

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS**

**DISPONIBILIDADE DE SILÍCIO PROVENIENTE DE  
ESCÓRIA DE SIDERURGIA PARA A CULTURA DO  
ARROZ**

**CEZESMUNDO FERREIRA GOMES**

**DOURADOS  
MATO GROSSO DO SUL  
2008**

**DISPONIBILIDADE DE SILÍCIO PROVENIENTE DE  
ESCÓRIA DE SIDERURGIA PARA A CULTURA DO  
ARROZ**

**CEZESMUNDO FERREIRA GOMES**  
Químico

**ORIENTADORA: PROF<sup>a</sup> DR<sup>a</sup>. MARLENE ESTEVÃO MARCHETTI**  
**CO-ORIENTADOR: PROF. DR. JOSÉ OSCAR NOVELINO**

**Dissertação apresentada à Universidade  
Federal da Grande Dourados, como parte  
das exigências do programa de Pós-  
Graduação em Agronomia – Produção  
Vegetal, para obtenção do título de Mestre**

**DOURADOS**  
**MATO GROSSO DO SUL**  
**2008**

## Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central – UFGD

631.42 Gomes, Cezes mundo Ferreira  
G633d Disponibilidade de silício proveniente de escória de siderurgia para a cultura do arroz. / Cezes mundo Ferreira Gomes. – Dourados, MS : UFGD, 2009.  
41

Orientador: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Marlene Estavão Marchetti  
Co-orientador: Prof. Dr. José Oscar Novelino  
Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal da Grande Dourados.

1. Resíduos industriais na Agricultura. 2. Solos – Mato Grosso do Sul – Fertilidade. 3. Arroz – Fertilizantes. 4. Silicatos. I. Título.

**DISPONIBILIDADE DE SILÍCIO PROVENIENTE DE ESCÓRIA DE  
SIDERURGIA PARA A CULTURA DO ARROZ**

Por

Cezesmundo Ferreira Gomes

Dissertação apresentada como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título de  
MESTRE EM AGRONOMIA

Aprovada em: 21/07/2008

---

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup>. Marlene Estevão Marchetti  
Orientadora – UFGD/FCA

---

Prof. Dr. José Oscar Novelino  
Co-Orientador – UFGD/FCA

---

Prof. Dr. Munir Mauad  
UGGD/FCA

---

Dr. Oscar Fontão de Lima Filho  
CPAO-EMBRAPA

Ao Criador pela oportunidade desta existência  
e por ser constante em minha vida.

A minha amada esposa Maria Elisabete pela  
confiança, carinho, amor, dedicação e  
incentivo em todos os momentos.

Aos meus filhos Henrique e Anna Catharina  
pela compreensão da minha ausência.

**DEDICO**

## **AGRADECIMENTOS**

A Universidade Federal da Grande Dourados e a Faculdade de Ciências Agrárias pela oportunidade concedida.

A Professora Doutora Marlene Estevão Marchetti e ao Professor Doutor José Oscar Novelino que foram mais do que orientadores, pessoas amigas a qual tenho toda admiração e respeito.

Aos membros da Banca Examinadora pelas valiosas sugestões e críticas.

Ao Professor Doutor Munir Mauad e a Doutora Alessandra Mayumi Tokura Alovisei, pela amizade e correções na dissertação.

Aos irmãos de coração Gilberto Lobtchenko e Zefa Valdivina Pereira, pelo incentivo, paciência e dedicação em todos os momentos.

A todos que direta ou indiretamente colaboraram na elaboração deste trabalho.

## SUMÁRIO

	<b>PÁGINA</b>
LISTA DE QUADROS.....	vi
LISTA DE FIGURAS.....	vii
RESUMO.....	viii
ABSTRACT.....	ix
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1 O silício.....	3
2.1.1 Atributos do solo influenciados pela aplicação de silicatos.....	4
2.1.2 Fontes.....	4
2.1.3 Reação no solo e solubilidade.....	6
2.1.4 Fornecimento de nutrientes.....	8
2.1.5 Análise de silício no solo e planta.....	9
2.1.6 Silício no arroz.....	10
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	12
3.1 Local do experimento.....	12
3.2 Materiais de solo e preparo dos vasos.....	12
3.3 Realização do experimento.....	14
3.4 Avaliações.....	15
3.4.1 No solo.....	15
3.4.2 Na planta.....	15
3.5 Análises estatísticas.....	16
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	18
4.1 Correlação entre características do solo e de plantas de arroz.....	18
4.2 Teor de silício solúvel em CaCl <sub>2</sub> .....	19
4.3. Avaliação dos atributos na parte aérea do arroz.....	21
4.3.1 Altura de plantas.....	22
4.3.2 Produção de massa seca aérea.....	23
4.3.3 Massa seca raízes.....	26
4.3.4 Teor e conteúdo de silício na massa seca aérea da planta.....	28
5. CONCLUSÃO.....	32
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	33

**LISTA DE QUADROS**

1. Principais atributos químicos e físicos de caracterização das amostras dos solos...	13
2. Fontes e dosagens de nutrientes utilizados na adubação básica dos solos.....	14
3. Esquema da análise de variância dos dados do experimento.....	16
4. Coeficientes de correlação linear simples entre atributos dos solos e de plantas de arroz.....	18
5. Quadrados médios da análise de variância de Si solúvel em $\text{CaCl}_2$ 0,01 mol L <sup>-1</sup> .....	19
6. Si extraído pelo cloreto de cálcio ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) em função de fontes de silicatos e solos após a incubação .....	20
7. Quadrados médios da análise de variância para altura de plantas, massa seca da parte aérea e de raízes, teor e acúmulo de Si na massa seca da parte aérea.....	21
8. Altura de plantas de arroz em função de tempos de incubação e solos.....	22
9. Altura de planta em função de duas fontes de silicatos.....	23
10. Massa seca de parte aérea de plantas de arroz em função de tempos de incubação e solos.....	24
11. Massa seca da parte aérea em função de duas fontes de silicatos.....	25
12. Massa seca raiz em função de duas fontes de silicatos.....	27
13. Massa seca de raízes em função de classes de solos.....	27
14. Teor e acúmulo de Si na massa seca da parte aérea de plantas de arroz em função de tempos de incubação e solos.....	28
15. Teor e acúmulo de Si na parte aérea da planta em função de duas fontes de silicatos.....	29

**LISTA DE FIGURAS**

1. Si solúvel em cloreto de cálcio ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) nos solos em função do tempo de incubação e fontes de Si.....	20
2. Altura de plantas (cm) em função de tempo de incubação para cada solo estudado.....	23
3. Massa seca da parte aérea (g/vaso) em função de tempo de incubação para cada solo estudado.....	26
4. Teor de silício solúvel em cloreto de cálcio ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) nos solos em função do tempo de incubação.....	30
5. Silício acumulado em plantas de arroz nos três solos em função do tempo de incubação.....	30

## DISPONIBILIDADE DE SILÍCIO PROVENIENTE DE ESCÓRIA DE SIDERURGIA PARA A CULTURA DO ARROZ

**Autor:** Cezesmundo Ferreira Gomes  
**Orientadora:** Prof<sup>a</sup> Dr. Marlene Estevão Marchetti  
**Co-Orientador:** Prof. Dr. José Oscar Novelino

**RESUMO:** O objetivo deste trabalho foi avaliar o tempo de incubação de fontes de silício em solos de Mato Grosso do Sul e seus efeitos na disponibilidade de silício (Si) no solo, componentes de crescimento e absorção de Si por plantas de arroz. O experimento foi realizado em casa de vegetação da Faculdade de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Grande Dourados - MS. O delineamento experimental utilizado foi de blocos casualizados, em esquema fatorial 2 x 5 x 3, com quatro repetições, sendo duas fontes de silício, cinco tempos de incubação (1, 14, 35, 63 e 98 dias de incubação) com o solo e três solos. O experimento foi desenvolvido em vasos, onde amostras de 3,6 dm<sup>3</sup> de solo foram previamente incubadas em recipientes de plástico com o teor de água suficiente para ocupar 60% do volume total de poros, cuja manutenção do teor de água foi feita com reposições controladas por pesagens. A dose de silício utilizada foi de 300 mg dm<sup>-3</sup> de Si foi aplicada a cada amostra de solo, dose esta definida dos resultados de análise química. No solo foram avaliados os teores de Si solúvel em cloreto de cálcio. Em cada vaso de 3,5 dm<sup>3</sup>, cultivaram-se oito (08) plantas de arroz durante 70 dias. Avaliou-se a massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca da raiz (MSR), altura de planta, teor de silício e silício acumulado na parte aérea. Nas condições de realização do experimento, pode-se concluir que: a disponibilidade e acúmulo de Si na parte aérea da planta para as duas fontes utilizadas foi maior para o LVDF, a escória agrícola proporcionou maior acúmulo de Si na parte aérea das plantas de arroz em relação ao silicato de Ca p.a., no teor de Si solúvel em CaCl<sub>2</sub> não se observou diferenças significativas para as fontes de Si. Independentemente da fonte utilizada o maior teor de Si no solo foi encontrado para o LVDF.

**Palavras-Chaves:** *Oryza Sativa* (L.), silicatos, solos de Cerrados, escória agrícola.

## **AVAILABILITY OF SILICON FROM SLAG OF STEELWORKS FOR RICE CULTURE**

**ABSTRACT:** The aim of this work was to evaluate the incubation time of Silicon sources in soils of South Mato Grosso and its effects on availability of Silicon (Si) in soil, growth compounds and absorption of Si by rice plants. The experiment was carried out in green house of Agrarian Science Faculty of the Federal University of Great Dourados – MS. Used experimental design was randomized blocks in 2 x 5 x 3 factorial scheme, with four replications, which were two sources of Silicon, five periods of incubation (1, 14, 35, 63 and 98 days of incubation) with soil and three soils. The experiment was carried out in vases, where samples of 3.6 dm<sup>3</sup> of soil were previously incubated in plastic containers with water content sufficient to occupy 60% of the total volume of porous, which maintenance of water content was done by controlling weight. Used Silicon dose was 300 mg dm<sup>-3</sup> and it was applied in every soil sample and that dose was defined as a result of chemical analysis. For soil, Si soluble in Calcium chloride contents were evaluated. In every vase with 3.5 dm<sup>3</sup>, eight rice plants were cultivated during 70 days. Dried mass of aerial part (MSPA), of root (MSR), plant height, silicon content and accumulated silicon in aerial part were evaluated. In the conditions that the experiment was carried out, it can be concluded that: availability and accumulation of Si in aerial part of plant for two used sources was higher for LVDf, agricultural slag promoted higher accumulation of Si in aerial part of rice plants in relation to Ca silicate p.a.; in Si soluble in CaCl<sub>2</sub> content, it was not observed significant differences for Si sources and independent on used source, the highest Si content was found for LVDf.

**Keywords:** *Oryza Sativa* (L.), silicates, Cerrado soils, agricultural slag.

## 1. INTRODUÇÃO

A cultura do arroz (*Oryza sativa* L.) é uma das mais importantes mundialmente, superadas apenas pelo trigo e milho, sendo cultivado em 113 países distribuídos por todos os continentes, exceto a Antártida. O arroz alimenta quase a metade do planeta todos os dias, sendo o alimento básico da população e maior parte da renda de milhões de habitações rurais pobres do planeta (EMBRAPA ARROZ E FEIJÃO, 2008).

A produção mundial atualmente chega a 421 milhões de toneladas anuais sendo que na América Latina o arroz é considerado alimento principal, na dieta básica dos brasileiros é responsável por 18% das calorias e 12% das proteínas. O Brasil é considerado o maior consumidor ocidental de arroz com um consumo estimado de 13 milhões de toneladas/ano e uma produção anual é de 11,3 milhões de toneladas (AGRIANUAL, 2008) sendo cultivado em todo o território nacional, desde Roraima até o Rio Grande do Sul.

A exemplo de outras gramíneas (cana-de-açúcar, sorgo, milheto, trigo, milho, capim kikuyo, etc) e algumas não gramíneas (alfafa, feijão, tomate, alface e repolho) o arroz é acumulador de Si, que embora não seja considerado essencial, é necessário para o crescimento e aumento de produtividade das plantas pois sua absorção reduz a transpiração e aumenta a tolerância das plantas ao ataque de pragas e patógenos (KORNDÖRFER e DATNOFF, 1995, LIMA FILHO, 2005).

O Si é o segundo elemento mais abundante, em peso na crosta terrestre, superado apenas pelo oxigênio, representando cerca de 28% em massa na composição elementar da crosta, sendo considerado o mineral secundário mais importante na formação do solo (SINGER e MUNNS, 1999). Os minerais silicatados primários, silicatados secundários de alumínio e diversas formas de sílica (óxidos de silício), tais como quartzo, tridimita, cristobalita, coesita e opala são as principais formas de Si no solo (LINDSAY, 1979).

As fontes de Si aprovadas pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento para agricultura são: escória silicatada, silicato de Ca, silicato de Ca e Mg, silicatos B, Co, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Zn, silicato de K e termofosfatos (BRASIL, 2004). Entre as fontes de Si encontradas disponíveis para as plantas têm-se a wollastonita, escórias de siderurgia, metassilicato de cálcio, metassilicato de sódio,

cimento, termofosfato, silicato de magnésio (serpentinitos) e silicato de cálcio (KORNDÖRFER et al., 2004).

O Brasil gera cerca de 6,25 milhões de toneladas de escória de siderurgia por ano durante a produção do ferro-gusa, possibilitando uma fonte abundante e economicamente viável de Si (PEREIRA et al., 2003). Estas são fontes promissoras para serem utilizadas na agricultura, pois apresentam altos teores de Si e características adequadas tais como alto conteúdo de Si solúvel, granulometrias adequadas, facilidade para a aplicação mecanizada, pronta disponibilidade para as plantas, baixo custo, relações e quantidades de cálcio (Ca) e magnésio (Mg) equilibradas e baixos teores de metais pesados (PAIM, 2002; LIMA FILHO, 2005).

O objetivo deste trabalho foi avaliar o tempo de incubação de fontes de Si em solos de Mato Grosso do Sul e seus efeitos na disponibilidade de Si no solo, nos componentes de crescimento e na absorção de Si por plantas de arroz.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 O silício

O silício é classificado como um metalóide por estar no grupo 14 da tabela periódica. Seu nome é derivado do latim e significa “sílex”, sílex é dióxido de silício impuro. É o segundo elemento mais abundante na litosfera sendo superado apenas pelo oxigênio. A grande maioria das rochas, solos, areias e terras são compostas de silício, ou das várias formas de sílica pura ou impura, SiO<sub>2</sub> (quartzo, sílex, trimidita, ágata, opala etc.), ou de silicatos, tais como feldspatos, micas, talcos e muitos outros (RUSSEL, 1994; PERUZZO E CANTO, 2002).

Na agricultura o Si já era estudado em meados do século XIX com o objetivo de observar os efeitos no crescimento das plantas, sugerindo-se o uso como fertilizante. Países como Japão, China e Coréia, Estados Unidos, Austrália, África do Sul utilizam os silicatos na agricultura há décadas. No Brasil, seu uso só foi regulamentado pelo Decreto nº 4954 de 2004 que o considera como micronutrientes para o crescimento e produção de vegetais (BRASIL, 2004).

Apesar da absorção de Si não ser considerada essencial para o desenvolvimento das plantas, este exerce influência na resistência a ataques de insetos e fungos; na melhoria do estado nutricional; na redução da transpiração e na eficiência fotossintética (KORNDÖRFER et al., 2004).

Os efeitos benéficos do Si têm sido demonstrados em várias espécies de plantas, sendo capaz de aumentar a produtividade (NOJOSA et al., 2006) e a resistência ao ataque de insetos e patógenos (EPSTEIN, 2001). Gomes et al. (2007) verificou que a aplicação de Si contribuiu para a redução das injúrias de dois importantes desfolhadores na cultura da batateira; Castro e Crusciol (2007) observaram que os silicatos de cálcio e magnésio foram tão eficientes quanto o calcário nas melhorias das características agronômicas da cultura da soja; podemos concluir que a adubação com Si tem influenciado diversas culturas.

### 2.1.1 Atributos do solo influenciados pela aplicação de silicatos

O Si praticamente está presente em todas as rochas e argilas, na forma de silicatos complexos de alumínio, ferro, magnésio e outros metais (SINGER e MUNNS, 1999). A maior parte do Si ocorre como forma insolúvel, tais como o quartzo, feldspato, mica e augita (TISDALE et al., 1985; RAIJ, 1991). Dentre esses minerais, o feldspato é que sofre um processo de intemperização mais acelerado, sendo a principal fonte de silício disponível para as plantas na solução do solo, o ácido monossilícico ( $\text{H}_4\text{SiO}_4$ ) (EXLEY, 1998).

Há um consenso entre vários pesquisadores (McKEAGUE e CLINE, 1963; LINDSAY, 1979; OLIVEIRA, 1984; TISDALE et al., 1985; RAIJ, 1991; MÉNDEZ BALDEÓN, 1995; TOKURA, 2004), que na faixa de pH 4 a 9, o monômero  $\text{H}_4\text{SiO}_4$  (ácido monossilícico) é a forma predominante de sílica na solução do solo, em concentração variável de menos 1 a mais de  $100 \text{ mg dm}^{-3}$  em  $\text{SiO}_2$ .

### 2.1.2 Fontes

Segundo Korndörfer et al. (2004), as principais formas de Si no solo são: Si solúvel ( $\text{H}_4\text{SiO}_4$  – ácido monossilícico), que desprovido de carga elétrica, influencia positivamente no comportamento da sílica com relação aos vegetais e Si adsorvido ou precipitado com formas de óxidos de ferro e alumínio e os minerais silicatados.

Korndörfer et al. (2004) argumenta que a solubilidade destes materiais depende de vários fatores: temperatura, pH, tamanho de partícula, composição química e presença de rachaduras em suas estruturas, além dos fatores de solos tais como composição granulométrica, umidade, potencial de oxi-redução e teores de óxidos (de ferro e de alumínio, principalmente).

Os resíduos industriais e urbanos na agricultura podem ser utilizados como fonte de nutrientes ou como corretivos da acidez do solo, é uma tendência decorrente da necessidade de minimizar os efeitos nocivos causados pelo acúmulo de nutrientes nos centros de produção (MARCIANO et al., 2001). Araújo et al. (2007) defende a criação de destinos adequados para estes resíduos, na tentativa de minimizar os riscos ambientais e aproveitá-los em atividades essenciais ao homem.

Várias são as fontes contendo elevadas concentrações de Si e que são adicionadas aos solos visando aumento de produtividade nas áreas agrícolas. Estas fontes podem ser escórias ou subprodutos dos processos industriais apresentando grande variação na solubilização, composição e disponibilidade de Si (BARBOSA FILHO et al., 2000). Escórias são resíduos da indústria do aço e ferro, que apresentam em sua composição constituintes neutralizantes (ALCARDE, 1992), especialmente Ca e Mg (PIAU, 1991), Si (WINSLOW, 1992) e metais não prejudiciais às plantas e ao solo (PIAU, 1995).

As escórias siderúrgicas são classificadas em dois grupos: escórias de alto forno e escórias de aciaria que, além de corretivos de acidez, são empregadas como fontes de Ca, Mg, Si, (principalmente) Fe e Mn. Logan (1992) e Wallace (1994) afirmam que entre as fontes de contaminação do solo podem-se destacar os resíduos provenientes de minerações, siderurgias, metalúrgicas e indústrias petroquímicas causadores de grande impacto nos ecossistemas.

Escórias resfriadas lentamente ao ar possuem maior disponibilidade de Si em comparação com escórias esfriadas em água e a diminuição no tamanho dos grânulos aumenta a disponibilidade de Si (TAKAHASHI, 1981), pois aumenta a área de contato verificando-se maior reatividade química.

Para Amaral Sobrinho et al. (1992), as escórias de alto forno possuem altos teores de metais pesados que contaminem mais o solo do que o calcário, contudo, Malavolta (1994) ao analisar escórias de alto forno produzidas em Minas Gerais, encontrou baixos traços de metais pesados. Este autor ainda afirma que, embora os metais pesados encontrados no calcário sejam menor que o da escória este é empregado em maior quantidade na agricultura o que pode contaminar o solo por efeito cumulativo muito mais do que a escória.

Para Korndörfer et al. (2004), as escórias siderúrgicas são as fontes mais abundantes e de baixo custo de silicatos, originárias do processamento em altas temperaturas, geralmente acima de 1.400 °C, da reação de diversos tipos de calcário com a sílica (SiO<sub>2</sub>), presente no minério de ferro + carvão:

$$\text{SiO}_2 + \text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3 \leftrightarrow \text{CaSiO}_3 + \text{MgSiO}_3 + \text{CO}_2$$
 (silicato de cálcio e magnésio).

As altas concentrações de silicatos de cálcio (Ca) e magnésio (Mg) nas escórias possibilitam utiliza-las como corretivos de acidez do solo e como fonte de Ca e Mg para as plantas, especialmente para os solos arenosos, com baixa fertilidade

natural e baixa capacidade de troca catiônica (CTC). Apesar de ser fonte de Si para as plantas, óxidos de Si, tem efeito neutralizante da acidez do solo, ou seja, condiciona o aumento de pH e a redução do  $H + Al$  (ALCARDE, 1992).

Assim como no calcário, a reatividade da escória varia conforme a sua granulometria, dosagem utilizada, tipo de solo e com o tempo de contato entre a escória e o solo (PIAU, 1991; NOVAIS et al., 1993).

Korndörfer (2002) determinou, para algumas fontes silicatadas, os teores de Si total e Si solúvel. Para a Wollastonita (Vansil) encontrou os seguintes valores percentuais respectivamente, 51,9; 30,1; já para MB-4 (Mibasa) os valores encontrados foram 18; 1,8; em Forno LD (Mannesman) 12,3; 3,31. Já Araújo et al. (2007) encontrou para a Wollastonita teores de Si total e Si solúvel, respectivamente, 20,7% e 4,6% e para a escória de siderurgia os teores foram 19,4% e 4,99%.

### **2.1.3 Reação no solo e solubilidade**

Segundo Korndörfer et al. (2004), os silicatos de cálcio e magnésio são constituídos basicamente de  $CaSiO_3$  e  $MgSiO_3$ . Os silicatos devem ser comercializados na forma de peletis e quanto mais finamente moídos (maior área de contato), maior sua reatividade e eficiência agronômica. Os efeitos benéficos da aplicação de silicatos de Ca e Mg estão associados normalmente, ao poder corretivo e ao aumento do Ca e Mg trocável no solo.

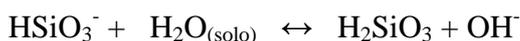
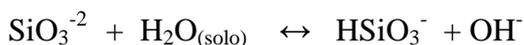
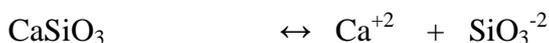
Os silicatos também podem atuar nas reduções de toxicidade do Fe, Mn e Al nas plantas, aumentando a oferta de disponibilidade de P na solução do solo, sendo que após a conclusão da ação alcalinizante, o ácido monossilícico,  $H_4SiO_4$ , residual da silicatagem pode adsorver-se aos óxidos de Fe e Al da fração argila, impedindo ou dificultando a adsorção de fósforo, que, desta maneira, torna-se mais disponível em solução (ROY et al., 1971; SMYTH e SANCHES, 1980; ANDERSON et al., 1991; LEITE, 1997). Através de competição também pode ocorrer saturação dos sítios de adsorção por Si e/ou P, impedindo (ou deslocando) a formação dos complexos de superfície entre os óxidos de Fe e Al e os metais pesados (LEITE, 1997; CARVALHO, 1999).

Para Vogel (1981), os silicatos de metais alcalinos, quando hidrolisados, possuem reação alcalina elevando o pH. Portanto, em meio alcalino, estes materiais

revelam menor solubilidade, a menos que se forneça ao meio uma fonte de prótons ( $\text{NH}_4^+$ ). Assim sendo, a reação pode ser:



Alcarde (1992), explica a ação neutralizante do silicato pela seguintes reações:



O efeito da Wollastonita e do silicato de Ca e Mg, derivados de aciaria de aço inox, sobre o pH do solo ( $\text{CaCl}_2$ ) tem resultados melhores quanto maior a dose de silicato aplicado (KORNDÖRFER et al., 2004).

O silicato de cálcio é 6,78 vezes mais solúvel que o carbonato de Ca ( $\text{CaCO}_3 = 0,014 \text{ g dm}^{-3}$ ,  $\text{CaSiO}_3 = 0,095 \text{ g dm}^{-3}$ ). Embora quimicamente parecido com a geometria tetraédrica do carbono, na verdade as diferenças nas estruturas e propriedades podem ser devidas ao maior tamanho do átomo de Si (JOLY, 1966).

O ácido silícico é a única forma disponível de Si para as plantas, porém diversos fatores podem influenciar o seu teor no solo. As principais fontes que aumentam a sua disponibilidade são: adição de fertilizantes silicatados, água de irrigação, dissolução de ácido silícico polimérico, liberação de Si dos óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio, dissolução de minerais cristalinos e não cristalinos e decomposição de resíduos vegetais. Os principais drenos são: absorção pelas plantas, formação de polímeros de Si, lixiviação, formação de óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio e formação de minerais cristalinos (SAVANT et al., 1997).

A solubilidade do Si, nos diferentes tipos de escórias é bastante variável. As escórias de alto forno normalmente apresentam maiores teores de Si, mas com baixa solubilidade, enquanto que as de aciarias (produção de aço) apresentam menores teores de Si, mas com maior solubilidade. Mesmo entre as escórias de aciaria, há variação nos teores e solubilidade do Si. As escórias da produção de aço inox são as que apresentam o Si como fonte mais solúvel (KORNDÖRFER et al., 2004).

A granulometria fina das escórias permite maior reatividade nos solos tanto nos arenosos como nos argilosos (NOVAIS et al., 1993 apud KORNDÖRFER et al., 2004). Para um fornecimento mais eficiente de Ca e Mg para o solo através das escórias de alto forno, as partículas menores que 0,3 mm são mais eficientes que as mais

grosseiras, com partículas maiores que 2,0 mm. (OLIVEIRA et al., 1994 apud KORNDÖRFER et al., 2004).

#### **2.1.4 Fornecimento de nutrientes**

Além dos silicatos, as escórias fornecem metais, Si, Ca e Mg trocável ao solo, comportando-se de forma semelhante aos calcários (BUCK et al., 2004). Esses resíduos apresentam, geralmente, teores elevados de micronutrientes como Fe, Zn, Mn, B e Cu (MALAVOLTA, 1994). Assim, quando comparadas ao calcário as escórias contribuem para o incremento de micronutrientes ao solo, podendo prever melhores respostas quando aplicadas em solos com menor disponibilidade de micronutrientes para as plantas (UFV, 1983).

Apesar dos efeitos positivos desses materiais é necessário considerar-se, também, o teor de metais pesados existente que, em níveis elevados, podem tornar-se tóxicos e limitar seu uso na atividade agrícola. Assim, para a incorporação ao solo desses resíduos é necessário que se conheça a composição química do material e as propriedades físicas e químicas do solo (POMBO e KLAMT, 1986). A dinâmica dos metais pesados no sistema solo-planta é influenciada pelas características e propriedades dos solos, e pelo comportamento das diferentes espécies vegetais (CABRERA et al., 1988; HAGEMEYER e WAISEL, 1989; HERNANDEZ et al., 1991). Entretanto, como as doses de micronutrientes utilizadas são sempre pequenas, a adição de metais pesados, via resíduo, pode não ser expressiva, dependendo da composição química desses materiais.

Korndörfer et al., (2004) comparando cinco tipos de calcários comercializados ao silicato de cálcio e magnésio (Recmix/Agrosílico) observou-se incidência de metais pesados em maior quantidade nas amostras de calcários de Unaí, Pote, Coromandel, Formiga e Arcos do que silicato de cálcio e magnésio proveniente da escória Recmix.

Por outro lado Malavolta (1994) afirma que em escórias de alto forno produzidas em Minas Gerais não há metais pesados prejudiciais a saúde humana como cromo, mercúrio e chumbo, podendo ser utilizada para adubação.

### 2.1.5 Análise de Silício no solo e planta

Os laboratórios brasileiros não fazem a determinação de silício disponível em fertilizantes e corretivos, nem tampouco consta da Legislação Brasileira de Fertilizante (BRASIL, 1982). Assim, a falta de métodos adequados para quantificar este Si tem dificultado a avaliação de fontes confiáveis para o fornecimento deste elemento às plantas (PEREIRA et al., 2003).

Vários extratores têm sido utilizados para avaliar a disponibilidade de silício às plantas. No Japão os mais utilizados são o ácido cítrico, o ácido acético e o acetato de amônio tamponado a pH 4,0 (TAKAHASHI, 1981; KATO e OWA, 1997; SUMIDA 2002). Nos Estados Unidos e no Brasil é o ácido Acético ( $0,5 \text{ mol/L}^{-1}$ ) (KORNDORFER et al 1999; SNYDER, 2001). Na Austrália é o  $\text{CaCl}_2$   $0,01 \text{ mol/L}^{-1}$ . Outros extratores podem ser utilizados como água, fosfato acidificado (KHALID e SILVA, 1980),  $\text{NaCl}$ ,  $\text{MgSO}_4$  (VAN RAIJ & CAMARGO 1973). De modo geral, as mais eficientes são as ácidas que as soluções neutras e a dissolução aumenta com os agentes quelantes devido ao decréscimo da adsorção de silício resultantes da baixa concentração de Al e Fe (BERTHELSEN et al., 2002). Podendo superestimar os resultados de silício solúvel (SUMIDA, 2002; XU et al., 2001).

Recentemente, têm sido sugeridos outros métodos de extração, como a resina trocadora de cátion. Este método vem apresentando as melhores correlações entre a quantidade de Si extraída e a quantidade recuperada pela planta (KATO e OWA, 1997). Outro método que também vem apresentando correlações significativas entre avaliação da solubilidade dos silicatos e a quantidade de Si recuperada pelas culturas é o da coluna de lixiviação (SNYDER, 2001). Tal método, no entanto, além de difícil aplicação, não quantifica o Si solúvel, apenas fornece uma estimativa de qual escória apresenta maior quantidade de Si disponível em um curto período de tempo.

Korndorfer et al (1999) foi o trabalho inicial que tratou da disponibilidade de silício para os solos tropicais. Estes demonstraram que o ácido acético foi o extrator com melhor correlação com plantas comparado ao  $\text{CaCl}_2$   $0,0025 \text{ mol L}^{-1}$  e água. Posteriormente Queiroz (2003) e Pereira et al (2004) verificaram que quando são utilizadas outras fontes de silício que não sejam a Wollastonita, o ácido acético  $0,5 \text{ mol L}^{-1}$  é capaz de solubilizar silício da fonte, porém, não o tornam disponível as plantas.

Para Camargo et al (2005), o extrator ácido Acético  $0,5 \text{ Mol L}^{-1}$ , mais utilizados no Brasil e Estados Unidos, não é adequado devido aos teores serem altamente

influenciado pelas variações de pH. Para os solos orgânicos com alto poder tampão como dos Estados Unidos, isso pode não ser importante, mas no caso do Brasil, onde os solos são altamente dependentes da correção de acidez, esse extrator não deveria ser utilizado por superestimar os teores de silício solúvel que não corresponde àqueles disponíveis para as plantas. Pereira et al. (2007) corroboram com esses dados afirmando que ácido acético não é um extrator confiável para determinação do Si do solo, principalmente, quando aplicada uma fonte de Si ao solo. Para estes autores O cloreto de cálcio foi o melhor extrator do Si do solo, apesar de suas limitações pela estreita faixa de determinação e o carbonato de amônio e o acetato de amônio discriminam as variações entre as diferentes fontes de Si e têm potencial para uso na sua determinação no solo.

### **2.1.6 Silício no arroz**

Quando se iniciaram os estudos relativos ao Si na cidade de Rothamsted, em 1840 Justus von Liebig foi o primeiro a sugerir o uso do Si como fertilizante e a conduzir um experimento com silício em casa-de-vegetação. Mas em 1859 na Estação Experimental de Rothamsted, na Inglaterra foi instalado o primeiro experimento de campo com fertilizante silicatado, no mundo (LIMA FILHO, 2008).

Alguns autores acreditavam que o efeito benéfico dos silicatos, muitas vezes observado na produção, era atribuído à função de aumentar no solo, a disponibilidade do fósforo. Datta (1962) observou que o silicato de sódio favoreceu o arroz somente na falta de fertilizantes fosfatados. Por outro lado, há muito tempo sabe-se que a falta de Si na solução do solo a cultura do arroz deixa de apresentar crescimento normal (LEITE, 2004).

No caso específico do arroz irrigado, a sílica aumenta o suprimento de oxigênio na raiz e promove a força de oxidação da mesma pelo aumento do volume e da rigidez do aerênquima, aumentando o suprimento de oxigênio para as raízes (OKUDA e TAKAHASHI, 1965). O Si, em muitos resultados experimentais, favoreceu o aumento do crescimento e a produção de grãos de arroz. Pesquisas de Imaizumi e Yoshida (1958) indicaram que mais de 70% do Si assimilada pelo arroz provinha do solo e os restantes 30% da água de irrigação.

O arroz de sequeiro, no Brasil apresenta resultados semelhantes aos obtidos com aplicação de Si em arroz irrigado em outros países, apresentando efeitos positivos

desse elemento na cultura do arroz (KORNDÖRFER et al., 1999; FARIA, 2000; BARBOSA FILHO et al., 2001; TOKURA, 2007).

Na planta, o Si encontra-se nos tecidos de suporte/sustentação do caule e nas folhas, podendo ser encontrado também nos grãos. O conteúdo médio de Si nas raízes é um décimo da concentração do caule. No arroz, o Si se acumula nas células da epiderme e nas paredes das células e, também, nos exsudatos da transpiração dos órgãos sob forma de sílica coloidal (KORNDÖRFER et al., 2004).

A acumulação de Si nas células da epiderme, particularmente em gramíneas, mantém as folhas mais eretas, aumentando a penetração de luz, diminui a transpiração excessiva evitando ou reduzindo o estresse hídrico nas folhas e aumenta a resistência ao acamamento (LIMA FILHO, 2005).

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Local do experimento

O experimento foi realizado em casa de vegetação, da Faculdade de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Grande Dourados, localizada na rodovia Dourados a Ithaum Km 12, com coordenadas geográficas de 22°14'S de latitude, 54°49'W de longitude, altitude de 458 m clima Cfa (mesotérmico úmido sem estiagem). A precipitação pluviométrica total da região é de 1200 a 1400 mm, e a temperatura média anual é de 22° C.

#### 3.2 Materiais de solo e preparo dos vasos

Utilizaram-se três amostras de solos representativos do Estado de Mato Grosso do Sul classificados, segundo Embrapa (1999), como NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Distrófico (NQD), LATOSSOLO VERMELHO Distrófico textura média (LVDm) e LATOSSOLO VERMELHO Distroférico (LVDf).

As amostras dos solos foram coletadas na profundidade de 0 - 20 cm no horizonte A, secas ao ar, destorroadas, passadas por peneira com malha de 2 mm de abertura, homogeneizadas e submetidas às análises de caracterização química e física (Quadro 1).

O delineamento experimental foi em blocos casualizados em esquema fatorial 2 x 5 x 3, sendo duas fontes de silicato (silicato de cálcio p.a e escória de siderurgia), cinco tempos de incubação com o solo (1, 14, 35, 63 e 98 dias) e três classes de solos (NQD, LVDm e LVDf) com quatro repetições. Uma dose única de Si ( $300 \text{ mg dm}^{-3}$ ) foi definida para as três amostras de solo segundo metodologia usada por Carvalho-Pupatto et. al. (2004).

Uma amostra da escória de siderurgia, em triplicata, foi submetida à caracterização física e química, segundo Korndörfer et al. (2004) e apresentou como média 7,81% de Si total (ou 16,7% de  $\text{SiO}_2$ ), enquanto o silicato de cálcio p.a apresentou em média 28% de  $\text{SiO}_2$ . O silicato de cálcio utilizado no experimento foi o PA já a escoria de siderurgia foi passada em peneira de 2,0 mm.

QUADRO 1. Principais atributos químicos e físicos de caracterização das amostras dos solos

Atributos dos solos <sup>(1)</sup>	Solos		
	NQD	LVDm	LVDf
pH em água	5,0	5,0	5,2
pH em CaCl <sub>2</sub>	4,2	4,1	4,2
M.O. (g.kg <sup>-1</sup> )	4,6	15,9	20,3
Si (CaCl <sub>2</sub> 0,01 mol L <sup>-1</sup> ) (mg dm <sup>-3</sup> ) <sup>(4)</sup>	1,60	1,85	14,01
P – Mehlich 1 (mg dm <sup>-3</sup> )	1,0	1,0	1,0
P-remanescente (mg L <sup>-1</sup> )	46,0	35,0	11,0
Al <sup>3+</sup> (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	6,8	12,9	20,3
H + Al <sup>3+</sup> (mmol <sub>c</sub> DM <sup>-3</sup> )	28,0	53,0	111,0
Ca <sup>2+</sup> (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	2,0	1,0	6,7
Mg <sup>2+</sup> (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,0	0,0	4,0
K <sup>+</sup> - Mehlich 1 (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,5	0,5	0,9
Soma bases - SB (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	2,5	1,5	11,6
Saturação por bases – V (%)	8	2	9
Densidade partículas (g cm <sup>-3</sup> )	2,79	2,83	3,23
Densidade do solo (g cm <sup>-3</sup> )	1,42	1,38	1,12
Volume total poros - VTP (%)	49	51	65
Argila (g kg <sup>-1</sup> ) <sup>(1)</sup>	130	240	760
Silte (g kg <sup>-1</sup> ) <sup>(1)</sup>	19,4	40	91
Areia (g kg <sup>-1</sup> ) <sup>(1)</sup> M.D. <sup>(3)</sup>	850	720	149

<sup>(1)</sup>Embrapa (1999); <sup>(2)</sup>Alvarez et al. (2000); <sup>(3)</sup>Análise Granulométrica pelo método do densímetro e <sup>(4)</sup>Korndörfer et al. (2004).

Amostras de 3,6 dm<sup>3</sup> de solo foram acondicionadas em sacos de plástico e incubadas com amostras dos silicatos durante 1, 14, 35, 63 e 98 dias, com o teor de água destilada suficiente para ocupar 60% do volume total de poros, estimado conforme método descrito em Embrapa (1997).

A reposição da água perdida por evaporação foi realizada mediante pesagens dos materiais incubados utilizando tubo de polietileno (5 cm de comprimento e 1,27 cm de diâmetro) que se encontrava amarrado na abertura de cada saco, usado para as trocas gasosas dos materiais incubados em saco plástico.

Sub-amostras de 3,5 dm<sup>3</sup> de cada material de solo, após os períodos de incubação com os silicatos, foram submetidas às correções da acidez conforme a necessidade de cada solo e as quantidades de Ca e Mg foram padronizados com diferentes produtos como calcário dolomítico, carbonato de magnésio, carbonato de cálcio e sulfato de magnésio.

### 3.3 Realização do Experimento

Antes da semeadura do arroz foi adicionado ao solo uma solução nutritiva com macro e micronutrientes, segundo Novais et al. (1991), cujas concentrações dos nutrientes estão no Quadro 2.

QUADRO 2. Fontes e dosagens de nutrientes utilizados na adubação básica dos solos

Tipo	Nutriente		Quantidade da fonte/8,5 L de solução nutritiva <sup>2</sup>
	Doses a serem aplicadas no solo (mg kg <sup>-1</sup> )	Fonte <sup>1</sup>	
N	250	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	57,8 g
K	150	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> e KCl	129,37g e 59,53g
S	44,8	Sulfatos de K, Cu, Fe e Zn	( <sup>3</sup> )
B	0,81	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> (17% de B)	2,84 g
Cu	1,33	CuSO <sub>4</sub> .5H <sub>2</sub> O	3,10 g
Fé	1,55	FeSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	4,59 g
Mn	1,83	MnCl <sub>2</sub> .4H <sub>2</sub> O	3,93 g
Mo	0,15	Na <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub> .2H <sub>2</sub> O(39% de Mo)	0,24 g
Zn	4,00	ZnSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O(21% de Zn)	11,34 g
Ácido Cítrico	50,0	C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O <sub>7</sub>	29,75 g

<sup>1</sup> Todas as fontes são sais p.a., exceto aquelas com os percentuais do nutriente entre parênteses.

<sup>2</sup> 25 mL da solução nutritiva para cada amostra de solo com 3,5 dm<sup>3</sup> vaso<sup>-1</sup>.

<sup>3</sup> Este nutriente teve como fontes os sulfatos de potássio, cobre, ferro e zinco.

A adubação fosfatada foi realizada com o adubo superfosfato triplo, cujas doses em mg dm<sup>-3</sup> de P, por solo (180 para o NQD, 210 para o LVDm e 288 para o

LVDf), foram estimadas com base nos valores de P-remanescente, segundo Alvarez V. et al. (2000).

Após a correção da acidez e adição da solução nutritiva, cada amostra foi transferida para vaso de plástico de 5 kg e semeada com sementes de arroz (*Oryza sativa*) da variedade EPAGRI 108 na profundidade de 1,5 a 2,0 cm.

A emergência das plântulas de arroz ocorreu sete dias após a semeadura, e o desbaste foi realizado no décimo dia após a emergência, deixando-se oito plantas por vaso.

As irrigações dos vasos foram realizadas com reposições diárias, controladas por pesagens, de modo a manter o teor de água próximo a 60% do volume total de poros foram realizadas durante todo o período de cultivo.

Aos 12, 24, 44, 60 e 70 dias após a semeadura foram efetuadas adubações nitrogenadas em cobertura nas doses de 20, 25, 30, 20 e 25 mg dm<sup>-3</sup> de N (na forma de uréia) respectivamente. Junto à última dose de adubo nitrogenado foi aplicado a cada vaso 20 mg dm<sup>-3</sup> de K (na forma de KCl) por deficiência de K.

A coleta da parte aérea da planta do arroz ocorreu aos 80 dias após a semeadura, o material foi cortado rente ao solo, lavada em água corrente e destilada, depois de identificadas foram levadas a estufa de circulação de ar forçada com temperatura constante de 60° C até peso constante de massa.

### **3.4 Avaliações**

#### **3.4.1 No solo**

Ao final do período de incubação uma amostra de solo do vaso foi seca ao ar, destorroada, homogeneizada e submetida à análise de Si solúvel em CaCl<sub>2</sub>, segundo Korndörfer et al. (2004).

#### **3.4.2 Na planta**

Na planta por ocasião da colheita, realizada aos 80 dias após a semeadura, foram avaliados as seguintes características:

- Altura de plantas (cm), imediatamente antes da colheita, onde mediu-se com uma régua a altura total das plantas de cada vaso, aferindo da folha bandeira ao solo;

- Massa seca da parte aérea e de raízes (g/planta) onde as massas secas foram obtidas após as lavagens de folhas, colmos e raízes com água de torneira e água destilada, secagem a 70°C em estufa com circulação forçada de ar, até a constância das massas;

- O teor de Si na massa seca da parte aérea ( $\text{mg dm}^{-3}$ ), determinado de acordo com metodologia de Korndörfer et al. (2004);

- O acúmulo de Si na parte aérea foi calculado com base nos teores e na massa seca da parte aérea.

### 3.5 Análises estatísticas

Nas análises estatísticas dos dados utilizou-se o seguinte esquema de análise de variância (Quadro 3):

QUADRO 3 – Esquema da análise de variância dos dados do experimento.

Fontes de Variação	Graus de Liberdade
Bloco	3
Solo (S)	2
Fonte de Si (F)	1
Tempo de incubação (TI)	4
S x F	2
S x TI	8
F x TI	4
Resíduo	95

Análises de correlações simples de Pearson foram realizadas entre as médias das variáveis estudadas.

Os dados avaliados foram submetidos à análise de variância, cujos efeitos das fontes de variação foram testados pelo teste F até 5% de probabilidade e quando houve significância estatística para tempo de incubação, equações de regressão foram

ajustadas utilizando-se o aplicativo computacional SAEG, segundo Ribeiro Junior (2001).

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Correlação entre características do solo e de plantas de arroz

Os coeficientes de correlação simples entre os atributos do solo e dos componentes avaliados nas plantas de arroz estão apresentados no Quadro 4.

QUADRO 4. Coeficientes de correlação linear simples entre atributos dos solos e de plantas de arroz

Atributos	Massa seca aérea	Massa seca raiz	Altura planta	Teor Si	Acúmulo Si	Si cloreto de cálcio
Massa seca aérea	-	-	-	-	-	-
Massa seca raiz	0,96 <sup>**</sup>	-	-	-	-	-
Altura planta	0,72 <sup>**</sup>	0,66 <sup>**</sup>	-	-	-	-
Teor Si	0,32 <sup>*</sup>	0,38 <sup>*</sup>	0,11 <sup>ns</sup>	-	-	-
Acúmulo Si	0,86 <sup>**</sup>	0,87 <sup>**</sup>	0,57 <sup>**</sup>	0,72 <sup>**</sup>	-	-
Si cloreto de cálcio	0,72 <sup>**</sup>	0,69 <sup>**</sup>	0,49 <sup>**</sup>	0,45 <sup>**</sup>	0,74 <sup>**</sup>	-0,48 <sup>**</sup>

<sup>\*</sup>, <sup>\*\*</sup> e <sup>ns</sup>: Significativo a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste t.

Verificou-se correlação positiva entre as variáveis massas seca da parte aérea e massa seca de raiz, quando comparadas com os atributos altura de planta, teor de Si, acúmulo de Si e Si solúvel em cloreto de cálcio (Quadro 4).

Para a característica altura de planta houve interação positiva com a massa seca da parte aérea e da raiz, acúmulo de Si e Si solúvel em cloreto de cálcio como verificados no Quadro 4, concordando com o trabalho de Chagas et al. (2004) e contrariando resultados de Liang et al. (1994) que não encontraram efeito do Si no crescimento de plantas de arroz. A ausência de resposta à aplicação de Si para altura de plantas observada por esses autores pode estar relacionada com várias causas, dentre elas a diferença genotípica quanto à exigência e a capacidade de extração do Si (WINSLOW, 1992). Mauad et al. (2003) também não verificou incremento na altura de plantas de arroz IAC 202 com aplicação de doses de Si, corroborando com Faria Júnior et al. (2006) observou que as doses de Si não influenciaram os componentes de crescimento e produção.

## 4.2 Teor de silício solúvel em CaCl<sub>2</sub>

Os quadrados médios da análise de variância de Si solúvel em CaCl<sub>2</sub> 0,01 mol L<sup>-1</sup>, em função de classes de solo, fontes e tempos de incubação, podem ser observados no Quadro 5. Constata-se que houve efeito significativo das interações solo x tempo de incubação e fonte x tempo de incubação, não ocorrendo interação significativa para solo x fonte.

QUADRO 5. Quadrados médios da análise de variância de Si solúvel em CaCl<sub>2</sub> 0,01 mol L<sup>-1</sup>

Fontes de Variação	Si solúvel em CaCl <sub>2</sub>
Bloco	3,2181 <sup>ns</sup>
Solo (S)	4049,208**
Fonte de Si (F)	37,1260 <sup>ns</sup>
Tempo de Incubação (TI)	492,6254**
S x F	29,9565 <sup>ns</sup>
S x TI	255,4985**
F x TI	50,7627**
Resíduo	12,2355
Coeficiente de variação (%)	17,2

\* e \*\* = Significativo ao nível de 5 e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste de F.

O Si extraído pelo cloreto de cálcio em função de fontes de silicatos e classes de solos após a incubação pode ser observado no Quadro 6 e Figura 1. Na análise das classes de solos dentro das fontes de Si observa-se diferença significativa entre as classes com valores que aumentam do NQD para o LVDF. O Si na solução do solo está na forma H<sub>4</sub>SiO<sub>4</sub>, assim, em função das características mineralogia no LVDF conferida pelo menor grau de intemperismo de caulinita que é o provável controlador do Si na solução do solo, favorecendo a adsorção deste ácido em relação aos demais. Segundo Tokura (2004), a velocidade das reações de absorção de Si em solos oxídicos é alta, na presença de minerais com superfícies altamente adsorvedora, o que explica a capacidade de adsorção dos Latossolos em relação ao NQD.

QUADRO 6. Si extraído pelo cloreto de cálcio ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) em função de fontes de silicatos e solos após a incubação

Fontes	Solos		
	NQD	LVDm	LVDf
Escória Siderurgia	11,18 aC	17,68 aB	30,45 bA
Silicato de Cálcio p.a	13,16 aC	16,80 aB	32,69 aA

Médias seguidas de uma mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Analisando-se as fontes de Si dentro de cada classe de solo nota-se que as mesmas diferem apenas para o LVDf, o que pode ser explicado por sua mineralogia e a forte presença caulínica, em relação a fonte o silicato de Cálcio (granulometria ser mais fina) o que facilita melhor a solubilização e reatividade do silicato de Cálcio em relação a escória de siderurgia. Pereira et al. (2007) também encontraram valores maiores para a Wollastonita em relação as escórias de siderurgias.

Korndörfer et al. (1999) observaram que a aplicação de silicato de cálcio nas doses de 0, 120, 240, 480, 960  $\text{kg ha}^{-1}$  de Si da Wollastonita promoveu incremento nos teores de Si solúvel em quatro solos estudados, sendo o maior incremento observado no LATOSSOLO ROXO (LR) e o menor num NEOSSOLO QUARTZARÊNICO (NQ), fato semelhante ao ocorrido no presente estudo.

Os valores de Si solúvel em  $\text{CaCl}_2$  em função do tempo de incubação do Si para as duas fontes de silicatos, estão representados na Figura 1, sendo que o modelo quadrático ajustou-se melhor para todas as classes de solos.

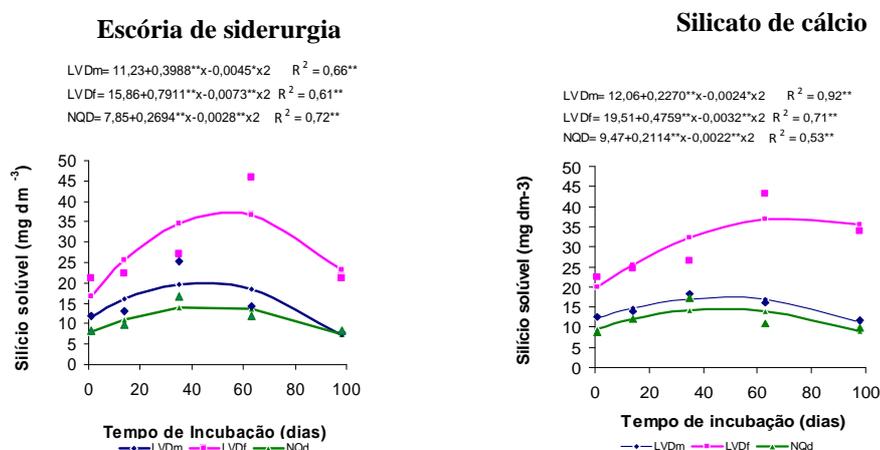


Figura 1. Si solúvel em cloreto de cálcio ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) nos solos em função do tempo de incubação e fontes de Si.

Quando se utilizou a escória de siderurgia, o maior teor de Si solúvel (37,29 mg dm<sup>-3</sup>) foi obtido para o LVDf aos 54 dias após a incubação. Já, para os dois outros solos, a máxima resposta para o teor de Si solúvel foi 20,06 mg dm<sup>-3</sup> e 14,33 mg dm<sup>-3</sup> obtidos aos 44 e 48 dias para o LVDm e NQD, respectivamente.

Para a fonte silicato de cálcio p.a foi observado a mesma tendência, sendo que o maior teor de Si (37,20 mg dm<sup>-3</sup>) foi obtido aos 74 dias de incubação para o LVDf. Para o LVDm foi de 17,43 mg dm<sup>-3</sup> atingida aos 47 dias e para o NQd de 14,55 mg dm<sup>-3</sup> obtida aos 48 dias de incubação.

Observa-se uma maior disponibilidade de Si solúvel em menor de tempo para a fonte escória de siderurgia para a classe LVDf.

### 4.3 Avaliações das características na parte aérea do arroz

Os quadrados médios da análise de variância para todas as características avaliados nas plantas de arroz, em função de classes de solo, fontes e tempos de incubação de silicatos, podem ser observados no Quadro 7.

QUADRO 7. Quadrados médios da análise de variância para altura de plantas, massa seca da parte aérea e de raízes, teor e acúmulo de Si na massa seca da parte aérea

Fontes de Variação	Altura de planta (cm)	Massa seca parte aérea (g vaso <sup>-1</sup> )	Massa seca de raízes (g vaso <sup>-1</sup> )	Teor de silício (g kg <sup>-1</sup> )	Acúmulo de silício (mg vaso <sup>-1</sup> )
Bloco	74,88**	121,04**	4,16*	15,46 <sup>ns</sup>	18.105,53**
Solo (S)	105,83**	1141,23**	126,74**	622,60**	908.110,00**
Fonte de Si (F)	17,49 <sup>ns</sup>	29,25**	4,42 <sup>ns</sup>	458,49**	18.061,27*
T. Incubação (TI)	12,51 <sup>ns</sup>	3,79 <sup>ns</sup>	2,37 <sup>ns</sup>	364,23**	57.631,86**
S x F	15,92 <sup>ns</sup>	7,93 <sup>ns</sup>	0,08 <sup>ns</sup>	16,66 <sup>ns</sup>	5.378,85 <sup>ns</sup>
S x TI	25,42*	32,63**	2,01 <sup>ns</sup>	83,31**	7.795,46*
F x TI	3,13 <sup>ns</sup>	2,62 <sup>ns</sup>	0,18 <sup>ns</sup>	20,25 <sup>ns</sup>	128,44 <sup>ns</sup>
Resíduo	11,24	4,33	1,25	12,43	3205,68
C. Variação (%)	7,90	17,70	34,70	19,90	26,40

\* e \*\* = Significativo a 5 e 1 % de probabilidade pelo teste F. <sup>ns</sup> = Não significativo.

Constata-se que todas as características das plantas foram significativamente influenciados pelo fator solo ( $p < 0,01$ ), enquanto o fator fonte de Si não o foi para a altura de plantas e massa seca de raízes. Para o tempo de incubação ocorreu influência apenas para o teor e acúmulo de Si na massa seca da parte aérea ( $p < 0,01$ ). Para as interações solo x fonte e fonte x tempo de incubação não foram constatadas significâncias estatísticas para todos os atributos de plantas avaliados. Enquanto para a interação S x TI nota-se efeito para todas as variáveis exceto para a massa seca da raiz.

#### 4.3.1. Altura de Plantas

Os valores médios de altura de plantas no conjunto de fontes de silicatos e dentro de cada tempo de incubação estão no Quadro 8.

QUADRO 8. Altura de plantas de arroz em função de tempos de incubação e solos

Classe de Solos	Tempos de incubação (dias)				
	1	14	35	63	98
	----- Altura de plantas (cm) -----				
NQD	38,68 b B	41,88 ab AB	43,77 a A	41,99 a AB	38,23 b B
LVDm	43,74 a A	40,35 b A	43,23 a A	42,95 a A	42,03 ab A
LVDf	43,89 a A	44,35 a A	43,98 a A	43,31 a A	45,28 a A

Médias seguidas de uma mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Em relação aos valores médios de altura de planta (Quadro 8), de modo geral, nota-se uma tendência de maior valor para esta característica na classe de solo LVDf, quando comparado aos demais solos, devido a classe textural desse solo ser mais argiloso em relação aos demais. Faria (2000) observou que houve efeito significativo e positivo para altura de plantas com relação às doses de Si, independentemente do tipo de solo.

A característica altura de plantas de arroz cultivado sob duas fontes de silicatos podem ser verificados no Quadro 9, onde não houve diferenças estatísticas, fato também observado por outros autores (TOKURA, 2007; PEREIRA et al., 2003).

QUADRO 9. Altura de planta em função de duas fontes de silicatos

Fontes	Altura de planta (cm)
Escória Siderurgia	42,13 a
Silicato de Cálcio p.a	42,89 a

Médias seguidas de uma mesma letra, na coluna, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. Médias de fontes no conjunto dos solos e dos tempos de incubação.

A altura de plantas em função do tempo de incubação do Si para as duas fontes de silicatos estão representadas na Figura 2.

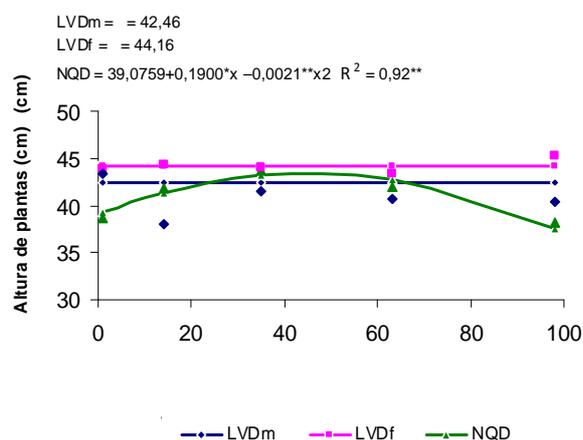


FIGURA 2. Altura de plantas (cm) em função de tempo de incubação para cada solo estudado.

Na Figura 2, o modelo quadrático foi o que melhor se ajustou para a classe NQD e apresentou a maior altura de planta (43 cm) aos 45 dias de incubação. Já para os Latossolos não houve efeito do fator tempo de incubação sendo que a menor altura (42,46 cm) foi verificada para o LVDm e a maior (44,16 cm) para o LVDf.

#### 4.3.2. Produção de massa seca aérea

Os valores médios de massa seca da parte aérea no conjunto de fontes de silicatos e dentro de cada tempo de incubação estão no Quadro 10.

Verifica-se efeito significativo para o fator classe de solos estudados sobre a característica massa seca da parte aérea onde a maior produção foi observada para o LVDF (Quadro 10) quando comparado as demais. Isso se deve ao fato deste solo ser mais argiloso favorecendo a maior umidade, aumentando assim a absorção de água e nutrientes pela planta.

Quanto à produção de massa seca da parte aérea, houve diferenças entre as classes de solos em decorrência principalmente do gradiente textural entre as mesmas. A influência da textura e da mineralogia do solo em característica avaliadas na parte aérea do arroz também foi observada por Faria (2000), o qual constatou maiores valores de crescimento de plantas cultivadas no solo mais argiloso (LATOSSOLO VERMELHO Amarelo).

QUADRO 10. Massa seca de parte aérea de plantas de arroz em função de tempos de incubação e solos

Classe de Solos	Tempos de incubação (dias)				
	1	14	35	63	98
	----- Massa seca aérea (g vaso <sup>-1</sup> ) -----				
NQD	3,01 c B	9,28 b A	9,05 b A	6,90 c A	6,44 c A
LVDm	12,07 b A	9,98 b A	9,88 b A	11,69 b A	11,89 b A
LVDF	18,31 a A	16,90 a A	17,35 a A	17,03 a A	17,97 a A

Médias seguidas de uma mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Para Ma e Takahashi (1990) e Pereira et al. (2004), na cultura de arroz a absorção de Si aumenta a produção de massa seca, devido à melhor utilização de P disponível, uma vez que o Si e o P competem pelo mesmo sítio ativo ocorrendo um maior deslocamento de P para a solução do solo e, conseqüentemente maior absorção pelas raízes das plantas. Contudo, ainda não há um consenso na literatura com relação à alteração desta variável, pois Tanaka e Park (1966); Liang et al., (1994); Carvalho (2000); Pereira et al. (2003); Mauad et al. (2003) e Tokura (2007) relatam não ocorrer relação entre as doses de silício e o aumento da produção de massa seca de plantas de arroz.

Essa divergência pode estar relacionada, com a carência de informações sobre cultivares de arroz quanto à exigência e à capacidade de extração de Si conforme citado por Mauad et al. (2003). Essa hipótese é ressaltada por Winslow (1992) e Barbosa Filho et al. (1998), que relataram que há diferença genotípica quanto à capacidade de absorver Si. Assim, a elevação nos teores do elemento no solo para níveis considerados adequados passa a ser importante, uma vez que não se conhece a exigência dos cultivares de arroz em relação ao Si (MAUAD et al., 2003).

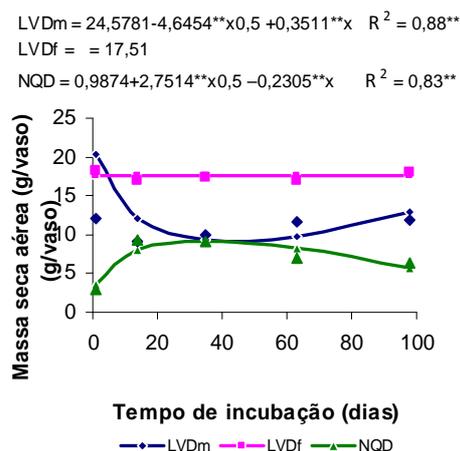
A massa seca da parte aérea avaliado em plantas de arroz cultivado sob a ação de duas fontes de silicatos no conjunto dos solos e tempos de incubação observa-se verificados no Quadro 11. Para a fonte de silicato (Quadro 11) nota-se diferença significativa, sendo o melhor desempenho da massa seca da parte aérea para o silicato de cálcio, o que pode ser atribuído à pureza e maior solubilidade da fonte utilizada, em comparação com a escória de siderurgia que, além de Si e Ca, pode conter micronutrientes e até outros metais que possam ter influenciado na produção de massa seca da parte aérea.

QUADRO 11. Massa seca da parte aérea em função de duas fontes de silicatos

Fontes	Massa seca aérea (mg vaso <sup>-1</sup> )
Escória Siderurgia	11,76 b
Silicato de Cálcio p.a	12,44 a

Médias seguidas de uma mesma letra, na coluna, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. Médias de fontes no conjunto dos solos e dos tempos de incubação.

O modelo de curva quadrática foi o que mais se ajustou para as classes de solos, exceto o LVDF que não havia efeito significativo. O LVDF apresentou o maior valor do acúmulo de Si (17,51 g vaso<sup>-1</sup>) na média dos tempos de incubação. Já, o menor acúmulo (9,20 g vaso<sup>-1</sup>) foi verificado para o NQD aos 36 dias de incubação (Figura 3).



**FIGURA 3.** Massa seca da parte aérea (g/vaso) em função de tempo de incubação para cada solo estudado.

O LVDf se destacou na produção de massa seca da parte aérea por apresentar uma melhor mineralogia aliado a um ótimo gradiente textural em relação aos demais solos. Autores como Mauad et al. (2003) e Tokura et al. (2007) não encontraram incremento na produção de massa seca da parte aérea na aplicação de doses de Si. Barbosa et al. (2006), trabalhando com várias fontes de Si, observaram que mesmo tendo ocorrido variações na produção de massa seca da parte aérea, estes não foram significativos a ponto de diferir estatisticamente uma das outras.

#### 4.3.3. Massa seca de raízes

A característica massa seca de raízes avaliada em plantas de arroz cultivado sob a ação de duas fontes de silicatos, no conjunto dos solos e tempos de incubação podem se verificados no Quadro 12.

Observa-se no Quadro 12, que não houve significância entre a massa seca da raiz em relação as fontes de Si, entre outros fatores, o que pode ser explicado pelo fato de que nas monocotiledôneas o destino da maior parte do Si acumula-se na parte aérea da planta não influenciando no crescimento radicular (JONES e HANDRECK, 1967; TOKURA, 2007).

Apesar da não ocorrer diferença significativa entre as fontes, notou-se uma tendência para o maior crescimento no silicato de cálcio, isso se deve provavelmente a sua granulometria mais fina que a escória de siderurgia solubilizando-se em menor tempo na solução do solo, e disponibilizando mais rapidamente o cálcio, que é um elemento essencial para a sobrevivência das raízes (CAIRES et al., 2001).

QUADRO 12. Massa seca raiz em função de duas fontes de silicatos

Fontes	Massa seca de raízes (mg vaso <sup>-1</sup> )
Escória de Siderurgia	3,66 a
Silicato de Cálcio p.a	3,82 a

Médias seguidas de uma mesma letra, na coluna, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. Médias de fontes no conjunto dos solos e dos tempos de incubação.

A produção de massa seca de raízes só foi influenciada significativamente pelo fator solo, cujas médias entre as classes estão no Quadro 13.

QUADRO 13. Massa seca de raízes em função de classes de solos

Solos	Massa seca raízes
NQD	2,28 c
LVDm	3,25 b
LVDf	5,69 a

Médias seguidas de uma mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Houve diferença estatística entre as classes de solos, aumentando do mais arenoso ao mais argiloso. Uma possível explicação se deve ao fato do LVDf ter maior capacidade de troca catiônica (CTC), favorecendo maior retirada de nutriente e crescimento radicular em relação aos demais solos.

#### 4.3.4. Teor e acúmulo de Si na massa seca aérea da planta

Os valores médios de teor e acúmulo de Si na massa seca da parte aérea, no conjunto de fontes de silicatos e dentro de cada tempo de incubação, estão no Quadro 14.

QUADRO 14. Teor e acúmulo de Si na massa seca da parte aérea de plantas de arroz em função de tempos de incubação e solos

Classe de Solos	Tempos de incubação (dias)				
	1	14	35	63	98
-----Teor de silício na parte aérea (g kg <sup>-1</sup> )-----					
NQD	21,17 a A	18,27 b AB	14,93 c BC	10,04 b C	12,20 a C
LVDm	14,23 b B	21,59 b A	19,53 b A	12,82 b B	9,68 b B
LVDf	19,53 a CD	26,06 a AB	27,73 a A	21,84 a BC	16,21 a D
----- Acúmulo de Si na parte aérea (g vaso <sup>-1</sup> ) -----					
NQD	56,93 c B	168,92 b A	134,74b AB	67,41 c B	70,87 b B
LVDm	172,90 b AB	184,69 b A	187,06 b A	146,14 bAB	103,02 b B
LVDf	354,05 a CD	439,40 a AB	474,86 a A	371,53 a BC	286,13 a D

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Para os teores de Si, analisando as classes de solos dentro dos tempos de incubação (QUADRO 14), observa-se que 1 e 98 dias foram significativos para a classe NQD, enquanto que para o LVDf o melhor tempo de incubação foi aos 35 dias. Segundo Faria (2000) os teores de Si na parte aérea foram sempre superiores no LATOSSOLO VERMELHO Álico comparado com a AREIA QUARTZOSA Álica.

Em relação ao acúmulo de Si verificou-se que os maiores valores foram encontrados no LVDf, quando comparado aos demais solos (QUADRO 14), o que pode ser atribuído a maior disponibilidade de Si nesse solo em função das características mineralógicas do mesmo. Outro fator para o maior acúmulo de Si nas plantas que cresceram nesse Latossolo pode ser, em parte, explicado pela presença de menores teores de silte nesse solo, a forte presença caulínica e a sua maior disponibilidade de Si no solo (QUADRO 1) o que pode ter resultado em maior acúmulo no mesmo.

Os atributos teor e acúmulo de Si avaliados em plantas de arroz cultivado sob a ação de duas fontes de silicatos, no conjunto dos solos e tempos de incubação podem se verificados no Quadro 15.

Já, a escória de siderurgia (Quadro 15) foi a fonte que proporcionou maior teor de Si na parte aérea da planta, fato provável por apresentar pH mais elevado

podendo ter aumentado a disponibilidade de Si no solo, favorecendo a liberação de Si pelas fontes e solubilização de polissilicatos, conforme já observado por Lopes (1997) e Bittencourt et al. (2004). Entretanto, o silicato de cálcio possuindo menor teor de Si solúvel que a escória de siderurgia e com maior solubilidade pode ter tido uma menor absorção pelas raízes por ter o Si solúvel retido pela fase sólida do solo possibilitando com isso menor absorção pelas plantas.

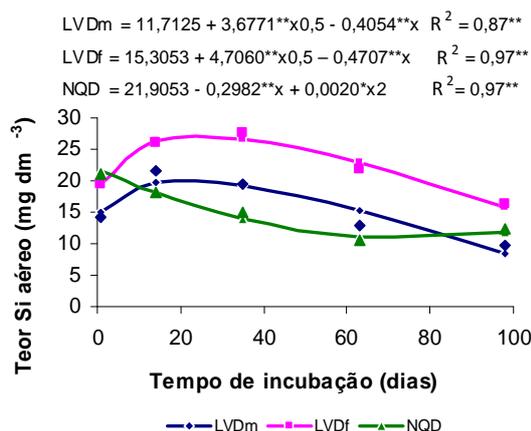
QUADRO 15. Teor e acúmulo de Si na parte aérea da planta em função de duas fontes de silicatos

Fontes	Teor de Si (g kg <sup>-1</sup> )	Acúmulo de Si (mg vaso <sup>-1</sup> )
Escória de siderurgia	19,68 a	226,84 a
Silicato de cálcio p.a	15,77b	202,31 b

Médias seguidas de uma mesma letra, na coluna, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. Médias de fontes no conjunto dos solos e dos tempos de incubação.

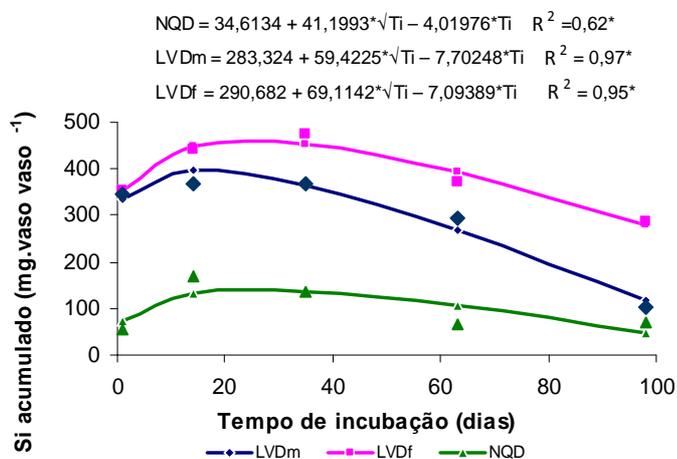
Assim como para o teor de Si na massa seca da parte aérea, a fonte que proporcionou maior acúmulo de Si na parte aérea da planta foi a escória de siderurgia (Quadro 15), provavelmente pelos mesmos fatores.

Para a variável teor de Si, o modelo quadrático foi o que mais se ajustou para as classes de Latossolos, enquanto que o modelo linear o foi para o NDQ. O LVDf apresentou o maior teor de Si (27,07 mg dm<sup>-3</sup>) aos 25 dias de incubação. Já, o menor teor (10,79 mg dm<sup>-3</sup>) foi verificado para o NQd aos 75 dias de incubação (FIGURA 4).



**FIGURA 4.** Teor de silício solúvel em cloreto de cálcio ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) nos solos em função do tempo de incubação.

Analisando acúmulo de Si, o modelo quadrático foi o que mais se ajustou para as classes de solos. O LVDf apresentou o maior acúmulo de Si ( $458,9 \text{ g vaso}^{-1}$ ) aos 23 dias de incubação. Já, o menor acúmulo ( $140,22 \text{ g vaso}^{-1}$ ) foi verificado para o NQd aos 26 dias de incubação (Figura 5).



**FIGURA 5.** Si acumulado em plantas de arroz nos três solos em função do tempo de incubação.

O NQD solo mais arenoso, portanto menos tamponado, certamente contribuiu para o menor acúmulo de Si ocorrido aos 28 dias, porque a partir de uma determinada concentração de cálcio na solução do solo esta inibe a solubilização dos silicatos formando complexos silicatados que não são adsorvidos pela planta. Ao contrário, no LVDf por ser mais tamponado (maior resistência do solo em ter seus atributos químicos alterados) o cálcio solubilizado das fontes sendo adsorvido ao sítio

de troca favoreceu maior solubilização de silicatos num menor tempo de incubação, associado a maior acidez potencial do mesmo (TOKURA, 2004; MARTINS et al, 2004).

Como observado nas Figuras 4 e 5 houve um decréscimo no teor e acúmulo a partir do 25 e 24 dias para o LVDf, respectivamente. Isso pode estar em parte relacionado com a adubação nitrogenada realizada, pois segundo Wallace (1989) e Mauad (2001) o incremento da adubação nitrogenada ocasionou redução nos teores de Si nas plantas de arroz e aveia, sendo o  $\text{NH}_4^+$  mais prejudicial que o  $\text{NO}_3^-$  para a absorção de silício.

Quanto maior as doses de N no solo maior é acidificação atribuída a liberação de  $\text{H}^+$  em função do adubo nitrogenado, com isso ocorrerá uma redução do pH ocasionando a polimerização do Si (formas de precipitados amorfos) diminuindo a disponibilidade de Si para o solo e planta (OLIVEIRA et al., 2007).

Resultados semelhantes encontrado por Ma e Takahashi (2002), onde o nitrogênio fornecido na forma amoniacal diminuiu até 32% a absorção de Si em arroz, mas na forma nítrica também se observa uma diminuição na absorção de Si. Mauad et al. (2003) verificou que a adubação nitrogenada em baixas concentrações ( $5 \text{ mg kg}^{-1}$ ), favoreceu aumentos significativos dos teores de Si na planta de arroz. Já as doses mais altas de N ( $75$  e  $150 \text{ mg kg}^{-1}$ ) propiciaram os menores teores de Si na planta, o que é justificado pelo efeito de diluição provocado pelo N.

## 5. CONCLUSÃO

Nas condições de realização do experimento, pode-se concluir que:

A disponibilidade e acúmulo de Si na parte aérea da planta para as duas fontes utilizadas foi maior para o LVDF.

A escória agrícola proporcionou maior acúmulo de Si na parte aérea das plantas de arroz em relação ao silicato de Ca p.a.

No teor de Si solúvel em  $\text{CaCl}_2$  não se observou diferenças significativas para as fontes de Si.

Independentemente da fonte utilizada o maior teor de Si no solo foi encontrado para o LVDF.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGRIANUAL. **Anuário da agricultura brasileira**. São Paulo: Instituto FNP, 2008. 552 p.

ALCARDE, J. C. Corretivos da acidez dos solos: características e interpretações técnicas. São Paulo: **Associação Nacional para Difusão de Adubos e Corretivos Agrícolas**, 1992. 26 p. (Boletim Técnico, 6).

ALVAREZ, V. H.; NOVAIS, R. F. de.; DIAS, L. E.; OLIVEIRA, J. A. de. Determinação de fósforo remanescente. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 1, p. 27-32, jan./mar. 2000.

AMARAL SOBRINHO, N. M. B.; COSTA, L. M.; OLIVEIRA, C.; VELLOSO, A. C. X. Heavy metals in fertilizers and liming materials in the state of Minas Gerais. In: ANNUAL CONFERENCE ON TRACE SUBSTANCES IN ENVIRONMENTAL HEALTH, 25, 1991. **Proceedings ...**[S. 1.] : [s.n], 1992. p. 95-103.

ANDERSON, D. L.; SNYDER, G. H.; MARTIN, F. G. Multi-year response of sugarcane to calcium silicate slag on Everglades Histosols. **Agronomy Journal**, Madison, v. 83, n. 5, p. 870-874, Sept./Oct. 1991.

ARAÚJO, L. S.; MARÇAL, H. T.; CORREIA, J. P. T. Viabilidade do uso da escória transformada como corretivo de acidez do solo e fonte de silício para as plantas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE SILÍCIO NA AGRICULTURA, 4.2007, Botucatu. **Anais...** Botucatu, São Paulo. 2007.

BARBOSA FILHO, M. P.; SNYDER, G. H.; FAGERIA, N. K. DATNOFF, L. E.; SILVA, O. F. Silicato de cálcio como fonte de silício para o arroz de sequeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG. v. 25, p. 325-330, 2001.

BARBOSA FILHO, M. P.; SNYDER, G. G.; ELLIOTT, C. L.; DATNOFF, L. E.; PRABHU, A. S.; SILVA, O. F.; KORNDORFER, G.H. Resposta do arroz de sequeiro à aplicação de silício. In: FERTBIO 1998. Caxambu. **Anais...** Lavras. Universidade Federal de Lavras/Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/Sociedade Brasileira de Microbiologia, 1998. p. 57.

BARBOSA FILHO, M. P.; SNYDER, G. H.; PRABHU, A. S.; DATNOFF, L. E.; KORNDORFER, G. H. Importância do silício para a cultura do arroz: uma revisão de literatura. **Informações Agronômicas**. Piracicaba. n. 89 : 1-8. Encarte Técnico, mar. 2000.

BARBOSA, N. C.; PAIVA, J. de B.; AGUIAR, C. T.; PEREIRA, H. S.; CARNEIRO, M. A. C. Aplicação de fontes de silício e sua disponibilidade para a cultura do arroz. In: FERTBIO 2006: A BUSCA DAS RAÍZES, 2006, BONITO. REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 27.,2006, BONITO. REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 11., 2006, BONITO. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 9., 2006, BONITO. REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 6., 2006, Bonito. **Anais...** Bonito: Embrapa Agropecuária Oeste, 2006. v. 1. p. 1-4.

BERTHELSEN, S.; NOBLE, A.; KINGSTON, G.; HURNEY, A.; RUDD, A. Effect of Ca-silicate amendments on soil chemical properties under a sugarcane cropping system. In: SILICON IN AGRICULTURE CONFERENCE, 2., 2002, Tsuruoka, Japão. **Anais....** Tsuruoka: Japanese Society of Soil Science and Plant Nutrition, 2002, p. 57.

BITTENCOURT, M. F.; KORNDORFER, G. H.; QUEIROZ, A. A.; RAMOS, L. A.; VIDAL, A. A.; NOLLA, A. Concentração de silício e pH do solo afetados pela incubação de diferentes fontes silicatadas no solo. In: SIMPÓSIO SOBRE SILÍCIO NA AGRICULTURA, 3., 2004, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia, 2004.

BRASIL. Decreto-lei nº 2954, de 14 de janeiro de 2004. Aprova o regulamento da lei nº 6894 de 16 de janeiro de 1980, que dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes ou biofertilizantes destinados à agricultura, e dá outras providências. **Normas jurídicas (Texto Integral)** – DEC 004954, 14 jan., 2004, 27 p.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária, Divisão de corretivos e Fertilizantes. **Inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, estimulantes e biofertilizantes destinados à agricultura – Legislação e Fiscalização.** Brasília, DF, fev., 1982. p. 88.

BUCK, G. B.; RAMOS, L. A.; VIDAL, A. DE A.; QUEIROZ, A. A.; OLIVEIRA, L. A. de; KORNDÖRFER, G. H.; NOLLA, A. Disponibilidade de silício no solo afetada pela aplicação de diferentes fontes silicatadas. In: SIMPÓSIO SOBRE SILÍCIO NA AGRICULTURA, 3., 2004, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia, set. 2004.

CABRERA, D.; YOUNG, S. D.; ROWELL, D. L. The toxicity of cadmium to barley plants as affected by complex formation with humic acid. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 105, n. 2, p. 195-204, fev., 1988.

CAIRES, E. F.; FONSECA, A. F.; FELDHAUS, I. C.; BLUM, J. Crescimento radicular e nutrição da soja cultivada no sistema plantio direto em resposta ao calcário e gesso na superfície. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Campinas, v. 25, n. 4, p. 1029-1040. 2001.

CAMARGO, M. S. de.; KORNDÖRFER, G. H.; CORRÊA, G. F.; PERREIRA, H. S.; BARBOSA, D. S.; RESENDE, R. H. Extratores de silício solúvel em solos: influência do calcário e fósforo. **Biocience Journal**. Uberlândia, v. 21, n. 2, p. 9-19, may/aug. 2005.

CARVALHO, J. G. **Análise de crescimento e produção de grãos da cultura do arroz irrigado por aspersão em função da aplicação de escória de siderurgia como fonte de silício.** 2000. 114 f Dissertação (Mestrado em Agronomia)- Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2000.

CARVALHO, R. **Interações silício-fósforo em Latossolo Vermelho – Escuro e Cambissolo cultivados com mudas de eucalipto.** 1999. 89 p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras – MG, 1999.

CARVALHO-PUPATTO, J. G.; BÜLL, L. T.; KORNDÖRFER, G. H. Alterações químicas no solo em função da aplicação de silício na cultura do arroz. In: SIMPÓSIO SOBRE SILÍCIO NA AGRICULTURA, 3., 2004, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia. 2004.

CASTRO, G. S. A. e CRUSCIOL, C. A. C. Efeito da aplicação superficial de calcário e silicato na cultura da soja. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE SILÍCIO NA AGRICULTURA, 4., 2007, Botucatu. **Anais...** Botucatu, São Paulo. 2007.

CHAGAS, R. S. C. **Avaliação de fontes de silício para as culturas do arroz e milho.** 2004. 100f. Tese (Doutorado em Ciências) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Piracicaba, 2004.

CHAGAS, R. de C. S.; MURAOKA, T.; KORNDORFER, G. H.; ROCHA, G. C. Efeito do silício no desenvolvimento das culturas do arroz e Milheto e sua marcha de absorção. In: SIMPÓSIO SOBRE SILÍCIO NA AGRICULTURA, 3., 2004. Uberlândia. **Anais...** Uberlândia, MG. 2004.

DATTA, N. P. Effect of sodium silicate on the uptake of soil and fertilizer phosphorus by wheat, rice and berseen. **Indian Journal Agronomy Science.** v. 32, p. 219-27, 1962.

EMBRAPA ARROZ E FEIJÃO Importância Econômica, Agrícola e Alimentar do Arroz., 2008. Disponível em: <<http://sistemasdeprodução.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Arroz/arrozirrigadoBrasil/c>>. Acesso em: 20 mai. 2008.

EMBRAPA ARROZ E FEIJÃO – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Sócioeconomia: comportamento do arroz no Brasil. 2008. Disponível em: <<http://www.cnpaf.embrapa.br/apps/socioeconomia/docs/arroz/comportamentoarrozbrasil.htm>> Acesso em: 10 de nov. 2008.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Centro Nacional de Pesquisa de Solos.** Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília, 1999. 421 p.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Centro Nacional de Pesquisa de Solos.** 2a ed. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, 1997. 212 p. (EMBRAPA-CNPS. Documentos; 1).

EPSTEIN, E. Silicon in plants: facts vs concepts. In: DATNOFF, L.E.; SNYDER, G. H; KORNDÖRFER, G.H. (Ed.). **Silicon in agriculture.** The Netherlands: Elsevier Science, 2001, 403 p.

EXLEY, C. Silicon in life: a bioinorganic solution to bioorganic essentiality. **Journal of Inorganic Biochemistry,** New York, v. 69, n. 3, p. 139-144, feb. 1998.

FARIA, R. **Efeito da acumulação de silício e a tolerância das plantas de arroz do sequeiro ao déficit hídrico do solo.** 2000. 125F. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Solos, Universidade Federal de Lavras, Viçosa, 2000.

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

FARIA JÚNIOR, L. A.; CARVALHO, J. G.; FERREIRA, E. V. O.; BASTOS, A. R. R. Produção de matéria seca, teor e acúmulo de silício em cultivares de arroz (*Oryza sativa* L.) sob doses de silício. In: FERTBIO 2006: A BUSCA DAS RAÍZES, 2006, BONITO. REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 27., 2006, BONITO. REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 11., 2006, BONITO. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 9., 2006, BONITO. REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 6., 2006, Bonito. **Anais...** Bonito: Embrapa Agropecuária Oeste, 2006. v. 1. p. 1-4.

GOMES, F. B.; MORAES, J. C.; FILGUEIRAS, C. C. Adubação com silício como fator de resistência a insetos-praga e promotor de produtividade em cultura de batata inglesa em sistema orgânico. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE SILÍCIO NA AGRICULTURA, 4., 2007, Botucatu. **Anais...** Botucatu, São Paulo. 2007.

HAGEMEYER, T. e WAISEL, Y. Uptake of  $Cd^{2+}$  and  $Fe^{2+}$  by excised roots of *Tomarisc aphylla*. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 77, n. 4, p. 247-253, apr. 1989.

HERNANDEZ, T.; MORENO, J. I.; COSTA, F. Influence of sewage sludge application on crop yields and heavy metal availability. **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, v. 37, n. 1, p. 201-210, jan/apr. 1991.

IMAIZUMI, K; YOSHIDA, S. Edaphological studies on silicon supplying power of paddy fields. **Natural Agronomy Science**. Sr. B v. 8, p. 261-304, 1958 .

JOLY, W. L. **A química dos não metais.** São Paulo: Berkeley/Ed. Gard Blücher, 1966. p. 176.

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

KATO, N.; OWA, N. Dissolution of slag fertilizers in a paddy soil and Si uptake by rice plant. Japanese, **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 43, p. 329-341, 1997.

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

KORNDÖRFER, G.H. **The role of silicon on tropical crops. Second Conference Silicon in Agriculture.** Tsuruoka/Japão. Session 4, n. 85, 2002, 227 p.

KORNDÖRFER, G. H.; ARANTES, V.; CORRÊA, G. F.; SNYDER G. H. Efeito do silicato de cálcio no teor de silício e na produção de grãos de arroz de sequeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 635-641, 1999.

KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; NOLLA, A. Análise de silício: solo, planta e fertilizante. Uberlândia, **GPSi-ICIAG-UFU**, 2004. 50 p.

KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; CAMARGO, M. S. de. Silicatos de cálcio e magnésio na agricultura. Uberlândia: **GPSi-ICA-UFU**, 2004. 23p. (Boletim técnico, 01)

KORNDÖRFER, G. H. E DATNOFF, L. E. Adubação com silício: uma alternativa no controle de doenças da cana-de-açúcar e do arroz. **Informações Agrônomicas**. Piracicaba. 70: 1-5. Jun. 1995.

LEITE, P. da C. **Interação silício-fósforo em Latossolo Roxo cultivado com sorgo em casa de vegetação**. Viçosa: UFV, 1997. 86 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, 1997.

LEITE, A. O ano do arroz. **Revista Atualidades Agrícolas**. São Paulo, ago. 2004. p.6-7.

LIANG, Y. C.; MA, T. S.; LI, F. J. e FENG, Y. J. Silicon availability and response of rice and wheat to silicon in calcareous soils. *Comm. Soil Science Plant Anal.*, v. 25, p. 2285-97, 1994.

LIMA FILHO, O. F. O silício na produtividade e sanidade agrícola. **Embrapa - Dourados/MAPA**, 2005. (Folheto informativo).

LIMA FILHO, O. F. de. Silício: produtividade com qualidade na lavoura. Artigo 5/6, 2008. Disponível em: <<http://www.cpao.embrapa.br/Noticias/artigos/artigo1.html>>. Acesso em 25 nov. 2008.

LINDSAY, W.L. **Chemical equilibria in soil**. New York: John Wiley, 1979.

LOGAN, T. J. Reclamation of chemically degraded soils. **Advances in Soil Science**, New York, v. 17, p. 13-35, 1992.

LOPES', M. S. **Relações entre o pH e a adsorção de fósforo e silício em solos**. 1997. 45 f. Dissertação (Mestrado). Porto Alegre: UFRGS, 1997.

MA, J. F.; TAKAHASHI, E. **Soil, fertilizer, and plant silicon research in Japan**. ELSEVIER, 2002. 274 p.

MA, J. F.; TAKAHASHI, E. Effect of silicon on growth and phosphorus uptake of rice. **Plant and soil**, The Hague, v. 126, p. 115-119, 1990.

MALAVOLTA, E. **Fertilizantes e seu impacto ambiental. Metais pesados, mitos, mistificação e fatos**. Piracicaba: Produquímica, 1994. 153 p.

MARCIANO, C. R.; MORAES, S. O.; OLIVEIRA, F. C.; MATTIAZZO, M. E. Efeito do lodo de esgoto e do composto de lixo urbano sobre a condutividade hidráulica de um latossolo amarelo saturado e não-saturado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 25, n. 1, p. 1-9, 2001.

MARTINS, M. R.; PEREIRA, H. S.; QUEIROZ, A. A. Comportamento de fontes de silício em quatro solos do cerrado. Uberlândia, 2004. Disponível em: <[http://www.propp.ufu.br/revistaeletronica/edicao2004/biosaude/comportamento de fontes.PDF](http://www.propp.ufu.br/revistaeletronica/edicao2004/biosaude/comportamento_de fontes.PDF)>. Acesso em 15 nov. 2008

MAUAD, M.; GRASSI FILHO, H.; CRUSCIOL, C. A. C. e CORREA, 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 Ciência do Solo**, v. 27, p. 867-873, 2003.

MAUAD, M. **Produção de plantas de arroz sob a ação de silício e nitrogênio**. 2001. 79 p. Dissertação (mestrado) – Faculdade de Ciências Agrônomicas da UNESP - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, São Paulo, 2001.

McKEAGUE, J. A.; CLINE, M. G. Sílica in soil. II. **Advances in Agronomy**, London, v. 15, p. 339-396, 1963.

MÉNDEZ BALDEÓN, J. R. M. **Efeito da ação alcalinizante e da competição entre silicato e fosfato na eficiência do termofosfato magnésiano em solos ácidos**. 1995. 88 f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP.

NOJOSA, G. B. A.; RESENDE, M. L. V.; RESENDE, A. V. Uso de fosfitos e silicatos na indução de resistência. In: CAVALCANTI, L. S. et al. (Ed.) **Introdução de resistência em plantas a patógenos e insetos**. Piracicaba: FELALQ, 2006. 263 p.

NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F., LEITE, F. P., TEIXEIRA, J. L., LEAL, P. G. L. **Eficiência agrônômica de escórias da Siderúrgica Pains**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1993.

NOVAIS, R. F.; NEVES, J. C. L.; BARROS, N. F. de. **Ensaio em ambiente controlado**. In: OLIVEIRA, A. J.; GARRIDO, W. E.; ARAÚJO, J. D. de; LOURENÇO, S. (Coord.). Métodos de pesquisa em fertilidade do solo. Brasília: EMBRAPA-SEA, 1991, 189-253p.

OLIVEIRA, L. A. de; KORNDÖRFER, G.H.; PEREIRA, A.C. Acumulação de silício em arroz em diferentes condições de pH da rizosfera. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 685-690, 2007.

OLIVEIRA, A. C.; HAHNE, H.; BARROS, N. F.; MORAIS, E. J. Uso de escória de alto forno como fonte de nutrientes na adubação florestal. In: SEMINÁRIO SOBRE USO DE RESÍDUOS FLORESTAIS E URBANOS EM FLORESTAS, 1., 1994. **Anais...** Botucatu: Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais, p. 77-96, 1994.

OLIVEIRA, M. G. A. **Determinação, adsorção e deslocamento recíproco de silício e fósforo em Latossolos do Triângulo Mineiro**. 1984. 68 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 1984.

OKUDA, A.; TAKAHASHI, E. The role of silicon. In: The mineral nutrition of the rice plant. Feb. 1964. **Porcedings of a symposium of the International Rice Research Institute**. Baltimore, Maryland: The Johns Hopkins Press, p. 123-146. 1965.

PAIM, L. A. **Contaminação do solo por metais pesados: silício e fósforo como agentes amenizadores**. 2002. 67 f. Dissertação (Mestrado) – Lavras: UFLA, 2002.

PEREIRA, H. S.; BARBOSA, N. C.; CARNEIRO, M. A. C.; KORNDÖRFER, G. H. Avaliação de fontes e de extratores de silício no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 42, n. 2, p. 239-247, 2007.

PEREIRA, H. S.; KORNDÖRFER, G. H.; MOURA, W. F.; CORRÊA, G. F. Extratores de silício disponível em escórias e fertilizantes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 265-274, 2003.

PEREIRA, H. S.; KORNDÖRFER, G. H.; VIDAL, A. A.; CAMARGO, M. S. de. Silicon sources for rice crop. **Scientia agrícola**, v. 61, p. 522-528, 2004.

PEREIRA, H. S.; VITTI, G. C.; KORNDÖRFER, G. H. Comportamento de diferentes fontes de silício no solo e na cultura do tomateiro. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 27, n. 1, 2003.

PERUZZO, F. M.; CANTO, E. L. Do. **Química: na abordagem do cotidiano**. 2 ed. São Paulo: Moderna, 2002.

PIAU, W. C. **Efeito de escória de siderurgia em atributos químicos de solos e na cultura do milho (*Zea mays* L)**. 1995. 124 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1995.

PIAU, W. C., **Viabilidade do uso de escórias com corretivo e fertilizantes**. 1991. 99 f. Dissertação (Mestrado). Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1991.

POMBO, L. C. A. e KLAMT, E. Adsorção de zinco e cobre de dois solos do Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 10, n. 2, p. 191-194, maio/ago. 1986.

QUEIROZ, A. A. **Reações de fontes de silício em quatro solos de cerrado**. 2003. 43 f. Monografia (conclusão do curso de graduação em Ciências Agrárias) – Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2003.

RAIJ, B. van. Fertilidade do solo e adubação. Piracicaba: **Agronômica Ceres & Potafos**, 1991. 343 p.

RIBEIRO JUNIOR, J. I. **Análises estatísticas no SAEG**. Viçosa, UFV, 2001. 301p.

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

RUSSEL, J. B. Química geral. 2 ed., São Paulo: Makron Books, 1994. V. 2.

SAVANT, N. K.; SNYDER, G. D.; DATNOFF, L. E. Silicon in management and sustainable rice production. **Advances in Agronomy**, London, v. 58, p. 151-199, 1997.

SINGER, M. J.; MUNNS, D. N. **Soils**: in introduction. 4. ed. New Jersey: Prentice Hall, 1999. 527 p.

SMYTH, T. J.; SANCHEZ, P. A. Effects of lime, silicate, and phosphorus applications to an oxisol on phosphorus sorption and ion retention. **Soil Science Society America Journal**, Madison, v. 47, n. 5, p. 898-902, sept./oct. 1980.

SNYDER, G.H. methods for silicon analysis in plants, soils, and fertilizers. In: DATNOFF, L.E.; SNYDER, G.H.; KORNDÖRFER, G.H. (Ed.) **Silicon in agriculture**, 2001.

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

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA – UFV. **Nutrição, fertilização e manejo de solos sob reflorestamento e utilização de escória de siderurgia como corretivo e fertilizante do solo**. Projeto apresentado pelo Departamento de Solos à FINEP. Viçosa-UFV, 1983. 138 p.

TAKAHASHI, E. Uptake mode and physiological functions of silica. In: MATSUO, T.; KUMAZAWA, K.; ISHII, R.; et al. (ed). **Science of rice plant: physiology**. Tokyo: Food e Agriculture Policy Research Center, 1995. cap. 5, p. 420-433.

TAKAHASHI, K. Effect of slugs on growth and silicon uptake by rice plants and the available silicates in paddy soils. **B. Shikoku Agric. Exp. Sta. Japan.**, v. 38, p. 75-114, 1981.

TANAKA, A.; PARK, Y.D. Significance of the absorption and distribution of silica in the rice plant. **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, v.12, p.191-195, 1966.

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

TOKURA, A. M. **Efeito do silício nas frações fosfatadas de solos cultivados com arroz e feijoeiro**. 2004. 125 p. Tese (Doutorado). UFPA – Universidade Federal de Lavras, Lavras – Minas Gerais, 2004.

TOKURA, A. M.; FURLANI NETO, A. E.; CURI, N.; CARNEIRO, L. F.; ALOVISI, A. A. Silício e fósforo em diferentes solos cultivados com arroz de sequeiro. **Acta Science Agronomy**. Maringá, v. 29, n. 1, p. 9-16, 2007.

VAN RAIJ, B.; CAMARGO, O. A. Sílica solúvel em solos. **Bragantia**, Campinas, v. 32, p. 223-231, jun., 1973.

VOGEL, A. **Química analítica qualitativa**. 5. ed. São Paulo, Mestre Jou, 1981. 665 p.

XU, G.; ZHAN, X.; CHUNHUA, L.; BAO, S.; LIU, X.; CHU, T. Assessing methods of available silicon in calcareous soils. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 32, n. 3, p. 787-801, 2001.

WALLACE, A. Relationships among nitrogen, silicon, and heavy metal uptake by plants. **Soil Science**, v. 147, p. 457-60, 1989.

WALLACE, G. A; WALLACE, A. Lead and other potentially toxic heavy metals in soil. **Communications of Soil Science in Plant Analysis**, New York, v. 25, n. 1/2, p. 137-141, 1994.

WINSLOW, M. D. Silicon, diase resistance, and yield of rice genotypes under upland cultural conditions. **Crop Science**, v. 32, p. 1208 – 1213, 1992.