

TEORES DE SILÍCIO NO SOLO E NA PLANTA DE ARROZ DE TERRAS ALTAS COM DIFERENTES DOSES DE ADUBAÇÃO SILICATADA E NITROGENADA⁽¹⁾

M. MAUAD⁽²⁾, H. GRASSI FILHO⁽³⁾,
C. A. C. CRUSCIOL⁽⁴⁾ & J. C. CORRÊA⁽²⁾

RESUMO

O Si não é elemento essencial para o crescimento e desenvolvimento das plantas, porém sua absorção pode trazer inúmeros benefícios para culturas acumuladoras de Si, como o arroz. Entretanto, considerando o avançado grau de intemperização em que se encontram os solos tropicais, os teores de Si disponível nestes solos são baixos. O objetivo deste trabalho foi avaliar, na cultura do arroz de terras altas sob condições de túnel plástico, o efeito de doses de Si e de N na produção de matéria seca, na produtividade de grãos, no teor de N, nos teores de Si no solo e na planta e na quantidade de Si extraído do solo. Os tratamentos foram constituídos por três doses de N (5, 75 e 150 mg kg⁻¹ de N), tendo como fonte a uréia e quatro doses de Si (0, 200, 400 e 600 mg kg⁻¹ de SiO₂) tendo como fonte o silicato de cálcio (Wollastonita). O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado com esquema fatorial 3 x 4, com cinco repetições. O acúmulo de matéria seca, a produtividade de grãos e os teores de N na planta não foram influenciados pelas doses de Si. O incremento da adubação nitrogenada aumentou a produção de matéria seca, a produtividade de grãos e o teor de N na planta, porém nenhum efeito foi encontrado para os teores de Si no solo. Houve interação N x Si para os teores de Si na planta e para a quantidade de Si acumulado pelas plantas.

Termos de indexação: *Oryza Sativa* L., silício, nitrogênio.

⁽¹⁾ Parte da Tese de Mestrado em Agricultura, apresentada, pelo primeiro autor à Faculdade de Ciências Agronômicas da Universidade Estadual Paulista – UNESP. Projeto financiado pela FAPESP nº 99/08300-4. Recebido para publicação em março de 2002 e aprovado em agosto de 2003.

⁽²⁾ Engenheiro-Agrônomo, Departamento de Produção Vegetal-Sector de Agricultura, Faculdade de Ciências Agronômicas da Universidade Estadual Paulista – UNESP. Caixa Postal 237, CEP 18609-690 Botucatu (SP). E-mail mauad@laser.com.br

⁽³⁾ Professor Adjunto, Departamento de Recursos Naturais-Sector de Ciência do Solo, Faculdade de Ciências Agronômicas, UNESP. Bolsista CNPq. E-mail: heliograssi@fca.unesp.br

⁽⁴⁾ Professor Adjunto, Departamento de Produção Vegetal-Sector de Agricultura, Faculdade de Ciências Agronômicas, UNESP. Bolsista CNPq. E-mail: crusciol@fca.unesp.br

SUMMARY: *SILICON CONTENTS IN SOIL AND IN HIGHLAND RICE PLANTS UNDER DIFFERENT DOSES OF SILICON AND NITROGEN FERTILIZATION*

The element Silicon is not deemed essential for plant growth and development, but its absorption can benefit cumulative cultures like rice greatly. The Si content of tropical soils, however, is very low, due to the advanced weathering degree. The objective of this work was to evaluate the growth of rice plants in highlands under plastic tunnels and the effects of nitrogen (N) and Si doses on dry matter production, grain productivity, N content; Si soil and plant contents; and on the amount of extracted silicon. The treatments consisted of three doses of N (5, 75, and 150 mg kg⁻¹ of soil) in urea form and four doses of SiO₂ (0, 200, 400, and 600 mg kg⁻¹ of soil) in calcium silicate form (Wollastonita). The completely randomized experimental design in a 3x4 factorial scheme was carried out in five replications. Dry matter accumulation, grain yields, and N contents in the plant were not influenced by the silicon doses. Increased nitrogen fertilization raised the dry matter production, productivity grains, and N plant contents, but had no effect on Si soil contents. There was an N x Si interaction in relation to the Si plant content and the amount of Si accumulated by the plant.

Index terms: *Oryza Sativa L., nitrogen, silicon.*

INTRODUÇÃO

O Si, depois do O₂, é o elemento mais abundante da crosta terrestre. Mesmo não sendo considerado elemento essencial para o desenvolvimento das plantas, sua absorção pode trazer inúmeros benefícios, principalmente para culturas acumuladoras de Si, como o arroz (Mengel & Kirkby, 1987).

As plantas absorvem o Si da solução do solo na forma de ácido monossilícico Si(OH)₄ (Tisdale et al., 1993). O óxido de silício (SiO₂) é o mineral mais abundante nos solos, constituindo a base da estrutura da maioria dos argilominerais; entretanto, em razão do avançado grau de intemperização em que se encontram os solos tropicais, o Si é encontrado basicamente na forma de quartzo, opala (SiO₂.nH₂O) e outras formas não-disponíveis às plantas (Barbosa Filho et al., 2001).

A queda de produtividade do arroz em várias regiões do mundo está relacionada com vários fatores, dentre eles a baixa disponibilidade de nutrientes ou de elementos benéficos, como o Si. No caso do Si, alguns fatores podem estar envolvidos na baixa disponibilidade nos solos para as plantas, tais como: (a) muitos solos de áreas produtoras de arroz de regiões tropicais e subtropicais apresentam graus variados de dessilificação; (b) a cinética de dissolução do Si no solo é muito baixa, e (c) o Si da solução do solo é adsorvido por sesquióxidos que estão presentes em muitos solos tropicais (Savant et al., 1997).

O uso do Si tem promovido melhora na arquitetura da planta e aumento na fotossíntese

(Deren et al., 1994), resultado da menor abertura do ângulo foliar, que torna as folhas mais eretas, diminuindo o auto-sombreamento, sobretudo em condições de altas densidades populacionais e altas doses de N (Yoshida et al., 1962; Balastra et al., 1989). Além disso, promove o aumento da resistência da planta à incidência de doenças fúngicas, por ser tal elemento depositado na folha, nos tecidos da epiderme logo abaixo da cutícula, precisamente nas paredes celulares mais externas (Agarie et al., 1998), conferindo-lhe resistência mecânica à penetração das hifas (Barbosa Filho et al., 2001).

Quanto à produção de matéria seca da parte aérea, tem-se verificado que a aplicação de Si não altera essa variável na cultura do arroz (Tanaka & Park, 1966; Liang et al., 1994; Carvalho, 2000); porém, quanto à produtividade de grãos, a aplicação do elemento tem proporcionado resultados divergentes, ou seja, há relatos de incremento (Deren et al., 1994; Liang, 1994; Barbosa Filho et al., 1998; Korndörfer et al., 1999a; Faria, 2000) e de ausência de resposta (Carvalho, 2000).

Contudo, a ausência de resposta à aplicação de Si verificada por alguns autores, em solos considerados com teores baixos do elemento, pode estar relacionada, dentre várias causas, com a carência de informações de cultivares quanto à exigência e à capacidade de extração. Essa hipótese é ressaltada por Wislow (1992) e Barbosa Filho et al. (1998), que relataram que há diferença genotípica quanto à capacidade de absorver Si. Assim, a elevação nos teores do elemento no solo para níveis considerados adequados passa a ser importante, uma vez que não se conhece a exigência dos cultivares de arroz em relação ao Si, tampouco o fato de os

rizicultores utilizarem em suas áreas, em média, três materiais genéticos, sendo, pelo menos um, trocado a cada duas a três safras.

Elemento essencial para o crescimento e desenvolvimento das plantas, o N, quando fornecido em altas doses, pode diminuir os teores de Si nas plantas de arroz. Em experimento com arroz, aveia e tomate, Wallace (1989) observou que o incremento da adubação nitrogenada provocou redução nos teores de Si nas plantas de arroz e aveia.

O objetivo deste trabalho foi estudar, em condições de túnel plástico, os efeitos da adubação nitrogenada e silicatada na produção de matéria seca, na produtividade de grãos, no teor de N e nos teores de Si no solo e na planta de arroz cultivada em terras altas.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado em túnel plástico, no período de 30/11/99 a 25/03/00, em área experimental pertencente ao Departamento de Produção Vegetal da Faculdade de Ciências Agrônomicas - UNESP - Campus de Botucatu. O solo utilizado no experimento foi classificado como Latossolo Vermelho distrófico (EMBRAPA, 1999), e a análise química, realizada segundo métodos propostos por Raij & Quaggio (1983), apresentou os seguintes resultados: $P = 1 \text{ mg dm}^{-3}$; $M.O = 16 \text{ g dm}^{-3}$, $pH = 4,0$; $H + Al = 64,4 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$; $K^+ = 0,14 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$; $Ca^{2+} = 2,3 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$; $Mg^{2+} = 0,5 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, $Al^{3+} = 4 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e $V = 4,36 \%$. A calagem foi realizada 60 dias antes da semeadura de modo a elevar o valor V para 50 % (Raij et al., 1996), utilizando-se calcário dolomítico com PRNT de 85 %.

Adotou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado, com esquema fatorial 3×4 , com cinco repetições, totalizando 60 unidades experimentais. Cada unidade experimental foi constituída por vaso com dimensões internas de $40 \times 40 \times 25 \text{ cm}$, com 30 kg de solo e 2 linhas de semeadura de 0,40 m de comprimento e espaçadas de 0,20 m entre si. O cultivar de arroz utilizado foi IAC-202.

Os tratamentos constituíram da aplicação de 5, 75 e 150 mg kg^{-1} de N no solo, utilizando uréia como fonte de N, e 0, 200, 400 e 600 mg kg^{-1} de SiO_2 no solo, o equivalente a 0, 93, 187 e 280 mg kg^{-1} de Si. Utilizou-se, como fonte de Si, silicato de cálcio (Wollastonita), com as seguintes características químicas e físicas: total de óxido de silício (SiO_2) = 452 g kg^{-1} ; óxido de silício (SiO_2) solúvel em ácido cítrico a 2 dag L^{-1} = 318 g kg^{-1} ; pH em água = 7,0 a 7,5; solubilidade em água, desprezível; silicato de cálcio = 910 g kg^{-1} ; óxidos de Al, Fe, Mg e K = 10 g kg^{-1} e sais de flúor = 28,5 g kg^{-1} .

A semeadura foi realizada no dia 30/11/99, utilizando 70 sementes viáveis por linha de semeadura. Aos seis dias da semeadura, quando 50 % das plântulas de cada unidade experimental apresentavam o coleótilo acima do nível do solo, considerou-se a data de emergência. Realizou-se um desbaste nove dias após a emergência, de modo a manter 30 plantas por linha de semeadura.

Na adubação de semeadura, foram aplicados: 5 mg kg^{-1} de N em todos os vasos, sendo utilizados a uréia (450 g kg^{-1} de N); 100 mg kg^{-1} de P e 150 mg kg^{-1} de K, utilizando-se superfosfato simples (180 g kg^{-1} de P_2O_5) e cloreto de potássio (600 g kg^{-1} de K_2O). Aos 35 dias da emergência, foi realizada adubação de cobertura com nitrogênio, utilizando 70 e 145 mg kg^{-1} de N, de forma que o experimento ficasse com três diferentes doses de N, sendo $N_1 = 5 \text{ mg kg}^{-1}$ de N, $N_2 = 75 \text{ mg kg}^{-1}$ de N e $N_3 = 150 \text{ mg kg}^{-1}$ de N. O Si foi incorporado ao solo 30 dias antes da semeadura, seguindo recomendação de Korndörfer et al. (1999a).

Foram coletadas 50 folhas bandeiras ao acaso de cada unidade experimental no período do florescimento, quando 50 % das panículas estavam visíveis (Raij et al., 1996). O material coletado foi seco em estufa a 60 °C, até atingir peso constante, e posteriormente moído. Na matéria seca das folhas, foi determinado o teor de N, segundo Malavolta et al. (1997). O teor de Si no solo e na planta (colmo + folha) foi determinado no final do experimento, segundo método proposto por Korndörfer et al. (1999b). A quantidade de Si acumulado na planta foi calculada, utilizando os dados de teor de Si na planta e quantidade de matéria seca produzida por metro quadrado. Foi usada uma das linhas de semeadura para determinar a produção de matéria seca da parte aérea e produtividade de grãos. Os resultados obtidos, em cada variável analisada, foram submetidos à análise de variância, e as médias dos tratamentos foram comparadas pelo Teste de Tukey a 5 %.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A produção de matéria seca da parte aérea foi significativamente aumentada com o incremento das doses da adubação nitrogenada aplicadas ao solo (Quadro 1). O N participa de diversos processos na planta, dentre eles a divisão celular e a constituição de tecidos (Malavolta et al., 1997). Assim, o aumento na produção de matéria seca obtido pelo incremento da adubação nitrogenada é devido à participação deste nutriente na produção de tecido vegetal.

As doses aplicadas de Si não proporcionaram alterações significativas na produção de matéria seca. Esses resultados estão de acordo com os relatos de Tanaka & Park (1966), Liang et al. (1994) e

Carvalho (2000), que também não encontraram diferença estatística.

Analisando os dados de produtividade de grãos apresentados no quadro 1, observa-se que a maior produtividade ocorreu com a dose de 75 mg kg⁻¹ de N e que o aumento, acima dessa dose, não foi seguido por um incremento na produtividade, mas, sim, por uma redução. Altas doses de N estimularam o perfilhamento e a formação de novas folhas, causando sombreamento, condições favoráveis a doenças, acamamento e queda na produtividade (Malavolta & Fornasieri Filho, 1983; Barbosa Filho, 1987).

Nas condições experimentais, não ocorreram acamamento e doenças; assim, a queda na produtividade com o aumento da adubação nitrogenada, provavelmente, pode ser decorrente da soma de diversos fatores, em especial de um elevado número de colmos, que, apesar de não ter sido determinado, visualmente foi notado, que propiciou uma condição de sombreamento, diminuindo, assim, a área fotossinteticamente ativa. Com isso a planta não teve carboidratos suficientes para o enchimento de todos as espiguetas, tornando a produtividade menor. A maior produtividade alcançada com a dose de 75 mg kg⁻¹ de N foi atribuída ao melhor equilíbrio no desenvolvimento da planta, que não acarretou sombreamento, tendo assim fotoassimilados suficientes para o enchimento das espiguetas.

As doses de Si não influíram na produtividade de grãos do arroz. Estes resultados discordam dos encontrados por Faria (2000), Korndörfer et al. (1999a), Deren et al. (1994) e Liang et al. (1994); entretanto, estão de acordo com os de Carvalho (2000), que, trabalhando com o mesmo cultivar

utilizado neste estudo (IAC-202), em condições de campo, também não obteve aumentos significativos.

Cultivares como o IAC-202, do grupo moderno, tendem a responder mais à adubação nitrogenada do que os cultivares do grupo tradicional, os quais, por sua vez, apresentam maior eficiência na absorção de Si (Winslow, 1992). Portanto, cabe lembrar que os genótipos de arroz diferem bastante quanto à sua capacidade de absorver Si (Winslow, 1992; Barbosa Filho et al., 1998). Apesar de não-significativo, observou-se um aumento da ordem de 8 % ou 479 kg ha⁻¹ na produtividade de grãos, quando foram utilizados 400 mg kg⁻¹ de SiO₂ em relação à dose zero (Quadro 1).

Os teores de N na folha bandeira (Quadro 1) para todas as doses da adubação nitrogenada estiveram sempre na faixa apresentada por Raji et al. (1996) como sendo adequada (27-35 g kg⁻¹), porém aumentaram com a elevação da dose aplicada. Esse resultado foi decorrente do aumento da disponibilidade de N e, apesar de ter proporcionado incremento na produção de matéria seca, também foi suficiente para elevar a concentração do elemento no tecido vegetal.

Quanto às doses de Si, essas não afetaram os teores de N, ficando os valores do elemento dentro da faixa adequada, o que permite inferir que as quantidades de Si aplicadas não foram elevadas o suficiente para reduzir os teores de N na planta.

As doses de N não influenciaram significativamente os teores de ácido monossilícico [Si(OH)₄] no solo (Quadro 1). O Si(OH)₄ é um ácido fraco, de pequena força iônica (McKeague & Cline, 1963; Raji &

Quadro 1. Produção de matéria seca, produtividade de grãos, teor de nitrogênio na folha bandeira e teores de silício no solo, na planta e quantidade de silício acumulado nas plantas de acordo com a aplicação de N e Si

Tratamento	Matéria seca	Produtividade de grãos	N	Silício no solo	Silício na planta	Silício acumulado
Doses de N (mg kg ⁻¹)	kg ha ⁻¹		g kg ⁻¹	mg dm ⁻³	g kg ⁻¹	kg ha ⁻¹
5	5.371 c	5.114 c	27,6 c	20,0	26,2	13,82
75	7.371 b	7.890 a	30,0 b	21,9	13,2	9,93
150	8.491 a	6.440 b	33,5 a	24,5	16,6	9,86
Doses de SiO ₂ (mg kg ⁻¹)						
0	6.981	6.180	30,6	5,9 c	8,5	55,8
200	6.780	6.500	30,3	14,0 bc	15,5	93,4
400	7.490	6.650	30,6	23,5 b	19,4	137,3
600	6.990	6.500	30,0	45,1 a	24,7	157,8
Valores de F						
Doses de N	57,75**	16,48**	42,21**	0,99 ^{ns}	131,3**	32,11**
Doses de Si	1,53 ^{ns}	0,28 ^{ns}	0,29 ^{ns}	40,77**	72,2**	90,19**
N x Si	1,43 ^{ns}	0,88 ^{ns}	1,66 ^{ns}	0,95 ^{ns}	6,9**	4,08**
C.V. (%)	1,33	23,6	6,7	46,3	18,3	16,73

Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey, 5 %. Teste F- ns, *, ** – não-significativo e significativos a 5 e 1 %.

Camargo, 1973) e que, estando em solução, não compete com o nitrato por sítios de ligações no solo.

O menor teor de Si no solo $5,9 \text{ mg dm}^{-3}$ (Quadro 1) foi encontrado na dose zero de SiO_2 , referindo-se, portanto, ao Si existente no solo. O baixo teor de Si encontrado no solo deste estudo é consequência do avançado grau de intemperismo em que se encontram os solos de regiões tropicais (Barbosa Filho et al., 2001) e dos elevados teores de sesquióxidos de Al e Fe (Malavolta, 1980), que são os principais responsáveis pela adsorção de Si em solução (Mengel & Kirkby, 1987). Outro fator importante que contribui para a diminuição dos teores de Si no solo é a extração do elemento por culturas acumuladoras, o que, via de regra, não é repostado por falta de uso de adubação silicatada (Lima Filho et al., 1999).

No entanto, como já discutido, a aplicação de Si não afetou a produção de matéria seca, o que permite inferir que o teor original do solo foi suficiente para o desenvolvimento adequado das plantas de arroz do cultivar IAC-202. Contudo, Korndörfer et al. (1999a), trabalhando em casa de vegetação com o cultivar IAC-165, concluíram que o nível de suficiência de Si no solo para obter 90 % da produtividade máxima foi de $9,8 \text{ mg dm}^{-3}$, ou seja, valor acima do teor encontrado no presente estudo sem aplicação de Si. Essa falta de resposta pode estar relacionada com vários fatores, dentre os quais a diferença de cultivares, podendo ser o IAC-165 mais exigente em Si que o IAC-202.

Considerando o teor de Si na planta, houve efeito significativo da interação entre doses de N e Si, estando o desdobramento apresentado no quadro 2. Analisando os efeitos das doses de Si dentro das doses de N, verifica-se efeito significativo de Si para todas as doses de N. Quando a adubação nitrogenada foi baixa, os teores de Si na planta tiveram aumentos mais pronunciados, quando comparados com as doses mais elevadas de N. Analisando o desdobramento dos efeitos de doses de N dentro das doses de Si, observou-se efeito significativo de N em todas as doses da adubação silicatada. Notou-se que a aplicação da dose 75 e 150 mg kg^{-1} de N propiciou os menores teores de Si na planta em todas as doses da adubação silicatada.

Os teores de Si na planta são classificados como baixos quando menores que 17 g kg^{-1} ; médios, de 17 a 34 g kg^{-1} e altos acima de 34 g kg^{-1} (Korndörfer et al., 1999c). Observa-se, no quadro 2, que o teor de Si mais alto foi encontrado na menor dose da adubação nitrogenada combinada com a maior dose da adubação silicatada. Assim, à medida que aumentou a dose de N, houve uma diminuição dos teores de Si na planta para todas as doses da adubação silicatada, sendo esses resultados explicados pela competição que existe entre o H_3SiO_4^- e o NO_3^- pelos sítios de absorção da planta, conforme foi relatado por Wallace et al. (1976) e Wallace (1989).

Houve efeito significativo da interação Si e N para quantidade de Si acumulado nas plantas (Quadro 3). Analisando os efeitos para doses de Si dentro das doses de N, verifica-se efeito significativo de Si para todas as doses de N. Para cada dose da adubação nitrogenada, as maiores quantidades de Si acumulado foram alcançadas nas doses de 400 e 600 mg kg^{-1} de SiO_2 . Analisando o desdobramento dos efeitos de doses de N dentro das doses de Si, observaram-se efeitos significativos de N nas doses de 400 e 600 mg kg^{-1} de SiO_2 , nos quais o aumento das doses da adubação nitrogenada propiciou diminuição na quantidade de Si acumulado nas plantas.

Como pode ser observado (Quadro 3), a quantidade de Si acumulado na parte aérea das plantas de arroz apresentou a mesma tendência do teor de Si na planta (Quadro 2). Além dos fatores mencionados anteriormente por Wallace et al. (1976) e Wallace (1989), outro fator para a queda no teor de Si na planta seria o efeito de diluição provocado pelo N. Assim, o incremento da produção de matéria seca da parte aérea em virtude do aumento das doses de N não foi acompanhado de uma absorção de Si na mesma proporção, ocorrendo diminuição do teor desse elemento na planta (Quadro 1).

Quadro 2. Teor de silício na planta, considerando a aplicação de N e Si (desdobramento das interações significativas da análise de variância)

Dose de N	Dose de silício ($\text{mg kg}^{-1} \text{SiO}_2$) ⁽¹⁾			
	0	200	400	600
mg kg^{-1}	g kg^{-1}			
5	12,2 aC	24,5 aB	29,9 aB	38,1 aA
75	6,2 bC	11,4 bBC	14,6 bAB	20,4 bA
150	6,8 bB	10,6 bAB	13,5 bA	15,5 cA

⁽¹⁾ Médias seguidas das mesmas letras minúsculas, na vertical, e maiúsculas, na horizontal, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5 %.

Quadro 3. Quantidade de silício acumulado nas plantas, considerando a aplicação de N e Si (desdobramento das interações significativas da análise de variância)

Dose de N	Dose de silício ($\text{mg kg}^{-1} \text{SiO}_2$) ⁽¹⁾			
	0	200	400	600
mg kg^{-1}	g m^2			
5	6,70 aC	10,61 aB	18,18 aA	19,81 aA
75	4,20 aC	8,68 aB	11,11 bAB	14,54 bA
150	5,86 aC	8,72 aBC	11,91 bAB	12,97 bA

⁽¹⁾ Médias seguidas das mesmas letras minúsculas, na vertical, e maiúsculas, na horizontal, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey 5 %.

CONCLUSÕES

1. A produção de matéria seca, a produtividade de grãos e os teores de N na planta de arroz não foram influenciados pelas diferentes doses de Si aplicadas ao solo.

2. A utilização da adubação silicatada aumentou, de forma significativa, os teores de Si no solo.

3. O aumento da adubação nitrogenada incrementou a produção de matéria seca, a produtividade de grãos e os teores de N e diminuiu os teores de Si na planta, porém nenhum efeito significativo foi encontrado para os teores de Si no solo.

LITERATURA CITADA

- AGARIE, S.; HANAOKA, N.; UENO, O.; MIYAZAKI, A.; KUBOTA, F.; AGATA, W. & KAUFMAN, P.B. Effects of silicon on tolerance to water deficit and heat stress in rice plants (*Oryza sativa* L.), monitored by electrolyte leakage. *Plant Prod. Sci.*, 1:96-103, 1998.
- BALASTRA, M.L.F.; PEREZ, C.M.; JULIANO, B.O. & VILLREAL, P. Effects of silica level on some properties of *Oryza sativa* straw and hult. *Can. J. Bot.*, 67:2356-63, 1989.
- BARBOSA FILHO, M.P. Nutrição e adubação do arroz. Piracicaba, Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do fosfato, 1987. 127p.
- BARBOSA FILHO, M.P.; SNYDER, G.H.; ELLIOTT, C.L.; DATNOFF, L.E.; PRABHU, A.S.; SILVA, O.F. & KORNDÖRFER, G.H. Resposta do arroz de sequeiro à aplicação de silício. In: FERTBIO 1998, Caxambu. Anais. Lavras, Universidade Federal de Lavras/Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/Sociedade Brasileira de Microbiologia, 1998. p.57
- BARBOSA FILHO, M.P.; SNYDER, G.H.; FAGERIA, N.K.; DATNOFF, L.E. & SILVA, O.F. Silicato de cálcio como fonte de silício para o arroz de sequeiro. *R. Bras. Ci. Solo*, 25:325-30, 2001.
- CARVALHO, J.C. Análise de crescimento e produção de grãos da cultura do arroz irrigado por aspersão em função da aplicação de escórias de siderurgia como fonte de silício. Botucatu, Universidade Estadual Paulista 2000. 119p. (Tese de Mestrado)
- 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 Sci.*, 34:733-37, 1994.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro nacional de pesquisa de solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília, 1999. 421p.
- FARIA, R.G. Influência do silicato de cálcio na tolerância do arroz de sequeiro ao déficit hídrico do solo. Lavras, Universidade Federal de Lavras 2000. 47p. (Tese de Mestrado)
- KORNDÖRFER, G.H.; ARANTES, V.A.; CORRÊA, G.F. & SNYDER, G.H. Efeito do silicato de cálcio no teor de silício e na produção de grãos de arroz de sequeiro. *R. Bras. Ci. Solo*, 23:635-41, 1999a
- KORNDÖRFER, G.H.; COELHO, N.M.; SNYDER, G.H. & MIZUTANI, C.T. Avaliação de métodos de extração de silício em solos cultivados com arroz de sequeiro. *R. Bras. Ci. Solo*, 23:101-106, 1999b.
- KORNDÖRFER, G.H.; SNYDER, G.H.; ULLOA, M.; PERDOMO, R.; POWELL, C., DEREN, C. & DATNOFF, L.E. Soil and plant silicon calibration for rice production. Florida, 1999c. p.14-15 (Manuscript prepared for the Rice Council Meeting, Belle Glade)
- LIANG, Y.C.; MA, T.S.; LI, F.J. & FENG, Y.J. Silicon availability and response of rice and wheat to silicon in calcareous soils. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 25:2285-97, 1994.
- LIMA FILHO, O.F.; LIMA, M.T.G. & TSAI, S.M. O silício na agricultura. 1999. p.1-7. (Encarte Técnico - Informe Agrônômico, 87)
- MALAVOLTA, E. Elementos de nutrição de plantas. Piracicaba, Agronômica Ceres, 1980. 251p.
- MALAVOLTA, E. & FORNASIERI FILHO, D. Nutrição mineral da cultura do arroz. In: FERREIRA, M.E.; YAMADA, T. & MALAVOLTA, E. Cultura do arroz de sequeiro fatores afetando a produtividade. Piracicaba, 1983. p.95-143.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.S. & OLIVEIRA, S.A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 2.ed. Piracicaba, POTAFOS, 1997. 319p.
- McKEAGUE, J.A. & CLINE, M.G. Silica in soil solution. II The adsorption of monosilicic acid by soil by other substances. *Can. J. Soil Sci.*, 43:83-95, 1963.
- MENGEL, K.E. & KIRKBY, G.A. Further elements of importance. In: PRINCIPLES of plant. 4.ed. Worblaufen-Bern, International Potash Institute, 1987. p.573-588
- RAIJ, B. van. & CAMARGO, O.A. Silica solúvel em solos. *Bragantia*, 32:223-31, 1973.
- RAIJ, B. van. & QUAGGIO, J.A. Métodos de análise de solo para fins de fertilidade. *B. Tec. Inst. Agron.*, 81:1-31, 1983.
- RAIJ, B. van.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. & FURLANI, A.M.C. Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo. 2.ed Campinas, Instituto Agrônomo de Campinas, Fundação IAC, 1996. 285p.
- SAVANT, N.K.; DATNOFF, L.E. & SNYDER, G.H. Depletion of plant-avaivable silicon in soils: a possible cause of declining rice yields. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 28:1245-52, 1997.
- TANAKA, A. & PARK, Y.D. Significance of the absorption and distribution of silica in the growth of rice plant. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 12:23-8, 1966.
- TISDALE, S.L.; NELSON, W.L.; BESTON, J.D. & HAULIN, J.L. Soil fertility and fertilizer. New York, Macmillan, 1993. p.634.
- WALLACE, A.; ROMNEY, E.A. & MUELLER, R.T. Nitrogen-silicon interaction in plants grown in desert soil with nitrogen deficiency. *Agron. J.*, 68:529-530, 1976.
- WALLACE, A. Relationships among nitrogen, silicon, and heavy metal uptake by plants. *Soil Sci.*, 147:457-60, 1989.

WINSLOW, M.D. Silicon, disease resistance, and yield of rice genotypes under upland cultural conditions. *Crop Sci.*, 32:1208-1213, 1992.

YOSHIDA, S.; OHNISHI, Y. & KITAGISHI, K. Chemical forms, mobility and deposition of silicon in rice plant. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 8:15-21, 1962.

