

**INFLUÊNCIA DO SILICATO DE CÁLCIO NA  
TOLERÂNCIA DO ARROZ DE SEQUEIRO  
AO DÉFICIT HÍDRICO DO SOLO**

**REGINALDO JANUÁRIO DE FARIA**

**2000**



**REGINALDO JANUÁRIO DE FARIA**

**INFLUÊNCIA DO SILICATO DE CÁLCIO NA TOLERÂNCIA DO  
ARROZ DE SEQUEIRO AO DÉFICIT HÍDRICO DO SOLO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração Solos e Nutrição de Plantas, para a obtenção do título de "Mestre".

Orientador

Prof. Dr. Gaspar Henrique Komdörfer

LAVRAS  
MINAS GERAIS - BRASIL  
2000

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da  
Biblioteca Central da UFLA**

Faria, Reginaldo Januário de

Influência do silicato de cálcio na tolerância do arroz de sequeiro ao déficit hídrico do solo / Reginaldo Januário de Faria. -- Lavras : UFLA, 2000.

47 p. : il.

Orientador: Gaspar Henrique Korndörfer.

Dissertação (Mestrado) – UFLA.

Bibliografia.

1. Silicato de cálcio. 2. Arroz de sequeiro. 3. Déficit hídrico. 4. Transpiração. 5. Nutrição mineral. 6. Silício. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD-633.1887

-633.18891

**REGINALDO JANUÁRIO DE FARIA**

**INFLUÊNCIA DO SILICATO DE CÁLCIO NA TOLERÂNCIA DO  
ARROZ DE SEQUEIRO AO DÉFICIT HÍDRICO DO SOLO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração Solos e Nutrição de Plantas, para a obtenção do título de "Mestre".

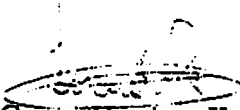
**APROVADA em 29 de Fevereiro de 2000.**

**Prof. Dr. Valdemar Faquin**

**UFLA**

**Prof. Dr. Ruy Carvalho**

**UFLA**

  
**Prof. Dr. Gaspar Henrique Korndörfer**  
**Universidade Federal de Uberlândia**  
**(Orientador)**

**LAVRAS**  
**MINAS GERAIS - BRASIL**

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, que está acima de tudo e de todos, a Ti dedico esta conquista, muito mais Tua do que minha. Faz nos instrumento de vós, porque qualquer homem entre os homens não será nada sem tua sabedoria. Senhor, tantas vezes quis desanimar, mas tua essência dentro de mim levou-me aos objetivos almejados.

Ao CNPQ pela concessão da bolsa de estudos para a realização do curso.

Ao prof. Gaspar Henrique Korndörfer (UFU), meu orientador, companheiro e amigo, meus sinceros agradecimentos.

Aos professores Ruy Carvalho e Valdemar Faquin, meus sinceros agradecimentos pelas sugestões.

Aos amigos, diretores, professores e demais funcionários da UFU, UFLA e de Adubos Triângulo, e a todos que contribuíram, meu carinho, reconhecimento e gratidão.

**AOS IRMÃOS, A MAMÃE E PAPAI, NAMORADA, AO FILHO JÚNIOR, IAN CARLO E DEMAIS FAMILIARES,**

Todo o meu esforço foi reconhecido por vocês. Nas horas difíceis vocês me deram esperança e fé, incentivando minha conquista por tudo.

## **HOMENAGEM PÓSTUMA**

Ao pescador, cunhado e amigo Olício Antônio Marques, pessoa que muito gostaria de me ver chegar aqui. A lembrança de sua presença, o som da sua voz, sopram suaves na memória, num murmúrio triste de lamento e saudade.

## SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	i
ABSTRACT.....	ii
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	3
2.1 Silício no solo e sua importância.....	4
2.1.1 Fatores que governam a disponibilidade de Si no solo.....	6
2.2 Efeito do Si na planta.....	8
2.3 Efeito do Si na transpiração das plantas.....	12
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	16
3.1 Caracterização do experimento.....	16
3.2 Análise estatística.....	17
3.3 Coleta, preparo e análise das amostras.....	18
3.3.1 Análise química de solo após colheita dos grãos.....	18
3.3.2 Análise de Si nas plantas de arroz.....	19
3.4 Variáveis de crescimento avaliadas.....	20
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	21
4.1 pH em CaCl <sub>2</sub> 0,01M, teores trocáveis de Ca, Mg e Al.....	21
4.2 Produção de grãos, altura de plantas e número de perfilhos.....	23
4.3 Silício no solo.....	28
4.4 Silício na planta.....	30
4.4 Silício acumulado na parte aérea.....	32
5 CONCLUSÕES.....	35
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	36
ANEXOS.....	45

## RESUMO

FARIA, Reginaldo Januário de. *Influência do Silicato de Cálcio na Tolerância do Arroz de Sequeiro ao Déficit Hídrico do Solo*. Lavras: UFLA, 2000. 46p. (Dissertação – Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas)\*

Este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da aplicação do silício (silicato de cálcio) em dois solos de cerrado, Latossolo Vermelho-Amarelo e Areia Quartzosa (LVa e AQa), sobre a produção de grãos e a tolerância à falta de água no arroz de sequeiro, tendo como princípio o fato de que uma planta que acumula Si na epiderme das folhas é mais tolerante à falta de água porque consegue ser mais eficiente em regular a transpiração. O experimento foi montado num esquema fatorial completo (2 x 3 x 4) com 4 repetições, sendo 2 classes de solos (LVa e AQa), 3 níveis de água (60, 70 e 80% C.C.) e 4 doses de Si (0, 200, 400 e 600 kg ha<sup>-1</sup>). As variáveis avaliadas no experimento foram: produção de grãos, número de perfilhos, altura de plantas, pH, teores trocáveis de Ca, Mg e Al, Si no solo e na planta após a colheita dos grãos. Os teores de Si extraível no solo foram superiores no solo LVa, se comparado com a AQa, e aumentaram em ambos os solos com as doses de silicato aplicadas. O Si promoveu o aumento na produção de grãos e tolerância à falta de água. Os efeitos do Si sobre a produção de grãos foi maior quando os solos foram submetidos a uma tensão maior de água. Houve efeito positivo do Si aplicado sobre a quantidade de Si absorvido pelas plantas de arroz.

---

\*Orientador: Gaspar Henrique Korndorfer - UFU



## ABSTRACT

FARIA, Reginaldo Januário de. Influence of calcium silicate upon the tolerance of upland rice to the soil water deficit. Lavras: UFLA, 2000, 46p. (Dissertation - Master in Soils and Plant Nutrition)\*

This work was designed to evaluate the effect of the application of silicon (calcium silicate) in two types of cerrado soil, Yellow-Red Latosol and Sandy Quartz (LVa and AQA), on grain yield and tolerance to water shortage on the upland rice, presenting as a principle the fact that a plant which accumulates Si in its leaves' epidermis is more tolerant to water shortage because it succeeds to be more efficient in regulating transpiration. The experiment was set up in a complete factorial scheme ( $2 \times 3 \times 4$ ) with four replications, these being 2 soil classes (LVa and AQA), 3 water levels (60, 70 and 80% of field capacity) and 4 doses of Si (0, 200, 400 and 600 kg ha<sup>-1</sup>). The variables evaluated in the experiment were: grain yield, plant height, tiller number, pH, exchangeable contents of Ca, Mg and Al, Si in the soil and plant after grain harvest. The contents of soil extractable Si were higher in the LVa, soil as compared with AQA and increased in both the soil with the doses of silicate applied. Silicon promoted the increase in grain yield and tolerance to water shortage. The effects of Si upon grain yield was greatest when the soils were submitted to a higher water stress. There was a positive effect of applied Si on the amount of Si absorbed by the rice plants.

---

\* Major Professor: Gaspar Henrique Korndorfer - UFU.

## 1 INTRODUÇÃO

O arroz (*Oryza sativa*) é uma das culturas mais importantes do mundo, sendo superado apenas pelo trigo. Dados da safra de 1997/98, fornecidos pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos, revelam que a produção mundial nesse ano agrícola foi de 562.042 milhões de toneladas. A participação do Brasil nesta produção foi de apenas 1,66%, com uma área cultivada de 2.071.728 ha e com uma produtividade média de 3.449 kg ha<sup>-1</sup>, ocupando o 11º lugar no mundo (Federação..., 1999).

O consumo "per capita" de arroz no Brasil situa-se ao redor de 45 kg.ano<sup>-1</sup>, sendo cultivado em todo o território nacional, desde Roraima até o Rio Grande do Sul, ocupando o 3º lugar em área colhida e o 4º em valor de produção, e com esta voltada totalmente para o consumo interno.

O sistema de cultivo de arroz predominante no Brasil é o de sequeiro. Em 1994, 41,5% da produção brasileira de arroz originaram-se de lavouras de sequeiro, que ocuparam 66% da área cultivada com essa cultura; segue-se o sistema irrigado, representando cerca de 30% da produção e apenas 12% da área cultivada. Os restantes 10% advêm de terras baixas (várzeas) sem irrigação controlada (Levantamento Sistemático da Produção Agrícola, 1994). A maior área de produção de arroz irrigado está localizada em solos mais férteis, ao passo que o arroz de sequeiro caracteriza-se pelo seu cultivo em terras firmes e menos férteis, principalmente na região dos cerrados (Stone e Moreira, 1996).

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 e excesso de alumínio trocável e baixa disponibilidade de Si disponível para as plantas.

Contudo, são solos profundos, com boas propriedades físicas, como estabilidade de agregados, alta velocidade de infiltração de água, apresentando, por isto, baixa capacidade de retenção de água (Brady, 1992). Grande parte dessas lavouras está localizada na região do cerrado, onde é comum a ocorrência de estiagens de duas a três semanas durante a estação chuvosa, denominadas regionalmente por "veranicos", quando é feito o cultivo do arroz, que é muito exigente em condições de umidade, não suportando deficiência hídrica no período vegetativo, nem excedentes na estação de maturação e colheita.

A baixa produtividade média do arroz no Brasil é devida, em grande parte, à baixíssima produtividade do arroz de sequeiro, que, por sua vez, é consequência basicamente de dois fatores: má distribuição pluviométrica nas principais regiões produtoras e baixo consumo de adubos e corretivos. Estudos realizados pelo Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão (CNPAP) mostraram que em condições de boa umidade, a adubação pode aumentar em até 40% a produtividade do arroz de sequeiro.

O silício é o segundo elemento mais abundante, em peso, na crosta terrestre e aparece na forma de silicatos e quartzo. A sílica solúvel em solos tem sido pouco estudada, principalmente por não ser o silício considerado essencial às plantas. Contudo, em numerosos casos, tem sido demonstrado o efeito benéfico de sua aplicação no aumento da produção de diversas culturas, como a cana-de-açúcar, arroz e outras gramíneas. Acredita-se que esse elemento possa diminuir a incidência de doenças, e até o ataque de insetos, devido à sua acumulação abaixo da cutícula, oferecendo resistência mecânica contra estes organismos; efeito na postura das folhas, melhorando a arquitetura foliar.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de doses de silicato de cálcio na tolerância das plantas ao déficit hídrico e produção do arroz de sequeiro cultivado em dois solos da região do cerrado.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Os cerrados brasileiros fazem parte do ecossistema das savanas, que ocupa grande porção da região tropical do mundo, sendo que a maior parte destas está localizada nos continentes americano e africano (Goedert, 1989).

No Brasil, os cerrados ocupam uma área heterogênea e não contínua de aproximadamente 200 milhões de hectares, ou seja, 23% do território nacional; estendendo-se principalmente pela região Centro-Oeste, Nordeste e Sudeste (EMBRAPA, 1978). As dificuldades na produção e qualidade do arroz nestas regiões estão freqüentemente associadas à seca e à baixa fertilidade natural desses solos, provocando sérios decréscimos na produtividade e importantes oscilações na produção nacional de arroz (Stone e Moreira, 1996).

O clima desta região é bastante heterogêneo, sendo a maior parte classificada como clima Aw- quente e úmido, com uma longa estação seca. Durante o período chuvoso, poderão ocorrer deficiências hídricas, denominadas de "veranicos", que geralmente estão associados à alta radiação solar e ao alto potencial de evapotranspiração (Lopes, 1984). Esses "veranicos" podem causar sérios danos às culturas anuais, como o arroz de sequeiro, e bianuais mais sensíveis, e se constituem, certamente, na mais severa limitação para a agricultura sem irrigação nestes solos (Lopes, 1984).

As principais classes de solos que ocorrem nas regiões sob cerrado são os latossolos, ocupando cerca de 56%. Do total, 26,2% correspondem ao latossolo vermelho amarelo (LV); cerca de 20% correspondem a areias quartzosas (AQ), perfazendo, junto com o LV, quase 50% do total. O restante corresponde a lateritas hidromórficas, litossolos e podzólicos (Lopes, 1984; EMBRAPA, 1981).

## 2.1 Silício no solo e sua importância

Segundo Raij e Camargo (1973), o silício é o segundo elemento mais abundante, em peso, na crosta terrestre, e componente majoritário de minerais do grupo dos silicatos (Raij, 1991). Ocorre em altos teores em solos minerais, principalmente na forma de silicatos, e no quartzo ( $\text{SiO}_2$  - mineral inerte das areias). O silício é um elemento com propriedades elétricas e físicas de um semi-metal, desempenhando, no reino mineral, um papel cuja importância pode ser comparável ao carbono nos reinos vegetal e animal. Semelhante a este, porém de modo menos intenso, o Si possui a capacidade de formar longas cadeias, muitas vezes ramificadas.

Em solos de textura e idade variadas do Estado de São Paulo, Raij e Camargo (1973) verificaram os menores valores de Si solúvel no latossolo fase arenosa, e os maiores valores num podzólico argiloso. Isto se deve à reduzida porcentagem de argila neste latossolo, aliada à menor superfície específica total em relação ao podzólico menos intemperizado e mais argiloso. Esses autores verificaram teores de Si extraível com  $\text{CaCl}_2$   $0,0025 \text{ mol L}^{-1}$ , variando de 1 a 43  $\text{mg dm}^{-3}$ . Valores maiores foram encontrados nos solos mais argilosos, havendo também uma relação inversa com o grau de intemperismo. Para os solos com os mesmos teores de argila, os teores de Si solúvel foram maiores nos horizontes com B textural do que nos solos com B latossólico.

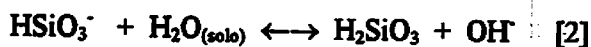
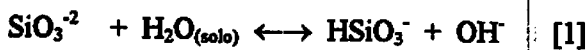
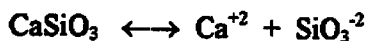
Do ponto de vista agronômico, Raij e Camargo (1973) citam que as principais formas de silício presentes no solo são: Si solúvel ( $\text{H}_4\text{SiO}_4$ ), que desprovido de carga elétrica, tem interessantes conseqüências no comportamento do Si com relação aos vegetais; Si adsorvido ou precipitado com óxidos de ferro e alumínio e os minerais silicatados (cristalinos ou 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). Em valor de pH acima de 8,5, a espécie  $H_3SiO_4^-$  contribui significativamente para o Si total na solução. A solubilidade do Si em água não é afetada em pH, variando de 2 a 9.

Na faixa normal de pH dos solos de cerrado, o ácido monossilícico é a principal espécie de silicato em solução. Em altas concentrações, ao redor de  $28mg.dm^{-3}$  de Si na solução, o monômero ( $H_4SiO_4$ ) polimeriza-se para formar precipitados de sílica amorfa. Jones e Handreck (1963) reportaram que a concentração de ácido monossilícico na solução do solo diminui de 33 para 11  $mg dm^{-3}$  com aumento do pH de 5,4 para 7,2.

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



Isto é, 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 ( $H_4SiO_4$ ) com a elevação do pH, uma vez que este fica carregado negativamente, devido à ionização do ácido, tornando-se mais suscetível às forças de adsorção do solo. /

Os principais solos sob cerrado apresentam alto grau de intemperismo,

com alto potencial de lixiviação, baixa saturação de bases, baixos teores de Si trocável e baixa relação (Ki)  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  e (Kr) sílica/sesquióxidos de Fe e Al, apresentando, portanto, baixa capacidade de fornecimento de silício disponível para as plantas (Silva, 1973; Soils and Rice, 1978; Brady, 1992). Estes solos apresentam, como características marcantes, a baixa fertilidade natural e alta acidez, além de possuírem elevados teores de sesquióxidos de Fe e Al, que contribuem para a alta capacidade de adsorção de fósforo, que poderá ser reduzida com a adubação silicatada se forem comprovado seus efeitos benéficos na diminuição da adsorção do fósforo. <sup>1</sup>

Segundo Imaizumi e Yoshida (1958), a aplicação de fertilizante silicatado para o arroz é recomendada quando os teores de Si no solo forem menores do que  $4,9 \text{ mg dm}^{-3}$  de solo (Si extraído com acetato de sódio pH 4,0). A adição de termofosfato ao solo como fonte de Si mostrou-se bastante satisfatória para a cultura do arroz (Freire et al., 1985).

O fenômeno da redução na produtividade do arroz, em muitas regiões do mundo, pode estar relacionado com a diminuição do Si disponível nestes solos. Há necessidade de realizar levantamentos nutricionais dos solos e das culturas, em diferentes ecossistemas, para que se possa desenvolver um manejo nutricional integrado específico para cada região, incluindo a nutrição silicatada (Savant, Snyder e Datnoff, 1997).

### 2.1.1 Fatores que governam a disponibilidade Si na solução do solo

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 esta retenção reversível do  $H_4SiO_4$  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 de solo.)

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 esta reação. A capacidade de adsorção dos óxidos de Al diminui marcadamente com o aumento do grau de cristalinidade.

Drees et al. (1989) e Epstein (1994) apontaram que a concentração de  $H_4SiO_4$  na solução do solo pode variar de 0,1 a 0,6 mmol  $L^{-1}$ . O equilíbrio químico do Si no solo depende principalmente do pH, como mostra a equação abaixo:



Ponamperuma (1965) mostra que os teores de Si aumentaram de 24 para 41  $mg \cdot dm^{-3}$  na solução do solo, com pH 4,8 e porcentagem de M.O. de 44  $g \cdot kg^{-1}$ , após inundação por um período de 50 dias. Este aumento na disponibilidade de Si deve-se à sua liberação dos complexos ligados a Fe em ambientes 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 menores que solos de regiões temperadas devido à ausência de minerais primários (McKeague e Cline, 1963; Juo e Sanchez, 1986; Foy, 1992),



## 2.2 Efeito do Si na planta.

O silício geralmente não é considerado parte do grupo de elementos essenciais ou funcionais para o crescimento das plantas. No entanto, segundo Komdörfer e Datnoff (1995), o crescimento e a produtividade de muitas gramíneas (arroz, cana-de-açúcar, sorgo, milho, milho, trigo, etc) e algumas espécies não gramíneas (alfafa, feijão, soja, tomate, alface e repolho) tem mostrado aumentos de produtividade com o aumento da disponibilidade de Si para as plantas. A comprovação da essencialidade do Si é muito difícil de ser obtida devido à sua abundância na biosfera. O Si está presente em quantidades significativas mesmo em sais nutrientes, água e ar altamente purificados (Werner e Roth, 1983).

Epstein (1994) e Marschner (1995) relataram que apesar do Si de ser um constituinte majoritário de alguns vegetais, sua essencialidade para as plantas superiores não foi comprovada, porém foi demonstrada para algumas espécies. É, no entanto, considerado essencial para os animais por ser constituinte de mucopolissacarídeos em tecidos conjuntivos (Jones e Handreck, 1967). Apesar disso, o Si é benéfico para muitas espécies de plantas (Marschner, 1995).

O Si é absorvido pelas plantas como  $H_4SiO_4$  (Jones e Handreck, 1967). A absorção de Si da solução do solo dá-se de forma passiva, com o elemento acompanhando o fluxo de massa da água que penetra nas raízes das plantas. A água absorvida é perdida através da transpiração e o Si fica nos tecidos das plantas. Quando a concentração de Si aumenta na água da planta, o ácido monossilícico polimeriza-se (Yoshida, 1965). A natureza química do Si polimerizado tem sido identificada como sílica gel (Yoshida, 1965, Yoshida et al., 1976) ou opala biogênica (sílica amorfa -  $SiO_2 \cdot nH_2O$ ) (Lanning, 1960).

Segundo Okuda e Takahashi (1965), o Si aumenta o volume e rigidez do

aerênquima, aumentando o suprimento de oxigênio para as raízes. É também atribuída ao Si a função de aumentar o poder oxidante das raízes de arroz, o que favorece a oxidação e deposição de Fe insolúvel na superfície das raízes, diminuindo a sua absorção, proporcionando maior distribuição desse e seu conseqüente efeito tóxico na planta. Além disso, segundo os autores acima citados, plantas desenvolvidas em solução nutritiva contendo Si produziram mais matéria verde, aumentaram a relação P/Fe e P/Mn e promoveram a translocação do fósforo absorvido para a parte aérea e panículas.

O Si pode estimular o crescimento e a produção vegetal através de várias ações indiretas, deixando as folhas mais eretas, com diminuição do auto-sombreamento; redução ao acamamento; maior rigidez estrutural dos tecidos; proteção contra estresses abióticos, como a redução da toxidez de Fe, Mn, Al e Na; diminuição na incidência de patógenos e aumento na proteção contra herbívoros, incluindo os insetos fitófagos (Epstein, 1994; Marschner, 1995).

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. A maior expansão foliar determina maior taxa de assimilação de CO<sub>2</sub>. Com isso, há uma maior translocação de assimilados para a formação dos grãos, aumentando a produtividade.

Acredita-se que o silício é depositado principalmente na parede celular, aumentando a rigidez das células (Adatia e Besford, 1986). As células epidérmicas ficam mais grossas e com um grau maior de lignificação e/ou silicificação (barreira mecânica). Isto poderia elevar o conteúdo de hemicelulose e lignina da parede celular (Lee, Kwon e Park, 1990). O acúmulo e deposição de Si nas células da camada epidérmica constitui-se numa barreira física

efetiva à penetração da hifa (Marschner, 1995).

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.

Os teores de Si na palha do arroz inundado pode superar 5%. Uma boa colheita de arroz chega a extrair 1,5 t de  $\text{SiO}_2 \text{ ha}^{-1}$  (Malavolta, 1978). As plantas diferem bastante na sua capacidade de absorver o Si, genótipos de arroz diferem no teor de Si, respondendo de modo distinto à aplicação do elemento (Winslow, 1992; Deren et al., 1994). Em arroz, genes aditivos e não aditivos parecem estar envolvidos no mecanismo de absorção do silício (Majumder, Rashit e Borthakur, 1985).

Grothge-Lima (1998) observou diferenças genotípicas significativas em soja quando o substrato apresentava níveis elevados de Si. Com a adição de 100 mg  $\text{L}^{-1}$  de Si à solução nutritiva, a cultivar Garimpo Comum absorveu e translocou, para a parte aérea, 37% e 22% mais Si que o cultivar Engopa 301, com a presença ou ausência de nodulação, respectivamente.

Miyake (1992) dividiu as plantas superiores, de acordo com o teor de Si e razão Si/Ca na matéria seca, em 3 grupos: acumuladoras, não acumuladoras e intermediárias. As gramíneas são acumuladoras típicas, cabendo destaque ao arroz. Para as plantas acumuladoras, a quantidade de silício absorvida por fluxo de massa pode ser superior àquela absorvida ativamente quando a concentração de silício na solução do solo for alta como 0,71 mmol  $\text{L}^{-1}$ .

As doenças do arroz são acentuadas nas regiões em que a disponibilidade de Si é baixa (Barbosa Filho, 1987). Estas doenças são usualmente manejadas pelo uso de cultivares resistentes ou fungicidas. No entanto, a resistência

desenvolvida pelas plantas é também facilmente quebrada. Os fungicidas são vistos como produtos de enorme potencial de agressão ao meio ambiente, particularmente ao solo e à água, e também são acusados de serem cancerígenos. Assim sendo, outros produtos, mais sustentáveis e menos poluentes, como os silicatos, poderão constituir alternativas importantes para o manejo das doenças. A adubação com Si pode oferecer uma alternativa concreta, já que tem demonstrado ser efetiva em muitas partes do mundo no controle ou redução da incidência de várias doenças importantes para o arroz. Uma aplicação de Si antes do plantio pode eliminar ou mesmo reduzir o número de aplicações com fungicidas durante seu ciclo, conforme pesquisas realizadas (Kim e Lee, 1982; Datnoff, Snyder e Jones, 1990; Osuma-Canizalez, Dedatta e Bonman, 1991; Datnoff, Deren e Snyder, 1992; Correa-Victoria et al., 1994).

A adubação com Si tem demonstrado eficiência no controle ou redução da incidência de várias doenças importantes do arroz. A adubação com Si pode eliminar ou reduzir o número de aplicações com fungicidas durante o ciclo da cultura. Numerosos pesquisadores têm demonstrado que a adubação com Si reduz a severidade de várias doenças de importância econômica, tais como a bruzone e a mancha parda. No sul da Flórida, pesquisas realizadas em solos orgânicos (Histosoils), que são limitados quanto ao Si disponível (Snyder, Jones e Gascho, 1986), demonstraram que a fertilização com Si reduziu a incidência de bruzone de 17 a 31% e helmintosporiose de 15 a 32% em relação ao tratamento que não recebeu Si (Datnoff, Snyder e Jones, 1990; Datnoff et al., 1991). Estas doenças tendem a diminuir com o aumento da concentração de Si no tecido foliar (Datnoff et al., 1991; Osuma-Canizales, Dedatta e Bonman, 1991). O mecanismo de resistência a doenças é conferido ao Si pela associação deste com constituintes da parede celular, tomando-as menos acessíveis às enzimas de degradação.

O Si, ao ser absorvido pelas plantas, é facilmente translocado no xilema, e tem tendência natural a polimerizar (Barber e Shone, 1966). Mais de 94% do Si absorvido pelo trigo foram transportados rapidamente à parte aérea, concentrando-se nas folhas mais velhas, as quais continham até  $118 \text{ g kg}^{-1}$  de Si.

Chérif e Bélanger (1992) observaram, em plantas de pepino previamente cultivadas em meio suplementado com Si, e posteriormente transferidas a meio deficiente nesse elemento, que as folhas superiores apresentavam concentração de silício marcadamente menor que as inferiores, indicando a baixa mobilidade do Si já polimerizado no interior do tecido. Essas plantas mantiveram o Si residual na base dos tricomas foliares, mas falharam em desenvolver a silicificação do tecido injuriado em volta de um patógeno invasor (*Sphaerotheca fuliginea*), o que não permitiu à planta resistir à doença.

### 2.3 Efeito do Si na transpiração das plantas

Hirasawa (1995) define transpiração vegetal como a perda de água pelas plantas na forma de vapor para a atmosfera, ocorrendo pelas folhas e demais órgãos aéreos. Ela é, entretanto, basicamente um processo que depende da mudança de energia do líquido para o vapor, e do gradiente da pressão de vapor entre as superfícies de evaporação e a atmosfera. A transpiração vegetal e a evaporação são regidas pelos mesmos princípios físicos.

Hirasawa (1995) cita que a taxa de absorção de água é igual à taxa de transpiração em uma situação de equilíbrio no movimento da água através do sistema solo-plantas-atmosfera, que deve ser visto como um continuum. Todavia, a transpiração vegetal, além de ser influenciada por fatores ambientais ou externos, como a evaporação, também sofre influência de fatores internos condicionados pelas características morfológicas e fisiológicas das plantas.

Horiguchi (1988) relatou que o transporte da seiva bruta está intimamente relacionado com a transpiração vegetal. Quanto mais rapidamente a planta perde água, mais rapidamente ela consegue absorver do solo. Quando os estômatos estão abertos, as trocas gasosas se realizam com maior eficiência, determinando maior rendimento fotossintético.

Uzuniam (1982) cita que dentre os fatores ambientais ou externos que influem na transpiração vegetal, destacam-se: pressão de vapor atmosférica ou umidade absoluta, radiação solar e temperatura do ar, afetando a temperatura da folha e a velocidade do vento. Já os fatores da planta (fatores internos, isto é, determinados pela própria constituição da planta) afetando a transpiração são relatados: tamanho da folha, forma e características da superfície tais como pêlos, afetando a resistência da cutícula. Destacam-se, ainda, o número e a localização dos estômatos nas diferentes espécies vegetais, podendo estar presentes em uma ou em ambas as faces das folhas (flores, pecíolos, frutos e caules verdes). Cada estômato é constituído por duas células-guardas, podendo estar associadas a outras células epidérmicas, denominadas anexas ou subsidiárias (Alves, Oliveira e Gomide, [19-]).

Nas folhas de arroz, forma-se a camada de sílica abaixo da cutícula, nas células epidérmicas, as quais, segundo alguns autores (Malavolta, 1980; Marschner, 1986; Takahashi, 1995), teriam a função de limitar a perda de água. A acumulação de sílica nos órgãos de transpiração provoca a formação de uma dupla camada de sílica cuticular, a qual, pela redução da transpiração, faz com que a exigência de água pelas plantas seja menor. Isso pode ser de extrema importância em se tratando de solos sob cerrado, em que o período de estiagem é longo e severo, culminando com temperaturas elevadas.

Agarie et al (1992) observaram um melhor aproveitamento da água do solo na presença de silicato provavelmente devido à redução na transpiração. Os

mesmos autores também citam que a maior atividade fotossintética proporcionada pelo Si pode ser uma das razões para o aumento da matéria seca.

Devido à acumulação de silício na epiderme das folhas, além da menor transpiração se refletir numa maior economia de água, as plantas de arroz mantêm suas folhas mais eretas, promovendo maior aproveitamento da luz e, em decorrência, maior eficiência fotossintética (Takahashi, 1995).

Yoshida (1975) observou que a resistência à transpiração do estômato e da camada cuticular varia entre cultivares de arroz. Quando cultivares de arroz inundado e de sequeiro foram comparadas, a resistência à transpiração foi geralmente superior na última. Kobata (1987) também observou diferenças no potencial de água em plantas de arroz de sequeiro.

A principal forma na qual o Si é encontrado no interior da planta é a sílica amorfa hidratada,  $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  (Lanning, 1960), podendo ocorrer ainda na forma de polímeros, formando complexos com polifenóis de grande estabilidade e baixa solubilidade, o restante, menos de 1%, encontra-se na forma coloidal ou iônica. Ele parece estar associado principalmente a frações de polissacarídeos (celulose e hemicelulose), e não com a lignina (Yoshida, 1965).

As necessidades hídricas do arroz de sequeiro podem ser expressas pelas exigências em cada estágio de desenvolvimento fenológico. Conforme Fageria (1980), o consumo de água do arroz de sequeiro durante o ciclo é distribuído em 30% na fase vegetativa (da germinação à iniciação do primórdio floral), 55% na fase reprodutiva (florescimento todo) e 15% durante a maturação. Fornasier Filho e Fornasier (1993) citam que as necessidades diárias de água pela cultura de arroz são inferiores a 1 mm nos primeiros 30 dias do ciclo, aumentando gradativamente até atingir o máximo de 6 a 7 mm, no período de 20 dias que antecede o florescimento; a seguir, caindo gradativamente para 4 mm; e após 30 dias do florescimento, atingem 2 mm.

Handreck e Jones (1968), trabalhando com plantas de aveia, verificaram que a folha bandeira era a que apresentava os mais altos valores de Si e que a distribuição deste nas folhas seguia uma curva hiperbólica, isto é, a concentração diminuía do ápice para a base da folha de forma exponencial. Com base nesta observação, os mesmos autores sugerem que o ácido monossilícico se deposita nas partes ou regiões em que a água é perdida em grande quantidade.

Takahashi (1995) investigou o efeito do Si na transpiração das plantas de arroz e observou uma taxa de transpiração superior nos tratamentos sem Si em ambos estados fenológicos estudados. Testes conduzidos com silício radioativo ( $Si^{31}$ ) mostraram que o Si é translocado no caule poucas horas depois de ter sido absorvido pelas raízes. A translocação do Si pode ser regulada pela taxa de transpiração (Horigushi, 1988).

Segundo Malavolta (1980), a taxa de respiração é cerca de 30% mais alta nas plantas deficientes neste elemento do que em plantas normais. Segundo Silva (1983), as folhas de cana ricas em Si podem, por meio da polimerização, preencher os espaços interfibrilares, reduzindo o movimento da água através da parede celular, causando economia de água na planta pela diminuição da taxa de transpiração.

Okuda e Takahashi (1965), trabalhando com plantas de arroz crescendo em solução nutritiva e medindo a taxa de transpiração em intervalos de tempo durante um período de 2 meses, observaram que o aumento da concentração de Si nas soluções diminuiu a taxa de transpiração. A taxa de transpiração diminuiu de 5,1 para 3,6 ml/g de peso fresco/24 horas nas soluções nutritivas contendo Si em relação à testemunha. Horiguchi (1988) também observou semelhantes efeitos do Si sobre a taxa de transpiração.



## 3 MATERIAL E MÉTODOS

### 3.1 Caracterização do experimento

O presente estudo foi conduzido na casa-de-vegetação do departamento de Agronomia da Universidade Federal de Uberlândia (UFU). Os solos utilizados foram: Latossolo Vermelho-Amarelo, Álico (LVa) e Areia Quartzosa, Álica (AQa). Os resultados da análise química dos solos, bem como física e mineralógica, encontram-se nas tabelas 1 e 2, respectivamente.

Os solos foram coletados na Região do Triângulo Mineiro, na profundidade de 0-20 cm, em áreas ainda não cultivadas. Foram secos ao ar e passados em peneiras de 5 mm de abertura. Cada vaso contendo 8 kg de solo recebeu a seguinte adubação básica ( $\text{mg kg}^{-1}$  de solo): 238 de N  $[(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4]$ ; 291 de P  $[(\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2)]$ ; 173 de K (KCl); 1,8 de B ( $\text{H}_3\text{BO}_3$ ); 9 de Zn ( $\text{ZnSO}_4$ ); 2,0 de Mn ( $\text{MnSO}_4$ ) e 0,8 de Cu ( $\text{CuSO}_4$ ). Juntamente com a adubação básica, realizou-se a calagem para elevar a saturação por bases a 40%, com  $357 \text{ mg kg}^{-1}$  de Ca e  $131 \text{ mg kg}^{-1}$  de Mg na forma de carbonatos de cálcio e magnésio solúveis (p.a.). Aplicou-se  $1 \text{ mL planta}^{-1}$  de solução contendo  $300 \text{ g L}^{-1}$  de sulfato ferroso heptaidratado ( $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ), 20 dias após germinação, para prevenir eventual deficiência de Fe.

As dosagens escolhidas foram: 0; 200; 400 e  $600 \text{ kg ha}^{-1}$  de Si, aplicadas na forma de silicato de cálcio, o qual apresenta as seguintes características:  $\text{SiO}_2 = 45,2\%$  (21,1% - Si),  $\text{CaO} = 42,1\%$ . Utilizou-se a fração cujas partículas passaram na peneira N° 20 e ficaram retidas na peneira N° 50 (ABNT), isto é, partículas menores que 0,84 mm e maiores que 0,30 mm de dimensão, para uniformizar a granulometria do material. Dosagens de Si equivalentes ou aproximadas foram utilizadas por outros autores (Anderson, Snyder e Martin,

1991; Gascho e Korndörfer, 1998; Savant et al., 1999; Korndörfer et al., 1999a). Estas doses foram misturadas em todo o volume de solo junto com a adubação básica, 30 dias antes do plantio para permitir a reação do silicato no solo.

A variedade de arroz utilizada foi a IAC 201. Semearam-se 15 sementes vaso<sup>-1</sup>, os quais foram inicialmente pesados para manter a umidade do solo próxima à capacidade de campo (c.c.) até a completa germinação, quando então efetuou-se o desbaste, deixando 6 plantas vaso<sup>-1</sup>, e passou-se a utilizar três tensões de água no solo, sendo 60, 70 e 80% da capacidade de campo. Aplicaram-se, neste momento, 25 mg kg<sup>-1</sup> de solo do produto comercial Furadan, para o controle de eventuais pragas de solo. Os vasos foram pesados duas vezes ao dia para manter os níveis de umidade do solo de cada tratamento até o final do experimento, irrigando sempre com água deionizada a fim de evitar contaminações.

### 3.2 Análise estatística

Todas as variáveis foram submetidas à análise de variância e estudos de regressão, com o auxílio do programa SANEST (Sistema de análise estatística). Utilizou-se um delineamento inteiramente casualizado e a análise de variância foi calculada com base num esquema fatorial completo (2 x 3 x 4) com 4 repetições, sendo 2 classes de solos (LVa e AQA), 3 tensões de água (T1=60, T2=70 e T3=80% da capacidade de campo) e 4 doses de Si (0, 200, 400 e 600 kg ha<sup>-1</sup>).

### **3.3 Coleta, preparo e análise das amostras**

#### **3.3.1 Análise química de solo após a colheita dos grãos**

Após a colheita dos grãos, foi retirada uma amostra representativa de cada vaso de aproximadamente 500 g, para análise de pH em  $\text{CaCl}_2$  0,01 mol L<sup>-1</sup>, teores trocáveis de Ca, Mg e Al conforme metodologia EMBRAPA (1997).

A análise do Si no solo foi realizada por meio da extração com solução de ácido acético 0,5 mol L<sup>-1</sup> (Korndörfer et al., 1999b) agitando-se 10 g de terra fina seca ao ar (TFSA) por 1 hora, com 100 mL de solução. O agitado foi filtrado e deixado em repouso até o dia seguinte.

Para determinação, utilizaram-se 10 mL do extrato (filtrado/decantado), aos quais acrescentou-se 1 mL de solução sulfo-molibídica 7,5%. O ácido monossilícico ( $\text{H}_4\text{SiO}_4$ ), forma mais simples e solúvel de Si na solução, reage com o molibdato desenvolvendo cor amarela. Após 10 minutos, foram acrescentados 2 mL da solução de ácido tartárico 20%, utilizado para complexar o fósforo da solução. Após 5 minutos, adicionaram-se 10 mL da solução de ácido ascórbico 0,3%. A redução do Si transforma o complexo amarelo para a cor azul. Depois de uma hora, foi feita a leitura do Si em espectrofotômetro no comprimento de onda de 660nm.

**TABELA 1** Atributos químicos e matéria orgânica das amostras de solo usadas no estudo.

Solo	pH- H <sub>2</sub> O	P	Si	Al	Ca	Mg	S	t	T	V	m	M.O.
		..mg dm <sup>-3</sup> ..	.....cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> .....					.....%	.gkg <sup>-1</sup> ..			
LVa	5,0	0,4	5,7	0,7	0,2	0,0	0,3	1,0	7,7	4,0	70	45
AQa	4,4	5,6	3,3	1,0	0,2	0,1	0,4	1,4	5,2	7,0	71	15

Obs. P extraídos com HCl 0,05 mol L<sup>-1</sup> + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,00125 mol L<sup>-1</sup>; Si extraído pelo ácido acético 0,5 mol L<sup>-1</sup>; Al, Ca e Mg extraídos com KCl 1 mol L<sup>-1</sup>; S = soma de bases; t = cap. troca cátion Efetiva; T = cap. troca cátion a pH 7,0; V = saturação por bases; m = saturação por alumínio; M.O.= Matéria Orgânica (EMBRAPA, 1997); Latossolo Vermelho-Amarelo álico (LVa), Areia Quartzosa álica (AQa).

**TABELA 2** Elementos totais, índice de intemperismo (Ki), teores estimados de caulinita (Ka) e granulometria da terra fina referentes à camada de 0-20 cm.

Solo <sup>(1)</sup>	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila <sup>(2)</sup>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ki <sup>(3)</sup>	Ka
	.....g kg <sup>-1</sup> .....				.....%			.....%	
LVa	60	100	100	740	13,5	29,6	7,8	0,77	29
AQa	220	620	20	140	3,7	3,8	2,6	1,66	8

<sup>(1)</sup>Elementos totais analisados pelo método do ataque sulfúrico (EMBRAPA, 1997). Latossolo Vermelho-Amarelo álico (LVa), Areia Quartzosa álica (AQa). <sup>(2)</sup>Análise textural, método da pipeta. (EMBRAPA, 1997). <sup>(3)</sup>Relação molecular: %SiO<sub>2</sub>/%Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> x 1,7.

### 3.3.2 Análise de Si nas plantas de arroz (folhas + bainha + colmo)

Procedimento para a coleta e preparo das amostras:

Coletou-se, para análise, toda a parte aérea (folha + bainha + colmo), excluindo a panícula aos 140 dias após o plantio (por ocasião da colheita). A

secagem da parte aérea das plantas de arroz foi feita em estufa de circulação de ar forçada a 65°C até atingir peso constante. Após atingir peso constante, o material vegetal foi moído em moinho tipo willey e acondicionado em embalagens de plástico para posterior análise.

O método empregado para análise de Si no material vegetal foi uma adaptação do método descrito por Elliott e Snyder (1991). Pesou-se 0,1000 g da amostra (parte aérea) e colocou-se em tubo de plástico para digestão. A seguir, foram acrescentados 2 mL de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> p.a. (30%), mais 3 mL de NaOH (1:1). Depois de agitados, os tubos foram imediatamente colocados na autoclave por um período de 1 hora a 123°C e 1,5 atm de pressão; o Si presente no material transforma-se em H<sub>4</sub>SiO<sub>4</sub>, que desenvolve a cor amarela na presença do agente complexante, que é o molibdato de amônio em meio ácido.

Para determinação, utilizou-se uma alíquota de 5 mL do sobrenadante, colocada em copo plástico, e acrescentaram-se 15 mL de água destilada. Em seguida, e rapidamente, foram adicionados 1 mL de HCl (1:1) e 2 mL de molibdato de amônio. Procedeu-se uma leve agitação. Depois de 5 a 10 minutos, adicionaram-se 2 mL de ácido oxálico, agitando-se levemente. A leitura do Si nos extratos foi feita em espectrofotômetro, no comprimento de onda de 410nm.

### **3.4 Variáveis de crescimento avaliadas**

A produção de grãos de arroz foi avaliada levando em consideração o peso de panículas, e ocorreu aos 140 dias após o plantio.

A altura das plantas de arroz foi determinada medindo a distância entre o colo e o ápice da lâmina foliar de maior altura, aos 60 dias após a emergência.

O número de perfilhos foi avaliado contando todos os perfilhos das plantas de arroz por vaso, e ocorreu aos 60 dias após a emergência.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 pH em $\text{CaCl}_2$ 0,01M, teores trocáveis de Ca, Mg e Al

A aplicação do Si promoveu um aumento linear nos valores de pH em  $\text{CaCl}_2$  (Figura 1). No LVA, o pH aumentou de 4,6 para 5,1, enquanto no solo AQA, o incremento foi de 4,2 para 4,8, com as doses de 0 e 600  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ , respectivamente (Tabela 3). 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 atuação do silicato como corretivo da acidez do solo (Alcarde, 1992).

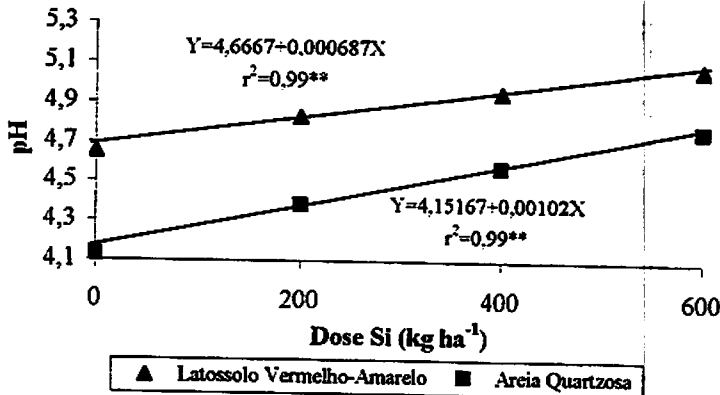


Figura 1 Efeito de doses de Si sobre o pH do solo em  $\text{CaCl}_2$  0,01 M.

Com relação à variável Ca trocável no solo amostrado após a colheita dos grãos, os maiores valores foram observados no solo AQA, que aumentou de 5,2 para 7,8  $\text{cmol}_c\cdot\text{dm}^{-3}$  com as doses de Si aplicadas. Já no solo LVA houve um incremento de 4,3 para 6,1  $\text{cmol}_c\cdot\text{dm}^{-3}$  (Tabela 3). Este aumento nos teores de Ca no solo deveu-se à fonte de Si utilizada (silicato de cálcio - 30 % de Ca). Os valores de Ca trocável após a colheita dos grãos, embora tenham sido diferentes

para doses e solos (Tabela 3), não devem ter afetado a produção e o desenvolvimento das plantas de arroz, já que os teores são altos e acima do nível crítico (Comissão..., 1989).

**Tabela 3** Valores de pH em CaCl<sub>2</sub>, Ca, Mg e Al nos solos (LVa e AQa) após o cultivo do arroz de sequeiro, nas diferentes tensões de água.

Tratamento		LVa				AQa			
Tensão	Dose Si	pH CaCl <sub>2</sub>	Ca	Mg	Al	pH CaCl <sub>2</sub>	Ca	Mg	Al
%C.C.	kg ha <sup>-1</sup>	.....cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> .....				.....cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> .....			
60	0	4,7	4,4	1,3	0,2	4,1	5,4	0,7	0,8
	200	4,9	5,0	1,6	0,2	4,5	5,9	0,5	0,5
	400	5,0	5,3	1,7	0,0	4,6	6,1	0,6	0,3
	600	5,1	6,2	1,9	0,0	4,9	8,0	0,5	0,2
70	0	4,7	4,3	1,3	0,2	4,2	5,3	0,7	0,7
	200	4,8	4,9	1,5	0,1	4,4	6,8	0,6	0,4
	400	5,0	5,3	1,7	0,0	4,6	7,2	0,5	0,3
	600	5,1	6,1	1,8	0,0	4,7	8,3	0,6	0,2
80	0	4,6	4,3	1,4	0,2	4,2	5,0	0,6	0,8
	200	4,8	4,9	1,6	0,1	4,3	6,3	0,5	0,5
	400	4,9	5,3	1,7	0,1	4,5	6,4	0,5	0,3
	600	5,1	6,0	1,8	0,0	4,8	7,2	0,5	0,2

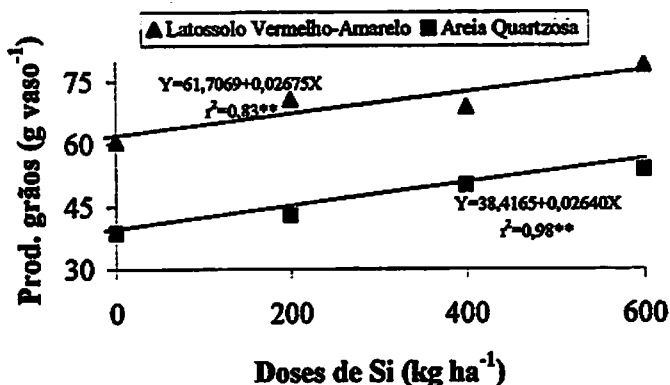
Houve um efeito das doses de Si nos teores de Mg trocável apenas no solo LVa (Tabela 1A), no qual os teores de Mg aumentaram de 1,3 até 1,8  $\text{cmol}_e \text{dm}^{-3}$ , com o incremento das doses de Si. Isto sugere uma possível contaminação com Mg, do silicato utilizado no experimento.

Para a variável Al trocável no solo, os maiores valores foram observados no solo AQa, diminuindo de 0,8 para 0,2  $\text{cmol}_e \text{dm}^{-3}$  com as doses de Si aplicadas. Já no solo LVa, diminuiu de 0,2 para 0,0  $\text{cmol}_e \text{dm}^{-3}$  (Tabela 3). Embora os teores de Al trocável no AQa tenham sido superiores aos valores no solo LVa para as mesmas doses de Si, estes teores sempre diminuíram com as doses de Si aplicadas nos dois solos estudados, independente das tensões de água utilizadas. Esta é mais uma confirmação de que o silicato de cálcio atuou como corretivo de acidez do solo (Alcarde, 1992).

#### **4.2 Produção de grãos, altura de plantas e número de perfilhos**

A produção de grãos cresceu de forma linear e positiva com as doses de Si aplicada. Independentemente do tipo de solo, houve um aumento linear da produção com o aumento das doses de Si. A produção aumentou de 38,6 para 54,3  $\text{g vaso}^{-1}$  no AQa e de 60,6 para 79,0  $\text{g vaso}^{-1}$  no solo LVa, respectivamente para as doses 0 e 600  $\text{kg ha}^{-1}$  (Figura 2). A produção de grãos de arroz, no entanto, foi superior no LVa se comparado com o AQa (Figura 2). O comportamento linear mostrado na Figura 2 sugere que a produção poderia ter sido ainda maior caso fossem utilizadas doses superiores a 600  $\text{kg ha}^{-1}$ .



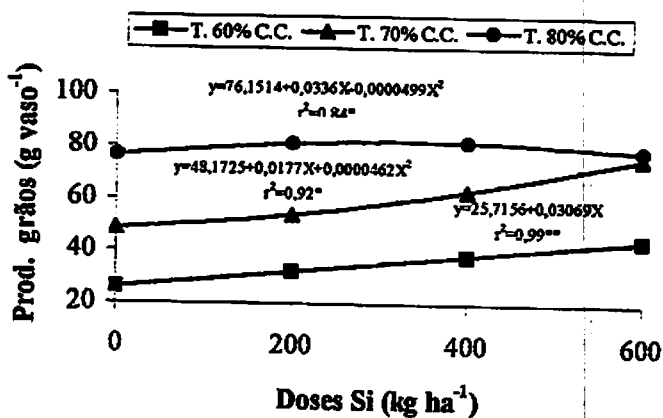


**FIGURA 2** Efeito das doses de Si sobre a produção de grãos, em diferentes tipos de solos

O efeito do Si aplicado variou segundo a tensão de água aplicada aos solos. Para a maior tensão de água, isto é, menor disponibilidade de água, T1 = 60% (Figura 3), observou-se uma relação direta e positiva entre a produção e as doses aplicadas, sendo que a maior dose de Si proporcionou a maior produção de grãos, indicando que esta poderia ser ainda maior caso fossem utilizadas doses de Si superiores a 600 kg ha<sup>-1</sup>). Na tensão de água de 70% c.c., a relação foi quadrática. É importante notar que a produção de grãos atingida com a dose máxima de Si e quando o solo apresentava 70% c.c., isto é, abaixo do nível adequado ou ótimo de umidade, foi praticamente igual ao tratamento testemunha (dose zero de silício) na tensão ótima de umidade no solo (Figura 3). Este resultado nos sugere que plantas adubadas com silício podem se tornar mais tolerantes ao déficit hídrico. (Os efeitos do Si sobre a tolerância ao déficit hídrico) podem ser ainda mais importantes em espécies de plantas reconhecidamente susceptível aos veranículos, como é o caso do arroz (Fageria, 1980). Entretanto,

na tensão T3 = 80% da capacidade de campo (níveis ideais de umidade no solo), os incrementos na produção de grãos não foram significativos como nas demais tensões, indicando a menor dependência das plantas de arroz ao Si em solos sem déficit hídrico. A maior tolerância ao déficit hídrico pode estar relacionado à menor taxa de transpiração. Segundo os autores Malavolta (1980); Marschner (1986) e Takahashi (1995), o Si acumulado nas plantas de arroz reduziu a taxa de transpiração, diminuindo o consumo de água.

O fato da tensão maior de água (T1 = 60% da capacidade de campo), ter apresentado aumento linear ao Si aplicado em termos de produção de grãos é um forte indicativo de que o Si possui de fato um papel importante no aumento da tolerância das plantas de arroz ao déficit hídrico. Porque não houve resposta as doses Si quando não teve efeito da umidade, ou seja, na condição de T3 = 80% da capacidade de campo, o Si não aumentou a produção de grãos (Figura 3).



**FIGURA 3** Efeito das doses de Si sobre a produção de grãos, em diferentes tensões de água.

O efeito benéfico do Si na tolerância das plantas de arroz ao déficit hídrico foi maior no solo AQA, no qual para T1 = 60% da capacidade de campo,

a produção aumentou de 17,6 para 44,5 g vaso<sup>-1</sup>, enquanto no LVa este aumento foi de 32,9 para 44,3 g vaso<sup>-1</sup>, respectivamente para as doses 0 e 600 kg ha<sup>-1</sup> (Tabela 4).

**TABELA 4** Efeito de doses de Si e dos níveis de umidade sobre produção de grãos nos dois tipos de solos estudados, LVa e AQa.

Tensões	Doses Si, kg ha <sup>-1</sup>				Média
	0	200	400	600	
.%C.C.	.....g vaso <sup>-1</sup> .....				
<b>Solo LVa</b>					
60	32,9	34,1	36,9	44,3	37,1 c
70	55,4	81,7	69,1	96,2	75,6 b
80	93,3	96,0	100,5	96,4	96,5 a
<b>Solo AQa</b>					
60	17,6	31,8	37,1	44,5	32,8 c
70	38,3	33,6	48,0	57,4	44,3 b
80	59,9	63,2	65,2	61,1	62,3 a

Com relação à variável altura das plantas de arroz, os maiores níveis de umidade proporcionaram um maior comprimento das lâminas foliares de arroz (altura de plantas), nos dois solos estudados (Tabela 5). Com relação às doses de Si, observou-se que houve efeito significativo e positivo sobre a altura das plantas (Tabela 2A), independentemente do tipo de solo e das tensões de água utilizadas, o que está de acordo com observações de Takahashi (1995).

**TABELA 5** Efeito das doses de Si e dos níveis de umidade do solo sobre a altura de plantas(m), aos 60 dias.

Tensões	Doses Si, kg ha <sup>-1</sup>				Média
	0	200	400	600	
<b>.%C.C.</b>	<b>.....Solo LVa.....</b>				
60	1,17	1,18	1,17	1,18	1,17c
70	1,20	1,21	1,22	1,28	1,22b
80	1,19	1,32	1,28	1,36	1,29a
	<b>.....Solo AQa.....</b>				
60	1,01	1,04	1,12	1,14	1,08c
70	1,22	1,20	1,22	1,23	1,22b
80	1,35	1,29	1,28	1,35	1,32a

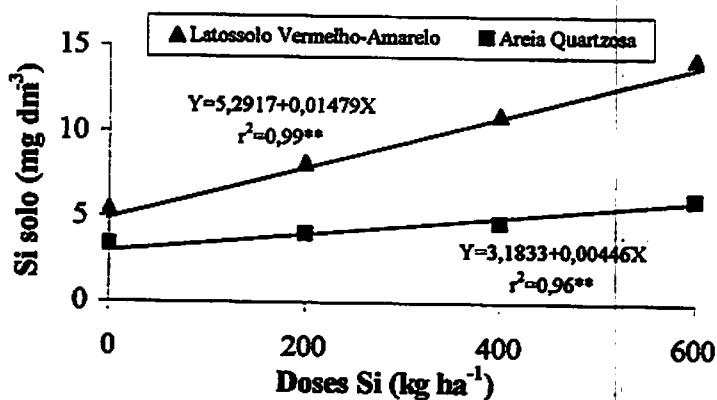
Observa-se, pela Tabela 6, que no solo AQa houve um aumento do número de perfilhos com o aumento do nível de umidade no solo. Já no solo LVa isso não ocorreu, sendo que a tensão de água T1 = 60% obteve-se o maior número de perfilhos, comparada às tensões T2 = 70 e T3 = 80% da capacidade de campo. O número médio de perfilhos vaso<sup>-1</sup> sofreu um decréscimo com as doses de Si aplicadas, nos dois solos estudados (Tabela 6 e Tabela 2A). Plantas com maiores teores de Si se desenvolveram de forma mais erecta, enquanto com menores teores ocorreu uma maior perfilhamento, o que se deve possivelmente a uma compensação de folhas pelas plantas de arroz, o que está de acordo com observações feitas por Arantes (1997).

**TABELA 6** Efeito das doses de Si e dos níveis de umidade do solo sobre o número de perfilhos vaso<sup>-1</sup>, aos 60 dias.

Tensão	Doses Si, kg ha <sup>-1</sup>				Média
	0	200	400	600	
<b>.%C.C.</b>	.....Solo LVa.....				
60	24,3	19,0	18,0	15,5	19,2a
70	16,3	16,8	14,8	14,5	15,6b
80	22,5	15,8	12,0	15,0	16,3b
	.....Solo AQA.....				
60	13,5	8,8	7,8	8,5	9,6c
70	17,8	11,0	11,5	11,3	12,9b
80	18,8	17,8	17,8	16,3	17,6a

#### 4.1 Si no solo:

Os teores de silício “extraível” variaram segundo a classe de solo. Houve um aumento linear dos teores de silício com o aumento das doses de Si aplicadas, nos dois tipos de solos estudados (Figura 4). Independentemente da dose aplicada, os teores de Si “extraível” foram sempre superiores no solo LVa para todas as tensões de água estudadas. (Devem-se à presença de maior quantidade de caulinita no LVa (29%), comparada com o 8% no AQA (Tabela 2), o que representa uma maior capacidade do LVa em suprir a solução do solo em Si “extraível”). Estes resultados concordam com Rajj e Camargo (1973), que mostram que o silício no solo diminui com o grau de intemperismo e que maiores teores desse elemento foram encontrados nos solos argilosos em relação aos arenosos.



**FIGURA 4** Efeito das doses de Si sobre os teores de Si "extraível" nos solos estudados

Pela Figura 4, observa-se que com o aumento das doses de Si aplicadas aumenta a diferença nos teores de Si "extraível" entre os dois solos, sendo que o LVa apresenta incrementos superiores ao AQa. Pode-se observar isto devido ao maior coeficiente angular da reta dada pela equação  $Y = 5,2917 + 0,01479X$ . O solo LVa, por apresentar maior teor de argila (Tabela 2), também permitiu um maior contato do silicato com o solo, favorecendo as reações de dissolução do produto.

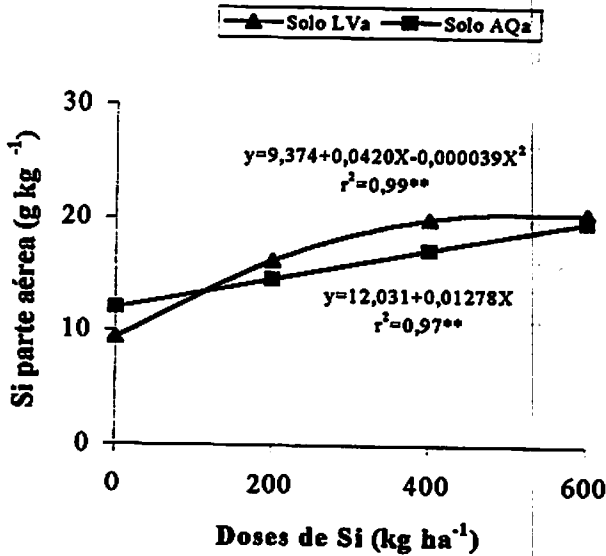
O valor médio mais elevado de Si no solo (10,5 mg dm<sup>-3</sup>) na maior tensão de água (T1 = 60% c. c.) pode ser explicado em parte pela menor absorção deste pela planta e maior efeito residual no solo, isto é, quanto menos água disponível no solo, menor foi a produção de biomassa, e conseqüentemente menor a extração do elemento. Segundo Komdörfer et al. (1999b), solos com teores de Si, extraídos com ácido acético 0,5 mol L<sup>-1</sup>, inferiores a 10 mg dm<sup>-3</sup>, deveriam receber adubação com Si para obtenção de rendimentos máximos na

cultura do arroz, enquanto solos com teores iguais ou superiores a este valor teriam menores possibilidades de resposta à aplicação do elemento.

#### 4.2 Si na parte aérea do arroz:

Os teores de Si na parte aérea do arroz foram em média de 9 a 22 g kg<sup>-1</sup>, aumentando com as doses do silicato aplicado (Figura 5). Apesar disso, percebe-se que os aumentos não foram tão expressivos como os encontrados por Gascho e Komdörfer, (1998); Komdörfer, Datnoff e Correa, (1999). Este resultado está, provavelmente, associado à coleta do material vegetal para análise e às condições de baixa reatividade às quais o silicato foi submetido, porque os aumentos de Si no solo também foram pequenos. Para o solo LVa, houve efeito quadrático das doses de Si sobre os teores de Si na parte aérea, sendo que o teor máximo foi obtido com a dose de 538 kg ha<sup>-1</sup> de Si (Figura 5). Já para o solo AQa, houve efeito linear das doses de Si sobre os teores de Si na parte aérea do arroz. O Si na parte aérea variou de 9 a 23 g kg<sup>-1</sup> no LVa, e de 9 a 21 g kg<sup>-1</sup> no solo AQa, respectivamente para as doses 0 e 600 kg ha<sup>-1</sup>.

O efeito da aplicação de Si no solo sobre o Si acumulado na parte aérea do arroz pode ser observado na Tabela 7. A resposta foi linear e mais acentuada quando o Si foi aplicado nos solos com mais baixa tensão de água (60% c.c.), isto é, quanto mais baixa tensão de água, maior o efeito do Si aplicado. A quantidade de Si acumulada na parte aérea foi maior quanto maior foi a tensão de água utilizada (Tabela 7). Assim sendo, na tensão 60% da capacidade de campo, temos menos água disponível no solo para as plantas, apresentando uma menor quantidade de Si disponível no solo para as plantas de arroz durante o seu ciclo vegetativo, comprovado pela obtenção de menores teores de Si na parte aérea do arroz (Tabela 7), uma vez que este é absorvido via fluxo de massa durante o processo de transpiração, como relatou Jones e Handreck (1967).



**FIGURA 5** Efeito das doses de Si sobre os teores de Si na parte aérea do arroz, nos solos LVa e AQa

De acordo com os resultados da Tabela 3A (Anexo), podemos observar que os valores de Si na parte aérea não diferem segundo as classes de solos estudados, isto é, tanto o LVa quanto a AQa apresentaram valores semelhantes de Si na parte aérea. Observa-se (Tabela 7) que à medida que aumenta a disponibilidade de água nos dois solos estudadas, ocorre um incremento nos teores de Si na parte aérea do arroz, o que, segundo Jones e Handreck (1967), corrobora a hipótese de que o Si é absorvido via fluxo de massa, isto é, quanto maior a transpiração, maior a acumulação do Si nas folhas. Com menores quantidades de água disponível, obtém-se, então, um menor transporte de Si para a parte aérea, o que pode ser explicado pela menor extração do Si pelas plantas



de arroz, ficando, portanto, nesta tensão mais Si extraível no solo após a colheita dos grãos.

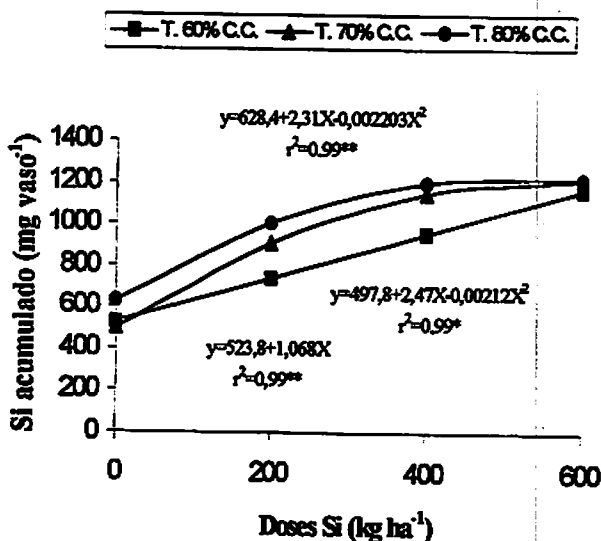
**TABELA 7** Efeitos das doses de Si e dos níveis de umidade no solo sobre os teores de Si na parte aérea do arroz após a colheita dos grãos.

Tensão	Doses Si, kg ha <sup>-1</sup>				Média
	0	200	400	600	
<b>.%C.C.</b>	.....g kg <sup>-1</sup> .....				
<b>Solo LVa</b>					
<b>60</b>	10	11	17	19	<b>14 c</b>
<b>70</b>	9	16	20	21	<b>17 b</b>
<b>80</b>	10	21	23	23	<b>19 a</b>
<b>Solo AQa</b>					
<b>60</b>	9	15	16	19	<b>15 b</b>
<b>70</b>	10	16	16	21	<b>16 ab</b>
<b>80</b>	16	16	17	19	<b>17 a</b>

#### 4.2 Si acumulado na parte aérea do arroz:

O efeito da aplicação do Si no solo sobre o Si acumulado na parte aérea do arroz pode ser observado na Tabela 8. Os valores de Si acumulado na parte aérea do arroz foram, em média, de 622 a 1160 mg vaso<sup>-1</sup>, respectivamente para os solos LVa e AQa, e aumentaram segundo as dose de silicato aplicado. O Si acumulado variou de 500 a 1250 mg vaso<sup>-1</sup> no LVa, e de 450 a 1230 mg vaso<sup>-1</sup> no solo AQa, respectivamente para as doses 0 e 600 kg ha<sup>-1</sup>.

O efeito do Si aplicado variou segundo a tensão de água. Quanto maior foi a tensão, menor foi a quantidade de Si acumulado. Na maior tensão de água T1 = 60% da capacidade de campo, menor disponibilidade de água, o efeito foi linear e a acumulação de Si, em média, foi de 786 mg Si vaso<sup>-1</sup>. Nas tensões T2 = 70 e T3 = 80% c.c., o efeito foi quadrático (Figura 6). Na tensão T2 = 70%, segundo a regressão, a dose de Si que proporcionou o máximo de Si acumulado na parte aérea foi de 582 kg de Si ha<sup>-1</sup>, acumulando, em média 910 mg Si vaso<sup>-1</sup>. Já na tensão T3 = 80%, o máximo acumulado foi obtido com a dose de 525 kg de Si ha<sup>-1</sup>, com um acúmulo médio de 1031 mg Si vaso<sup>-1</sup>.



**FIGURA 6** Efeito das doses de Si sobre o Si acumulado na parte aérea, em diferentes tensões de água.

Segundo Jones e Handreck (1967), o Si é absorvido e acumulado na parte aérea via fluxo de massa e, portanto, depende da quantidade de água absorvida. Isso explica em parte a maior acumulação de Si na parte

aérea, nos solos submetidos a uma menor tensão de água. Com menores quantidades de água disponível no solo, ocorreu um menor transporte de Si para a parte aérea, conforme mostra a Figura 6.

**TABELA 8** Efeitos das doses de Si e dos níveis de umidade no solo sobre o Si acumulado na parte aérea do arroz após a colheita.

Tensões	Doses Si, kg ha <sup>-1</sup>				Média
	0	200	400	600	
.%C.C.	.....mg vaso <sup>-1</sup> .....				
	<b>Solo LVa</b>				
60	560	640	1020	1150	840 c
70	500	870	1170	1210	940 b
80	600	1080	1120	1250	1010 a
	<b>Solo AQa</b>				
60	450	660	850	850	720 c
70	620	840	840	1230	880 b
80	990	980	1040	1180	1050 a

## **5 CONCLUSÕES**

Nas condições deste trabalho, os resultados obtidos permitiram concluir que:

1. Os teores de Si “extraível” no solo aumentaram com as doses de silicato de cálcio aplicadas no solo, que, por sua vez, aumentaram os teores de Si nas folhas de arroz.
2. Os teores de Si “extraível” no solo L<sub>Va</sub> foram sempre superiores aos valores encontrados no A<sub>Qa</sub> em todas as doses de Si estudadas.
3. O silicato de cálcio promoveu o aumento na produção de grãos e tolerância à falta de água. Os efeitos do silicato sobre a produção de grãos foi maior quando os solos foram submetidos a uma tensão maior de água.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADATIA, M.H.; BESFORD, R.T. The effects of silicon on cucumber plants grown in recirculating nutrient solution. *Annals of Botany, London*, v.58. p.343-351. 1986.
- ALCARDE, J.C. Corretivos da acidez dos solos: características e interpretações técnicas. São Paulo: ANDA. 1992. p.62. (Boletim técnico, 6).
- ALVES, J.D.; OLIVEIRA, L.E.M. de; GOMIDE, M.B. *Fisiologia Vegetal. Bio 108 – Teórica*. Lavras: UFLA, [19--]. Apostila.
- AGARIE, S.; AGATA, W.; KUBOTA, F. et al. Physiological roles of silicon in photosynthesis and dry matter production in rice plants. *Japanese Journal of Crop Science, Tokyo*, v.61, p.200-206, 1992.
- 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.
- ARANTES, V.A. de. *Aplicação de sílcio para arroz de sequeiro cultivado em material de solos fase Cerrado*. Uberlândia-MG, 1997 (Monografia).
- BARBER, D.A.; SHONE, M.G.T. The absorption of silica from aqueous solutions by plants. *Journal of Experimental Botany, Oxford*, v.17, p.569-578, 1966.
- BARBOSA FILHO, M.P. *Nutrição e adubação do arroz: [(sequeiro e irrigado)]*. Piracicaba: Associação Brasileira Para Pesquisa de Potassa e do Fosfato, 1987. 129p. (Boletim Técnico, 9).

- IMAIZUMI, K.; YOSHIDA, S. Edaphology studies on silicon supplying power of paddy soils. *Bulletin National Institute Agriculture Science, Tokyo*, n. 8, p.261-304, 1958.
- JONES, L.H.P.; HANDRECK, K.A. Effect of iron and aluminum oxides on silica in solution in soils. *Nature, London*, v.108, p.852-853, 1963.
- JONES, L.H.P.; HANDRECK, K.A. Silica in soils, plants, and animals. *Advances in Agronomy, New York*, v.19, p.107-149, 1967.
- JUO, A.S.R.; SANCHEZ, P.A. Soil nutritional aspects with a view to characterize upland rice environments. In: *INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE. Upland rice reseach. Los Banos, Philippines*, 1986. p.81-94.
- KIM, C.K.; LEE, S.C. Reduction of the incidence of rice neck bruzone by integrated soil improvement practice. *Korean Journal of Plant Protection, Suweon*, v.21, p.10-15, 1982.
- KOBATA, S. Nature of drought resistance of Japanese upland rice. *Biological Sciences Subutsu Kagaku, Tokyo*, v.39, p.28-32, 1987.
- KORNDÖRFER, G.H.; ARANTES, V.A.; CORRÊA, G.F.; et al. Efeito do silicato de cálcio no teor de silício no solo e na produção de grãos de arroz de sequeiro. Viçosa. *Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa*, v. 23, n.3, p.623-629, jul./set. 1999a.
- KORNDÖRFER, G.H.; COELHO, N.M.; SNYDER, G.H.; et al. Avaliação de métodos de extração de Si para solos cultivados com arroz de sequeiro. *Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa*, v. 23, n.1, p.101-106, jan./mar. 1999b.

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

FREIRE, F.M.; NOVAIS, R.F.; SOARES, P.C.; et al. Calagem, adubação orgânica e manejo da água no controle da toxicidade de ferro em arroz irrigado. *Revista Ceres*, Viçosa. v.32, n.170, p.162-169, 1985.

GASCHO, G.J.; KORNDÖRFER, G.H. Available of silicon from several sources determined by chemical and biological methods. *Abstract Soil Science Society Agronomy Annual Meeting*, Baltimore, Oct. 18-22, p. 229. 1998.

GOEDERT, W.J. Região dos cerrados: potencial agrícola e política para o seu desenvolvimento. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.24, n.1, p.1-17, Jan. 1989.

GROTHGE-LIMA, M.T. Interrelação cancro da haste (*Diaporthe phaseolorum* f. sp. meridionalis), nodulação (*Bradyrhizobium japonicum*) e silício em soja [*Glycine max* (L.) Merrill]. Piracicaba: CENA, 1998. 58p. (Tese-Doutorado em Energia Nuclear na Agricultura).

HANDRECK, K.A.; JONES, L.H.P. Studies of silica in the oat plant. 4. Silica content of plant parts in relation to stage of growth, supply of silica and transpiration. *Plant and Soil*, The Hague, v.29, n.3, p.449-459, 1968.

HIRASAWA, T. Water relations in plants. In: MATSUO, T. et al.(ed.) *Science of the of rice plant*. Tokyo: Food and Agriculture Policy Research Center, 1995. p.434-460. (Physiology, v.2).

HORIGUCHI, T. Mechanism of manganese toxicity and tolerance of plants. IV. Effects of silicon on alleviation of manganese toxicity of rice plants. *Soil Science and Plant Nutrition*, Tokyo, v.34, p.65-73, 1988.

DREES, L.R.; WILDING, L.P.; SMECK, N.E.; et al. Silica in soils: quartz and disordered silica polymorphs. In: DIXON, J.B.; WEED, S.B. *Minerals in soil environments*. Soil Science Society of America. Wisconsin: Madison, 1989. p.913-974.

ELLIOTT, C.L.; SNYDER, G.H. Autoclave-induced digestion for the colorimetric determination of silicon in rice straw. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, Washington, v.39, n.6, p.1118-1119, June 1991.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Manual de Métodos de Análise de Solo*. - 2. ed. rev. atual. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, 1997. 212p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados. *Relatório técnico anual 1976-1977*. Planaltina, 1978. 183p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados. *Relatório técnico anual 1979-1980*. Planaltina, 1981. 190p.

EPSTEIN, E. The anomaly of silicon in plant biology. *Proceedings of National Academy of Sciences of the United States of America*, Washington, v. 91, n.1, p.11-17, 1994.

FAGERIA, N.K. Deficiência hídrica em arroz de cerrado e resposta ao fósforo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.15, n.3, p.259-265, Jul. 1980.

FEDERAÇÃO DA AGRICULTURA DO ESTADO DE MINAS GERAIS -13 mar.1999. FAEMG. <http://www.faemg.org.br/> Estatísticas Agropecuárias.

FORNASIERI FILHO, D., FORNASIERI, J.L. *Manual da cultura do arroz*. Jaboticabal, SP: FUNEP, 1993. 221p.



**BRADY, N.C.** The nature and properties of soil. 10.ed. New York: Macmillan Publishing Company, 1992. p.179-200.

**CHÉRIF, M.; BÉLANGER, R.R.** Use of potassium silicate amendments in recirculating nutrient solution to suppress *Phythium ultimum* on long English cucumber. **Plant Disease**, St. Paul, v. 76, n.10, p.1008-1011, Oct. 1992.

**COMISSÃO DE FERTILIDADE DO ESTADO DE MINAS GERAIS.**  
Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: Lavras, 1989. 176p.

**CORREA-VICTORIA, J.F.; DATNOFF, L.E.; WINSLOW, M.D.; et al.** Silicon deficiency of upland rice on highly weathered savanna soils in Colombia. II Diseases and grain quality. In: **CONFERÊNCIA INTERNACIONAL DE ARROZ PARA A AMÉRICA LATINA E PARA O CARIBE, 9;** **REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE ARROZ, 5., 1994, Goiânia. Anais... Goiânia, 1994.**

**DATNOFF, L.E.; DEREN, C.W.; SNYDER, G.H.** Influence of silicon fertilizer on blast and brown spot development and on rice yields. **Plant Disease**, St. Paul, v.76, n.10, p.1011-1013, Oct. 1992.

**DATNOFF, L.E.; RAID, R.N.; SNYDER, G.H.; et al.** Effect of calcium silicate on blast and brown spot intensities and yield of rice. **Plant Disease**, St. Paul, v. 74, n.7, p.729-732, July 1991.

**DATNOFF, L.E.; SNYDER, G.H.; JONES, D.B.** Influence of calcium silicate slag and fungicides on brown spot and neck rot development and yields of rice. In: **RICE GROWER SEMINAR, 1990, Belle Glade. Anais... Belle Glade, 1990. p.26-33.**

**DEREN, C.W.; DATNOFF, L.E.; SNYDER, G.H.; MARTIN, F.G.** Silicon concentration, disease response, and yield components of rice genotypes grown on flooded organic histosols. **Crop Science**, Madison, v.34, n.3, p.733-737, May/June 1994.

- KORNDÖRFER, G.H.; DATNOFF, L.E. Adubação com silício: Uma alternativa no controle de doenças da cana-de-açúcar e do arroz. *Informações Agronômicas*, n.70, p.1-3, 1995.
- KORNDÖRFER, G.H.; DATNOFF, L.; CORRÊA, G.F. Influence of Silicon on Grain Discoloration and Upland Rice Growth in Four Savanna Soils of Brazil. *Plant Nutrition*, New York, v.22, n.1, p.93-102, 1999.
- LANNING, F.C. Nature and distribution of silica in strawberry plants. *Journal of the America Society for Horticultural Science*, St. Joseph, v.76, p.349-358, 1960.
- LEE, T.S.; KWON, T.O.; PARK, K.H. Influence of nitrogen and silicon on the yield and the lodging related traits of paddy rice. *Soils and Fertilizer*, Farham House, v.32, n.2, p.15-23, 1990.
- LEVANTAMENTO SISTEMÁTICO DA PRODUÇÃO AGRÍCOLA. Rio de Janeiro: IBGE, v.6, n.12, p.1-71, 1994.
- LOPES, A.S. Solos sob cerrado: características, propriedades e manejo. Piracicaba: Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1984. 162p.
- MAJUNDER, N.D.; RASHIT, S.C.; BORTHAKUR, D.N. Genetics of silica uptake in selected genotypes of rice (*Oryza sativa* L.). *Plant and Soil*, The Hague, v.88, n.3, p.449-453, 1985.
- MALAVOLTA, E. Elementos de nutrição mineral das plantas. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. 251p.
- MALAVOLTA, E. Nutrição e adubação do arroz irrigado. São Paulo: Ultrafertil, 1978. 64p.

**MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. London: Academic Press, 1986. 674p.**

**MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. London: Academic Press, 1995. 889p.**

**McKEAGUE, J.A.; CLINE, M.G. Silica in soil solution. II. The adsorption of monosilicic acid by soil and by other substances. Canadian Journal of Soil Science, Ottawa, v. 43, n.1, p.83-95, 1963.**

**MIYAKE, Y. The effect of silicon on the growth of the different groups of rice (*Oriza sativa* L.) plants. Science Rep. Faculty of Agriculture, Okayama, v.8, p.101-105, 1992.**

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

**OSUNA-CANIZALEZ, F.J.; DE DATTA, S.K.; BONMAN, J.M. Nitrogen form and silicon nutrition effects on resistance to blast disease of rice. Plant and Soil, The Hague, v.135, n.2, p.223-231, Oct. 1991.**

**PONAMPERUMA, F.N. Dynamic aspects of flooded soils and the nutrition of the rice plant. In: The mineral nutrition of the rice plant. Baltimore, Maryland: John Hopkins Press, 1965. p.461-482.**

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

**RAIJ, B.V.; CAMARGO, O.A. Silica solúvel em solos. Bragantia, Campinas, v. 32, n.11, p.223-231, Jul. 1973.**

**SAVANT, N.K.; SNYDER, G.H.; DATNOFF, L.E.** Depletion of plant-available silicon in soils: a possible cause of declining rice yields. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.28, n.13/14, p.1245-1252, July 1997.

**SAVANT, N.K.; KORNDÖRFER, G.H.; SNYDER, G.H.; DATNOFF, L.E.** Silicon Nutrition and Sugarcane Production: A review. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v.22, n.12, p. 1853-1903, Dez. 1999.

**SILVA, L.C.F.; CASAGRANDE, J.C.** Nutrição mineral da cana-de-açúcar (macronutrientes). In: **INSTITUTE DO AÇÚCAR E ALCOOL. Adubação da cana-de-açúcar no Brasil**. Piracicaba: PLANALSUCAR, 1983. p.77-96. (Coleção, 2).


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

**SNYDER, G.H.; JONES, D.B.; GASCHO, G.J.** Silicon fertilization of rice on Everglades Histosols. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.50, n.5, p.1259-1263, Sept./Oct. 1986.

**STONE, L.F.; MOREIRA, J.A.A.** Resposta do arroz de sequeiro à profundidade de aração, adubação potássica e condições hídricas do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.31, n. 12, p. 885-895, dez. 1996.

**SOIL AND RICE.** Internacional Rice Research Institute. Los Banos, Phillipines, 1978. 825 p.

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



TAKAHASHI, F.; MIYAKE, Y. Silica plant growth. In: SEMINARY SOIL ENVIRONMENT FERTILIZER MANAGEMENT IN AGRICULTURE, 1977. **Proceeding...** Japan: Society Science Soil Manure, 1977. p.603-611.

TAKAHASHI, Y. Effect of the form of silicon on the uptake of silicon by rice plant. Japan. **Journal Soil Science Plant Nutrition**, v.49, p.357-360, 1978.

UZINIAN, A.; BRITO, E.A de. **Morfologia e fisiologia vegetal: aclimação**. São Paulo: Anglo, 1982. Apostila.

WERNER, D.; ROTH, R. Silica metabolism. In: LÄUCHLI, A.; BIELESKI, R.L. (ed). **Encyclopedia of plant physiology**. Berlin: Springer-Verlag, 1983. p.682-694. v.15B. (New Series).

WINSLOW, M.D. Silicon, disease resistance and yield of rice genotypes under upland cultural conditions. **Crop Science**, Madison, v.32, n.5, p.1208-1213, Sept./Oct. 1992.

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

YOSHIDA, S. Factors that limit the growth and yields of upland rice. In: INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE. "**Major research in upland rice**". Los Baños, Philippines, 1975. p.46-71.

YOSHIDA, S.; FORNO, D.A.; COOK, J.H.; et al. Laboratory manual for Physiology Studies of rice. 3. ed. Los Banos, Philippines: IRRI, 1976.

## ANEXOS

ANEXO A	Página
TABELA 1A: Resumo da Análise de Variância, para as variáveis pH do solo, Ca, Mg e Al. UFLA, Lavras - MG. 2.000.....	46
TABELA 2A: Resumo da Análise de Variância, para as variáveis número de perfilhos, altura de plantas, peso seco de raiz. UFLA, Lavras-MG. 2000.....	47
TABELA 3A: Resumo da Análise de Variância, para as variáveis Si no solo, Si na folha e Produção de grãos. UFLA, Lavras-MG. 2000.....	47

**TABELA 1A** Resumo da Análise de Variância, para as variáveis pH, Ca, Mg e Al (cmol, dm<sup>-3</sup>).

F.V.	G.L.	Quadrados Médios (Q. M's)			
		pH	Ca	Mg	Al
Solo(S)	1				
Água(A)	2	4,0838**	41,8704**	26,8816**	2,6004**
Doses(D)	3	0,0101	1,1113*	0,0082	0,0019
S x A	2	1,1870**	19,2520**	0,2174**	0,6008**
S x D	3	0,0003	0,9879	0,0232	0,0007
A x D	6	0,0468**	0,7190	0,4442**	0,1313**
S x A x D	6	0,0154**	0,3211	0,0060	0,0028
Resíduo	72	0,0042	0,2211	0,0157	0,0015
C.V. (%)		0,0040	0,3567	0,0168	0,0014
		1,36	10,25	12,03	14,78

\*\* Significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo Teste de F.

\* Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste de F.

**TABELA 2A** Resumo da Análise de Variância, para as variáveis produção de grãos, altura de plantas e número de perfilhos.

F. V.	G.L.	Quadrados Médios (Q. M's)		
		Produção de grãos	Altura Plantas (m)	N.º de perfilhos
Solo(S)	1	13.137,68**	0,0145*	319,0104**
Água(A)	2	15.793,44**	0,2426**	75,5417**
Doses(D)	3	1.160,05**	0,0203**	149,6493**
S x A	2	2.209,91**	0,0349**	242,0417**
S x D	3	92,15**	0,0047	6,1215
A x D	6	321,71**	0,0020	3,6389
S x A x D	6	27,76	0,0038	10,6111
Resíduo	72	19,88	0,0028	7,8298
C. V.(%)		7,7	4,36	18,41

\*\* Significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo Teste de F.

\* Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste de F

TABELA 3A Resumo da Análise de Variância, para as variáveis Si no solo, Si na folha e Produção de grãos.

F. V.	G.L.	Quadrados Médios (Q. M's)		
		Si solo	Si parte aérea	Si acumulado
Solo(S)	1	651,0417**	0,1197	0,0546*
Água(A)	2	3,5000**	1,1003**	0,4778**
Doses(D)	3	149,2500**	4,2170**	1,2562**
S x A	2	4,5417**	0,1458**	0,0472*
S x D	3	42,7361**	0,3620**	0,1104**
A x D	6	1,0417	0,0787**	0,0378*
S x A x D	6	1,0210	0,2060**	0,0495*
Resíduo	72	0,5556	0,0324	0,0139
C.V. (%)		10,5	11,1	12,9

\*\* Significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo Teste de F.  
 \* Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste de F.