FTE-BR12): 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%.

Aos 15 dias após a germinação, foi realizado o primeiro desbaste para que ficassem em cada vaso apenas 20 plantas. A irrigação dos vasos foi feita diariamente com água destilada. Aos 15 dias após a germinação, foi realizado um segundo desbaste para que ficassem 15 plantas por vaso. A colheita dos grãos foi realizada quando cerca de 90% das vagens estavam secas (120 dias).

A primeira amostragem de plantas foi realizada 30 dias após o plantio. A parte aérea foi pesada, para se obter o peso fresco e seco. Na segunda coleta, época em que as plantas apresentavam 50% de florescimento, foi amostrada a terceira folha a partir do ápice da haste principal da planta (com pecíolo), e a terceira e última coleta de folhas foi realizada quando 50% das vagens estavam completamente formadas, sendo amostradas cerca de dez folhas com pecíolos por vaso.

Efetuar-se análises do tecido foliar quanto a N, P, K, S, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn, Zn e B foram feitas pelo método descrito por Malavolta et al. (1989) e Si, conforme metodologia descrita por Korndorfer et al. (2004).

Ao final do ciclo da cultura, foi feita a colheita das vagens e realizada a contagem do número de nódulos por vaso e o peso de grãos por vaso.

Trinta dias após o plantio, amostras de solo foram retiradas dos vasos, na linha de adubação, com o auxílio de trado, para a determinação de: Si “extraível” em CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹, método descrito por Korndörfer et. al. (2004), pH em CaCl₂ (1:2,5), Ca e Mg (KCl 1,0 mol L⁻¹), P e K Mehlich-1, conforme metodologia descrita pela CFSMG (1999).

Ao final do ciclo da cultura (120 dias), foi realizada a última amostragem de solo dos vasos, as amostras também foram retiradas com auxílio de trado na profundidade de 0-20 cm sobre a linha de adubação, para a determinação dos nutrientes já avaliados na primeira coleta além de Si "extraível" em 0,5 mol L⁻¹ de ácido acético método descrito por Korndörfer et. al. (2004), Zn, Cu, B, metodologia descrita pela CFSMG (1999).

Aos 25 dias de cultivo, foi aplicada uma dose de 1ml L⁻¹ do produto comercial Systhane (ingrediente ativo miclobutanil) como preventivo da ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi*). Para controle de mosca branca (*Bemisia tabaci*), foi utilizado o produto Viromol, na dose de 0,4 g l⁻¹ (ingrediente ativo acetamiprid), e para o controle de outros insetos, foi usado o produto Furadan (ingrediente ativo carbofuran), na dose de 0,2 g por vaso, aplicado diretamente no solo, aos 30 dias após o plantio da soja.

4.2.1 Análise Estatística

As comparações entre as médias dos tratamentos foram feitas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade e análise de regressão para as doses de silício. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado (DIC), sendo a análise estatística realizada num esquema fatorial 2x4x2.

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.3.1 Macro e micronutrientes no solo aos 30 e 120 dias

Pode-se observar nas TABELAS 25 e 26, que o teor de Mg disponível no solo foi maior ($1,03 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), quando a saturação por bases foi de 60%, tanto aos 30 dias como aos 120 dias após a aplicação do silicato, fato este esperado, em virtude da maior quantidade de MgCO_3 utilizada. Com relação às doses de Si aplicadas ao solo, não foi observada diferença estatística, ou seja, o silicato adicionado não proporcionou aumento nos teores de Mg disponível ao solo, nas duas épocas de amostragem (TABELA 26 e 27). Apesar da presença do Mg na composição do silicato (TABELA 23) não foi possível observar incremento nos teores deste elemento em função das doses de silicato, isso comprova mais uma vez a baixa reatividade do silicato.

Os valores encontrados para o Mg trocável no solo, 30 dias após a aplicação do silicato, variaram de 0,90 a $0,97 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ na menor e maior dose de Si, respectivamente, valores estes menores do que os observado por Ramos (2005), que encontrou teores de Mg trocável no solo de $1,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ aos 60 de incubação, em um Latossolo Vermelho Distrofíco típico, utilizando a fonte Siligran AWM, na dose de 200 mg kg^{-1} . Indicando que possivelmente, a fonte de silicato utilizado, (Siligran AWM), possa não ter reagido com o solo e que, portanto, 30 dias pode ser considerado insuficiente para a reação deste silicato no solo.

Com relação à acidez residual do fertilizante (TABELA 26), pode se notar que não houve diferença estatística para os teores de Mg no solo tanto aos 30 como aos 120 dias após a incorporação do adubo ao solo quando esta foi analisada dentro de uma mesma saturação por bases.

TABELA 27 - Magnésio trocável no solo, em amostras coletadas 30 dias após a aplicação de doses de Si, em função da saturação por bases e acidez residual do fertilizante

Doses de Si	Magnésio trocável no solo				MÉDIA
	SATURAÇÃO POR BASES				
	40 %		60 %		
	ALTA Acidez	BAIXA Acidez	ALTA Acidez	BAIXA Acidez	
kg ha ⁻¹	-----Mg trocável - cmol _c dm ⁻³ -----				
0	0,72	0,85	1,0	1,05	0,90
150	1,12	0,75	1,0	1,0	0,96
300	0,77	0,82	1,05	1,07	0,93
600	0,82	0,97	1,02	1,07	0,97
Media acidez	0,86 a	0,85a	1,01a	1,05 a	--
D.M.S	0,13		0,13		
Media -Sat.B.	0,85 b		1,03 a		ns
D.M.S	0,09				

C.V. = 20%

*médias seguidas por letras distintas minúsculas na linha apresentam diferença estatística, a 5% de probabilidade.

Observa-se na TABELA 27 que o teor de Mg encontrado após a colheita da soja foi menor do que aos 30 dias após o plantio, isso se deve possivelmente a extração pela cultura da soja.

TABELA 28 - Magnésio trocável no solo, em amostras coletadas aos 120 dias após a aplicação no solo de doses das Si, em função da saturação por bases e acidez residual do fertilizante

Doses de Si	Magnésio trocável no solo				MÉDIA
	SATURAÇÃO POR BASES				
	40 %		60 %		
	ALTA Acidez	BAIXA Acidez	ALTA Acidez	BAIXA Acidez	
kg ha ⁻¹	-----Mg trocável - cmol _c dm ⁻³ -----				
0	0,20	0,27	0,52	0,40	0,35
150	0,32	0,22	0,45	0,45	0,36
300	0,40	0,22	0,80	0,45	0,46
600	0,32	0,40	0,50	0,42	0,41
Media acidez	0,31 a	0,28 a	0,56 a	0,43 b	---
D.M.S	0,10		0,10		--
Media -Sat.B.	0,30 b		0,49 a		ns
D.M.S.	0,07				---

C.V. = 37%

* médias seguidas por letras distintas minúsculas na linha apresentam diferença estatística, a 5% de probabilidade.

Com relação ao cálcio disponível no solo, este não variou com a elevação da saturação por bases. Este fato não era esperado, uma vez que aumentando a saturação por bases de 40% para 60% as quantidades de cálcio também deveriam aumentar, quanto maior a saturação por bases maior foi à quantidade de Ca adicionado. O fato deve ser atribuído ao alto coeficiente de variação (37%) (TABELA 29).

Com relação à acidez residual do fertilizante fosfatado, percebe-se que esta não afetou a disponibilidade de Ca no solo em nenhuma das épocas analisadas.

TABELA 29 - Cálcio trocável no solo, em amostras coletadas 30 dias após a aplicação no solo de doses das Si, em função da saturação por bases e acidez residual do fertilizante

Doses de Si	Cálcio trocável no solo				MÉDIA
	SATURAÇÃO POR BASES				
	40 %		60 %		
	ALTA Acidez	BAIXA Acidez	ALTA Acidez	BAIXA Acidez	
kg ha ⁻¹	-----Ca trocável - cmol _c dm ⁻³ -----				
0	3,5	4,10	3,37	3,72	3,67
150	5,07	3,55	5,05	4,70	4,59
300	4,17	5,30	5,12	5,45	5,01
600	3,77	5,22	3,47	3,97	4,11
Media acidez	4,13 a	4,54a	4,25 a	4,46 a	---
D.M.S	1,11		1,11		
Media -Sat.B.	4,33 a		4,35 a		ns
D.M.S	0,78				

C.V. = 37%

* médias seguidas por letras distintas minúsculas na linha apresentam diferença estatística, a 5% de probabilidade.

Quando foram comparados os teores de Ca trocável no solo após 120 dias da aplicação dos fertilizantes, verificou-se que a baixa acidez residual do fertilizante, na saturação por bases de 60% apresentou teores menores de Ca menores que quando se aplicou o fertilizante com alta acidez livre residual (TABELA 30). Essa diferença de disponibilidade de Ca com relação a acidez livre do fertilizante fosfatado pode ser explicada pelo fato da alta acidez livre possibilitar uma reação mais rápida do fertilizante No solo e conseqüentemente disponibilizar mais Ca.

Os teores de Ca encontrados aos 120 dias foram menores do que o observado aos 30 dias após o plantio, isso se deve provavelmente à maior extração de Ca pela cultura da soja.

TABELA 30 - Cálcio trocável no solo, em amostras coletadas aos 120 dias após a aplicação no solo de doses de Si, em função da saturação por bases e acidez residual do fertilizante

Doses de Si	Cálcio trocável no solo				MÉDIA
	SATURAÇÃO POR BASES				
	40 %		60 %		
	ALTA Acidez	BAIXA Acidez	ALTA Acidez	BAIXA Acidez	
kg ha ⁻¹	-----Ca trocável - cmol _c dm ⁻³ -----				
0	2,20	2,95	3,67	3,30	3,03
150	2,80	3,55	3,70	3,45	3,37
300	2,75	2,47	5,00	3,70	3,48
600	2,97	3,47	3,87	3,62	3,48
Media acidez	2,68 a	3,11 a	4,06 a	3,51 b	---
D.M.S	0,52		0,52		
Media -Sat.B.	2,89 a		3,78 a		ns
D.M.S	0,37				

C.V. = 22%

* médias seguidas por letras distintas maiúsculas ou minúsculas na linha apresentam diferença estatística, a 5% de probabilidade.

A disponibilidade de Si em CaCl₂ (0,01 mol L⁻¹) aumentou com as doses de Si aplicadas no solo (TABELA 31 e FIGURA 11). A maior dose de Si (600 kg ha⁻¹) disponibilizou 7,0 mg kg⁻¹, e pode-se notar que a disponibilidade foi crescente, variando de 6,2 a 7,0 mg kg⁻¹ de Si. Porém quando se observa o teor de Si disponível no solo com relação as diferentes saturações por bases e a acidez residual do fertilizante (TABELA 31), percebe-se que não houve diferenças entre estas, ou seja, a saturação por bases não foi capaz de influenciar na disponibilidade do Si no solo, assim como a acidez residual do fertilizante fosfatado, indicando que a condição utilizada do solo e a disponibilidade de nutrientes não foi capaz de alterar a disponibilidade de Si.

TABELA 31 - Silício em CaCl_2 $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ no solo, em amostras coletadas 30 dias após a aplicação no solo de doses de Si, em função da saturação por bases e acidez residual do fertilizante

Doses de Si kg ha ⁻¹	Silício disponível no solo em CaCl_2				MÉDIA
	SATURAÇÃO POR BASES				
	40 %		60 %		
	ALTA Acidez	BAIXA Acidez	ALTA Acidez	BAIXA Acidez	
0	5,9	7,0	5,8	6,1	6,2
150	6,8	6,3	6,9	6,4	6,6
300	6,5	6,4	6,9	7,7	6,9
600	6,8	7,4	6,4	7,2	7,0
Media acidez	6,5 a	6,8 a	6,5 a	6,9 a	---
D.M.S	0,50		0,50		
Media -Sat.B.	6,6 a		6,7 a		*
D.M.S	0,35				

C.V. = 11%

* médias seguidas por letras distintas maiúsculas ou minúsculas na linha apresentam diferença estatística, a 5% de probabilidade.

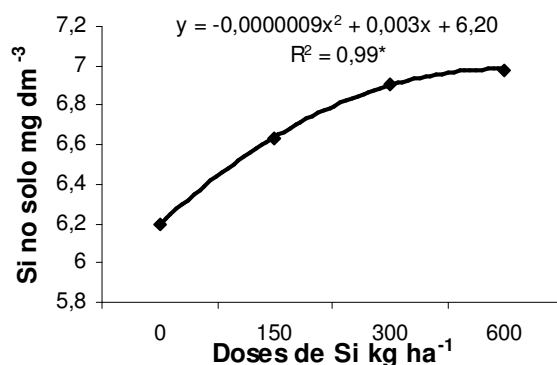


FIGURA 11 - Silício em CaCl_2 no solo 30 dias após a aplicação das doses de Si no solo.

Na análise de Si em CaCl_2 ($0,01 \text{ mol L}^{-1}$) realizada ao final do experimento, 120 dias após o plantio da soja, (TABELA 32) observou-se um

aumento nos teores de Si no solo em relação a análise realizada aos 30 dias (TABELA 31). Pode-se dizer, com bases nesses resultados, a disponibilidade de Si aos 120 dias isto é, por um período maior de tempo possibilita uma maior disponibilidade de Si no solo, concordando com Ramos (2005) também verificou esse fato. Os teores encontrados aos 120 dias foram maiores do que aqueles verificados aos 60 dias, estes foram de 7,0 e 9,3 mg kg⁻¹, para 60 e 120 dias respectivamente. O mesmo foi observado por Melo et al. (2003) que verificaram aumento nos teores de Si no solo como consequência das doses de Si fornecidas com a fonte de Si Wollastonita. Esse aumento de silício foi de 5,8 a 27,9 mg dm⁻³ de Si, respectivamente, para as doses de silício de 0 a 1452 kg ha⁻¹.

TABELA 32 - Silício -CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹ no solo, em amostras coletadas aos 120 dias após a aplicação no solo de doses de Si, em função da saturação por bases e acidez residual do fertilizante

Doses de Si kg ha ⁻¹	Silício disponível no solo em CaCl ₂				MÉDIA
	SATURAÇÃO POR BASES				
	40 %		60 %		
	ALTA Acidez	BAIXA Acidez	ALTA Acidez	BAIXA Acidez	
	-----Si CaCl ₂ - mg dm ⁻³ -----				
0	8,7	8,6	8,6	8,7	8,6
150	7,3	9,0	8,0	8,4	8,2
300	8,1	8,7	9,1	9,3	8,8
600	9,2	8,6	9,2	10,2	9,3
Media acidez	8,3 a	8,7a	8,7 a	9,2 a	---
D.M.S	0,65		0,65		
Media -Sat.B.	8,50 a		8,95 a		*
D.M.S	0,46				

C.V. = 11%

* médias seguidas por letras distintas maiúsculas ou minúsculas na linha apresentam diferença estatística, a 5% de probabilidade.

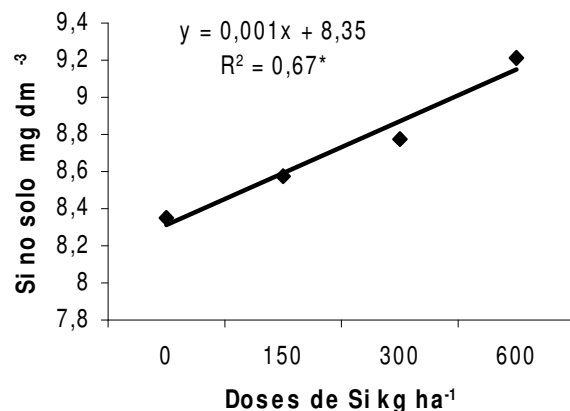


FIGURA 12 - Silício no solo em CaCl₂ após a colheita da soja em função das doses de Si aplicadas no solo.

Os teores de Si disponíveis encontrados no solo, utilizando o extrator ácido acético (0,5 mol L⁻¹), não apresentaram resultado significativo para as doses de Si (TABELA 33), porém os teores de Si no solo foram maiores do que aquele encontrado pelo extrator CaCl₂ (0,01 mol L⁻¹) (TABELA 33). Estes valores mais elevados são esperados quando se trabalha com esse extrator, pois como constatado por Vidal (2005) que diz que uma das justificativas para esse comportamento está relacionada ao pH do ácido acético, soluções extratoras ácidas são capazes de extrair Si que está adsorvido aos argilominerais com maior intensidade do que soluções neutras como a água e o CaCl₂, concordando com dados de Queiroz (2003) que concluiu que a água extraiu menos silício que o ácido acético e que o ácido acético superestima o Si disponível no solo. Ramos (2005) também verificou que o extrator ácido acético extrai maior quantidade de Si do que o extrator CaCl₂.

O extrator ácido acético além da extração do silício presente no solo também extrai o Si presente nas fontes silicatadas, como foi constatado nos trabalhos de Pereira et al. (2004) e Martins (2004). Isso faz com que o extrator ácido só possa ser utilizado quando os solos não receberam silicatos.

Pode-se ainda verificar que a saturação por bases maior (60%) apresentou diferença significativa quando comparada à saturação por bases de 40%, para o Si extraído pelo ácido acético. A disponibilidade de Si no solo foi maior quando V = 60%, concordando com Vidal (2005), que estudando o efeito do pH na solubilidade de silício em solos do Triângulo Mineiro verificou que a calagem pode haver aumentar a disponibilidade de silício no solo. Chagas (2004) também verificou que a elevação do pH dos solos LVdt e RQo promoveu a liberação do Si adsorvido aos colóides e solubilização de polissilicatos (formas não disponíveis) em ácido monossilícico (solúvel). O mesmo também foi relatado por Queiroz (2003), ao estudar o comportamento de fontes de silício para quatro solos da região do cerrado.

TABELA 33 - Silício em ácido acético 0,5 mol L⁻¹ no solo, em amostras coletadas aos 120 dias após a aplicação no solo de doses de Si, em função da saturação por bases e acidez residual do fertilizante

Doses de Si	Silício disponível no solo em Ácido acético				MÉDIA
	SATURAÇÃO POR BASES				
	40 %		60 %		
	ALTA Acidez	BAIXA Acidez	ALTA Acidez	BAIXA Acidez	
kg ha ⁻¹	-----Si- mg dm ⁻³ -----				
0	11,8	11,8	16,0	15,1	13,7
150	11,0	12,4	16,6	15,6	13,9
300	12,2	9,5	16,8	17,3	13,9
600	11,3	14,4	17,0	16,0	14,7
Media acidez	11,6 a	12,0 a	16,6 a	16,0 a	---
D.M.S	1,74		1,74		
Media Sat.B	11,8 b		16,3 a		ns
D.M.S	1,23				

C.V. = 17%

* médias seguidas por letras distintas minúsculas na linha apresentam diferença estatística, a 5% de probabilidade.

A disponibilidade de P no solo não variou com as doses de Si aplicadas (TABELA 34). As saturações por bases utilizadas (40% e 60%), assim como a acidez residual do fertilizante fosfatado, também não afetaram o P disponível no solo.

Pode-se observar que o coeficiente de variação do P foi muito alto, cerca de 95%. Esta alta variação nos resultados pode estar relacionada a amostragem de solo ter sido efetuada na linha de adubação. Considerando ainda que o P é um elemento pouco móvel no solo (RAIJ, 1991) e a aplicação do adubo foi realizada em linha, qualquer alteração da amostragem em relação ao local de aplicação do adubo pode determinar grandes variações nos valores de P analisados. Um dos fatores que mais interferem nos teores de P encontrados nas análises de solo, é devido a erros na amostragem.

TABELA 34 - Fósforo - Mehlich-1 disponível no solo, em amostras coletadas 30 dias após a aplicação no solo de doses de Si, em função da saturação por bases e residual do fertilizante

Doses de Si	Fósforo disponível no solo				MÉDIA
	SATURAÇÃO POR BASES				
	40 %		60 %		
	ALTA Acidez	BAIXA Acidez	ALTA Acidez	BAIXA Acidez	
kg ha ⁻¹	-----P disponível- mg dm ⁻³ -----				
0	16	32	1	8	14
150	29	27	18	17	23
300	21	6	28	17	18
600	25	20	14	11	18
Media acidez	23 a	21 a	15 a	13 a	--
D.M.S	12,37		12,37		
Media -Sat.B.	22 a		14 a		ns
D.M.S	8,74				

C.V. = 95%

*médias seguidas por letras distintas minúsculas na linha apresentam diferença estatística, a 5% de probabilidade.

Assim como o observado na análise de solo realizada aos 30 dias após o plantio da soja, que demonstrou que a disponibilidade P no solo não foi afetada pelas doses de Si, bem como pela saturação por base, a análise de P disponível após a colheita da soja (TABELA 35) apresentou resultados semelhantes, e pode-se notar que o coeficiente de variação do P foi alto (82%).

Analisando a acidez residual do fertilizante fosfatado utilizado no estudo, quando foi comparada a saturação por bases de 40% com a de 60%, verificou-se que o P disponível não foi influenciado por esta (TABELA 35).

TABELA 35 - Fósforo - Mehlich-1 disponível no solo, em amostras coletadas aos 120 dias após a aplicação no solo de doses de Si, em função da saturação por bases e acidez residual do fertilizante

Doses de Si kg ha ⁻¹	Fósforo disponível no solo				MÉDIA
	SATURAÇÃO POR BASES				
	40 %		60 %		
	ALTA Acidez	BAIXA Acidez	ALTA Acidez	BAIXA Acidez	
	-----P disponível- mg dm ⁻³ -----				
0	12	16	10	6	11
150	14	17	8	12	13
300	5	3	11	6	6
600	7	17	7	4	9
Media acidez	9 a	13 a	9 a	7 a	---
D.M.S	5,71		5,71		
Media -Sat.B.	11 a		8 a		ns
D.M.S	4,04				

C.V. = 82%

* médias seguidas por letras distintas minúsculas na linha apresentam diferença estatística, a 5% de probabilidade.

Os teores de potássio no solo não foram influenciados, pelas doses de Si aplicadas, bem como pelas diferentes saturações por bases (40% e 60%), e nem pela acidez residual do fertilizante (TABELA 36 e 37).

É importante observar que os teores de K encontrados são inferiores ao nível crítico para a soja (CFSMG,1999).

TABELA 36 - Potássio no solo, em amostras coletadas 30 dias após a aplicação no solo de doses de Si, em função da saturação por bases e acidez residual do fertilizante

Doses de Si	Potássio disponível no solo				MÉDIA
	SATURAÇÃO POR BASES				
	40 %		60 %		
	ALTA Acidez	BAIXA Acidez	ALTA Acidez	BAIXA Acidez	
kg ha ⁻¹	-----K- mg dm ⁻³ -----				
0	71	89	56	75	80
150	53	55	98	59	56
300	54	71	83	58	62
600	55	76	55	47	55
Media acidez	54 a	73 a	73 a	60 a	--
D.M.S	22,4		22,4		
Media -Sat.B.	63 a		66 a		ns
D.M.S	15,8				

C.V. = 48%

*médias seguidas por letras distintas minúsculas na linha apresentam diferença estatística, a 5% de probabilidade.

O potássio disponível no solo analisado após a colheita da soja (120 dias), também não foi influenciado pelas doses crescentes de Si aplicadas na forma de silicato (TABELA 37).

Pôde-se notar que a saturação por bases de 40% proporcionou maior teor de K do que a maior saturação por bases (60%).O teor de K encontrado após a colheita foi menor do que o encontrado 30 dias após o plantio da soja, esse fato pode ser explicado pela extração de K pela cultura da soja durante seu desenvolvimento (TABELA 36 e 37).

TABELA 37 -Potássio no solo, em amostras coletadas aos 120 dias após a aplicação no solo de doses de Si, em função da saturação por bases e acidez residual do fertilizante

Doses de Si	Potássio disponível no solo				MÉDIA
	SATURAÇÃO POR BASES				
	40 %		60 %		
	ALTA Acidez	BAIXA Acidez	ALTA Acidez	BAIXA Acidez	
kg ha ⁻¹	-----K - mg dm ⁻³ -----				
0	20	31	11	14	19
150	27	25	14	16	21
300	25	24	23	15	22
600	22	25	14	14	19
Media acidez	24 a	26 a	16 a	15 a	---
D.M.S	4,05		4,05		
Media -Sat.B.	25 a		15 b		ns
D.M.S	2,86				

C.V. = 28%

*médias seguidas por letras distintas minúsculas na linha apresentam diferença estatística, a 5% de probabilidade.

Com relação ao pH do solo (CaCl₂), verifica-se, que houve um incremento do pH em função das doses de Si aplicadas, variando de 5,4 a 5,6 (TABELA 38). Esses dados concordam com Faria (2000) que também verificou aumento de pH de 4,6 para 5,1 quando aplicou uma dose de 600 kg ha⁻¹ de silício em um Latossolo Vermelho-amarelo, ou seja, a aplicação de silicato de Ca e Mg tem como efeito benéfico à capacidade de elevar o pH, neutralizando o Al trocável e outros elementos tóxicos, além de aumentar a disponibilidade do Si (KORNDÖRFER et al., 2002).

Ramos (2005) estudando diferentes fontes de silício, observou que os valores de pH CaCl₂ passaram de 4,0 na testemunha, para 5,1, aos 60 dias de incubação, com a utilização das fontes Siligran AWM e Siligran, indicando haver uma boa reação destas fontes. O presente estudo confirma os dados apresentados por Ramos (2005), pois utilizando a fonte de silício, Siligran AWM, houve uma diferença significativa para as doses de Si utilizadas, 30 dias

após o plantio da cultura, mostrando que o silicato foi capaz de elevar o pH em CaCl_2 do solo, mesmo considerando que 30 dias não foi tempo suficiente para a total reação do silicato no solo.

A saturação por bases influenciou no pH em CaCl_2 do solo, nas duas épocas de amostragem (30 dias após o plantio e após a colheita da soja), sendo este maior quando o V foi de 60% (TABELA 38 e 39). A FIGURA 13 mostra que houve uma diferença entre as duas saturações por bases estudadas, na saturação por base de 60% o pH em CaCl_2 foi maior do que na saturação por bases de 40%, este fato era esperado uma vez que aumentando a saturação por bases, a quantidade de calcário utilizado é maior e conseqüentemente o pH do solo também irá aumentar. A baixa acidez residual apresentou um pH maior do à alta acidez, que, portanto a baixa acidez proporciona um pH maior ao solo.

Não houve efeito da acidez residual do adubo fosfatado sobre o pH do solo (TABELA 38 e 39), porém o pH aumentou com o aumento na saturação por bases. Na saturação por bases de 40% o pH médio foi de 5,2 enquanto que na saturação por bases de 60% o pH médio foi de 5,7.

TABELA 38 –Valores de pH-CaCl₂ no solo, em amostras coletadas 30 dias após a aplicação no solo de doses de Si, em função da saturação por bases e acidez residual do fertilizante

Doses de Si kg ha ⁻¹	pH CaCl ₂				MÉDIA
	SATURAÇÃO POR BASES				
	40 %		60 %		
	ALTA Acidez	BAIXA Acidez	ALTA Acidez	BAIXA Acidez	
0	5,0	5,2	5,6	5,6	5,3
150	5,1	5,2	5,6	5,5	5,3
300	5,1	5,2	5,7	5,8	5,4
600	5,4	5,4	5,6	5,8	5,6
Media acidez	5,2 a	5,2 a	5,6 a	5,7 a	--
D.M.S	0,08		0,08		
Media -Sat.B.	5,2 b		5,7 a		*
D.M.S	0,05				

C.V. = 2%

*médias seguidas por letras distintas minúsculas na linha apresentam diferença estatística, a 5% de probabilidade.

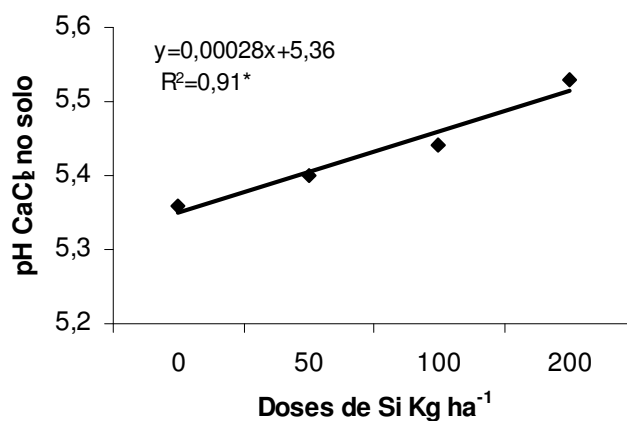


FIGURA 13 – Valores de pH em CaCl₂ no solo, após 30 do plantio da soja, em função das doses de Si aplicadas no solo.

Apesar dos valores de pH tenham diminuído entre a amostragem de 30 e 120 dias, as tendências observadas foram às mesmas, isto é, quanto maior a saturação por bases, maior o pH (TABELA 39).

Aos 120 dias pode-se observar que o pH em CaCl₂ não variou com as doses de Si (TABELA 39). Esse resultado pode ser explicado mais uma vez pela baixa reatividade do silicato.

TABELA 39 – Valores de pH-CaCl₂ no solo, em amostras coletadas aos 120 dias após a aplicação no solo de doses de Si, em função da saturação por bases e acidez residual do fertilizante

Doses de Si	pH CaCl ₂				MÉDIA
	SATURAÇÃO POR BASES				
	40 %		60 %		
	ALTA Acidez	BAIXA Acidez	ALTA Acidez	BAIXA Acidez	
kg ha ⁻¹	-----pH-CaCl ₂ -----				
0	4,5	4,6	5,2	5,1	4,9
150	4,6	4,6	5,1	5,1	4,8
300	4,6	4,5	5,2	5,1	4,9
600	4,6	4,6	5,2	5,1	4,9
Media acidez	4,6 a	4,6 a	5,2 a	5,1 a	---
D.M.S	0,08		0,08		
Media -Sat.B.	4,6 b		5,1 a		ns
D.M.S	0,05				

C.V. = 2 %

* médias seguidas por letras distintas minúsculas na linha apresentam diferença estatística, a 5% de probabilidade.

De acordo com CFSMG (1999) na classe de interpretação da disponibilidade para os micronutrientes, entre 0,16-0,35 mg kg⁻¹ a disponibilidade de B é considerada baixa (TABELA 40), portanto pode se dizer que houve uma baixa disponibilidade de B no solo, mesmo tendo sido adicionado uma fonte de micronutrientes (FTE-BR) com 1,8% de B na implantação da cultura. Essa baixa disponibilidade de B pode ser justificada também pelo solo utilizado, pois solos com elevado teor de matéria orgânica

(2,5% e 2,8% de M.O para os solos com V= 60 e 40% respectivamente) ou com alta porcentagem de argila (834 g kg⁻¹) podem fixar o boro e diminuir sua disponibilidade para a soja (RAIJ, 1991).

Goldberg (1997) diz que a adsorção do B é aumentada pelo aumento do pH, da temperatura, do teor de materiais adsorventes e com a diminuição da umidade do solo. Os óxidos de alumínio fixam mais que os óxidos de ferro. Assim em pH 6,0 a adsorção de B é cerca de 20 vezes maior nos óxidos de alumínio do nos óxidos de ferro. Marschner (1995) cita que em solos calcários ou solos com alto teor de argila, ocorre a adsorção de B resultando na formação do ânion B₄O⁷⁻.

TABELA 40 - Boro no solo, em amostras coletadas 120 dias após a aplicação no solo de doses de Si, em função da saturação por bases e acidez residual do fertilizante

Doses de Si	Boro no solo				MÉDIA
	SATURAÇÃO POR BASES				
	40 %		60 %		
	ALTA Acidez	BAIXA Acidez	ALTA Acidez	BAIXA Acidez	
kg ha ⁻¹	-----B - mg kg ⁻¹ -----				
0	0,15	0,17	0,16	0,11	0,15
150	0,15	0,15	0,16	0,07	0,13
300	0,16	0,79	0,21	0,09	0,31
600	0,14	0,48	0,14	0,09	0,21
Media acidez	0,15 b	0,40 a	0,17 a	0,09 b	---
D.M.S	0,11		0,11		
Media Sat.B.	0,25 a		0,13 a		*
D.M.S	0,08				

C.V. = 79%

* médias seguidas por letras distintas maiúsculas ou minúsculas na linha apresentam diferença estatística, a 5% de probabilidade.

Quanto ao enxofre analisado (TABELA 41), verifica-se que houve diferença para as doses de Si e para a saturação por bases. Quanto às doses de Si, apesar da diferença observada, não há uma clara tendência no aumento do S

disponível com o aumento das doses de Si. A dose de Si que proporcionou maior disponibilidade de S foi a de 300 kg ha⁻¹, (52 mg dm⁻³ de S). Este valor é considerado alto em relação ao nível crítico definido por CFMSG (1999).

Com relação à saturação por bases a maior disponibilidade de S na saturação por bases de 60% foi provavelmente devido à mineralização da matéria orgânica do solo. Isso pode ter ocorrido porque a elevação da saturação propicia um aumento na atividade microbiana do solo, que são os responsáveis pela mineralização desta matéria orgânica.

A acidez residual não apresentou diferença estatística, não influenciando, portanto, na disponibilidade de S no solo.

TABELA 41 - Enxofre no solo, em amostras coletadas aos 120 dias após a aplicação no solo de doses de Si, em função da saturação por bases e acidez residual do fertilizante

Doses de Si	Enxofre no solo				MÉDIA
	SATURAÇÃO POR BASES				
	40 %		60 %		
	ALTA Acidez	BAIXA Acidez	ALTA Acidez	BAIXA Acidez	
kg ha ⁻¹	-----S- mg kg ⁻¹ -----				
0	38	34	44	43	40
150	51	43	56	46	49
300	52	47	56	51	52
600	33	39	46	52	42
Media acidez	44 a	41 a	50 a	48 a	---
D.M.S	8,46		8,46		
Media -Sat.B.	42 b		49 a		*
D.M.S	5,98				

C.V. = 26 %

* médias seguidas por letras distintas minúsculas na linha apresentam diferença estatística, a 5% de probabilidade.

Quanto ao cobre e ao zinco disponíveis no solo (TABELA 42 e 43), pode-se notar que estes não foram afetados pela aplicação de Si na forma de silicato ao solo. Porém quando se analisou a saturação por bases, verificou-se

que a menor V = 40% disponibilizou maior teor de Cu no solo (1,9 mg kg⁻¹). Quanto maior o pH menor a disponibilidade destes metais no solo (RAIJ, 1991).

A disponibilidade de Cu no solo foi considerada suficiente de acordo com CFSMG (1999), pois os teores encontrados nunca foram inferiores a 0,13 mg kg⁻¹ e teores entre 1,3-1,8 mg dm⁻³ são considerados adequados e acima desse valor considerado alto.

TABELA 42 -Cobre no solo, em amostras coletadas aos 120 dias após a aplicação no solo de doses de Si, em função da saturação por bases e acidez residual do fertilizante

Doses de Si kg ha ⁻¹	Cobre no solo				MÉDIA
	SATURAÇÃO POR BASES				
	40 %		60 %		
	ALTA Acidez	BAIXA Acidez	ALTA Acidez	BAIXA Acidez	
0	2,3	1,8	1,4	1,4	1,7
150	2,4	1,9	1,4	1,4	1,8
300	1,9	1,5	1,4	1,4	1,6
600	1,2	1,9	1,3	1,4	1,5
Media acidez	1,9 a	1,8 a	1,4 a	1,4 a	---
D.M.S	0,47		0,47		
Media -Sat.B.	1,9 a		1,4 b		ns
D.M.S	0,33				

C.V. = 41%

* médias seguidas por letras distintas minúsculas na linha apresentam diferença estatística, a 5% de probabilidade.

O Zn não apresentou diferença significativa para as saturações por bases estudadas (40% e 60%) e nem para a acidez residual do fertilizante fosfatado utilizado (TABELA 43).

Com relação à disponibilidade de Zn no solo, essa pode ser considerada alta, uma vez que valores acima de 2,2 mg kg⁻¹ são altos de acordo com CFSMG (1999).

TABELA 43 -Zinco no solo, em amostras coletadas aos 120 dias após a aplicação no solo de doses de Si, em função da saturação por bases e acidez residual do fertilizante

Doses de Si kg ha ⁻¹	Zinco no solo				MÉDIA
	SATURAÇÃO POR BASES				
	40 %		60 %		
	ALTA Acidez	BAIXA Acidez	ALTA Acidez	BAIXA Acidez	
	-----Zn- mg kg ⁻¹ -----				
0	7	7	7	4	6
150	7	6	7	4	6
300	6	2	7	5	5
600	2	6	4	5	4
Media acidez	6 a	5 a	6 a	4 a	---
D.M.S	3,27		3,27		
Media -Sat.B.	6 a		5 a		ns
D.M.S	2,31				

C.V. = 83%

* médias seguidas por letras distintas minúsculas na linha apresentam diferença estatística, a 5% de probabilidade.

4.3.2 Concentração de macro e micronutrientes na planta

O Si aplicado na forma de silicato afetou a concentração de Si nas folhas de soja (TABELA 44). Os teores de Si encontrados na planta variaram de 2,4 a 3,0 g kg⁻¹ dentro das doses de silicato, respectivamente para a mais baixa e a mais alta de Si (TABELA 44).

Apesar da soja ser considerada uma cultura com baixa capacidade de acumular Si, é possível observar um aumento nos teores de Si na parte aérea da planta (TABELA 44).

Essa acumulação de Si pela soja, pode ser atribuída ao fato do silicato ter sido colocado na linha de plantio e junto à semente. O fósforo aplicado juntamente com o silicato também ter contribuído para diminuir a retenção do Si na fase sólida do solo e assim aumentar a disponibilidade do elemento para a planta. Vidal (2005) estudando os solos do cerrado verificou que quando se fazia adição de P ao solo ocorria um aumento no teor de Si presente na solução do solo, ou seja, o P tinha maior preferência pelos sítios de adsorção dos sesquióxidos de ferro e alumínio, reduzindo a adsorção de Si. Silva (2001) também verificou que após incubação com fósforo, em solos com variados teores de argila, houve um incremento na disponibilidade de silício.

Quanto à saturação por bases utilizadas de 40% e 60%, esta afetou o Si na folha (TABELA 44), sendo que a maior disponibilidade foi verificada com a maior saturação por bases, que apresentou 3,1 g kg de Si.

TABELA 44- Silício na parte aérea, em amostras coletadas aos 30 dias após o plantio em função de doses de Si, de saturação por bases e da acidez livre do fertilizante

Doses de Si kg ha ⁻¹	Silício na planta - g kg ⁻¹				MÉDIA
	SATURAÇÃO POR BASES				
	40%		60%		
	ALTA Acidez	BAIXA Acidez	ALTA Acidez	BAIXA Acidez	
0	1,6	2,3	3,3	2,4	2,4
150	2,1	2,9	3,6	3,2	2,9
300	2,3	4,1	3,0	2,9	3,1
600	2,1	3,5	3,1	3,2	3,0
Media acidez	2,0 b	3,2 a	3,3 a	3,0 a	---
D.M.S		0,05		0,05	
Media -Sat.B.		2,6 b		3,1 a	*
D.M.S			0,03		

C.V. = 25%

* médias seguidas por letras distintas maiúsculas ou minúsculas na linha apresentam diferença estatística, a 5% de probabilidade.

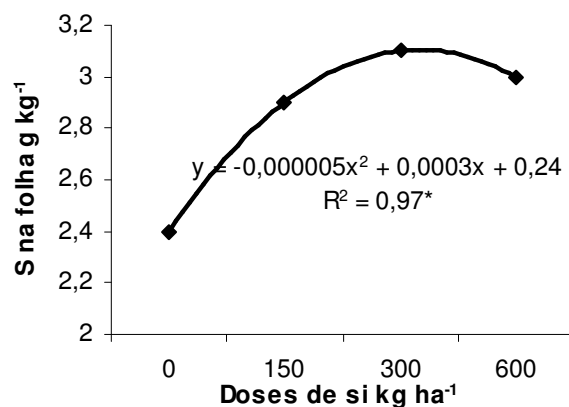


FIGURA 14 - Silício na folha, 30 dias após o plantio da soja em função das doses de Si aplicada.

Analisando a TABELA 45 verifica-se que as doses de Si aplicadas na forma de silicato não influenciaram o teor de Si na folha, quando 50% das

plantas tinham florescido, discordando com os dados obtidos aos 30 dias após o plantio da soja. Isso provavelmente ocorreu porque aos 30 dias após o plantio da soja, plantas inteiras de soja foram analisadas, diferentemente da amostragem feita quando 50% das plantas tinham florescido, onde foi amostrada a 3ª folha a partir do ápice da haste principal da planta (com pecíolo), com as folhas completamente formadas. E segundo Grothge-Lima (1988) o transporte de Si na soja ocorre até certo ponto, a partir do qual o aumento acontece apenas nas raízes, não sendo observado o mesmo para a parte aérea.

Analisando a saturação por bases, verifica-se que a menor (40%) influenciou na concentração de Si pela na folha da soja, sendo assim, quanto se tinha um solo mais ácido a planta de soja foi capaz de acumular mais Si do que quando se tinha um solo mais alcalino. Segundo Oliveira (2004) isso pode ser explicado porque quanto mais alcalino é o pH do solo, provavelmente ocorre um aumento da absorção de cátions como Ca^{2+} e K^+ , diminuindo a absorção de ânions, como o H_3SiO_4^- , isso ocorre devido ao balanço de cargas no sistema radicular da planta.

Na saturação por bases de 60% verifica-se que a acidez residual do fertilizante influenciou nos teores de Si encontrados, sendo este maior quando a acidez foi mais alta.

TABELA 45 - Silício nas folhas, amostradas quando 50% das plantas de soja floresceram, em função de doses de Si, saturação por bases e acidez residual do fertilizante

Doses de Si kg ha ⁻¹	Silício nas folhas				MÉDIA
	SATURAÇÃO POR BASES				
	40%		60%		
	ALTA Acidez	BAIXA Acidez	ALTA Acidez	BAIXA Acidez	
0	3,5	4,2	4,1	1,3	3,3
150	4,5	3,3	4,4	2,6	3,7
300	4,1	3,9	1,7	1,8	2,9
600	4,3	3,5	1,4	3,3	3,1
Media acidez	4,1 a	3,7 a	2,9 a	2,2 b	---
D.M.S		0,06		0,06	
Media Satur.		3,9 a		2,5 b	n.s
D.M.S			0,04		

C.V. = 28%

* médias seguidas por letras distintas minúsculas na linha apresentam diferença estatística, a 5% de probabilidade.

Com relação a concentração de P na parte aérea, não foi verificada diferença significativa para a interação entre as doses de silício e a acidez residual aos 30 dias após o plantio da soja (TABELA 46). Porém para a saturação por bases houve diferença, onde a maior saturação por bases propiciou maior acúmulo de P nas plantas. Isso ocorre porque o maior pH nos tratamentos com V% superior a fixação do P no solo é menor e há uma maior quantidade de P disponível às plantas. Caires e Fonseca (2000), verificaram que doses crescentes de calagem variando entre 0 a 6 t ha⁻¹ proporcionaram uma extração de P para a produção de 1000 kg de grãos de 7,3 e 8,5 kg respectivamente, para a dose mais baixa e mais alta de calagem, ou seja, um pH mais alcalino propicia maior disponibilidade de P do que um pH mais ácido.

O Si aplicado na forma de silicato não foi capaz de aumentar a concentração de P na planta. Melo (2005) estudando o capim-Marandu observou que a aplicação de silício e fósforo promoveram variações nas concentrações e

acúmulos desses elementos na parte aérea do capim- Marandu. Quanto maior a aplicação de P maior foi o Si absorvido.

TABELA 46 - Fósforo na parte aérea, amostrada após 30 dias de plantio da soja, em função de doses de Si, saturação por bases e acidez residual do fertilizante

Doses de Si	Fósforo na planta				MÉDIA
	SATURAÇÃO POR BASES				
	40 %		60 %		
	ALTA Acidez	BAIXA Acidez	ALTA Acidez	BAIXA Acidez	
kg ha ⁻¹	-----P-g kg ⁻¹ -----				
0	2,2	2,2	2,4	2,6	2,3
150	2,4	2,3	2,7	2,4	2,4
300	2,3	2,3	2,2	2,4	2,3
600	2,2	2,1	2,4	2,3	2,2
Media acidez	2,3 a	2,2 a	2,3 a	2,5 a	---
D.M.S	0,12		0,12		
Media -Sat.B.	2,27 b		2,4 a		ns
D.M.S	0,09				

C.V. = 20%

* médias seguidas por letras distintas minúsculas na linha apresentam diferença estatística, a 5% de probabilidade.

A saturação por bases de 60% foi capaz de disponibilizar mais P às plantas, do que a saturação por bases de 40%. Essa maior disponibilidade de P está relacionada ao pH mais elevado e menor fixação de P. Raij (1991) menciona que a solubilidade do P é maior quando o pH está em torno de 6 e, conseqüentemente, a planta absorve mais P.

As doses de Si e a acidez livre do fosfato não afetaram os teores de P encontrados quando 50% das plantas de soja tinham florescido (TABELA 47).

TABELA 47 - Fósforo nas folhas, amostradas quando 50% das plantas de soja floresceram, em função de doses de Si, saturação por bases e acidez residual do fertilizante

Doses de Si	Fósforo nas folhas				MÉDIA
	SATURAÇÃO POR BASES				
	40 %		60%		
	ALTA Acidez	BAIXA Acidez	ALTA Acidez	BAIXA Acidez	
kg ha ⁻¹	-----P- g kg ⁻¹ -----				
0	1,7	1,6	2,0	2,0	1,8
150	1,6	1,7	2,2	1,6	1,8
300	1,6	1,7	2,0	1,7	1,8
600	1,6	1,7	1,6	1,9	1,7
Media acidez	1,6 a	1,7 a	2,0 a	1,8 a	---
D.M.S	0,25		0,25		
Média satur.	1,7 b		1,9 a		ns
D.M.S	0,18				

C.V. = 20%

* médias seguidas por letras distintas minúsculas na linha apresentam diferença estatística, a 5% de probabilidade.

A concentração de cálcio na planta de soja variou com a saturação por bases a maior dose de calcário utilizado fez com que o acúmulo de cálcio na folha fosse maior. Esse acúmulo foi de 12,2 e 14,0 g kg⁻¹, respectivamente para a menor e maior saturação por bases (TABELA 48).

Quanto à acidez residual do fertilizante, esta não influenciou no teor de Ca na planta, como pode ser observado na TABELA 48.

As doses de silicato não influenciaram na acumulação de cálcio pela parte aérea da planta de soja, isso indica que o silicato não teve tempo suficiente para a reação no solo, indicando mais uma vez que se tratou de um silicato de baixa reatividade.

TABELA 48 - Cálcio na parte aérea, em amostra coletada 30 dias após o plantio da soja em função de doses de Si, saturação por bases e acidez residual do fertilizante

Doses de Si	Cálcio na planta				MÉDIA
	SATURAÇÃO POR BASES				
	40 %		60 %		
	ALTA Acidez	BAIXA Acidez	ALTA Acidez	BAIXA Acidez	
kg ha ⁻¹	-----Ca – g kg ⁻¹ -----				
0	12,1	12,1	14,2	13,4	12,9
150	12,5	12,1	14,3	13,7	13,1
300	12,6	12,1	13,5	14,3	13,1
600	12,9	11,7	13,9	14,2	13,2
Media - acidez	12,5 b	12,0 b	14,0 a	13,9 a	---
D.M.S	0,43		0,43		
Media -Sat.B.	12,2 b		14,0 a		ns
D.M.S	0,30				

C.V. = 4%

* médias seguidas por letras distintas minúsculas na linha apresentam diferença estatística, a 5% de probabilidade.

A análise de Ca na folha quando 50% das plantas tinham florescido (TABELA 49), mostrou que não foi houve diferença entre os tratamentos para as doses de Si, saturação por bases e acidez residual do fertilizante.

A faixa de suficiência pra o Ca na cultura da soja situa-se em torno de 10 g kg⁻¹ (CFSMG,1999) e nota-se que os teores encontrados variaram de 8 a 10 g kg⁻¹, ou seja, os teores encontrados podem ser considerados como satisfatórios para a cultura da soja.

TABELA 49- Cálcio nas folhas, amostradas quando 50% das plantas de soja floresceram, em função de doses de Si, saturação por bases e acidez residual do fertilizante

Doses de Si	Cálcio nas folhas				MÉDIA
	SATURAÇÃO POR BASES				
	40%		60%		
	ALTA Acidez	BAIXA Acidez	ALTA Acidez	BAIXA Acidez	
kg ha ⁻¹	-----Ca- g kg ⁻¹ -----				
0	9	9	10	10	9
150	8	10	10	8	9
300	8	9	8	8	8
600	9	10	8	9	9
Media acidez	9 a	9a	9 a	9 a	---
D.M.S	0,95		0,95		
Média Satur.	9 a		9 a		ns
D.M.S	0,67				

C.V. = 15%

* médias seguidas por letras distintas minúsculas na linha apresentam diferença estatística, a 5% de probabilidade.

O fato observado para o Ca na planta também ocorreu com o Mg aos 30 após o plantio da soja (TABELA 50), isto é, com uma saturação por bases de 60% a capacidade da planta em acumular Mg no tecido vegetal foi maior, pois o Mg trocável presente no solo estava em maior quantidade do que quando se tinha uma saturação por bases de 40%, o que possibilitou a planta uma maior absorção.

As doses de Si na forma de silicato não influenciaram nos teores de Mg na planta.

TABELA 50 - Magnésio na parte aérea, em amostras coletada 30 dias após o plantio da soja em função de doses de Si, saturação por bases e acidez residual do fertilizante

Doses de Si	Magnésio na planta				MÉDIA
	SATURAÇÃO POR BASES				
	40 %		60 %		
	ALTA Acidez	BAIXA Acidez	ALTA Acidez	BAIXA Acidez	
kg ha ⁻¹	-----Mg-g kg ⁻¹ -----				
0	4,0	4,0	4,8	4,8	4,4
150	4,2	4,0	4,8	4,7	4,4
300	4,3	4,0	4,6	4,9	4,4
600	4,3	3,9	4,7	4,7	4,4
Media acidez	4,2 b	4,0 b	4,7 a	4,8 a	---
D.M.S	0,20		0,20		
Media -Sat.B.	4,1 b		4,7 a		ns
D.M.S	0,14				

C.V. = 6%

* médias seguidas por letras distintas minúsculas na linha apresentam diferença estatística, a 5% de probabilidade.

O teor de Mg na folha quando 50% das plantas tinham florescido não foi significativa para as doses de Si, bem como para saturação por bases e para acidez residual do fertilizante (TABELA 51).

O teor considerado por CFSMG (1999) como sendo suficientes para a cultura da soja, é em torno de 4,0 g kg⁻¹. Isso significa que as plantas de soja estavam deficientes em magnésio, porque provavelmente a fonte de silicato utilizada não reagiu ou reagiu pouco com o solo e, conseqüentemente, não disponibilizou Si às plantas e nem Mg. De acordo com Miranda (1993) em se tratando de nutrientes nas folhas de soja, de modo geral, há uma tendência a acréscimo nos teores de N, Ca, Mg e P com o aumento das doses de calcário e decréscimo nos teores de K, Zn e Mn. Estando este efeito relacionado com o aumento do pH sobre a disponibilidade de nutrientes.

TABELA 51 - Magnésio nas folhas, amostradas quando 50% das plantas de soja floresceram, em função de doses de Si, saturação por bases e acidez residual do fertilizante

Doses de Si	Magnésio nas folhas				MÉDIA
	SATURAÇÃO POR BASES				
	40%		60%		
	ALTA Acidez	BAIXA Acidez	ALTA Acidez	BAIXA Acidez	
kg ha ⁻¹	-----Mg-g kg ⁻¹ -----				
0	2,7	3,0	3,4	3,5	3,2
150	2,6	3,2	3,1	2,5	2,8
300	2,8	2,9	2,7	2,6	2,8
600	2,8	3,1	2,7	2,8	2,8
Media acidez.	2,8 a	3,0 a	3,0 a	2,8 a	---
D.M.S	0,32		0,32		
Media Satur.	2,9 a		2,9 a		ns
D.M.S	0,22				

C.V. = 15 %

* médias seguidas por letras distintas minúsculas na linha apresentam diferença estatística, a 5% de probabilidade.

O silicato aplicado ao solo não afetou o teor de K encontrado na parte aérea após 30 dias do plantio (TABELA 52).

Ainda de acordo com os teores de K na parte aérea, verifica-se na TABELA 52 que a saturação por bases de 40% e de 60% não influenciaram no teor de K, bem como a acidez residual alta e baixa do fertilizante fosfatado.

TABELA 52 - Potássio na parte aérea, amostrada coletada após 30 dias do plantio da soja, em função de doses de Si, saturação por bases e acidez residual do fertilizante

Doses de Si	Potássio na planta				MÉDIA
	SATURAÇÃO POR BASES				
	40 %		60 %		
	ALTA Acidez	BAIXA Acidez	ALTA Acidez	BAIXA Acidez	
kg ha ⁻¹	-----K- g kg ⁻¹ -----				
0	23,8	24,0	24,1	24,6	24,1
150	24,7	23,7	24,6	24,3	24,3
300	24,8	23,8	23,7	23,8	24,1
600	24,0	24,2	24,6	24,2	24,3
Media acidez	24,3 a	23,9 a	24,2 a	24,2 a	---
D.M.S	0,92		0,92		
Media -Sat.B.	24,1 a		24,2 a		ns
D.M.S	0,62				

C.V.= 5 %

* médias seguidas por letras distintas minúsculas na linha apresentam diferença estatística, a 5% de probabilidade.

Com relação ao K nas folhas quando 50% das plantas tinham florescido, pode-se notar que não houve diferenças para a saturação por bases de 40% e 60 %, para a acidez residual do fertilizante alta ou baixa e para as doses de Si.

Quanto aos teores encontrados, vê-se na TABELA 53 que o teor médio foi de 14,2 g kg⁻¹ quando 50 % das plantas tinham florescido. CFSMG (1999) cita que o teor de suficiência para o K na folha da soja é de 17,0 g kg⁻¹. Nota-se então uma ligeira deficiência deste nutriente nas plantas, isso pode ser devido ao cultivo em vasos, que pode ter limitado o desenvolvimento das raízes e conseqüentemente afetou a absorção do nutriente.

TABELA 53- Potássio nas folhas, amostradas quando 50% das plantas de soja floresceram, em função de doses de Si, saturação por bases e acidez residual do fertilizante.

Doses de Si	Potássio nas folhas				MÉDIA
	SATURAÇÃO POR BASES				
	40%		60%		
	ALTA Acidez	BAIXA Acidez	ALTA Acidez	BAIXA Acidez	
kg ha ⁻¹	-----K- g kg ⁻¹ -----				
0	14,5	15,6	16,5	14,7	15,3
150	13,8	15,3	14,2	13,6	14,2
300	15,5	14,1	13,7	13,0	14,1
600	14,7	11,5	14,0	13,6	13,4
Media acidez	14,6 a	14,1 a	14,6 a	13,7 a	---
D.M.S	1,58		1,58		
Média satur.	14,4 a		14,1 a		ns
D.M.S	1,11				

C.V = 15 %

* médias seguidas por letras distintas minúsculas na linha apresentam diferença estatística, a 5% de probabilidade.

A capacidade da planta de soja em acumular Fe não foi afetada pelas doses de silício, pela saturação por bases e pela acidez residual do fertilizante, porém pode-se perceber que em pH mais ácido (pH < 5,0) a disponibilidade do Fe para as plantas tendem a ser sempre maior do que com um pH mais alcalino (pH > 5,5) (TABELA 54). De acordo com Lopes (1977) a maior disponibilidade de Fe está na faixa de pH 4,0 a 6,0.

TABELA 54 - Ferro na parte aérea, em amostra coletada 30 dias após o plantio da soja em função de doses de Si, saturação por bases e acidez residual do fertilizante

Doses de Si	Ferro na planta				MÉDIA
	SATURAÇÃO POR BASES				
	40 %		60 %		
	ALTA Acidez	BAIXA Acidez	ALTA Acidez	BAIXA Acidez	
kg ha ⁻¹	-----Fe-mg kg ⁻¹ -----				
0	227	330	222	234	266
150	218	211	227	247	226
300	251	260	198	203	228
600	240	275	203	240	240
Media acidez.	246 a	269 a	212 a	231 a	---
D.M.S	44,7		44,7		
Media -Sat.B.	258 a		222 b		ns
D.M.S	31,60				

C.V. = 26 %

* médias seguidas por letras distintas minúsculas na linha apresentam diferença estatística, a 5% de probabilidade.

As doses de Si influenciaram no teor de ferro na folha (TABELA 55 e FIGURA 28). O teor de Fe na folha variou de 161 a 123 mg kg⁻¹, respectivamente nas doses de 150 a 600 kg ha⁻¹ de Si. Pode-se assim dizer que o silício influenciou no teor de Fe na folha, diminuindo a concentração de Fe na folha, concordando com Epstein (1999) que diz que o silício é capaz de reduzir o efeito de estresse ocasionado pela toxidez de metais como o Fe.

Os teores de ferro encontrados foram maiores do que os teores que CFMSG (1999) dizem como sendo suficiente para a cultura, em torno de 50 mg kg⁻¹.

Com relação à acidez residual do fertilizante e das saturações por bases, verifica-se este não influenciaram nos teores de Fe encontrados na folha de soja.

TABELA 55 - Ferro nas folhas, quando 50% das plantas de soja floresceram, em função de doses de Si, saturação por bases e acidez residual do fertilizante.

Doses de Si	Ferro nas folhas				MÉDIA
	SATURAÇÃO POR BASES				
	40%		60%		
	ALTA Acidez	BAIXA Acidez	ALTA Acidez	BAIXA Acidez	
kg ha ⁻¹	-----Fe- mg kg ⁻¹ -----				
0	143	157	129	142	143
150	199	147	123	177	161
300	140	117	146	147	137
600	119	106	147	122	123
Media acidez	151 a	132 a	137 a	147 a	---
D.M.S	25,9		25,9		
Média satur.	141 a		142 a		*
D.M.S	18,3				

C.V= 25 %

* médias seguidas por letras distintas minúsculas na linha apresentam diferença estatística, a 5% de probabilidade.

A concentração de Mn na planta de soja foi fortemente influenciada pela saturação por bases, resultante do aumento do pH ocasionado pela aplicação da fonte de silício (RAIJ, 1991). Assim, com a disponibilidade reduzida, a planta absorveu menos Mn (TABELA 56), onde se pode notar que a concentração de Mn na planta quando a saturação por bases foi de 60% foi de 68,3 mg kg⁻¹, cerca de 40% menor em relação aos tratamentos com 40% de V. Caires e Fonseca (2000) em um estudo de absorção de nutrientes pela cultura da soja em função da calagem superficial em sistema de plantio direto observaram uma redução da absorção de Zn e Mn pela soja, com a calagem, devido ao aumento do pH nas camadas superficiais do solo.

A importância da calagem para a cultura da soja deve-se aos seus efeitos sobre a neutralização da acidez do solo, ao aumento do pH (RAIJ et al., 1977), à redução do alumínio e manganês tóxicos (MASCARENHAS et al., 1982).

De acordo com Epstein (1999), 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.

A acidez do fertilizante influenciou no teor de Mn na planta apenas na saturação por bases de 40%, onde a alta acidez proporcionou menor teor de Mn.

TABELA 56- Manganês na parte aérea, em amostra coletada 30 dias após o plantio da soja em função de doses de Si, saturação por bases e acidez residual do fertilizante

Doses de Si kg ha ⁻¹	Manganês na planta				MÉDIA
	SATURAÇÃO POR BASES				
	40 %		60 %		
	ALTA Acidez	BAIXA Acidez	ALTA Acidez	BAIXA Acidez	
	-----Mn-mg kg ⁻¹ -----				
0	106	111	77	67	90
150	122	98	74	79	93
300	120	99	59	69	86
600	111	109	63	56	85
Media acidez	104 b	115 a	68 a	68 a	---
D.M.S	9,03		9,03		
Media -Sat.B.	109,9a		68,3 b		ns
D.M.S	6,38				

C.V. = 14%

* médias seguidas por letras distintas minúsculas na linha apresentam diferença estatística, a 5% de probabilidade.

Os teores de Mn nas folhas mostrados na TABELA 57, não foram influenciados pelas doses de Si aplicadas ao solo.

Analisando ainda a TABELA 57, verifica-se que a saturação por bases de 40% apresentou uma diferença significativa, ou seja, foi maior do que quando se tinha uma saturação por bases menor, de acordo com Malavolta et al. (1997) o excesso de calagem pode indisponibilizar nutrientes como o Mn. A acidez residual do fertilizante alta não apresentou diferença estatística para os teores de Mn encontrados nas folhas.

De acordo com CFSMG (1999), a faixa de suficiência para a cultura da soja de Mn é de 20 mg kg⁻¹, e os teores encontrados nesse estudo apresentaram uma média de 53 mg kg⁻¹, quando 50% das plantas tinham florescido.

TABELA 57 - Manganês nas folhas, amostradas quando 50% das plantas de soja floresceram, em função de doses de Si, saturação por bases e acidez residual do fertilizante.

Doses de Si kg ha ⁻¹	Manganês nas folhas				MÉDIA
	SATURAÇÃO POR BASES				
	40%		60%		
	ALTA Acidez	BAIXA Acidez	ALTA Acidez	BAIXA Acidez	
	-----Mn-mg kg ⁻¹ -----				
0	58	57	54	50	55
150	58	56	55	51	55
300	58	60	53	46	54
600	63	64	43	50	55
Media acidez	59 a	59 a	51 a	49 a	---
D.M.S	4,95		4,95		
Media Satur.	59 a		50 b		ns
D.M.S	3,50				

C.V. = 12 %

* médias seguidas por letras distintas minúsculas na linha apresentam diferença estatística, a 5% de probabilidade.

O Zn no tecido vegetal também foi influenciado pela saturação por bases, como mostra a TABELA 58, e mais uma vez devido ao efeito do pH do solo. Caíres e Fonseca (2000) também verificaram uma redução da absorção de Zn pela soja com a calagem. Resultados semelhantes foram obtidos por Mascarenhas et al. (1988), que observaram decréscimo de Zn nos teores foliares, em consequência da correção da acidez do solo, o que não foi suficiente para acarretar deficiência do elemento, mesmo na dose mais elevada de calcário (pH em CaCl₂ 6,1 e 78% de saturação por bases).

O aumento do pH a disponibilidade de Zn para as plantas diminuiu. E é observada uma tendência da acidez residual do fertilizante em influenciar a

absorção de Zn pela planta. Assim, quanto maior a acidez residual maior o teor de Zn acumulado na folha (TABELA 58).

A aplicação de silicato não influenciou no teor de Zn encontrado na parte aérea.

TABELA 58 - Zinco na parte aérea, em amostra coletada 30 dias após o plantio da soja em função de doses de Si, saturação por bases e acidez residual do fertilizante

Doses de Si kg ha ⁻¹	Zinco na planta				MÉDIA
	SATURAÇÃO POR BASES				
	40 %		60 %		
	ALTA Acidez	BAIXA Acidez	ALTA Acidez	BAIXA Acidez	
	-----Zn- mg kg ⁻¹ -----				
0	53	41	33	31	40
150	47	42	38	34	40
300	46	42	36	39	41
600	52	40	37	35	41
Media acidez.	50 a	41 b	36 a	34 a	---
D.M.S	3,98		3,98		
Media -Sat.B.	45 a		36 b		ns
D.M.S	2,81				

C.V. = 14%

* médias seguidas por letras distintas minúsculas na linha apresentam diferença estatística, a 5% de probabilidade.

A adição de Si ao solo na forma de silicato não influenciou nos teores de Zn encontrados na folha (TABELA 59).

A acidez livre ou residual do fertilizante, não influenciou nos teores de Zn nas folhas (TABELA 59). Analisando a saturação por bases, nota-se que estas influenciaram nos teores de Zn nas folhas. Quando a saturação por bases foi de 60% a planta de soja foi capaz de acumular mais Zn, do que quando se tinha um V = 40%, isso porque a disponibilidade do Zn é maior quando se tem um pH mais elevado.

Os teores encontrados estavam dentro da faixa considerada suficiente para a cultura de acordo com CFSMG (1999), em torno de 20 mg kg⁻¹, analisando os teores encontrados na saturação por bases de 40% verifica-se que este ficou abaixo da faixa considerada suficiente. Isso porque o pH interfere nos teores de Zn no solo e conseqüentemente o absorvido pelas plantas (MIRANDA, 1993).

TABELA 59 - Zinco nas folhas, amostradas quando 50% das plantas de soja floresceram, em função de doses de Si, saturação por bases e acidez residual do fertilizante

Doses de Si kg ha ⁻¹	Zinco nas folhas				MÉDIA
	SATURAÇÃO POR BASES				
	40%		60%		
	ALTA Acidez	BAIXA Acidez	ALTA Acidez	BAIXA Acidez	
0	21	16	14	27	20
150	13	11	23	32	20
300	10	12	34	28	21
600	11	8	29	25	18
Media acidez	14 a	12 a	25 a	28 a	---
D.M.S	5,40		5,40		
Media Satur.	13 b		26 a		ns
D.M.S	3,82				

C.V. = 38 %

* médias seguidas por letras distintas minúsculas na linha apresentam diferença estatística, a 5% de probabilidade.

Para o teor de Cu nas plantas aos 30 dias após o plantio da soja, não foi observada diferença significativa para a saturação de bases utilizada e nem para a acidez residual do fertilizante fosfatado. Com relação ao Si aplicado na forma de silicato, também não foi observada diferença significativa, ou seja, o Si não foi capaz de influenciar nos teores de Cu nas plantas de soja (TABELA 60).

TABELA 60 - Cobre na parte aérea, amostrada após 30 dias de plantio da soja, em função de doses de Si, saturação por bases e acidez residual do fertilizante

Doses de Si kg ha ⁻¹	Cobre na planta				MÉDIA
	SATURAÇÃO POR BASES				
	40 %		60 %		
	ALTA Acidez	BAIXA Acidez	ALTA Acidez	BAIXA Acidez	
	-----Cu-mg kg ⁻¹ -----				
0	6,0	4,2	5,0	5,0	5,1
150	4,5	4,2	4,2	5,0	4,5
300	4,5	4,7	4,5	4,5	4,5
600	4,7	4,7	5,5	5,2	5,0
Media acidez.	4,9 a	4,5 a	4,8 a	4,9 a	---
D.M.S	0,65		0,65		
Media - Sat.B.	4,7 a		4,8 a		ns
D.M.S	0,46				

C.V = 20%

* médias seguidas por letras distintas minúsculas na linha apresentam diferença estatística, a 5% de probabilidade.

Quando aos teores de Cu encontrados na época em que 50% das plantas floresceram (TABELA 61), estes não apresentaram diferenças significativas para as doses de Si aplicadas ao solo, porém os teores encontrados foram menores do que aqueles indicados como suficientes para a cultura da soja, de acordo com a Comissão de fertilidade do solo do estado de Minas Gerais (CFSMG,1999) que diz que a faixa de suficiência para a cultura é de 10 mg kg⁻¹. Apesar de ter sido utilizada uma fonte de Cu (FTE-BR) a quantidade aplicada ao solo pode ter sido insuficiente para a cultura da soja, por isso os baixos teores encontrados na análise realizada.

Não houve diferença no teor de Cu nas folhas quando se tinha uma saturação por bases de 40% ou de 60%. Quanto à acidez residual do fertilizante, verificou-se uma diferença significativa quando a acidez residual era alta na saturação por base de 60% (TABELA 61).

TABELA 61 - Cobre nas folhas, quando 50% das plantas de soja floresceram, em função de doses de Si, saturação por bases e acidez residual do fertilizante

Doses de Si	Cobre nas folhas				MÉDIA
	SATURAÇÃO POR BASES				
	40%		60%		
	ALTA Acidez	BAIXA Acidez	ALTA Acidez	BAIXA Acidez	
kg ha ⁻¹	-----Cu- mg kg ⁻¹ -----				
0	1	1	2	1	1
150	1	1	2	1	1
300	1	1	4	1	2
600	1	1	2	1	1
Media acidez	1 a	1 a	3 a	1 b	---
D.M.S	0,53		0,53		
Média satur.	1 a		2 a		ns
D.M.S	0,37				

C.V. = 52%

* médias seguidas por letras distintas minúsculas na linha apresentam diferença estatística, a 5% de probabilidade.

Verifica-se na TABELA 62, que o teor médio encontrado de B no tecido foliar foi em torno de 95,0 mg kg⁻¹, bem acima daquele considerado suficiente, que é de 20 mg kg⁻¹. Isso pode ser devido à aplicação de B feito na forma de FTE-BR12 no sulco de plantio, o que pode ter disponibilizado mais boro, pois este estava em contato direto com a raiz da planta.

O silicato aplicado não influenciou no teor de B nas plantas, assim como a saturação por bases de 40% e 60% e acidez residual alta e baixa.

De acordo com Malavolta et al. (1997) foi verificada interação positiva entre o silício e o boro em *Brassica napus*, pois a adição de silício aumentou a matéria seca da raiz e da parte aérea em níveis baixos de suprimento por boro, sugerindo que o silício estimula a absorção e o transporte de boro nestas condições, com aumento significativo de fotossíntese.

A importância relativa do B e do Si nas células primárias da parede celular depende das espécies das plantas. Marschner (1995) diz que espécies de

gramíneas e dicotiledôneas diferem muito na sua composição da parede celular e no requerimento de B o qual é oposto a capacidade das plantas em absorver e apresentar respostas ao suprimento de silício.

TABELA 62- Boro na parte aérea, amostrada após 30 dias do plantio da soja, em função de doses de Si, saturação por bases e acidez residual do fertilizante

Doses de Si kg ha ⁻¹	Boro na planta				MÉDIA
	SATURAÇÃO POR BASES				
	40 %		60 %		
	ALTA Acidez	BAIXA Acidez	ALTA Acidez	BAIXA Acidez	
	-----B-mg kg ⁻¹ -----				
0	83,2	90,6	81,1	89,4	86,1
150	96,9	100,0	79,5	106,3	95,7
300	95,4	100,9	99,3	85,2	95,2
600	92,8	95,1	85,5	103,2	94,2
Media acidez	92,1 a	96,6 a	86,4 a	96,0 a	---
D.M.S	18,8		18,8		
Media -Sat.B.	94,4 a		91,2 a		ns
D.M.S	13,3				

C.V. = 28%

* médias seguidas por letras distintas minúsculas na linha apresentam diferença estatística, a 5% de probabilidade.

O acúmulo de S na planta apresentou diferença significativa para a saturação de bases, ou seja, quando a saturação por bases foi maior, menor foi o teor de S nas plantas.

As doses de Si, aplicadas na forma de silicato e a acidez residual não afetaram na disponibilidade de S para as plantas, como mostra a TABELA 63.

TABELA 63 - Enxofre na parte aérea, amostrada após 30 dias do plantio da soja, em função de doses de Si, saturação por bases e acidez residual do fertilizante

Enxofre na planta					
Doses de Si	SATURAÇÃO POR BASES				MÉDIA
	40%		60%		
	ALTA Acidez	BAIXA Acidez	ALTA Acidez	BAIXA Acidez	
kg ha ⁻¹	-----S- g kg ⁻¹ -----				
0	1,72	1,67	1,75	1,50	1,66
150	1,85	1,65	1,40	1,35	1,55
300	1,95	1,75	1,27	1,40	1,59
600	1,57	1,65	1,52	1,32	1,51
Media acidez	1,77 a	1,67 a	1,48 a	1,39 a	---
D.M.S	0,16		0,16		
Média satur.	1,72 a		1,44 b		ns
D.M.S	0,11				

C.V. =15%

* médias seguidas por letras distintas minúsculas na linha apresentam diferença estatística, a 5% de probabilidade.

Com relação aos resultados obtidos para o S na folha, não foi verificado nenhuma diferença estatística para as doses de Si aplicadas na forma de silicato como mostra a TABELA 63.

De acordo com CFSMG (1999) o teor considerado suficiente para a cultura da soja é de 2,5 g kg⁻¹, valor este superior ao encontrado no estudo realizado, indicando que houve uma deficiência com relação a este nutriente durante o desenvolvimento da cultura.

Houve diferenças significativas para a saturação por bases de 60%, esse resultado pode ser atribuído ao pH mais elevado quando se tinha a saturação por base de 60%, pois segundo Raij (1991) a aplicação de calcário causa o aumento do pH e a liberação de sulfatos adsorvidos.

O S não foi afetado pela acidez livre do fosfato (TABELA 64).

TABELA 64 - Enxofre nas folhas, amostradas quando 50% das plantas de soja floresceram, em função de doses de Si, saturação por bases e acidez residual do fertilizante

Doses de Si	Enxofre nas folhas				MÉDIA
	SATURAÇÃO POR BASES				
	40 %		60%		
	ALTA Acidez	BAIXA Acidez	ALTA Acidez	BAIXA Acidez	
kg ha ⁻¹	-----S-g kg ⁻¹ -----				
0	1,6	1,5	1,9	1,5	1,6
150	1,7	1,6	1,7	1,7	1,7
300	1,6	1,6	1,9	1,6	1,7
600	1,7 a	1,7	1,7	1,6	1,7
Media acidez	1,6 a	1,6 a	1,7 a	1,7 a	--
D.M.S	0,12		0,12		
Média satur.	1,6 b		1,7 a		ns
D.M.S	0,08				

C.V. = 10%

* médias seguidas por letras distintas minúsculas na linha apresentam diferença estatística, a 5% de probabilidade.

Quanto ao nitrogênio na planta, este não foi influenciado pelas doses de Si aplicado (TABELA 65), concordando com dados de Mauad et al. (2003) que estudando a adubação silicatada e nitrogenada na cultura do arroz verificaram que às doses de Si, não afetaram os teores de N absorvidos.

Houve uma diferença significativa para as saturações utilizadas (40% e 60%), observando a TABELA 65, verifica-se que a saturação por bases maior disponibilizou mais N às plantas, discordando com dados de Caires (1998), que não observou alterações significativas dos teores de N nas folhas da soja com aplicação de doses de calcário na superfície, apesar de a calagem exercer efeitos benéficos sobre o processo biológico de fixação de N, associados principalmente com a maior disponibilidade de Mo e redução da acidez do solo.

TABELA 65 - Nitrogênio na parte aérea, amostrada após 30 do plantio da soja, em função de doses de Si, saturação por bases e acidez residual do fertilizante

Doses de Si	Nitrogênio na planta				MÉDIA
	SATURAÇÃO POR BASES				
	40%		60%		
	ALTA Acidez	BAIXA Acidez	ALTA Acidez	BAIXA Acidez	
kg ha ⁻¹	-----N-g kg ⁻¹ -----				
0	31,5	33,7	37,0	33,5	33,9
150	32,7	33,2	37,5	36,2	34,9
300	37,2	33,0	32,7	34,5	34,3
600	32,0	33,7	35,0	31,7	33,1
Media acidez	33,3 a	33,4 a	35,5 a	34,0 a	---
D.M.S	0,19		0,19		
Média satur.	33,4 b		34,7 a		ns
D.M.S	0,13				

C.V. = 7%

* médias seguidas por letras distintas minúsculas na linha apresentam diferença estatística, a 5% de probabilidade.

Analisando a TABELA 66, os dados mostram que o número de nódulos por vaso não sofreu nenhuma influência da saturação por bases, das doses de Si e da acidez livre residual do fertilizante. Porém estudos indicam que a calagem influencia na nodulação da soja. Segundo Samarão (1986) a dose de calcário (6t ha⁻¹) provoca diminuição do peso seco dos nódulos. Estes resultados talvez tenham sido influenciados pela liberação de Mo no solo.

Os dados aqui encontrados discordam de Nelwamondo e Dakora (1999) que concluíram que o silício influencia na biomassa total nodulada em feijão caupi, quando este foi cultivado em solução nutritiva.

TABELA 66 - Número total de nódulos por vaso, amostrados (120 dias) ao final do ciclo da soja, em função de doses de Si, saturação por bases e acidez residual do fertilizante

Doses de Si	Numero de nódulos				MÉDIA
	SATURAÇÃO POR BASES				
	40 %		60%		
	ALTA Acidez	BAIXA Acidez	ALTA Acidez	BAIXA Acidez	
kg ha ⁻¹	-----Número de nódulos vaso ⁻¹ -----				
0	279	284	344	243	288
150	319	187	284	292	270
300	264	230	190	383	267
600	321	322	260	275	294
Media acidez	296 a	256 a	270 a	298 a	---
D.M.S	74,6		74,6		
Média satur.	276 a		284 a		ns
D.M.S	52,8				

C.V. = 37%

* médias seguidas por letras distintas minúsculas na linha apresentam diferença estatística, a 5% de probabilidade.

Os dados de peso seco de plantas aos 15 dias do plantio (TABELA 67) mostram que esta variável não foi afetada pelas doses de Si e nem pela saturação por bases e a acidez residual do fertilizante. No entanto, observa-se que o peso seco das plantas foi pequeno, justificado pela época em que foi feita a coleta da amostra, 15 dias após a semeadura. Segundo Bataglia e Mascarenhas (1997) o acúmulo de matéria seca é relativamente lento nos 30 dias posterior a semeadura sofrendo um incremento considerável em seguida, até aproximadamente 90 dias, quando a fase vegetativa atinge o máximo. A matéria seca total continua aumentando até 120 dias aproximadamente (grãos maduros) apesar da queda principalmente de folha que se verifica nessa ocasião.

TABELA 67 - Peso seco de plantas de soja, aos 15 dias de plantio da soja, em função de doses de Si, saturação por bases e acidez residual do fertilizante

Doses de Si	Peso seco de plantas				MÉDIA
	SATURAÇÃO POR BASES				
	40 %		60%		
	ALTA Acidez	BAIXA Acidez	ALTA Acidez	BAIXA Acidez	
kg ha ⁻¹	-----Peso seco - g vaso ⁻¹ -----				
0	8,0	8,2	6,6	6,9	7,4
150	7,9	7,8	8,9	6,9	7,9
300	7,2	7,4	8,3	7,5	7,6
600	7,7	7,6	8,0	7,7	7,8
Media acidez	7,7 a	7,8 a	8,0 a	7,3 a	---
D.M.S	0,93		0,93		
Média satur.	7,78 a		7,66 a		ns
D.M.S	0,66				

C.V. = 17%

* médias seguidas por letras distintas minúsculas na linha apresentam diferença estatística, a 5% de probabilidade.

Nas TABELAS 68 e 69 estão apresentados, o número total de vagens e peso de grãos. Verifica-se que a alta acidez livre residual do fosfato quando da saturação por bases de 60% foi capaz de diminuir o número de vagens e o peso dos grãos, indicando que esta acidez estaria prejudicando a produtividade.

O silicato aplicado ao solo não foi capaz de influenciar no número de vagens por planta e no peso de grãos, na cultura da soja, (TABELA 68 e 69).

O alto coeficiente de variação encontrado para o número de grãos e produção de grãos se deve à variação experimental ocorrida durante a condução do experimento, temperaturas elevadas dentro da casa-de-vegetação podem ter influenciado nestes dois fatores, número e produção de grãos.

TABELA 68 - Número total de vagens por vaso, ao final do ciclo da soja em função de doses de Si, saturação por bases e acidez residual do fertilizante

Doses de Si	Número de vagens				MÉDIA
	SATURAÇÃO POR BASES				
	40 %		60%		
	ALTA Acidez	BAIXA Acidez	ALTA Acidez	BAIXA Acidez	
kg ha ⁻¹	-----Vagens vaso ⁻¹ -----				
0	62	95	66	93	79
150	120	128	92	86	106
300	98	85	46	133	91
600	118	83	94	128	106
Media acidez	100 a	98 a	75 b	110 a	---
D.M.S	32,6		32,6		
Média satur.	99 a		92 a		ns
D.M.S	23,1				

C.V. = 48%

* médias seguidas por letras distintas minúsculas na linha apresentam diferença estatística, a 5% de probabilidade.

TABELA 69 - Efeito de doses de Si, da saturação por bases e acidez residual do fertilizante sobre a produção de grãos de soja

Doses de Si	Produção de grãos				MÉDIA
	SATURAÇÃO POR BASES				
	40 %		60%		
	ALTA Acidez	BAIXA Acidez	ALTA Acidez	BAIXA Acidez	
kg ha ⁻¹	-----Peso-g vaso ⁻¹ -----				
0	32,6	49,9	34,5	48,4	41,4
150	62,9	66,8	48,1	44,8	55,6
300	51,5	44,3	24,4	74,6	48,7
600	61,5	43,5	49,0	91,8	61,5
Méd acidez	52,1 a	51,1 a	39,0 b	65,1 a	---
D.M.S	19,1		19,1		
Média satur.	51,6 a		52,0 a		ns
D.M.S	13,5				

C.V. = 52%

* médias seguidas por letras distintas minúsculas na linha apresentam diferença estatística, a 5% de probabilidade.

4.4 CONCLUSÕES

- O Si aplicado na forma de silicato não foi capaz de aumentar a disponibilidade do P para a cultura da soja;
- O Si não afetou o número de vagens e a produção de grãos, assim como a quantidade de nódulos das plantas da soja;
- Aplicação de Si na forma de silicato, aumentou a disponibilidade de Si no solo e elevou o pH do solo, somente aos 30 dias após o plantio da soja.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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.

ANGHINONI, I. Uso de fósforo pelo milho afetado pela fração de solo fertilizada com fosfato solúvel. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.16, n.2, p.349-353, 1992.

BARBOSA, D. S. et al. Correção da acidez do solo em profundidade e disponibilidade de silício proporcionados pela aplicação silicato e calcário em lisímetros (compact disc). In: SIMPOSIO SOBRE SILÍCIO NA AGRICULTURA, 2., 2003. **Anais...** Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2003.

BATAGLIA, O.C.; MASCARENHAS, H. A. A. Absorção de nutrientes pela soja. **Boletim Técnico Instituto Agrônomo**. Campinas. n.41.p. 1-36, 1997.

BÉLANGER, R.R.; MENZIES, J.G. 2002. How does silicon protect plants against disease? Dogma versus new hypothesis. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE OLERICULTURA, 42., 2002, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia: UFU, 2002. 1 CD-Room.

BÉLANGER, R.R.; BOWEN, P.; EHRET, D.L.; MENZIES, J.G. Soluble silicon: its role in crop and disease management of greenhouse crops. **Plants Disease**, Canada, v.79, n.4, p.329-336, 1995.

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, 27p.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária, Laboratório Nacional de Referência Vegetal. **Análise de**

corretivos, fertilizantes e inoculantes métodos oficiais. Brasília, DF, 1983.104p.

BÜLL, L.T.; FORLI, F.; TECCHIO, M.A.; CORRÊA, J.C. Relação entre fósforo extraído por resina e resposta da cultura do alho vernalizado à adubação fosfatada em cinco solos com e sem adubação orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.22, p.459-470, 1998.

CAIRES, E. F. et al, Alterações de características químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados em superfície em sistema de cultivo sem preparo de solo, **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v.22, p.27 - 34, 1998.

CAIRES, E. F.; FONSECA, A. F. Absorção de nutrientes pela soja cultivada no sistema de plantio direto em função da calagem na superfície. **Bragantia**, Campinas, v.59, n.2, p.213-220, 2000.

CARDOSO, K. **Aplicação de silicato de cálcio na recuperação de pastagem degradada de *Brachiaria decumbens*.** 2003. 48f. Monografia (Graduação em agronomia) - Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2003.

CARVALHO, R.; NETO, A. E. F.; SANTOS, C. D.; FERNANDES, L. A ; CURI, N.; RODRIGUES, D. C. Interações silício-fósforo em solos cultivados com eucalipto em casa de vegetação. **Pesquisa agropecuária brasileira**. Brasília, v. 36, n. 3, p. 557-565, 2001.

CHAGAS, R.C.S. **Avaliação de fontes de silício para as culturas do arroz e milho.** 2004.79f. Tese (Doutorado) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Piracicaba, Piracicaba, 2004.

CHIEN, S.H.; MENON, R.G. Factors affecting the agronomic effectiveness of phosphate rock for direct application. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Amsterdam, v.41, n.3,p.227-234, 1995.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais- 5ª aproximação**, Viçosa, MG,1999.

DATNOFF,L.E.;DEREN,C.W.; SNYDEER,G.H. 1997. Silicon fertilization for disease management of rice in Florida. **Crop Protection**, Tokyo, v.16, n.6, p.525-531, 1997.

DEREN, C. W., DATNOFF, L. E., SNYDER, G. H.; MARTIN, F. G. 1994. Silicon concentration, disease response, and yield components of rice genotypes grown on flooded organic histosols. **Crop Science**, New York , V.34,p. 733-737, 1994.

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.1994. The anomaly of silicon in plant biology. **Proceeding of National Academic Sciences**, New York ,v.91, p. 7-11.

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

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

FARDEAU, J.C. Dynamics of phosphate in soils: an isotopic outlook. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**,Amsterdam , v.45,n.2, p.91-100, 1995.

FARIA, R. J. **Influência do silicato de cálcio na tolerância do arroz de sequeiro ao déficit hídrico do solo**. 2000. 47f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2000.

FASSBENDER, H. W. **Química de suelos cõn énfasis en suelos de la America Latina**. 2. ed. San José: Instituto Interamericano de Cooperación para agricultura,1987.420p.

FAWE, A.;ABOU-ZAID, M.;MENZIES, J.G.; BÉLANGER,R.R.1998.Silicon-mediated accumulation of flavonoid phytoalexins in cucumber. **Phytopatology**, New York , v.88, n.5, p.396-401, 1998.

FAWE, A., MENZIES, J. G., CHÉRIF, M. ; BÉLANGER, R. R. 2001. Silicon

and disease resistance in dicotyledons. In: **Silicon in Agriculture**. L. E. Datnoff, G. H. Snyder, and G. H. Korndörfer, (Ed). , New York ,Elsevier Science, 2001.p.159-169.

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.

GASCHO,G.J. 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.197-208.

GOLDBERG, S. Chemistry and mineralogy of born in soils. In:GUPTA, U.C. (Ed.). **Boron and its role in crop production**. Boca Raton: CRC Press, 1997. p.3-44.

GOMES.F.T., BORGES. A. C., NEVES. J. C. L., FONTES. P. C. R., Nodulação, fixação de nitrogênio e produção de matéria seca de alfafa em resposta a doses de calcário, com diferentes relações cálcio: magnésio. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 32, n. 6.p. 925-930, 2002.

GROTHGE-LIMA, M. T. **Interação cancro da haste (Diaporte phaseolorum F. sp. Meridionalis) e silício em soja [Glycine max (L.) Merrill]**. 1988. 29f. Tese (Doutorado)- Centro de Energia nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1988.

HARTEL, P G., BOUTON, J.H. *Rhizobium meliloti* inoculation of plant alfalfa selected for tolerance to acid, aluminum-rich soils. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.116, n.2, p.283-285, 1989.

HINGSTON, F. J.; ATKINSON, R. J.; POSNER,A. M.; QUIRK, J.P. Specific adsorption of anions. **Nature**, London, v. 215, p. 1459-1461,1967.

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.

HORST,W. J.; MARSCHNER, H.1978.Effect of silicon on manganese tolerance of bean plants (*Phaseolus vulgaris* L.). **Plant Soil**, The Hague,v. 50, p. 287–304,1978.

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

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 Botany**, Oxford, v.48.p. 75–91, 1997.

KORNDÖRFER G. H.; ARANTES V.A.; CORRÊA G.F.; SNYDER, G. H. Efeito da aplicação de silicato de cálcio em solos cultivados com arroz de sequeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, n.3, p.623-629, 1999.

KORNDORFER, G. H.; PEREIRA.H.S.; CAMARGO, M. S. **Silicatos de cálcio e magnésio na agricultura**. Uberlândia: GPSi, ICIAG, UFU,2002. 23f. (Boletim técnico,1).

KORNDORFER, G. H.; PEREIRA.H.S.;NOLLA.A. **Análise de silício no solo, planta e fertilizante**. Uberlândia: GPSi, ICIAG, UFU,2004. 50f. (Boletim técnico, 2).

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

LIMA, D.V. **Limitações nutricionais para a cultura da soja (*Glycine max*) e para o brachiário (*Brachiaria brizanta*) em latossolos sob cerrado da região de Cuiabá - MT**. 1995. 102 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1995.

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

LOPES, M.S. **Relationships between pH and adsorption of phosphorus and silicon in soils**.Magisteriscience. Agricultural School, Federal University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brazil,1977.

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 and Soil**, The Hauge, v.133,p. 151–155,1991.

MA, J.F. (2004) Role of silicon in enhancing the resistance of plants to biotic and abiotic stresses. **Soil Science Plant Nutritional**, Tokyo, .v 50,p. 11–18,2004.

MALAVOLTA, E., VITTI, G.C; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1989.201 p.

MALAVOLA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: POTAFOS,1997.319p.

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.

MASCARENHAS, H.A.A; QUAGGIO, J.A.; HIROCE, R.; BRAGA, N.R.; MIRANDA, M.A.C.; TEIXEIRA, J.P.F. Resposta da soja (*Glycine max* (L.) Merrill à aplicação de doses de calcário em solo Latossolo roxo distrófico de cerrado. I. Efeito imediato. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE PESQUISA DE SOJA, Brasília, 1981. **Anais**. Londrina: EMBRAPA, CNPSo, 1982. v.2, p.742-51.

MASCARENHAS, H.A.A.; BATAGLIA, O.C.; QUAGGIO, J.A.; GALLO, P.B. Zinco nas folhas de soja em função da calagem. **Bragantia**, Campinas, v.47, n.1, p.137-142, 1988.

MAUD, M.; GRASSI FILHO, H.; CRUSCIOL, C. A. C.; CORRÊA, J. C. Teores de silício no solo e na planta de arroz de terras altas com diferentes doses de adubação silicatada e nitrogenada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27,p.867-873, 2003.

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

MELO, S. P. **Silício e fósforo para o estabelecimento do capim-Marandum Latossolo vermelho-amarelo**. 2005. 123p. Tese (Doutorado)-Escola Superior de Agronomia Luiz de Queiroz. Piracicaba, 2005.

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

MIRANDA, L. M. Resposta da sucessão soja-trigo a doses e modos de aplicação de calcário em solo glei pouco húmico, **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v.17, n.1, p.75-82, 1993.

MIYAKI, Y.; TAKAHASHI, E. **Soil Science Plant Nutritional**, Baltimore, v. 31, p.625-636, 1985.

MODEL, N.S.; ANGHINONI, I. Resposta do milho a modos de aplicação de adubos e técnicas de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.16, n.1, p.55-59, 1992.

MUNNS D. Mineral nutrition and the legume symbioses. In: Hardy RWF, Gibson AH, eds. *A Treatise on Dinitrogen Fixation. Section iv*. New York, USA: John Wiley and Sons.1977.p. 353-391.

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.

NELWAMONDO, A.; F. D. DAKORA. 1999. Silicon promotes nodule formation and nodule function in symbiotic cowpea (*Vigna unguiculata* L.). **New Phytologist**, Cambridge v. 142 n.3, p.463–467.1999.

NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa, UFV, DPS, 1999. 399p.

NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F.; NEVES, J.C.L.; COUTO, C. Níveis críticos de fósforo no solo para o eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa, v.6, n.1, p.29-37, 1982.

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

OLIVEIRA, L. A. **Silício em arroz e soja em diferentes condições de pH rizosférico**. 2004.105p. Dissertação.(Mestrado em Agronomia)-Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2004.

OLIVEIRA, M.G. de A. **Determinação, adsorção e deslocamento recíproco de silício e fósforo em latossolos do Triângulo Mineiro**. 1984 .84 p. Dissertação.(Mestrado)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa,1984.

OKUDA, A.; TAKAHASHI, E. 1965. The role of silicon. pp.126-146. In: **The mineral nutrition of the rice plant**. OKUDA, A.; TAKAHASHI, E. John Hopkins Press, Baltimore,1965.

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**, Oxfordshire, v. 35, n. 15-16, p. 2369–2378, 2004.

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

PIJNENBORG, JAN W.M., LIE, T.A. Effect of lime on the nodulation of Lucerne (*Medicago sativa* L.) in na acid soil: A comparative study carried out in the field, in pots and in rhizotrons. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.121, p.225-234, 1990.

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

POTTKER, D. Correção de acidez de solo no sistema de plantio direto. In: SEMINARIO INTERNACIONAL DO SISTEMA DE PLANTIO DIRETO, 1995.,Passo Fundo.**Resumos**. Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT, 1995.p.15-19.

PRADO, R.M.; FERNANDES, F.M.; ROQUE, C.G. Resposta da cultura do milho a modos de aplicação e doses de fósforo, em adubação de manutenção. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, n.1, p.85-92, 2001.

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, Uberlândia,2003.

RAIJ, B. van; CAMARGO, A.P.; MASCARENHAS, H.A.A.; HIROCE, R.; FEITOSA, C.T.; NERY, C.; LAUN, C.R.P. Efeito de níveis de calagem na

produção de soja em solo de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.1, p.28-31, 1977.

RAIJ, B.van; **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: POTAFOS, 1991.343p.

RAMOS. L.A. **Reatividade de fontes de silício e sua eficiência na absorção e acumulação na cultura do arroz irrigado**. 2005.91p.Dissertação (Mestrado em Agronomia).Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2005.

REID, W.S. Influence of lime and calcium:magnesium ratio on alfalfa and birdsfoot trifoil yields. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.27, n.5- 8, p.1885-1900, 1996.

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.

SAMARÃO, S. S. et al, Influência da calagem e micronutrientes na nodulação da soja por *Rhizobium japonicum* em solos ácidos, **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.21, n.3, p. 237-244, 1986.

SANCHEZ, P.A. SALINAS, J.C. Low input technology for mananing oxisols and ultisols in tropical America. **Advances in Agronomy**, San Diego, v.34, p.279-406,1981.

SILVA, R. **Efeito de níveis de correção em diferentes relações Ca:Mg sobre o comportamento das variedades UFV 1 e IAC 2 da soja em solos de cerrado**.1981. 35p. Dissertação (Mestrado)- Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1981.

SILVA, M. L S. **Disponibilidade de fosforo em solos com aplicação de escoria silicatada como corretivo de acidez**. 2001. 65f. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Produção)- Faculdade de Engenharia da Universidade Paulista de Ilha Solteira, Universidade Paulista, Ilha Solteira, 2001.

SMITH, G.S.; JOHNSTON, C. M.; CORNFORTH, I. S. 1983. Comparison of nutrient solutions for growth of plants in sand culture. **New Phytologist**, Cambridge,Londres, v.94,p.537-548, 1983.

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.

SMYTH, T.J.; SANCHEZ, P.A. Phosphate rock and superphosphate combinations for soybeans in Cerrado Oxisol. **Agronomy Journal**, Madison, v. 74, n. 4, p. 730- 735, July/Aug. 1982.

SMITH, F. W. Mineral Nutrition of Legumes. In: Vincent JM, ed. **Nitrogen Exaction in legumes**, Sydney, Australia: Academic Press, 1982. p. 155-172.

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

SOUZA, J.A.; CURI, N.; GUEDES, G.A.A. Relação entre mineralogia e adsorção-dessorção de fósforo em alguns latossolos sob cerrado do planalto central. **Ciência e Prática**, Lavras, v.15, p.103-111, 1991.

TAKAHASHI, E.MA, J.F.MIYAKE, Y. The possibility of silicon as an essential element for higher plants. **Comments Agricultural and Food Chemistry**, Tokyo, v.2, p.99-122, 1990.

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

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

VANCE, C.P., HEICHEL, G.H. Carbon in N₂ fixation: limitation or exquisite adaptation. **Annual Review of Plant Physiology Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v.42, p.373-392, 1991.

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.

VOLKWEISS, S. J. Química e acidez dos solos. In: SEMINARIO SOBRE CORRETIVOS DA ACIDEZ DO SOLO, 2., 1989, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: UFSM, 1989. p.3-6.

WINSLOW, M. D.; OKADA, K.; CORREA-VICTORIA, F. Silicon deficiency and the adaptation of tropical rice ecotypes. **Plant Soil**, The Hauge, n.188, p.239–48, 1997.

YOSHIDA, S., OHNISHI, Y.,KITAGISHI, K.. Chemical forms, mobility, and deposition of silicon in the rice plant. **Japan Journal Soil Science Plant Nutrition**, Tokyo,v. 8,p.107-111,1962.

YOSHIDA, S. Chemical aspects of the role of silicon in physiology of the rice plant. **Bulletin of the National Institute of Agricultural Science**, Tokyo, v.15,p.:1-58, 1965.