

SILICATO DE CÁLCIO COMO FONTE DE SILÍCIO PARA O ARROZ DE SEQUEIRO⁽¹⁾

M. P. BARBOSA FILHO⁽²⁾, G. H. SNYDER⁽³⁾, N. K. FAGERIA⁽²⁾,
L. E. DATNOFF⁽³⁾ & O. F. SILVA⁽⁴⁾

RESUMO

No Brasil, o arroz de sequeiro é cultivado predominantemente em solos de cerrado, os quais, em razão do seu avançado grau de intemperização, apresentam baixos valores de pH, baixa saturação por bases e baixa relação Si/óxidos de Fe e Al. Assim, realizou-se um experimento em casa de vegetação, com objetivo de avaliar o efeito do silicato de cálcio no rendimento de grãos do arroz de sequeiro, bem como seu efeito corretivo na acidez do solo. Os tratamentos consistiram de seis doses de SiO₂ (0; 125; 250; 375; 500 e 625 mg kg⁻¹ de solo), na forma de volastonita Vansil-10 (50% de SiO₂, 44 de CaO e 1,48 de MgO), e três cultivares de arroz de sequeiro (Caiapó, Carajás e Confiança), dispostos em delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições. O rendimento de grãos aumentou de forma linear com a fertilização silicatada, mostrando correlação significativa e positiva com os teores de Si e Ca no solo, derivados da aplicação do silicato de cálcio. A aplicação de SiO₂ aumentou o pH e os teores de Ca, Mg trocáveis e Si solúvel no solo.

Termos de indexação: *Oryza sativa* L., Latossolo, correção do solo, absorção de nutriente.

SUMMARY: *CALCIUM SILICATE AS SOURCE OF SILICON FOR UPLAND RICE*

In Brazil, upland rice is cultivated mainly on cerrado soils, which, due to their highly weathered degree, present low pH, low base saturation and low ratio of Si oxides of Fe and Al. A greenhouse experiment was conducted to evaluate the response of upland rice to calcium

⁽¹⁾ Trabalho recebido para publicação em novembro de 1999 e aprovado em setembro de 2000.

⁽²⁾ Pesquisador, Embrapa Arroz e Feijão. Caixa Postal 179, CEP 74375-000 Santo Antônio de Goiás (GO).

⁽³⁾ Pesquisador, University of Florida, IFAS, Everglades Research and Education Center, P.O. Box 8003, Belle Glade 33430, USA.

⁽⁴⁾ Economista, Embrapa Arroz e Feijão.

silicate as well as its effect on correcting soil acidity. The treatments consisted of six levels of SiO₂ (0; 125; 250; 375; 500 and 625 mg kg⁻¹ of soil) as of wallastonite, Wansil-10 (50% of SiO₂, 44 of CaO and 1.48 of MgO) and three upland rice cultivars (Caiapo, Carajas, and Confiança). The experimental design was completely randomized with four replications. Rice response to SiO₂ was linear, showing significant positive correlation with Si and Ca content of soil, derived from application of calcium silicate. The application of SiO₂ also increased the pH, exchangeable Ca and Mg and soluble Si in the soil.

Index terms: Oryza sativa L., Oxisol, soil ammendment, nutrient absorption.

INTRODUÇÃO

A planta de arroz é reconhecida mundialmente como eficiente acumuladora de Si e responsiva à fertilização silicatada. Pesquisas realizadas em solos orgânicos (Histossolos) no sul da Flórida, nos Estados Unidos, demonstraram que a fertilização do arroz com silicato de cálcio reduziu a incidência de brusone de 17 a 31% e da helmintosporiose de 15 a 32% (Datnoff, et al., 1991; 1992). Prabhu et al. (1996) também demonstraram redução de 17,5% na severidade das manchas dos grãos do arroz de sequeiro e aumento de 20% no peso de grãos (média de 50 cultivares) com a aplicação de 200 kg ha⁻¹ de SiO₂ na forma de volastonita. Esse efeito benéfico do silicato de cálcio para a cultura do arroz é reconhecido, não apenas por aumentar o rendimento de grãos e conferir maior resistência às plantas contra doenças fúngicas, mas também pelo seu efeito corretivo no solo, aumentando a disponibilidade de nutrientes indispensáveis ao desenvolvimento das plantas, como o P, Ca, Mg, entre outros.

O óxido de silício (SiO₂) é o mineral primário mais abundante nos solos, constituindo a base da estrutura da maioria dos argilominerais. Todavia, em razão do avançado grau de intemperização em que se encontram os solos das regiões tropicais, o Si é encontrado basicamente na forma de quartzo, opala (SiO₂.nH₂O) e outras formas não-disponíveis às plantas. Como consequência desse processo de intemperização, esses solos apresentam sérias limitações químicas para o desenvolvimento das plantas, tais como: elevada acidez, baixa capacidade de troca catiônica (CTC), baixa saturação por bases e alta capacidade para fixar fósforo.

No Brasil, por ser o arroz de sequeiro cultivado predominantemente em solos altamente intemperizados e por ser considerado uma planta eficiente acumuladora de Si, é possível ocorrer, à semelhança dos resultados obtidos com a aplicação de silicatos em arroz irrigado em outros países, efeitos positivos da aplicação de silicato de cálcio na cultura do arroz de sequeiro, dada sua capacidade de suprimento de Si e Ca e sua ação corretiva do solo pelo íon silicato (Elawad & Green Jr., 1979; Snyder et al., 1986).

A partir dessas informações, realizou-se um ensaio exploratório em casa de vegetação com o objetivo de avaliar o efeito do silicato de cálcio como fonte de Si na cultura do arroz de sequeiro, bem como o seu efeito corretivo no solo.

MATERIAL E MÉTODOS

Utilizou-se um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico (LEd) de textura argilosa. Coletaram-se amostras de solo da camada de 0-20 cm de profundidade em área ainda virgem da Fazenda Experimental da Embrapa Arroz e Feijão, localizada no município de Santo Antônio de Goiás (GO). Depois de passados em peneira de 5 mm, seis quilos da amostra de solo foram colocados em vasos plásticos e adubados com N-P-K e micronutrientes nas quantidades, fontes e formas de aplicação especificadas no quadro 1.

Antes da aplicação dos tratamentos, uma subamostra do solo seca ao ar e passada em peneira de 2 mm foi utilizada para caracterização química do solo, segundo EMBRAPA (1997). As características analisadas foram: pH em água (1:2,5) 5,2; 15 mmol_c dm⁻³ de Ca²⁺ + Mg²⁺ 4 mmol_c dm⁻³ de Al³⁺ 2,0 mg dm⁻³ de P; 40 de K; 0,8 de Zn e 16 g kg⁻¹ de matéria orgânica. Fósforo, K e Zn foram extraídos pelo Mehlich-1. O P foi determinado por colorimetria, o K por fotometria de chama e Zn por espectrofotometria de absorção atômica. A matéria orgânica foi estimada pelo método de Walkley-Black. O teor de Si solúvel em ácido acético 0,5 mol L⁻¹ (Snyder, 1991) foi de 13 mg dm⁻³.

Os tratamentos consistiram de três cultivares de arroz (Caiapó, Carajás e Confiança) e seis doses de SiO₂ (0; 125; 250; 375; 500 e 625 mg kg⁻¹ de solo) na forma de volastonita, fornecida pela Ipiranga Química de São Paulo (nome comercial, Vansil-10) com 50% de SiO₂, 44% de CaO e 1,48% de MgO. A volastonita foi misturada ao solo manualmente em cada vaso, irrigado, posteriormente, até aproximadamente 70% da capacidade máxima de retenção de água. Semanalmente, os vasos foram

Quadro 1. Concentração de nutrientes, fontes e respectivas quantidades adicionadas ao solo, no plantio e durante o período de crescimento do arroz

Nutriente	Concentração total	Solução	Fonte	Plantio	Cobertura
	mg kg ⁻¹	g L ⁻¹		- ml 6 kg ⁻¹ de solo -	
N	200	72,0	NH ₄ NO ₃	25	25
P ⁽¹⁾	200	-	Superfosfato triplo	-	-
K ⁽¹⁾	150 (75 + 75)	-	KCl	-	-
B	1,0	2,28	Bórax	15	-
Mo	0,15	0,52	(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ .4H ₂ O	15	-
Cu	1,0	1,57	CuSO ₄ .5H ₂ O	15	-
Zn	5,0	7,60	ZnSO ₄ .7H ₂ O	15	-

⁽¹⁾ P e K foram aplicados na forma sólida e demais nutrientes na forma de solução. O N e o K foram parcelados em duas vezes, metade aplicada no plantio e metade em cobertura, no início do aparecimento do primórdio floral.

mudados de posição e o nível de umidade foi mantido pela adição de água destilada por meio de pesagens diárias dos vasos. O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, com quatro repetições, com três plantas por vaso. O experimento teve início em novembro de 1997. Aproximadamente 120 dias após a emergência do arroz, foi realizada a colheita do ensaio para determinação do rendimento de grãos por planta e da concentração de Si na palha e na casca dos grãos de arroz, segundo método de Elliott & Snyder (1991). A quantidade de Si acumulada na palha foi calculada com base na concentração de Si e na produção por planta de matéria seca da palha.

Em amostras de solo, analisaram-se, após colheita, o Ca e o Mg trocáveis segundo EMBRAPA (1997), e o Si solúvel em ácido acético 0,5 mol L⁻¹, segundo Snyder (1991).

Para avaliar os dados, utilizaram-se as análises de variância e de regressão disponíveis no pacote Statistical Analysis System (SAS, Institute, 1990).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve efeito significativo atribuído às doses de SiO₂ no rendimento de grãos (P < 0,01), não havendo diferenças entre cultivares ou da interação doses x cultivares. O rendimento de grãos aumentou significativamente e de forma linear com as doses de SiO₂ (Figura 1a). A equação de regressão obtida (Y = 3,800 + 0,002X) apresentou um coeficiente de determinação (r²) de 0,724 (P < 0,01). A extrapolação da dose máxima aplicada de SiO₂ para as condições de campo, que equivale a 1,25 t ha⁻¹ de SiO₂, demonstra a alta capacidade de resposta do arroz de sequeiro ao silicato de cálcio.

O aumento de rendimento de grãos de acordo com a fertilização silicatada (Figura 1a) pode ser relacionado com o aumento na disponibilidade de Si e Ca derivados da aplicação do silicato de cálcio (Quadro 2). Deve-se ressaltar, entretanto, que, por não ter sido feita a compensação do Ca contido na volastonita, torna-se difícil atribuir isoladamente o efeito do Ca ou do Si no rendimento de grãos.

No entanto, em experimentos de avaliação de silicato de cálcio para a cultura do arroz, Elawad & Green Jr. (1979), Snyder et al. (1986) e Korndörfer et al. (1999) também atribuíram o aumento de rendimento de grãos à ação corretiva do solo promovida pelo íon silicato e ao aumento da disponibilidade de Si, Ca e Mg para as plantas.

Em áreas de cerrado, é comum alguns solos mostrarem-se deficientes em Ca e Mg, sem que apresentem problemas de toxidez de Al. Em tais condições, a simples fertilização com Ca e Mg tem sido suficiente para elevar os níveis desses nutrientes no solo e provocar aumentos significativos de produtividade. Exemplo disso foi relatado por Fageria (1984), em que a elevação do nível de Ca + Mg no solo de 6,0 para 49,0 mmol_c cm⁻³, pela calagem, provocou um aumento de 23% no rendimento de arroz.

Analisando o efeito do Si, Tanaka & Yoshida (1970) relataram ser este elemento muito importante para a cultura do arroz. Segundo esses autores, esta planta, por ser considerada eficiente acumuladora de Si, apresenta maior resistência contra a incidência de doenças fúngicas e, geralmente, é mais produtiva em solos com níveis mais elevados de Si "disponível".

Considerando a ausência de efeito significativo do cultivar e da interação de doses de SiO₂ e cultivares, avaliaram-se os efeitos das doses de SiO₂ no teor de Si na casca (Figura 1c), a média das três cultivares.

Quadro 2. Coeficiente de correlação linear simples entre características do solo e da planta, considerando a média de três cultivares de arroz de sequeiro

Característica	Si na palha	Acúmulo de Si na planta	Rendimento de grãos
pH em água	0,2269 ^{ns}	0,2706*	0,2181 ^{ns}
Ca trocável	0,5828***	0,6492***	0,4128***
Mg trocável	0,3033**	0,3388**	0,1476 ^{ns}
Si solúvel ⁽¹⁾	0,6451***	0,6452***	0,3862***

*, **, *** Indicam $P < 0,05$; $P < 0,01$ e $P < 0,001$, respectivamente; ns = não significativo. ⁽¹⁾ Ácido acético 0,5 mol L⁻¹.

O efeito das doses de SiO₂ sobre esta característica foi linear ($P < 0,001$). A concentração de Si da casca dos grãos aumentou de 0,6 g kg⁻¹, no tratamento sem adição de SiO₂, para 1,28 g kg⁻¹, na dose máxima aplicada de 625 mg kg⁻¹ de solo (Figura 1c).

Embora as diferenças de absorção de Si entre cultivares de sequeiro e irrigados devam ser vistas com restrições, Majunder et al. (1985) também relataram ampla faixa de variação na acumulação de Si em vários genótipos de arroz irrigado cultivados em solos deficientes em fósforo.

Apesar dos grandes aumentos na concentração de Si com as doses crescentes de SiO₂, os valores encontrados neste trabalho mostraram-se inferiores a 5%, proposto como mínimo por Yoshida (1981) para arroz irrigado cultivado em solos minerais, e ligeiramente superiores a 3% (nas doses mais elevadas de SiO₂), recomendado por Snyder et al. (1986) como mínimo para arroz cultivado em solos orgânicos. Segundo esses autores, o teor de Si no tecido vegetal pode ser considerado um indicador de resposta da cultura do arroz ao Si “disponível” no solo.

Embora o teor de Si na palha do arroz possa variar de acordo com o ecossistema de cultivo dessa cultura, os teores encontrados neste trabalho (Figura 1b) mostraram-se muito abaixo daqueles relatados para arroz irrigado. Lian (1976), baseado em vários experimentos de resposta do arroz ao Si, correlacionou o teor de Si na palha do arroz com rendimento de grãos, concluindo que o teor crítico na palha é de 60 g kg⁻¹ de Si (com base em peso de matéria seca), no Japão e Coreia, e de 50 g kg⁻¹, em Taiwan. Já em solos orgânicos (Histossolos) da área agrícola dos Everglades no sul da Flórida, Snyder et al. (1986) recomendam a aplicação de silicato de cálcio sempre que o teor de Si na palha do arroz for menor que 30 g kg⁻¹ e o Si no solo extraído em ácido acético 0,5 mol L⁻¹ for igual ou inferior a 10 mg dm⁻³.

Uma explicação factível para essas diferenças de teores de Si encontrados em plantas de arroz de

sequeiro no Brasil e de cultivares irrigados dos Países Asiáticos pode ser atribuída às diferenças de potencial produtivo das próprias culturas (arroz de sequeiro e irrigado), à diferença de método empregado para análise de Si no tecido vegetal e às características edafológicas dos solos.

Os três cultivares avaliados apresentaram a mesma resposta (linear) à aplicação de doses de SiO₂ quanto ao acúmulo de Si na palha e na planta, sendo o cultivar Confiança o genótipo que apresentou o maior acúmulo de Si, seguido pelos demais cultivares (Figura 1b e d). Admitindo que a acumulação de Si no tecido vegetal esteja diretamente relacionada com a resistência das plantas às doenças fúngicas, cujo mecanismo de resistência mais aceito é de natureza mecânica, e que a penetração do patógeno seja menor em plantas com teores mais elevados de Si, decorrente da barreira mecânica formada pela deposição de sílica na epiderme da folha, a estratégia de aumentar a quantidade de Si na planta de arroz deve ser considerada uma alternativa importante de manejo integrado, visando ao controle de doenças do arroz de sequeiro.

A aplicação de silicato de cálcio promoveu aumentos lineares e significativos nos valores de pH, nos teores de Ca e Mg trocáveis e nos teores de Si solúvel em ácido acético (Figura 2). Resultado idêntico foi relatado por Korndörfer et al. (1999), que avaliaram o efeito de doses de volastonita sobre esses atributos de quatro solos representativos da região de cerrado. A melhoria desses atributos químicos do solo (pH, Ca, Mg e Si) e os aumentos de rendimento de grãos e teores de Si na planta, considerando a aplicação de silicato de cálcio, podem ser explicados pela composição da volastonita (50% de SiO₂, 44 de CaO e 1,48 de MgO) e pela sua ação corretiva no solo. A elevação do pH ocorre segundo reações apresentadas em Korndörfer et al. (1999), pelo aumento da concentração de hidroxilas liberadas durante a dissolução do silicato de cálcio no solo.

Portanto, o efeito benéfico da fertilização silicatada para a cultura do arroz de sequeiro não

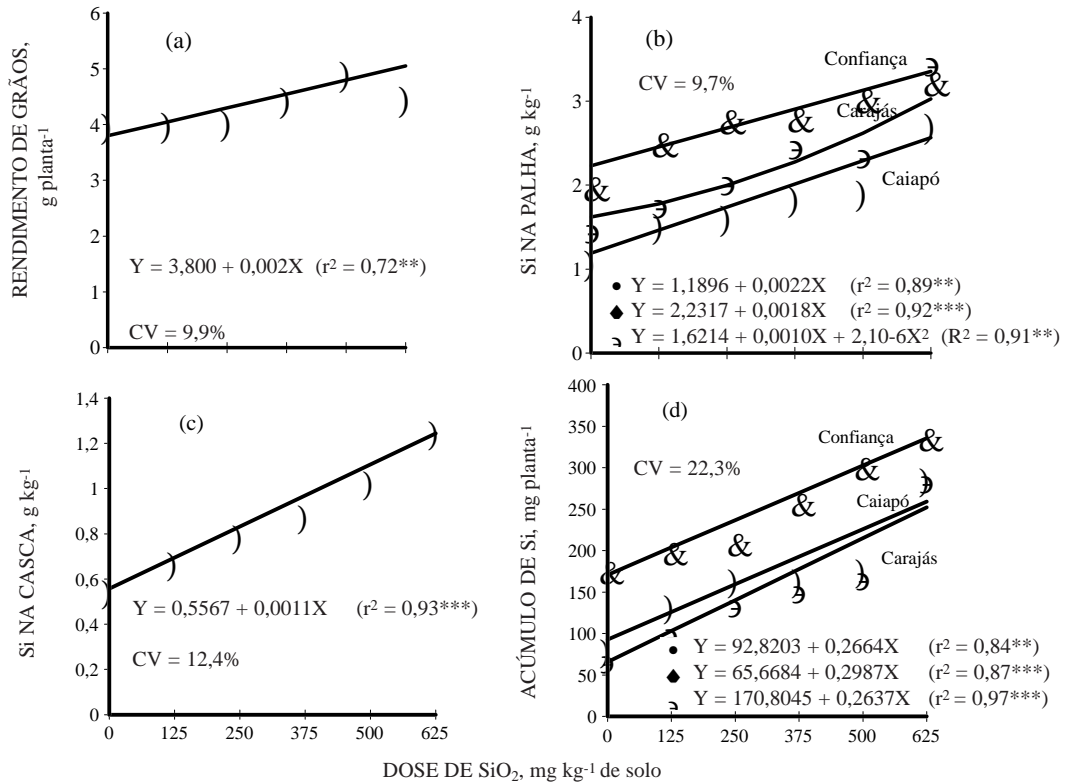


Figura 1. Características de planta influenciadas pela aplicação de doses de SiO₂ (volastonita) em Latossolo Vermelho-Escuro distrófico (a) rendimento de grãos, (b) teor de Si na palha, (c) teor de Si na casca e (d) acúmulo de Si na planta. ** e *** indicam P < 0,01 e P > 0,001, respectivamente.

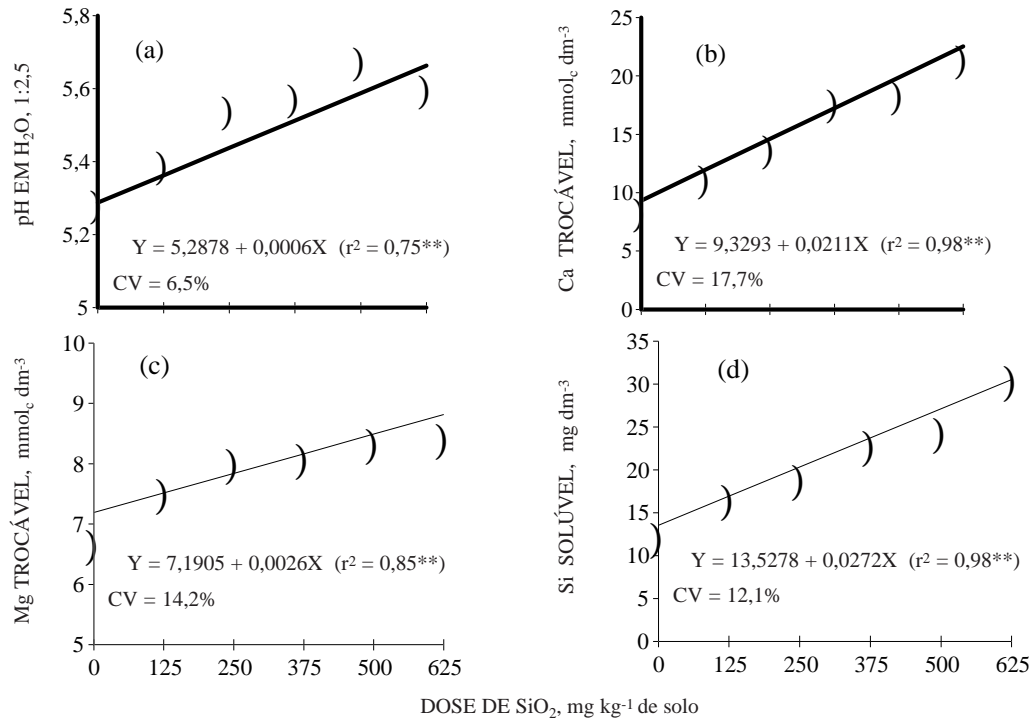


Figura 2. Características de solo influenciadas pela aplicação de doses de SiO₂ (volastonita) em Latossolo Vermelho-Escuro distrófico (a) pH em água, (b) Ca trocável, (c) Mg trocável e Si solúvel (ácido acético 0,5 mol L⁻¹). **, *** indicam P < 0,01 e P < 0,001, respectivamente.

deve ser atribuído apenas a um de seus constituintes isoladamente, mas, sobretudo, à sua ampla atuação como corretivo de acidez, criando melhores condições químicas no solo para o desenvolvimento das plantas. Adicionalmente, considerando a importância do Si para a cultura do arroz, mais especificamente, por conferir maior resistência das plantas à incidência de doenças, a utilização do silicato de cálcio como fonte de Si e Ca para as plantas pode ser mais vantajosa comparativamente a outros corretivos de solo, pois, além de sua ação neutralizante de acidez, promove aumentos da disponibilidade de Si no solo e, conseqüentemente, facilita sua absorção pelas plantas (Figuras 1 e 2).

CONCLUSÕES

1. O arroz de sequeiro respondeu positivamente e de forma linear à aplicação de silicato de cálcio, quanto ao rendimento de grãos e acumulação de Si na planta.

2. A aplicação de silicato de cálcio na forma de volastonita promoveu aumentos de pH, dos teores de Ca e Mg trocáveis e do teor de Si solúvel do solo.

LITERATURA CITADA

- DATNOFF, L.E.; RAID, R.N.; SNYDER, G.H. & JONES, D.B. Effect of calcium silicate on blast and brown spot intensities and yields of rice. *Plant Dis.*, 75:729-732, 1991.
- DATNOFF, L.E.; SNYDER, G.H. & DEREN, C.W. Influence of silicon fertilizer grades on blast and brown spot development and on rice yields. *Plant Dis.*, 76:1182-1184, 1992.
- ELAWAD, S.H. & GREEN Jr., V.E. Silicon and the rice plant environment: A review of recent research. *II Riso*, 28:235-253, 1979.
- ELLIOTT, C.L. & SNYDER, G.H. Autoclave - Induced digestion for the colorimetric determination of silicon in rice straw. *J. Agric. Food Chem.*, 39:1118-1119, 1991.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, 1979. 282p.
- FAGERIA, N.K. Resposta de cultivares de arroz à aplicação de calcário em solo de cerrado. *Pesq. Agropec. Bras.*, 19:883-889, 1984.
- KORNDÖRFER, G.H.; ARANTES, V.A.; CORRÊA, G.F. & SNYDER, G.H. Efeito do silicato de cálcio no teor de silício no solo e na produção de grãos de arroz de sequeiro. *R. Bras. Ci. Solo*, 23:635-641, 1999.
- LIAN, S. Silica fertilization of rice. In: LIAN, S., ed. The fertility of paddy soils and fertilizer applications for rice. Taipei, Food Fertilizer Technology Center, 1976. p.197-220.
- MAJUNDER, N.D.; RAKSHIT, S.C. & BORTHAKUR, D.N. Genetics of silica uptake in selected genotypes of rice (*Oryza sativa* L.). *Plant Soil*, 88:449-453, 1985.
- PRABHU, A.S.; BARBOSA FILHO, M.P.; FILIPPI, M.C. & DYNIA, J.F. Influência de fertilização com Si sobre mancha de grãos em arroz. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FITOPATOLOGIA, 29, Campo Grande, 1996. Resumos. *Fitopatol. Bras.*, 21:405, 1996.
- SAS Institute. SAS/STAT. Software. Version 6, Cary, 1990. 50p.
- SNYDER, G.H. Development of a silicon soil test for Histosol-grown rice. Belle Glade, University of Florida, 1991. (Belle Glade EREC Res. Rep.EV-1991-2)
- SNYDER, G.H.; JONES, D.B. & GASCHO, G.J. Silicon fertilization of rice on Everglades Histosols. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 50:1259-1263. 1986.
- YOSHIDA, S. Fundamentals of rice crop science. Los Baños, International Rice Research Institute, 1981. 269p.
- TANAKA, A. & YOSHIDA, S. Nutritional disorders of the rice plant in Asia. Los Bãnos, International Rice research Institute, 1970. 51p. (IRRI. Technical Bulletin, 10)