

Produção de massa seca e nutrição de cultivares de arroz de terras altas sob condição de déficit hídrico e adubação silicatada

Dry matter and plant nutrition of upland rice under water deficit and silicon fertilization

Munir Mauad^{1*}; Carlos Alexandre Costa Crusciol²; Hélio Grassi Filho³

Resumo

Embora não seja considerado elemento essencial para o crescimento e desenvolvimento das plantas, o silício tem proporcionado diversos efeitos benéficos para cultura do arroz, em especial sob condições de estresse biótico e abiótico. O objetivo deste trabalho foi avaliar os teores de macronutrientes e de silício, em cultivares de arroz de terras altas sob condição de déficit hídrico e adubação silicatada. O experimento foi desenvolvido em casa de vegetação, em delineamento em blocos casualizados, em esquema fatorial 2 x 2 x 2, com duas cultivares: Maravilha (grupo moderno), e Caiapó (grupo tradicional), duas doses de silício (0 e 350 kg ha⁻¹) e duas tensões de água no solo (-0,025 MPa e -0,050 MPa). A cultivar Maravilha produziu maior quantidade de massa seca do que a cultivar Caiapó. O aumento da tensão de água reduziu a produção de massa seca e os teores de macronutrientes nas plantas de arroz. Os cultivares de arroz apresentam resposta diferentes a tensão de água no solo e adubação silicatada quanto ao teor de silício.

Palavras-chave: *Oryza sativa* L., silício, macronutrientes, tensão de água no solo

Abstract

Although silicon has not been considered an essential element for plant growth and development, it has provided several benefits for the rice crop, especially under biotic and abiotic stress. The objective of this work was to evaluate macronutrient and silicon levels in upland rice cultivars cropped under water deficit and silicon fertilization. The experiment was carried out in greenhouse and the design was the completely randomized block, analyzed as a 2 x 2 x 2 factorial, which consisted of two cultivars, 'Maravilha' (modern group) and 'Caiapó' (traditional group), two silicon rates (0 and 350 kg ha⁻¹) and two soil water tensions (-0.025 MPa and -0.050 MPa). Plant dry matter of the 'Maravilha' cultivar was higher compared to the other material. Higher soil water tensions decreased plant dry matter and macronutrient levels. Upland rice cultivars respond distinctively to soil water tensions and silicon rates.

Key words: *Oryza sativa* L., silicon, macronutrients, water soil tension

¹ Prof. Dr. Universidade Federal da Grande Dourados, Faculdade de Ciências Agrárias, Cx 533, CEP 79804-970 Dourados, MS. E-mail: munirmauad@ufgd.edu.br

² Prof. Dr. Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Departamento de Produção Vegetal, Caixa Postal 237, CEP 18603-970 Botucatu, SP. E-mail: crusciol@fca.unesp.br

³ Prof. Dr. Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Departamento de Ciências Ambientais, Caixa Postal 273, CEP 18603-970, Botucatu, SP. E-mail: heliograssi@fca.unesp.br

*Autor para correspondência

Introdução

O arroz no Brasil é cultivado em dois ecossistemas de produção denominados terras altas e várzeas, sob diferentes sistemas de cultivo. O ecossistema de terras altas corresponde a 49% da área total cultivada com arroz no Brasil e contribuiu com 21% da produção nacional (EMBRAPA 2009). A baixa produtividade cerca de 1800 kg ha⁻¹ (EMBRAPA 2009) é consequência especialmente do déficit hídrico causado pela irregularidade pluvial na época de cultivo, aliado ao baixo investimento em adubos e corretivos decorrente do risco que a cultura apresenta.

As cultivares utilizadas no ecossistema de terras alta são classificadas em dois grupos: tradicionais e modernas. As cultivares tradicionais apresentam porte elevado, folhas decumbentes, baixo perfilhamento e nível considerado de tolerância ao estresse hídrico, sendo recomendada para áreas sem irrigação, enquanto as cultivares modernas são mais produtivas, apresentam porte baixo, folhas eretas, alto nível de perfilhamento e baixa tolerância a déficit hídrico, sendo recomendada para áreas com distribuição pluviométrica regular ou áreas irrigadas por pivô (BRESEGHELLO; CASTRO; MORAIS, 1998).

Além da queda de produtividade de grãos, o déficit hídrico reduz o acúmulo de massa seca da planta (CRUSCIOL et al., 2003a) os teores de nitrogênio (STONE, 1984), fósforo e potássio (STONE, 1985), cálcio e magnésio (CRUSCIOL et al., 2003c). Desta forma, a busca por técnicas e/ou práticas culturais de baixo investimento e que possam aumentar a tolerância das plantas a períodos de déficit hídrico, é de fundamental importância para reduzir às perdas da lavoura arrozeira e adequar a escassez de recursos hídricos.

Classificado desde 2004 como micronutriente, segundo a Legislação Brasileira de Fertilizantes, o silício tem proporcionado diversos efeitos

benéficos para cultura do arroz, tais como: aumento da tolerância das plantas a estresse abiótico como o estresse hídrico (GAO et al., 2005; MA, 2004) e biótico como a redução da incidência doenças como a Mancha Parda (REZENDE et al. 2009) e a Bruzone (BUCK et al. 2008).

Embora a importância do silício na agricultura torna-se particularmente interessante quando considerado como um antiestressante (LIMA FILHO, 2009), a quantidade deste elemento a ser aplicado no solo, ainda não está definitivamente mensurada (KORNDORFER; PEREIRA; CAMARGO 2003).

Em função do exposto, este trabalho teve por objetivo avaliar o acúmulo de massa seca das plantas e os teores de macronutrientes e silício em cultivares de arroz de terras altas sob condição de déficit hídrico e adubação silicatada.

Material e Métodos

O experimento foi conduzido no período de dezembro de 2003 a março de 2004 em casa de vegetação no Departamento de Produção Vegetal da Faculdade de Ciências Agronômicas - UNESP, Campus de Botucatu, São Paulo, situado a 48 ° 23 ' W e 22 ° 51 ' de latitude sul, com altitude de 754 m. Utilizou-se amostras de um Latossolo Vermelho Distroférrico com as seguintes características: pH (CaCl₂) = 4,0; M.O = 8,0 g kg⁻¹; P-resina = 3 mg dm⁻³; Si_{CaCl} = 3,4 mg dm⁻³; K⁺ = 0,6 mmol_c dm⁻³; Ca⁺⁺ = 11 mmol_c dm⁻³; Mg⁺⁺ = 2 mmol_c dm⁻³; H+Al = 72 mmol_c dm⁻³; CTC = 85 mmol_c dm⁻³ e V = 16 %, determinados conforme Raij et al. (2001) exceto para silício que foi determinado segundo Korndorfer, Pereira e Nolla (2004).

Os tratamentos foram constituídos de duas cultivares Caiapó (grupo tradicional) indicada para cultivo no sistema de sequeiro tradicional e Maravilha (grupo moderno) indicada para

cultivo em sistema de irrigação por aspersão, duas tensões de água no solo $-0,025$ MPa e $-0,050$ MPa e duas doses de silício 0 e 350 kg ha^{-1} utilizando como fonte de silício o ácido silícico contendo 98,8% SiO_2 (Vertex p.a.), seguindo um esquema fatorial $2 \times 2 \times 2$, em delineamento em blocos casualizados. As tensões de água no solo utilizadas seguiram sugestões apresentadas em trabalhos de Stone, Moreira e Silva (1986).

Antes da aplicação dos tratamentos o solo utilizado recebeu calcário dolomítico (PRNT = 91%) para elevar a saturação por base. Cada unidade experimental constituiu-se de caixa plástico com dimensões internas de $40 \times 40 \times 25$ cm, contendo $38,5$ kg de amostra de solo. Cada unidade experimental recebeu 80 mg dm^{-3} de N (50 mg dm^{-3} na semeadura e 30 mg dm^{-3} em cobertura no início do estágio de perfilhamento), 150 mg dm^{-3} de P e 180 mg dm^{-3} de K (150 mg dm^{-3} na semeadura e 30 mg dm^{-3} em cobertura no início do estágio de perfilhamento) 1 mg de B e 5 mg de Zn utilizando-se uréia, super simples, cloreto de potássio, ácido bórico e cloreto de zinco como fonte de N, P, K, B e Zn respectivamente.

Foram semeadas 50 sementes em uma linha de $0,40$ m por unidade experimental, e nove dias após a emergência foi realizado o desbaste, deixando-se 30 plantas por unidade experimental. Para o monitoramento da tensão de água do solo utilizou-se micro tensiômetros instalados a $0,15$ m de profundidade em cada unidade experimental. Em cada irrigação foram aplicadas as lâminas de água de $1,32$ e $1,63$ litros sempre

que a tensão de água no solo atingia valores de $-0,025$ MPa e $-0,050$ MPa, respectivamente. As diferenças nos tratamentos de tensão de água no solo tiveram início 17 dias após a semeadura.

A determinação da massa seca da parte aérea foi realizada, coletando-se todas as plantas de cada unidade experimental. Para determinação dos teores de macronutrientes foram coletadas 30 folhas bandeiras de cada unidade experimental no período do florescimento, enquanto para o teor de silício foi coletado material (colmo + folha) no momento da colheita. O material vegetal coletado foi seco em estufa a 60 °C, até atingir peso constante, e posteriormente moído. O teor de macranutriente foi determinado segundo metodologia proposta por Bataglia et al. (1983) e de silício segundo Korndorfer, Pereira e Nolla (2004).

Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias dos tratamentos foram comparadas pelo Teste de DMS a 5 % de significância.

Resultados e Discussão

Pela análise de variância (valores de F) (Tabela 1), detectou-se efeito significativo e isolado de cultivares e de tensão de água no solo para massa seca da parte aérea e para os macronutrientes. Para os teores de silício na parte aérea houve efeito da interação cultivares x tensão de água no solo, cultivares x doses de silício e de tensão de água no solo x doses (Tabela 1).

Tabela 1. Valores de F, e suas respectivas significâncias, obtidas da análise de variação para produção de massa seca, teor de macronutrientes na folha bandeira e silício (colmo + folha) em função de cultivares de arroz, tensão de água no solo e doses de silício.

Tratamento	Massa seca	Teor de Nutrientes					
		N	P	K	Ca	Mg	Si
Bloco	0,32 ns	0,14 ns	0,10 ns	0,37 ns	0,55 ns	0,77 ns	0,25 ns
Cultivar de arroz (C)	0,02**	0,01**	0,02**	0,01**	0,01 ns	0,01**	0,00**
Tensão de água no solo (T)	0,03**	0,04**	0,02 *	0,03**	0,04*	0,02**	0,00**
Doses de Silício (S)	0,06 ns	0,25 ns	0,53 ns	0,27 ns	0,70 ns	0,51 ns	0,00**
C x T	0,97 ns	0,54 ns	0,58 ns	0,89 ns	0,59 ns	0,82 ns	0,01**
C x S	0,16 ns	0,51 ns	0,28 ns	0,62 ns	0,35 ns	0,55 ns	70,84**
T x S	0,42 ns	0,70 ns	0,44 ns	0,95 ns	0,80 ns	0,88 ns	0,00**
C x T x S	0,43 ns	0,55 ns	0,30 ns	0,40 ns	0,54 ns	0,11 ns	0,65
CV (%)	8,45	8,06	8,64	9,02	9,60	9,80	10,98

** , * e ns significativo a 1% e 5% - não significativo.

A cultivar Maravilha produziu maior quantidade de matéria seca do que a cultivar Caiapó (Tabela 2). Cultivares do grupo moderno como a cultivar Maravilha apresentam maior perfilhamento em relação a cultivares do grupo tradicional como a

Caiapó (BRESEGHELLO; CASTRO; MORAIS, 1998). Assim provavelmente a maior produção de massa seca obtida pela cultivar Maravilha está relacionada ao maior perfilhamento.

Tabela 2. Produção de massa seca, teor de macronutrientes na folha bandeira e silício (colmo + folha) em função de cultivares, tensão de água no solo e doses de silício.

Tratamento	Massa Seca		Teor de Nutrientes ²				
	g m ⁻²	N	P	K	Ca	Mg	Si
				g kg ⁻¹			mg kg ⁻¹
Cultivares de arroz							
Caiapó	1.140 b	44,16 a	2,97 a	25,72 a	5,89 a	3,63 a	1,15 a
Maravilha	1.228 a	27,55 b	1,86 b	15,90 b	3,66 a	2,77 b	0,68 b
Tensão de H ₂ O(MPa)							
-0,025	1.170 a	36,21 a	2,49 a	21,84 a	4,81 a	3,13 a	0,85 b
-0,050	0,980 b	32,90 b	2,31 b	19,78 b	4,12 b	2,77 b	0,98 a
Doses de Silício (kg ha ⁻¹)							
0	1.467 a	36,66 a	2,42 a	20,43 a	4,80 a	2,92 a	0,50 b
350	1.440 a	35,49 a	2,38 a	21,18 a	4,75	2,98 a	1,39 a

Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste t (DMS) a 5%.

A maior tensão de água no solo (Tabela 2) reduziu a produção de massa seca. A água está envolvida em vários processos na planta, dentre eles o crescimento celular, através da turgescência celular. Dessa forma, a diminuição da disponibilidade de água para as plantas, devido ao aumento da tensão de água no solo, reduziu o crescimento e desenvolvimento da planta, refletindo desta forma no acúmulo de massa seca. Esse resultado está de acordo com Stone, Moreira e Silva (1986), na qual tensão acima de $-0,025$ MPa ocasionou a redução nos valores dos componentes da produção do arroz, como o número de colmo (perfilho) por área. Diminuição da produção de massa seca em plantas de arroz em função da menor disponibilidade de água foi também relatada por Stone (1984) e Crusciol et al. (2003 a, b).

Não houve efeito de dose de silício no acúmulo de massa seca. Há relatos na literatura sobre os efeitos do silício no controle de pragas e doenças, mas pouco se conhece a respeito da participação deste elemento nos processos de crescimento como a multiplicação celular. Faria Junior et al. (2009) trabalhando com as cultivares de arroz de terras altas Conai e Curinga em casa de vegetação e Mauad et al. (2003) com a cultivar IAC-202 em túnel plástico, não observaram efeitos significativos da adubação silicatada no acúmulo de massa seca. Korndorfer et al. (2010) também não encontraram efeito da significativo da adubação silicatada na produção de massa seca da *Brachiaria brizantha* cultivar Marandu e *Panicum máximum* cv Mombaça em 2 cortes, enquanto Sávio et al. (2011) observaram que após o primeiro corte houve efeito do silício no 2º e 3º corte para produção de massa seca da *Brachiaria brizantha* e *Panicum máximum*. Os artigos citados acima corroboram com os resultados aqui obtidos.

Para os teores de macronutrientes estudados, houve efeito significativo de tensão de água no solo e da cultivar, não ocorrendo efeito das doses de silício (Tabela 2). O aumento da tensão de água no solo reduziu os teores de todos os macronutrientes, porém, mesmo assim todos ficaram dentro da faixa

adequada para cultura do arroz que é de 27 a 35, 1,8 a 3,0, 13 a 30, 2,5 a 10, 1,5 a 5,0 g kg⁻¹ para N, P, K, Ca e Mg respectivamente, segundo Raij et al. (1996).

O contato íons - raiz ocorre de forma diferente para os nutrientes sendo N, Ca e Mg por fluxo de massa, enquanto P e K por difusão. Independente da forma como ocorre o contato íon raiz, este deve ser encontrado na solução do solo para que ocorra absorção. Neste contexto, pode-se dizer que a diminuição dos teores de N, Ca e Mg fornecidos por fluxo de massa foi devido à redução do conteúdo de água do solo. Por outro lado para P e K o decréscimo nos teores sob aumento da tensão é explicada pelo fato da redução da umidade do solo diminuir a espessura do filme de água, aumentando a tortuosidade e com isso dificultando a difusão (STONE, 1985).

A não detecção do efeito da adubação silicatada sobre os teores de macronutrientes também foi constatado em outros trabalhos de pesquisa, a exemplo de Carvalho (2000), Silva e Bohnen (2001) e Mauad (2001) para N, P, K, e Carvalho (2000) e Silva e Bohnen (2001) para Ca e Mg, em diferentes cultivares de arroz.

Este resultado pode ser provavelmente atribuído ao fato da absorção de silício ser mediada por proteínas específicas como SIT1 que está localizada nas células da endoderme, e promove o transporte da solução externa para células cortical, e a proteína SIT2 localizada nas células da exoderme que descarrega o Si das células corticais no xilema (MITANI; MA, 2005), não ocorrendo competição com outros nutrientes pela absorção pela planta.

Para o teor de silício na parte aérea houve efeito da interação dupla cultivar x tensão de água (C x T), cultivar x doses de silício (C x S) e tensão de água x doses de silício (T x S) (Tabela 1).

Comparando os teores de Si entre as tensões (Tabela 3) verifica-se que ambas as cultivares apresentaram maiores teores de Si na maior tensão

de água no solo. Este fato pode estar relacionado ao efeito de concentração, ou seja, embora a produção de massa seca tenha reduzido com o aumento da tensão (Tabela 2) à absorção de silício não tenha sido

influenciado na mesma intensidade, o que segundo Larcher (2004) corresponde a ausência de sincronia entre a absorção do nutriente (Si) e o incremento na matéria seca das plantas.

Tabela 3. Desdobramento da interação (C x T) da análise de variância referente á teor de silício.

Cultivares de arroz	Tensão de água no solo (MPa)	
	-0,025	-0,050
	mg kg ⁻¹	
Caiapó	2,14 b B	7,68 a A
Maravilha	3,35 a B	6,21 b A

Médias seguidas de letras distintas, minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas, diferem entre si pelo teste t (DMS) a 5%.

A cultivar Maravilha apresentou maior teor de Si na parte aérea do que a Caiapó, na menor tensão de água no solo (Tabela 3). O inverso foi observado para a maior tensão de água estudada, onde a cultivar Caiapó foi a que apresentou maior teor de Si. Isto pode estar relacionado ao grupo que cada cultivar pertence (moderno e tradicional).

A seleção para cultivares do tipo moderno focou seus esforços para alta produtividade em áreas com baixa probabilidade ou ausência de períodos de déficit (PINHEIRO; CASTRO; GUIMARÃES, 2006), além de buscar plantas com mecanismos fisiológicos de tolerância ao estresse mais eficientes, especial na fase reprodutiva (HEINEMANN et al., 2011) como o ajustamento osmótico. Por outro lado, a seleção para cultivares tradicionais foi direcionada para regiões com maior probabilidade de ocorrência de déficit hídrico (HEINEMANN et al., 2011). Esses cultivares apresentam mecanismos básicos de fuga do estresse hídrico, como o fechamento estomático (BERNIER et al., 2008), além de maior capacidade de retirar a água do solo antes da redução da transpiração (HEINEMANN et al.,

2011).

Assim, sob condições ideais de unidade no solo para o cultivo do arroz de terras altas (-0,025 MPa) a cultivar Maravilha se desenvolve melhor devido ao seu potencial genético apropriado a essa condição de cultivo, e assim apresentou maior teor de silício, enquanto sob condições de déficit hídrico (-0,050 Mpa), a cultivar Caiapó desenvolve melhor, e apresentou o maior teor de Si .

A adubação silicatada, aumentou de forma significativa os teores de silício na parte aérea das plantas em ambas as cultivares (Tabela 4). Acréscimo nos teores de silício no tecido vegetal de plantas de arroz em função da adubação silicatada foram relatados por Ramos, Korndorfer e Nolla (2008) e Faria Junior et al. (2009) sobretudo em condições tropicais, uma vez que os solos destas regiões são pobres nesse elemento, devido ao avançado grau de intemperismo (BARBOSA FILHO et al., 2001), e via de regra, o silício extraído pelas culturas não é repostado na forma de adubação, como ocorrem para os demais nutrientes.

Tabela 4. Desdobramento das interações (C x S) da análise de variância referente a teor de silício.

Cultivares de arroz	Doses Si (kg ha ⁻¹)	
	0	350
	mg kg ⁻¹	
Caiapó	2,07 b B	7,98 a A
Maravilha	3,79 a B	6,45 b A

Medias seguidas de letras distintas, minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas, diferem entre si pelo teste t (DMS) a 5%.

Houve comportamento diferencial das cultivares de arroz quanto ao acúmulo de Si em função da adubação silicatada. Sob ausência de adubação silicatada, ou seja, apenas o silício presente no solo, a cultivar Maravilha apresentou o maior teor de Si no tecido das plantas, entretanto sob condições de adubação silicatada este maior teor foi verificado na cultivar Caiapó. Diferenças genotípicas entre cultivares em resposta ao Si podem ser atribuídas a mecanismos fisiológicos como diferentes taxas de absorção, translocação e diferenças morfológicas no sistema radicular (BARBOSA FILHO et al. 1998), conforme demonstrado por Faria Junior et al. (2009) que trabalhando com a cultivares de arroz de terras altas Conai e Curinga encontram teores de silício significativamente diferentes entre as cultivares.

Analisando a interação tensão de água no solo e doses de silício, verifica-se que a adubação silicatada incrementou de forma significativa os teores de silício na parte aérea do arroz, enquanto para a análise das tensões, nota-se maior teor de silício na tensão de -0,050 MPa (Tabela 5), o que pode estar relacionado ao efeito de concentração, uma vez, que sob esta tensão, houve menor acúmulo da massa seca, com pode ser observado na (Tabela 2). Rezende et al. (2009) observaram que aplicação de silício via solo foi mais eficiente em aumentar o teor de silício na parte aérea do que a aplicação foliar. Pereira et al. (2004) e Korndorfer et al. (2010) destacam a existência de estreita relação entre as concentrações foliar e a dose de Si aplicado.

Tabela 5. Desdobramento das interações (S x T) da análise de variância referente a teor de silício.

Doses Si (kg ha ⁻¹)	Tensão de água no solo (MPa)	
	-0,025	-0,050
	mg kg ⁻¹	
0	2,85 b A	2,64 b A
350	6,30 a B	7,60 a A

Medias seguidas de letras distintas, minúscula na coluna e maiúscula nas linhas, diferem entre si pelo teste t (DMS) a 5%.

O aumento no teor de silício é devido aos solos tropicais, serem pobres em silício, resultado do processo de intemperismo conforme dito anteriormente. Outro fator que justifica o aumento no teor de silício absorvido pelas plantas é que

via de regra, o silício exportado pelas culturas não é repostado via adubação (LIMA FILHO; LIMA; TSAI, 1999), uma vez que os adubos não contêm silício e, quando contêm, estes estão em baixíssima concentração, não contribuindo de forma efetiva

para suprir a demanda das plantas, sobre tudo para as gramíneas como o arroz.

Conclusões

A cultivar Maravilha produziu maior quantidade de massa seca do que a cultivar Caiapó.

O aumento da tensão de água reduziu a produção de massa seca e os teores de macronutrientes nas plantas de arroz

Os cultivares de arroz apresentam resposta diferentes a tensão de água no solo e adubação silicatada quanto ao teor de silício.

Referências

- 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, MG. *Anais...* Lavras: UFLA; Sociedade Brasileira de Ciência do Solo; Sociedade Brasileira de Microbiologia, 1998. p. 57. (CD-ROM).
- BARBOSA FILHO, M. P.; SNYDER, G. H.; FAGERIA, N. K.; DATNOFF, L. E.; SILVA, O. F. Silicato de cálcio como fonte de silício para o arroz de sequeiro. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 25, n. 2, p. 325-330, 2001.
- BATAGLIA, O. C. Ç.; FURLANI, A. M. C.; TEIXEIRA, J. P. F.; FURLANI, P. R.; GALLO, J. R. *Métodos de análises químicas de plantas*. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 1983. 48 p.
- BERNIER, J.; ARTLIN, G. N.; SERRAJ, R.; KUMAR, A.; SPANER, D. Reven: breeding upland rice for drought resistance. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, New York, v. 88, n. 6, p. 927-939, 2008.
- BRESEGHELLO, F.; CASTRO, E. M.; MORAIS, O. P. Cultivares de arroz. In: BRESEGHELLO, F.; STONE, L. F. (Ed.). *Tecnologia para arroz de terras altas*. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1998. cap. 7, p. 41-53.
- BUCK, G. B.; KORNDÖRFER, G. H.; NOLLA, A.; COELHO, L. Potassium silicate as foliar spray and rice blast control. *Journal of Plant Nutrition*, New York, v. 31, n. 2, p. 231-237, 2008.
- 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*. 2000. Dissertação (Mestrado em Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas. Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.
- CRUSCIOL, C. A. C.; ARF, O.; SORATTO, R. P.; MACHADO, J. R. Influência de lâminas de água e adubação mineral na nutrição e produtividade de arroz de terra-altas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 27, n. 4 p. 647-654, 2003c.
- CRUSCIOL, C. A. C.; ARF, O.; SORATTO, R. P.; RODRIGUES, R. A. F.; MACHADO, J. R. Produtividade do arroz de terras altas em função de lâminas de água e da adubação mineral. *Científica*, Jaboticabal, v. 31, n. 1, p. 189-200, 2003a.
- _____. Manejo de irrigação por aspersão com base no Kc e adubação mineral na cultura de arroz de terras altas. *Bragantia*, Campinas, v. 62, n. 4, p. 465-75, 2003b.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. *Socioeconomia*. 2009. Disponível em: <<http://www.cnpaf.embrapa.br/apps/socioeconomia/docs/arroz/percentualarroz.htm>>. Acesso em: 28 fev. 2011.
- FARIA JUNIOR, L. A. de; CARVALHO, J. G. de; PINHO, P. J. de; BASTOS, A. R. R.; FERREIRA, E. V. Produção de matéria seca, teor e acúmulo de silício em cultivares de arroz sob doses de silício. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 33, n. 4, p. 1034-1040, 2009.
- GAO, X.; ZOU, C.; WANG, L.; ZHANG, F. Silicon improves water use efficiency in Maize plants. *Journal of Plant Nutrition*, New York, v. 27, n. 8, p. 1457-1470, 2005.
- HEINEMANN, A. B.; STONE, L. F.; FAGERIA, N. K.; CASTRO, L. M. de. Transpiration rate response to water deficit during vegetative and reproductive phase of upland rice cultivar. *Scientia Agricola*, Piracicaba, v. 68, n. 1, p. 24-30, 2011.
- KORNDORFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; CAMARGO, M. S. de. *Silicatos de cálcio e magnésio na agricultura*. Universidade Federal de Uberlândia: Uberlândia, 2003. 22 p. (Boletim técnico, n. 1).
- KORNDORFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; NOLLA, A. *Análise de silício: solo, planta e fertilizantes*. Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2004. 34 p. (Boletim técnico, n. 2).
- KORNDORFER, P. H.; SILVA, G. C. da.; TEIXEIRA, I. R.; SILVA, A. G. da; FREITAS, R. G. S. de. Efeito da adubação silicatada sobre gramíneas forrageiras e características químicas do solo. *Pesquisa Agropecuária*

- Tropical*, Goiânia, v. 49, n. 2, p. 119-125, 2010.
- LARCHER, W. *Ecofisiologia vegetal*. São Carlos: RiMA, 2004. 531 p.
- LIMA FILHO, O. F. de. *História e uso do silicato de sódio na agricultura*. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2009. 112 p.
- LIMA FILHO, O. F. de; LIMA, M. T. G. de; TSAI, S. M. O silício na agricultura. *Informações Agronômicas*, Piracicaba, n. 87, p. 1-7, 1999. (Encarte técnico, 132).
- MA, J. F. Role of silicon in enhancing the resistance of plants to biotic and abiotic stresses. *Soil Science and Plant Nutrition*, Tokyo, v. 50, n. 1 p. 11-18, 2004.
- MAUAD, M. *Produção de plantas de arroz sob a ação de silício e nitrogênio*. 2001. Dissertação (Mestrado em Agricultura) - Faculdade de Ciências Agronômicas. Universidade Estadual Paulista, Botucatu.
- MAUAD, M.; GRASSI FILHO, H.; CURSICOL, C. A. C.; CORRÊA, J. C. Teores de silício no solo e na planta de arroz de terras altas com diferentes doses de adubação silicatada e nitrogenada. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 27, n. 5, p. 867-873, 2003.
- MITANI, K.; MA, J. F. Uptake system of silicon in different plant species. *Journal of Experimental Botany*, Oxford, v. 56, n. 414, p. 1255-1261, 2005.
- PEREIRA, H. S.; KORNDÖRFER, G. H.; VIDAL, A. de. A.; CAMARGO, M. S. de. Silicon sources for rice crop. *Scientia Agrícola*, Piracicaba, v. 61, n. 5, p. 522-528, 2004.
- PINHEIRO, B. da. S.; CASTRO, E. da. M. de; GUIMARÃES, C. M. Sustainability and profitability of aerobic rice production in Brazil. *Field Crops Research*, Amsterdam, v. 97, n. 1, p. 34-62, 2006.
- RAIJ, B. van.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. *Análise química para avaliação da fertilidade do solos tropicais*. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 2001. 284 p.
- 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 Agronômico de Campinas IAC, 1996. 285p.
- RAMOS, L. A.; KORNDORFER, G. H.; NOLLA, A. Acúmulo de silício em plantas de arroz do ecossistema. *Bragantia*, Campinas, v. 67, n. 3, p. 751-757, 2008.
- REZENDE, D. C.; RODRIGUES, F. A.; CARRÉ-MISSIO, V.; SCHURT, D. A.; SCHURT, D. A.; KAWAMURA, I. K. Effect of root and foliar applications of silicon on Brown spot development in rice. *Australasian Plant Pathology*, Collingwood, v. 38, n. 1, p. 67-73, 2009.
- SÁVIO, F. L.; SILVA, G. C.da; TEIXEIRA, I. T.; BORÉM, A. Produção de biomassa e conteúdo de silício em gramíneas forrageira sob diferentes fontes de silicato. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v. 32, n. 1, p. 103-110, 2011.
- SILVA, L. S.; BOHNEN, H. Rendimento e acúmulo de nutrientes pelo arroz em solução nutritiva com e sem adição de silício. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 25, n. 3, p. 771-775, 2001.
- STONE, L. F. Absorção de P, K, Mg, Ca e S por arroz, influenciada pela deficiência hídrica, vermiculita e cultivar. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 20, n. 11, p. 1251-1258, 1985.
- _____. Deficiência hídrica, vermiculita e cultivares. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 19, n. 6, p. 695-707, 1984.
- STONE, L. F.; MOREIRA, J. A. A.; SILVA, S. C.da. *Tensão de água do solo e produtividade do arroz*. Santo Antonio de Goiás, GO: CNPAF, 1986. 6p. (Comunicado técnico, n. 19).

