

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

**AVALIAÇÃO DE FONTES DE SILÍCIO ATRAVÉS DE TESTES  
BIOLÓGICO E DE INCUBAÇÃO.**

**MARILDO FERNANDES SILVA**

**GASPAR HENRIQUE KORNDÖRFER**  
(Orientador)

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

Uberlândia – MG  
Março – 2002  
**AVALIAÇÃO DE FONTES DE SILÍCIO ATRAVÉS DE  
TESTES BIOLÓGICOS E DE INCUBAÇÃO.**

APROVADO PELA BANCA EXAMINADORA EM 12 / 03 / 2002

---

Prof. Dr. Gaspar Henrique Korndöfer  
(Orientador)

---

Prof. Dr. Hamilton Seron Pereira  
(Membro da Banca)

---

Prof. Dr<sup>a</sup>. Mônica Sartori de Camargo  
(Membro da Banca)

Uberlândia – MG  
Março – 2002  
**AGRADECIMENTOS:**

**A DEUS,**

que me deu a vida, inteligência e vontade para chegar hoje, onde estou.

Aos meus pais:

**OLÍVIO JOSÉ FERNANDES e LUZIA CÂNDIDA DA SILVA** (*in memoriam*), “os verdadeiros responsáveis por esta conquista”. A vocês, dedico esta, e todas as outras conquistas de minha vida.

Às minhas Irmãs,

**MARIA DO CARMO E VILMA FERNANDES**, que sempre me incentivaram, dando apoio e carinho em todos os momentos da minha vida.

À minha **NAMORADA**,

**Por reconhecer todo o meu esforço, mim ajudando nos momentos difíceis, dando carinho, incentivo, esperança e fé, não deixando que estes momentos nos separassem.**

Ao Professor,

**GASPAR HENRIQUE KORNDÖFER**, pela amizade, orientação e credibilidade depositada em mim durante a realização deste trabalho.

Aos meus sobrinhos,

**Mayza, Elder, Aryane e Rafael**, pessoas que esperam ansiosamente esse momento chegar. **Adoro vocês.**

A XXIII turma de Agronomia - **ICIAG - UFU**,

Temos muitas histórias para contar.

Aos Professores(a),

**Hamilton Seron Pereira, Gilberto Fernandes Corrêa e Mônica Sartori de Camargo**, amigos e conselheiros, pela atenção despendida em todos os momentos.

Aos amigo(a)s,

**José Humberto, João Batista, Antônio André, Juliano, Willian Faleiros, Aldair José e Suzana Melo**, meu carinho, reconhecimento e gratidão.

## **RESUMO**

Esse trabalho teve como objetivo estimar o Índice de Eficiência Relativa de fonte de Si, aplicada na forma granulada e pó, comparada com o padrão Wollastonita, através de testes biológico e de incubação. As fontes de Si avaliadas foram: Wollastonita, Albright & Wilson, Siligran granulado e Siligran pó. Os testes foram conduzidos em casa de vegetação e solo utilizado nos dois teste foi o Latossolo Vermelho-escuro de textura argilosa. No teste biológico todos os vasos continham o mesmo teor de Ca. O delineamento adotado foi DIC (Delineamento Inteiramente Casualizado). Para o teste de incubação utilizou um fatorial 4 x 4 (4 doses, 4 fontes com tratamento adicional), enquanto, que no teste biológico o fatorial utilizado foi 3 x 4 (3 doses, 4 fontes com tratamento adicional), todos com 4 repetições. As doses utilizadas no teste de incubação foram: 100, 200, 400 e 800 kg de Si ha<sup>-1</sup>, enquanto, que no teste biológico utilizou-se as doses: 100, 200 e 400 kg de Si ha<sup>-1</sup>. As doses foram analisada através de regressão, enquanto, que as fontes foram comparadas com o teste de Tukey. Avaliou-se o efeito da fontes, sobre os teores de Si, Ca, Mg, pH do solo e Si acumulado na parte aérea. A fonte Siligran granulada e pó disponibilizou menos Si para as plantas, quando comparadas com a fonte padrão Wollastonita, a fonte Siligran aplicada na forma em pó reagiu de forma mais eficiente do que a fonte granulada na correção da acidez do solo medida através do pH do solo e que a fonte siligran aplicada na forma granulada e em pó, aumentou significativamente os teores de Mg trocável no solo, quando comparado com a fonte padrão (Wollastonita) nos dois testes.

## ÍNDICE

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>05</b>
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>07</b>
<b>2.1. Silício no solo .....</b>	<b>07</b>
<b>2.2. Silício nas plantas .....</b>	<b>11</b>
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>13</b>
<b>3.1. Local de condução e instalação.....</b>	<b>13</b>
<b>3.2. Análise de solo .....</b>	<b>13</b>
<b>3.3. Teste de incubação .....</b>	<b>15</b>
<b>3.4. Teste biológico.....</b>	<b>15</b>
<b>3.5. Análise de Si no solo.....</b>	<b>16</b>
<b>3.6. Análise de Si na parte aérea.....</b>	<b>17</b>
<b>3.7. Metodologia estatística.....</b>	<b>18</b>
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>19</b>
<b>4.1. Teste de incubação.....</b>	<b>19</b>
<b>4.2. Teste biológico.....</b>	<b>25</b>
<b>5. CONCLUSÕES.....</b>	<b>31</b>
<b>6. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>32</b>
<b>7. APÊNDICE.....</b>	<b>36</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O arroz (*Oryza sativa*) é o alimento básico da dieta de milhões de pessoas, praticamente em todos os países do mundo, sendo superado apenas pelo trigo. O Brasil, está entre os países de maior consumo com cerca de 45 kg/habitante/ano. Basicamente, o arroz é cultivado em dois ecossistemas: o de várzeas, termo que define o arroz irrigado e o de terras altas ou sequeiro.

O ecossistema dos cerrados é caracterizado principalmente pelos latossolos, que sofreram um intenso processo de remoção de sílica e bases do perfil, possuindo baixos valores de pH, baixa saturação por bases, excesso de alumínio trocável e baixa disponibilidade de Si para as plantas. Contudo, são solos profundos com boas propriedades físicas, tais como: estabilidade de agregados, alta velocidade de infiltração de água e baixa capacidade de retenção de água (BRADY, 1992).

De acordo com Silva (1973); Elawad e Green Junior (1979), o Si geralmente não é considerado entre os elementos essenciais ou funcionais para o crescimento das plantas. No entanto, o crescimento e a produtividade de muitas gramíneas (arroz, cana-de-açúcar e

outras) e algumas espécies tais como (feijão, tomate, alface e repolho) têm mostrado aumentos de produtividade com o aumento da disponibilidade de Si no solo para as plantas (KORNDÖRFER e DATNOFF, 1995).

Mesmo sabendo que o Si é um dos elementos mais abundantes da crosta terrestre e que a maioria dos solos contém consideráveis quantidades desse elemento, cultivos consecutivos podem diminuir o nível até o ponto em que a reposição seja necessária para obtenção de máximas produções (ARANTES, 1997). Nessas condições, pode se esperar resposta para aplicação de Si na forma de fertilizantes, principalmente quando aplicado em plantas acumuladoras de Si como é o caso da maioria das gramíneas. A importância do Si para algumas espécies de plantas vem sendo demonstrada através do estabelecimento de níveis críticos de suficiência para solo e plantas (KORNDÖRFER et al., 2001). Para suprir esta demanda, é necessário investigar e identificar as fontes mais promissoras de Si disponível ou potencialmente disponível capazes de fornecer Si para plantas.

As principais características de uma fonte de Si para uso na agricultura são: alto potencial agrônômico, alto conteúdo de Si solúvel, boas propriedades físicas, facilidade para aplicação mecanizada, pronta disponibilidade para as plantas e baixo custo.

O objetivo foi avaliar fontes de Si aplicadas no solo na forma granulada e pó, em comparação com a fonte de Si considerada “padrão” através de incubação no solo e de teste biológico com plantas de arroz inundado.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

O cerrado brasileiro faz parte do ecossistema das savanas, que ocupa grande porção da região tropical do mundo, sendo que a maior parte desta está localizada nos continentes americano e africano (GOEDERT, 1989). No Brasil, os cerrados ocupam uma área homogênea e não contínua de aproximadamente 200 milhões de hectares, ou seja, 23% do território brasileiro (EMBRAPA, 1978).

Geograficamente, relacionam-se os cerrados como superfícies velhas. Os solos dessa região em geral, são muito intemperizados, com alto potencial de lixiviação, acentuada dessilicatização e pobreza em bases, o que lhe confere uma fração argilosa constituída por caulinita e sesquióxidos, com baixa relação molecular  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  (relação Ki), algumas vezes inferior a 0,5 (EMBRAPA, 1982; CORRÊA, 1989).

### **2.1. Silício no solo**

Segundo o Serviço Nacional de Pesquisa Agrônômica (apud RAIJ e CAMARGO, 1973), o Silício é um dos elementos mais abundante na crosta terrestre e componente

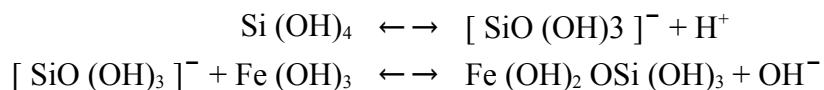


majoritário de minerais do grupo dos silicatos, ocorrendo em altos teores no solo, principalmente, na forma de silicatos e quartzo.

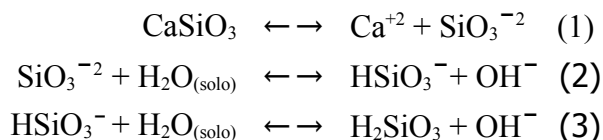
Do ponto de vista agrônômico, as principais formas de Si presentes no solo são: Si solúvel ( $H_4SiO_4$  - ácido monossilícico), que é desprovido de carga elétrica (RAIJ e CAMARGO, 1973); Si adsorvido ou precipitado com óxidos de ferro e alumínio e os minerais silicatados (cristalinos e amorfos). A solubilidade destes minerais depende da temperatura, pH, tamanho de partícula, composição química e presença de rachaduras (rupturas) na sua estrutura. A dissolução destes minerais também é afetada por fatores de solo, tais como: matéria orgânica, teor de umidade, potencial de óxido-redução e sesquióxidos.

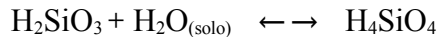
Na solução do solo, o ácido monossilícico ( $H_4SiO_4$ ) comporta-se como um ácido muito fraco, de forma que, em pH 7,0, apenas 0,2% se ioniza na forma carregada negativamente  $H_3SiO_4^-$ , sendo que o grau de ionização aumenta com a elevação do pH (McKEAGUE e CLINE, 1963).

A concentração de Si na solução do solo ( $H_4SiO_4$ ) pode variar de 0,1 a 0,06 mM (DREES et al., 1989; EPSTEIN, 1994). O equilíbrio químico do Si no solo depende principalmente do pH. O equilíbrio pode ser explicado nas seguintes reações:



Segundo ALCARDE (1992), a ação neutralizante do silicato pode ser explicada de acordo com as seguintes equações:





A hidrólise do ânion silicato promove uma liberação de hidroxilas, conforme mostram as equações acima, promovendo a elevação do pH. Aumenta, também, o fenômeno da adsorção do Si ( $\text{H}_4\text{SiO}_4$ ) com a elevação do pH, uma vez que esse fica carregado negativamente devido à ionização do ácido, estando mais suscetível às forças de adsorção. Considerando que o Si seja absorvido na forma aniônica por algumas gramíneas, equivalentes quantidades de hidroxilas devem ser expelidas a partir da superfície radicular para que seja mantido o balanço de cargas, as quais podem aumentar o pH da rizosfera e reduzir a absorção de alumínio e ferro (WALLACE, 1993).

Mckeague e Cline (1963) citam que os fatores de solo que influenciam a concentração do Si na solução são: composição mineralógica, a ciclagem, a textura, o pH e a presença de íons em solução. Existem evidências de que a concentração do  $\text{H}_4\text{SiO}_4$  na solução do solo é controlada por uma reação de adsorção pH dependente. O mecanismo para essa retenção reversível do  $\text{H}_4\text{SiO}_4$  é pouco conhecido. Em geral, a concentração de Si na solução diminui com a elevação do pH. Contudo, a ionização aumenta o fenômeno da adsorção pelas partículas do solo.

Deficiências desse elemento têm sido constatadas em solos ricos em óxidos de ferro e hidróxido de alumínio, apresentando, conseqüentemente, baixo  $K_i$  ( $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ ) e  $K_r$  ( $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ ), apresentando, assim, baixa capacidade de fornecimento de Si disponível para as plantas (BRADY, 1992; SILVA, 1973; SOIL, 1978).

Jones e Handreck (1963) indicaram que os níveis de Si na solução do solo com o mesmo pH podem ser influenciados pela quantidade, tipo e cristalinidade dos sesquióxidos livres. Embora o Si seja adsorvido às superfícies de vários tipos de substâncias inorgânicas

em solos, acredita-se que os óxidos de Fe e Al são os principais responsáveis por essa reação. A capacidade de adsorção dos óxidos de Al diminui marcadamente com o aumento do grau de cristalinidade.

Ponnamperuma (1965) mostra que os teores de Si aumentaram de 24 para 41 mg dm<sup>-3</sup> na solução do solo com pH 4,8 e porcentagem de matéria orgânica de 4,4 dag kg<sup>-1</sup> após inundação por um período de 50 dias. Esse aumento na disponibilidade de Si deve-se à liberação dos complexos ligados ao Fe em condições ou ambiente de redução. Solos ricos em óxidos de Fe e Al, como os solos intemperizados das regiões de clima tropical, apresentam quantidade de Si 5 a 10 vezes menor que solos das regiões temperadas devido à ausência de minerais primários (McKEAGUE e CLINE, 1963; JUO e SANCHEZ, 1986; FOY, 1992).

Após a inundação do solo, a disponibilidade de O<sub>2</sub> no solo baixa a zero em algumas horas, pois a água, ao ocupar todo o espaço poroso do solo, expulsa o ar aí existente e os microrganismos aeróbicos consomem rapidamente o pouco oxigênio que tinha permanecido no solo. Ao se esgotar o O<sub>2</sub> livre, a vida microbiana aeróbica torna-se latente ou termina e começa a aumentar a população anaeróbica rapidamente. Os microrganismos anaeróbicos, diferente dos aeróbicos, decompõem a matéria orgânica do solo, seu substrato, utilizando substâncias oxidadas do solo como receptores de elétrons para sua respiração. Os principais compostos que sofrem redução, como consequência da respiração, são em ordem de ataque pelos microrganismos, os nitratos, os óxidos mangânicos (MnO<sub>2</sub>) e férricos (Fe<sup>+3</sup>) e os sulfatos (SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>). Desses processos resultam no solo algumas mudanças eletroquímicas, tais como: alteração do pH, diminuição do potencial de óxido-redução, aumento da condutividade elétrica. Em solos ácidos, o pH aumenta devido a redução dos compostos

oxidados, principalmente dos óxidos de ferro, que envolvem grande consumo de íons  $H^+$ , enquanto que, nos solos alcalinos, o pH diminui devido ao aumento da pressão parcial do  $CO_2$  e a consequente acumulação de ácidos orgânicos e inorgânicos como o ácido carbônico ( $H_2CO_3$ ).

## **2.2. Silício nas plantas**

Mesmo não sendo essencial do ponto de vista fisiológico para o crescimento e desenvolvimento das plantas (EPSTEIN, 1994), sua absorção traz inúmeros benefícios, principalmente ao arroz.

O Si é um dos elementos mais abundantes encontrados na crosta terrestre e a adubação com Si pode resultar em aumento na produtividade de várias culturas como é o caso do arroz, cana-de-açúcar entre outras gramíneas. Isso está relacionado a presença do Si na planta com resistência a pragas e doenças, maior capacidade fotossintética (as folhas ficam mais eretas e a incidência de luz é maior) e tolerância à falta de água (FOY, 1992; DATNOFF et al., 1991; ANDERSON et al., 1991).

Marschner (1995) demonstrou incrementos significativos da taxa fotossintética devido às folhas mais eretas, que melhoram a arquitetura foliar, pois afetam a interceptação de luz em populações densas de plantas e de outros processos no metabolismo vegetal, tendo como resultado final um aumento e maior qualidade na produção.

Miyake (1992) dividiu as plantas superiores, de acordo com o teor de Si e a razão Si/Ca na matéria seca em 3 grupos: acumuladoras, não acumuladoras e intermediária. As gramíneas são acumuladoras típicas, cabendo destaque ao arroz, o qual apresenta absorção ativa de Si, reduzindo de forma rápida sua concentração no meio.

Segundo Okuda e Takahashi (1965), o Si aumenta o volume e rigidez do aerênquima, aumentando o suprimento de oxigênio para as raízes. É atribuída ao Si, também, a função de aumentar o poder oxidante das raízes de arroz, o que favorece a oxidação e deposição do Fe insolúvel na superfície das raízes, diminuindo sua absorção, proporcionando maior distribuição desse e seu conseqüente efeito tóxico na planta.

Takahashi (1995) observou que o efeito do Si nas plantas de arroz tende a ser mais intenso em cultivos com adubações nitrogenadas pesadas. Com o suprimento de Si na cultura de arroz, a diferença no comprimento das lâminas foliares, principal fator responsável pela altura, tende a aumentar. Essa expansão foliar determina maior taxa de assimilação de CO<sub>2</sub>, ocorrendo uma maior translocação de assimilados para a formação dos grãos.

A acumulação de sílica nos órgãos de transpiração provoca a formação de uma dupla camada de sílica cuticular, reduzindo a transpiração e, conseqüentemente, o consumo de água. Isso pode ser de extrema importância em solos do Cerrado, onde o período de estiagem é longo e severo com temperaturas elevadas.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Local de instalação e condução

Os testes foram instalados e conduzidos na casa de vegetação do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia (MG).

#### 3.2. Análise do Solo

Utilizou-se uma amostra superficial (0-20 cm) de um Latossolo Vermelho-Escuro álico textura argilosa de área nativa de Uberlândia (MG). Os resultados das análises químicas, textural e de mineralógicas encontram-se nas Tabelas 1 e 2, respectivamente.

Tabela 1. Atributos químicos referentes à camada de 0-20 cm do solo utilizado.

pH	Si	P	K	Al	Ca	Mg	H+Al	SB	t	T	V	m	M.O.
	----mg dm <sup>-3</sup> ----			----- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----				-----%-----			g kg <sup>-1</sup>		
5,1	7,0	1,6	49,8	0,6	0,2	0,1	4,5	0,4	1,1	4,92	8,0	60	36

Obs: pH em água (1:2,5), Si extraído com ácido acético 0,5 mol L<sup>-1</sup>(Korndörfer et al., 1999b), P e K extraídos com HCl 0,05 N + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,025 N; Al<sup>3+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> extraído com (KCl 1 N); Método Walkley-Black. SB % = Soma de bases; t % = CTC efetiva; T% = CTC a pH 7.0; V% = Saturação em bases; m % = Saturação de alumínio; M.O. = Matéria orgânica (Walkley-Black). (VETTORI, 1969).

Tabela 2. Tipo de solo, granulometria, elementos totais, índice de intemperismo (Ki), referente à camada de 0 – 20 cm do solo utilizado.

<b>Solo<sup>(1)</sup></b>	<b>Areia grossa<sup>(2)</sup></b>	<b>Areia fina<sup>(2)</sup></b>	<b>Silte<sup>(2)</sup></b>	<b>Argila<sup>(2)</sup></b>	<b>SiO<sub>2</sub></b>	<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>FeO<sub>3</sub></b>	<b>Ki<sup>(3)</sup></b>
	-----g.kg <sup>-1</sup> -----				-----%-----			
Lea	80	38	124	758	17,8	28,2	10,8	1,08

<sup>(1)</sup>Elementos totais analisados pelo método do ataque sulfúrico (EMBRAPA, 1979). Latossolo Vermelho-Escuro álico (LEa). <sup>(2)</sup>Análise textural, método da pipeta (EMBRAPA, 1979). <sup>(3)</sup>Relação molecular: %SiO<sub>2</sub>/ %Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> x 1,7.

Três fontes de Si foram testadas, sendo que o produto Siligran foi aplicado na forma de pó e granulada, enquanto que as demais fontes (Wollastonita e Albright & Wilson) foram aplicadas apenas na forma de pó. Os teores de Si, CaO e MgO e granulometria das fontes utilizadas, encontram-se nas Tabelas 3 e 4.

Tabela 3. Teores de Si, CaO e MgO das fontes avaliadas no teste de incubação e no teste biológico

<b>FONTES*</b>	<b>Si</b>	<b>CaO</b>	<b>Ca</b>	<b>MgO</b>	<b>Mg</b>
	-----%-----				
Silicato de cálcio – Wollastonita	24,0	42,0	30,0	1,5	1,1
Silicato de cálcio - Albright & Wilson	21,6	44,0	31,4	0,6	0,4
Siligran – granulado	18,9	14,8	10,5	10,2	7,6
Siligran – pó	18,9	14,8	10,5	10,2	7,6

\* Teores fornecidos pelos fabricantes

Tabela 4. Granulometria das fontes avaliadas no teste de incubação e no teste biológico.

<b>Fontes</b>	<b>Material retido em peneira ABNT ( g/100 gramas)</b>			
	<b>n° 10 (2,00 mm)</b>	<b>n° 20 (0,84 mm)</b>	<b>n° 50 (0,30 mm)</b>	<b>Fundo peneira</b>
Wollastonita	0,00	15,82	21,02	62,77
Albright & Wilson	0,00	19,65	33,36	46,68
Siligran pó	0,00	7,85	48,35	43,80

### **3.3. Teste de incubação**

No teste de incubação as fontes de Si foram adicionadas ao solo nas seguintes doses: 100, 200, 400 e 800 kg ha<sup>-1</sup> de Si. Cada tratamento foi repetido 4 vezes. A metodologia empregada foi a mesma descrita por (MEDINA-GONZALEZ et al., 1988), isto é, os materiais (fontes de Si) foram misturados com 300g de terra, acondicionados em potes plástico, em seguida, adicionou-se água destilada com o objetivo de atingir 80% da capacidade de campo e, finalmente, os potes foram fechados com a finalidade de diminuir a perda de água por evaporação. Duas vezes por semana, os potes eram pesados com o objetivo de manter o teor de umidade na capacidade de campo determinada. Alterações superiores à 5% no peso do solo indicavam a necessidade de adição de água. Após 54 dias de incubação, amostras homogêneas de solo foram retiradas, secas ao ar, peneiradas em peneira (< 2 mm) e depois analisadas para pH (CaCl<sub>2</sub>), Ca e Mg (EMBRAPA, 1979). A análise de Si no solo foi feita utilizando o método do ácido acético 0,5M (KORNDÖRFER et al., 1999b).

### **3.4. Teste biológico**

O teste biológico foi instalado e conduzido no mesmo local do teste de incubação e com o mesmo tipo de solo. As doses empregadas foram: 100, 200 e 400 kg ha<sup>-1</sup> de Si, com quatro repetições.

Todos os vasos receberam a seguinte adubação básica (mg kg<sup>-1</sup> de solo): 238 de N [(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>], 291 P [(Ca(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>], 173 de K (KCl), 30 de S (MgSO<sub>4</sub>), 27 de Mg (MgSO<sub>4</sub>), 1,8 de B (H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>), 9 de Zn (ZnSO<sub>4</sub>), 2,0 de Mn (MnSO<sub>4</sub>) e 0,8 de Cu (CuSO<sub>4</sub>). O Ca fornecido pelos diferentes materiais (silicatos) foi equilibrado de tal forma que todos os



vasos receberam quantidades iguais desse elemento, utilizando para tal o carbonato de cálcio puro. A mistura das fontes de Si e dos demais nutrientes com o solo foi feita numa betoneira. Após o acondicionamento do solo nos vasos, adicionou-se água destilada até atingir 80% da capacidade de campo. A umidade foi mantida durante todo o período de incubação (30 dias), com o objetivo de permitir a reatividade dos produtos adicionados. Transcorrido o período de incubação, procedeu-se a semeadura do arroz. Em cada vaso contendo 6 kg de solo, semeou-se 10 sementes da cultivar de arroz BRS Formoso - EMBRAPA de ciclo médio. Depois de formada a terceira folha, o solo foi inundado com uma lâmina de água destilada de aproximadamente 5 cm, mantida até o final do experimento. Após a inundação foi feito um desbaste, mantendo 8 plantas de arroz por vaso.

Após 60 dias da emergência, a parte aérea foi colhida e mantida em estufa a 65°C até peso constante e depois moída em moinho Willey com peneira de 20 mesh. Após a colheita da parte aérea, amostras homogêneas de solo foram retiradas, secas ao ar, posteriormente peneiradas (< 2,0 mm) e analisadas para pH (CaCl<sub>2</sub>), Ca, Mg e Si. A metodologia utilizada é a mesma citada no teste de incubação. A análise de Si na parte aérea baseou-se na metodologia descrita por (ELLIOT e SNYDER, 1991).

### **3.5. Análise de Si no solo**

**Extração:** em uma amostra de 10 g de solo (TFSA), adicionou-se 100 ml de uma solução de ácido acético 0,5 M, agitando-se em seguida por uma hora. Após essa operação, a suspensão foi mantida em repouso para decantação durante 15 minutos e em seguida filtrada.

**Determinação:** utilizou-se 10 ml do filtrado, ao qual se acrescentou 1 ml de solução sulfomolibdica para que o ácido orto-silícico ( $H_4SiO_4$ ), forma do Si na solução, pudesse reagir com o molibdato, desenvolvendo a cor amarela. Após 10 minutos, acrescentou-se 2 ml de uma solução de ácido tartárico a 20%, a fim de complexar o fósforo (P) da solução. Após 5 minutos da adição do ácido tartárico, adicionou-se 10 ml de uma solução de ácido ascórbico para promover o aparecimento da cor azul na solução (esse ácido se oxida rapidamente e, portanto, funciona como eficiente redutor). A leitura foi feita uma hora depois da adição do último reagente em fotolorímetro (espectofotômetro) ajustado no comprimento de onda de 660 nm.

### 3.6. Análise de Si na parte aérea

**Extração:** Após pesar 0,100g de material foliar moído, em tubo de polietileno de 100 ml previamente lavados com NaOH 0,1M e água desmineralizada, adicionou-se 2 ml da solução de peróxido de hidrogênio a 50% v/v ( $H_2O_2$ ), agitou-se por alguns segundos em agitador (agitação vortex) e, em seguida, foi adicionado 3 ml de NaOH (1:1). Ao adicionar o NaOH, houve a formação de uma fumaça branca, o que indica que o material foi digerido, utilizando o mesmo tipo de agitação anterior, agitou-se até finalizar a reação e, em seguida, os tubos foram cobertos com tampa plástica e levados à autoclave, por uma hora à 138 kPa (1,5 atm) e 253 °F (123°C). Depois de autoclavados, adicionou-se 45 ml de água destilada de modo a completar o volume para 50 ml. Feita a adição da água destilada, o extrato foi transferido para um frasco plástico e deixado em repouso por doze horas, para proceder a determinação.

**Determinação:** separou-se uma alíquota de 1 ml do sobrenadante do extrato em um copo plástico, acrescentou 19ml de água destilada à amostra e em seqüência adicionou-se

os seguintes reagentes: 1 ml de HCl (1:1 ou 50%) e 2 ml de molibdato de amônio, agitando-se levemente para misturar os reagentes adicionados. Depois de 5 minutos, adicionou-se 2 ml de ácido oxálico, procedendo em seguida, nova agitação. A leitura foi feita logo após a adição do ácido oxálico em colorímetro (espectrofotômetro) utilizando comprimento de onda de 410 nm..

### **3.7. Metodologia estatística**

O delineamento utilizado foi o DIC (Delineamento Inteiramente Casualizado). Para o teste de incubação utilizou-se um fatorial 4 x 4 (4 doses e 4 fontes), enquanto, que no teste biológico adotou um fatorial 3 x 4 ( 3 doses e 4 fontes), ambos com tratamento adicional (testemunha), com 4 repetições. A análise estatística foi feita com o auxílio do programa estatístico SANEST ( Sistema de Análise Estatística). As doses foram analisada através de regressão, enquanto, que as fontes foram comparada com o teste de Tukey.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Experimento de incubação

Os teores de Si no solo após 56 dias de incubação (Tabela 6), variaram de 13,4 a 43,0 mg dm<sup>-3</sup> de Si, respectivamente para a testemunha e a dose 800 kg ha<sup>-1</sup> de Si da fonte

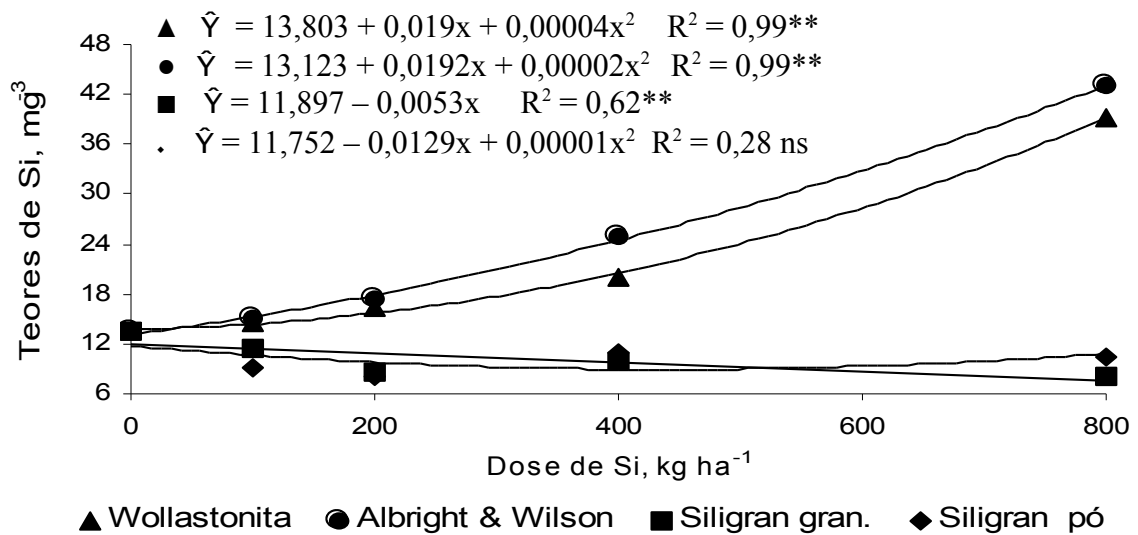


Figura 1. Teores de Si no solo após 56 dias de incubação(\*\* = 1% de significância, ns = não significativo).

Albright & Wilson. Observa-se na Figura 1 (Tabela 6), que na dose 100 kg de Si ha<sup>-1</sup>,

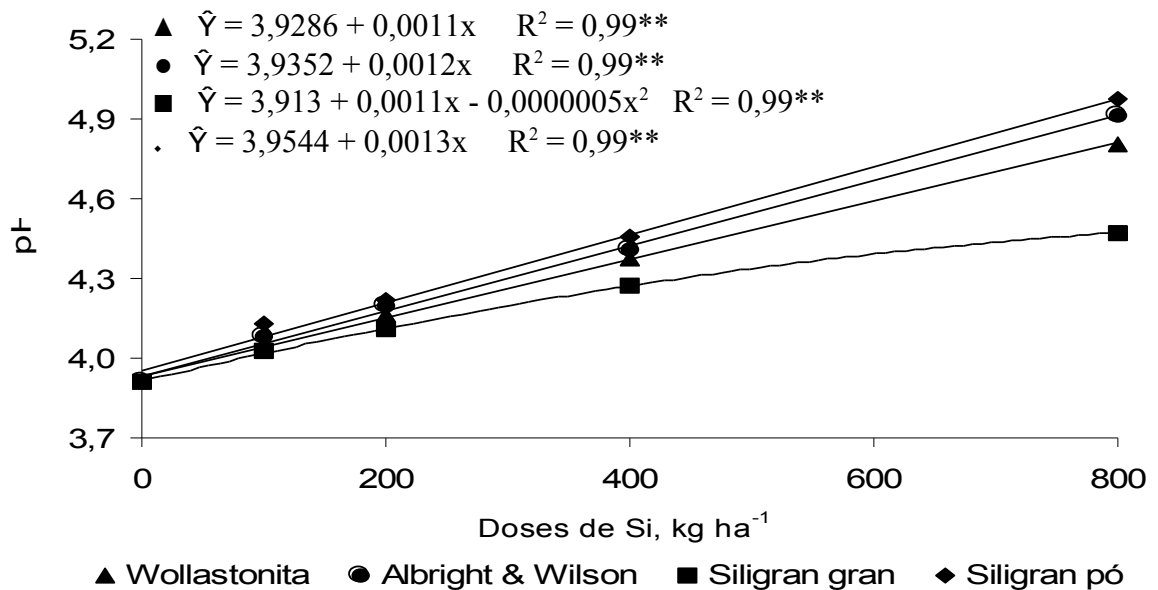
apenas a fonte Siligran pó difira das demais, embora a fonte Siligran granulada e pó não difira uma da outra. A solubilidade dos produtos Wollastonita e do Albright & Wilson foram crescente acompanhando as doses aplicadas, enquanto que o produto Siligran granulada e pó não tiveram o mesmo comportamento, apresentando baixa solubilidade no solo e conseqüentemente menor disponibilidade de Si. Na dose 200 kg de Si ha<sup>-1</sup>, podemos observar que as fontes Wollastonita e Albright & Wilson diferiram da fonte Siligran aplicada na forma granulada e em pó. Já na dose 400 kg de Si ha<sup>-1</sup> a fonte Albright & Wilson diferiu das demais fontes utilizadas, enquanto, que na dose 800 kg de Si ha<sup>-1</sup> todas as fontes tiveram comportamento idêntico aos das doses 100 e 200 kg de Si ha<sup>-1</sup>.

Na Tabela 5 podemos observar que a liberação de Silício proporcionada pela fonte Albright & Wilson foi em média 43% superior quando comparada com a fonte padrão Wollastonita, ao passo, que a fonte Siligran aplicada na forma granulada e em pó essa liberação foi nula. Essa superioridade da fonte Albright & Wilson é devido a solubilidade do produto. O Índice de Eficiência Relativa na liberação de Silício (I.E.R.) (Tabela 5), encontrado para fonte Siligran granulada e em pó, pode ser explicado pelo curto período de incubação que as duas fontes foram submetidas.

Tabela 5. Índice de Eficiência Relativa na liberação de Silício pelas fontes comparadas ao padrão (100%).

Dose de Si, kg ha <sup>-1</sup>	Fontes de Si			
	Wollastonita	Albright & Wilson	Siligran gran	Siligran pó
<b>100</b>	100	150	0,0	0,0
<b>200</b>	100	139	0,0	0,0
<b>400</b>	100	177	0,0	0,0
<b>800</b>	100	114	0,0	0,0
<b>Média</b>	100	143	0,0	0,0

A utilização de fontes de Si no solo promoveu um aumento nos valores de pH em  $\text{CaCl}_2$  após o período de incubação (Tabela 6, Figura 2). O pH no solo variou segundo a



dose aplicada, quanto maior foi a dose, maior foi o pH, isto ocorreu de forma generalizada para todas as fontes. Os valores de pH no solo variaram de 3,9 a 4,97, respectivamente para a testemunha e a dose de 800 kg ha<sup>-1</sup> de Si da fonte Siligran pó (Tabela 6). A elevação do pH é explicada pelo aumento na concentração de hidroxilas ( $\text{OH}^-$ ), conforme pode-se inferir a partir das equações [1] e [2], mostrando a atuação do silicato como corretivo da acidez do solo (ALCARDE, 1992). Por outro lado, o pH observado no tratamento Siligran pó deve-se provavelmente a presença de  $\text{MgCO}_3$  e  $\text{MgSiO}_3$  na composição deste produto. Segundo Alcarde (1992) as referidas formas de Mg possuem uma capacidade de neutralização da acidez do solo aproximadamente 20% superior as formas do Ca ( $\text{CaCO}_3$  e  $\text{CaSiO}_3$ ).

Figura 2. Valores de pH do solo após 56 dias de incubação, fertilizado com diferentes fontes de Si (\*\* 1% de significância).

Em relação ao Ca trocável no solo amostrado após o período de incubação, observa-se que foi crescente o aumento nos teores de Ca para todas as fontes e doses testadas (Figura 3). Os valores de Ca no solo variaram de 0,2 a 2,96 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, respectivamente para a testemunha e a dose de 800 kg de Si ha<sup>-1</sup> da fonte Albright & Wilson (Tabela 6).

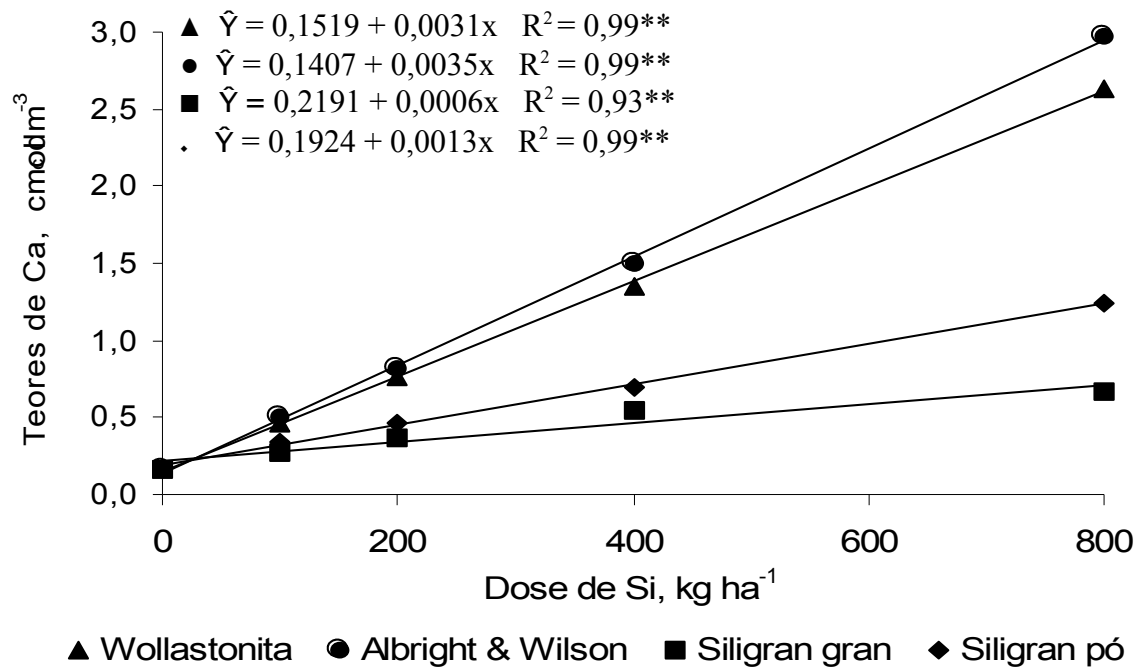


Figura 3. Teores de Ca no solo após 56 dias de incubação (\*\* = 1% de significância).

Observa-se na dose 100 kg de Si ha<sup>-1</sup>, (Figura 3, Tabela 6) que as fontes não diferiram entre si, enquanto, que na dose 200 e 400 kg de Si ha<sup>-1</sup>, o produto Wollastonita e o Albright & Wilson diferiram da fonte Siligran granulada e pó. Para a dose 800 kg ha<sup>-1</sup> Si, todas as fontes diferiram-se entre si, demonstrando a superioridade das fontes Albright & Wilson e Wollastonita em relação a fonte Siligran granulada e pó, embora a fonte Albright & Wilson tenha disponibilizado mais Ca que a fonte padrão Wollastonita. Os valores de Ca mais elevados para os produtos Wollastonita e Albright & Wilson podem ser explicado pela sua maior disponibilidade em relação ao conteúdo de Ca da fonte Siligran granulada e pó

(Tabela 3.). Por outro lado é possível observar que o produto Siligran pó liberou mais Ca para o solo, quando comparado com o produto granulado. Essa maior liberação pode ser explicada pela maior superfície de contato do produto pó com o solo.

Para a variável Mg trocável no solo, os maiores teores foram observados para a fonte Siligran aplicada na forma granulada e em pó (Figura 4). Os valores de Mg variaram de 0,10 a 1,17  $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ , respectivamente para a testemunha e a dose 800 kg de Si  $\text{ha}^{-1}$  da

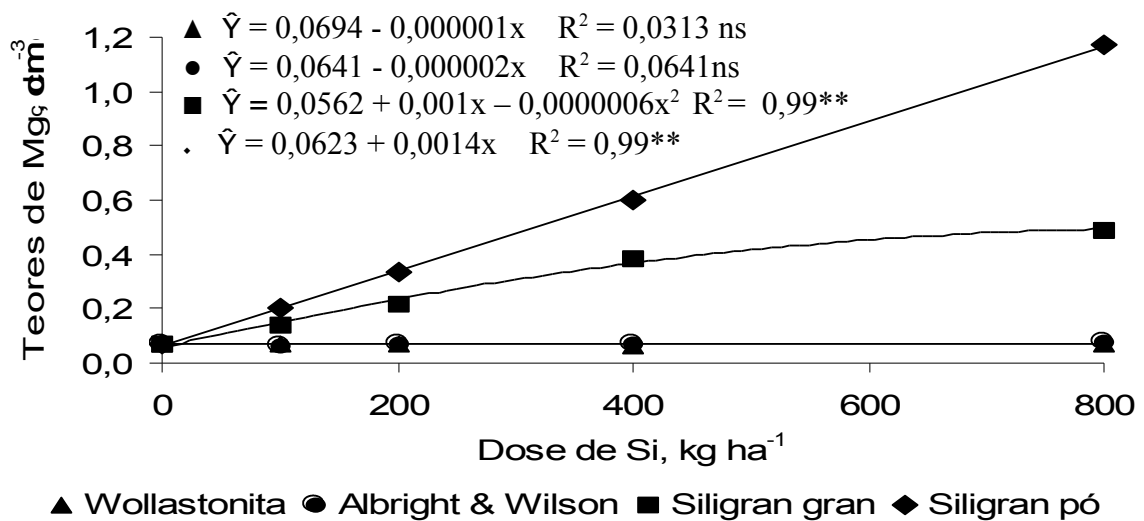


Figura 4. Teores de Mg no solo após 56 dias de incubação (\*\* = 1% de significância, ns = não significativo).

fonte Siligran pó (Tabela 6). Os aumentos nos teores de Mg da fonte Siligran granulada e em pó, foram crescentes acompanhando as doses de Si aplicadas, o mesmo não pode ser dito em relação às fontes Wollastonita e Albright & Wilson. Na dose 100  $\text{kg de Si ha}^{-1}$  podemos observar que a fonte Siligran aplicada na forma granulada e em pó não diferiram uma da outra, embora a fonte Siligran granulada não tenha diferido da Wollastonita, que também não diferiu da fonte Albright & Wilson. Nas doses 200, 400 e 800  $\text{kg de Si ha}^{-1}$  podemos observar que as fontes tiveram o mesmo comportamento, ou seja, a fonte Siligran pó foi superior na liberação de Mg para a solução do solo em relação a fonte Siligran



granulada, que também diferiu das fontes Wollastonita e Albright & Wilson na liberação de Mg. Os valores de Mg mais elevado para a fonte Siligran pó em relação a fonte Siligran granulada é explicado pela maior superfície de contato da fonte Siligran pó. Em relação as demais fontes, essa superioridade da fonte Siligran granulada e em pó pode ser explicada pelo teor de Mg encontrado na composição do produto (Tabela 3).

Tabela 6. Teores de Si, pH em CaCl<sub>2</sub>, Ca e Mg no solo após 56 dias de incubação.

Dose de Si, kg ha <sup>-1</sup>	Fonte de Si	Teores de Si, mg dm <sup>-3</sup>	pH	Ca	Mg
				-----cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----	
<b>Testemunha</b>		<b>13,4</b>	<b>3,90</b>	<b>0,20</b>	<b>0,10</b>
<b>100</b>	Wollastonita	14,6 a	4,07 a	0,46 a	0,07 bc
	Albright & Wilson	15,2 a	4,10 a	0,50 a	0,06 c
	Siligran granulado	11,3 ab	4,00 a	0,27 a	0,14 ab
	Siligran pó	9,0 b	4,10 a	0,35 a	0,20 a
<b>Média</b>		<b>12,5</b>	<b>4,06</b>	<b>0,40</b>	<b>0,12</b>
<b>200</b>	Wollastonita	16,4 a	4,17 a	0,77 a	0,07 c
	Albright & Wilson	17,3 a	4,20 a	0,82 a	0,07 c
	Siligran granulado	8,7 b	4,15 a	0,37 b	0,22 b
	Siligran pó	8,2 b	4,20 a	0,47 b	0,34 a
<b>Média</b>		<b>12,6</b>	<b>4,18</b>	<b>0,60</b>	<b>0,17</b>
<b>400</b>	Wollastonita	19,9 b	4,40 ab	1,35 a	0,07 c
	Albright & Wilson	24,9 a	4,40 ab	1,50 a	0,07 c
	Siligran granulado	10,0 c	4,27 b	0,54 b	0,39 b
	Siligran pó	10,8 c	4,45 a	0,70 b	0,60 a
<b>Média</b>		<b>16,4</b>	<b>4,38</b>	<b>1,02</b>	<b>0,28</b>
<b>800</b>	Wollastonita	39,3 a	4,80 b	2,63 b	0,07 c
	Albright & Wilson	43,0 a	4,90 ab	2,96 a	0,08 c
	Siligran granulado	8,0 b	4,47 c	0,67 d	0,49 b
	Siligran pó	10,5 b	4,97 a	1,24 c	1,17 a
<b>Média</b>		<b>25,2</b>	<b>4,79</b>	<b>1,87</b>	<b>0,45</b>

<b>CV (%)</b>	<b>14,39</b>	<b>1,70</b>	<b>14,33</b>	<b>16,22</b>
<b>DMS (5%)</b>	<b>4,46</b>	<b>0,14</b>	<b>0,25</b>	<b>0,07</b>

\* Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem entre si ao nível de 5% de significância pelo teste de Tukey.