

# PRODUTIVIDADE E ABSORÇÃO DE NUTRIENTES PELO ARROZ CULTIVADO EM SOLUÇÃO NUTRITIVA COM DIFERENTES NÍVEIS DE SILÍCIO E CÁLCIO

## YIELD AND NUTRIENT UPTAKE BY RICE GROWN IN NUTRIENT SOLUTION WITH DIFFERENT LEVELS OF SILICON AND CALCIUM

SILVA, Leandro S. da <sup>1</sup>; BOHNEN, Humberto<sup>2</sup>

### RESUMO

O silício não é considerado um nutriente essencial para a maioria das plantas, mas é benéfico para o arroz. Nesta espécie, o silício é absorvido em grandes quantidades e depositado na parte externa da parede celular das folhas, cujo efeito sobre as plantas poderia estar relacionado com a função do cálcio como componente estrutural da célula. Foi conduzido um experimento em casa de vegetação com o objetivo de avaliar a influência da presença de silício na solução nutritiva em dois níveis de cálcio (deficiente e suficiente). Plantas de arroz da cultivar BR-IRGA 410 foram cultivadas durante 120 dias e avaliada a produção de panículas, de matéria seca das raízes e parte aérea, o rendimento de grãos, a transpiração das plantas e o acúmulo de macro e micronutrientes na parte aérea. A adição de silício na solução nutritiva não amenizou a deficiência de cálcio, que promoveu redução na produção de panículas, de matéria seca da parte aérea e o rendimento de grãos. Apenas os teores de silício foram influenciados pela interação Si x Ca, sendo que as plantas cultivadas na presença de silício e em nível deficiente de cálcio apresentaram menores teores de silício do que as plantas cultivadas em nível suficiente de cálcio. Não houve efeito dos níveis de cálcio e da presença de silício sobre os teores de potássio sendo que, para os demais nutrientes, houve efeito significativo apenas para o nível de cálcio.

Palavras-chave: **Oryza sativa**, deficiência de cálcio, transpiração.

### INTRODUÇÃO

Não há um consenso na literatura a respeito da essencialidade do silício (Si) como nutriente para as culturas. Entretanto, o Si é um elemento absorvido em grandes quantidades por espécies acumuladoras, como o arroz, e considerado benéfico para o desenvolvimento destas plantas. Vários trabalhos têm estudado o efeito de fontes de Si para o cultivo de arroz com vistas ao incremento no rendimento (YAMAUCHI & WINSLOW, 1989; KORNDÖRFER et al., 1999). Os mecanismos geralmente apontados para explicar o efeito benéfico do Si são relacionados às ações indiretas provocadas pela deposição de Si nas folhas e a conseqüente maior rigidez dos tecidos. As folhas tornam-se mais eretas, favorecendo a incidência de luz, maior absorção de CO<sub>2</sub> e diminuição da transpiração excessiva, permitindo incremento da taxa fotossintética (SAVANT et al., 1997). A silificação das células epidérmicas também funcionaria como uma barreira física efetiva contra a penetração de hifas de fungos e o ataque de insetos fitófagos, diminuindo os danos causados pela ocorrência de doenças e pragas (LIMA FILHO et al., 1999). Também há relatos de que o Si promove um efeito atenuante

contra os efeitos da toxidez de Al, Mn e Fe (FISCHER et al., 1990; MA et al., 1997; SAVANT et al., 1997).

Embora sejam relatados diversos efeitos indiretos e benéficos da presença de Si no tecido do arroz, a sua influência na fisiologia das plantas ainda não está bem esclarecida. No trabalho realizado por SILVA & BOHNEN (2001a), onde se comparou a produção de matéria seca de raízes e da parte aérea e o rendimento de grãos de plantas de arroz em solução nutritiva, não foram encontradas diferenças significativas entre a adição ou não de Si. Este comportamento foi relacionado com as condições em que o experimento se desenvolveu, ou seja, na ausência de algum estresse de ordem nutricional ou ambiental, o qual poderia ser amenizado pela presença do Si e provocar diferenças entre os tratamentos. Entretanto, no mesmo trabalho, foram encontradas diferenças no acúmulo de fósforo, ferro, manganês, boro e cálcio pelas plantas em função da presença de Si na solução nutritiva.

De acordo com MARSCHNER (1995), existe uma relação inversa entre a necessidade de cálcio (Ca) pelas plantas e a habilidade destas em absorver o Si. Dessa forma, o Ca, que participa da formação e estruturação da parede celular pela sua ligação com grupos R-COO<sup>-</sup> de ácidos poligalacturônicos (pectinas) da lamela média (MARSCHNER, 1995), poderia ter sua função afetada pela presença do Si. De acordo com INANAGA & OKASAKA (1995), no arroz, o silício poderia ligar-se com complexos carboidratos-fenol ou carboidratos-lignina de modo similar ao Ca e, dessa forma, competir com este pelos sítios de ligação na parede celular (INANAGA et al., 1995). Com base nestas considerações, pode-se formular a hipótese que a deficiência de Ca como componente estrutural na parede celular do arroz poderia ser compensada pela maior absorção de Si.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência da adição ou não de silício em solução nutritiva completa, com dois níveis de cálcio (deficiente e suficiente), sobre a produção de matéria seca, rendimento de grãos, transpiração e acúmulo de macro e micronutrientes de plantas de arroz.

### MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado em casa-de-vegetação, no período de setembro de 2000 a fevereiro de 2001, no Departamento de Solos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, município de Porto Alegre (RS). Para esse estudo, plântulas de arroz da cultivar BR-IRGA 410 com 13 dias de idade foram transplantadas para vasos plásticos de 33

<sup>1</sup> Engenheiro Agrônomo, Dr., Professor Adjunto, Departamento de Solos, CCR, UFSM, 97105-900, Santa Maria, RS. leandro@smail.ufsm.br

<sup>2</sup> Engenheiro Agrônomo, Ph.D. Consultor do IRGA.

(Recebido para publicação em 06/12/2002)

L (4 plântulas por vaso, suspensas em placa de isopor utilizada como vedação da parte superior dos vasos) contendo como base uma solução nutritiva completa idêntica a utilizada por SILVA & BOHNEN (2001a), com os ajustes necessários para estabelecer os níveis de Ca utilizados

Os tratamentos aplicados foram dois níveis de Si, obtidos com a adição ou não de SiO<sub>2</sub> em pó (Silica fumed, 0,007 µm, Sigma®) na quantidade de 0,1 g L<sup>-1</sup> (denominados neste trabalho de c/Si e s/Si, respectivamente), e dois níveis de Ca (60 e 8 mg L<sup>-1</sup>, denominados neste trabalho de +Ca e -Ca, respectivamente). O teor de 8 mg L<sup>-1</sup> de cálcio foi estabelecido em teste anterior como sendo nível restritivo ao crescimento da cultivar utilizada neste experimento. A concentração de equilíbrio para o Si na solução, determinada aos 3 e 24 dias após a adição da sílica, indicou valores em torno de 6 e 15 mg L<sup>-1</sup> de Si, respectivamente, enquanto que a solução sem adição de sílica sempre apresentou teores menores que 0,4 mg L<sup>-1</sup> de Si nestas avaliações.

Os vasos foram dispostos em delineamento completamente casualizado com três repetições para cada tratamento e permaneceram expostos às variações de temperatura e umidade relativa do ambiente na casa-de-vegetação durante todo o período experimental. A transpiração das plantas foi avaliada a cada 3 dias pela medida da altura da lâmina de água nos vasos (corrigida pela perda de água em vasos sem planta), sendo que o volume inicial dos vasos foi completado com água destilada após cada leitura. Aos 45 dias após o transplante, foram retiradas três plantas de cada vaso, mantendo-se a planta mais vigorosa. A solução nutritiva e as doses de silício foram renovadas aos 45 e 90 dias de cultivo.

Ao final de 128 dias de cultivo, as plantas foram colhidas e secas em estufa a 60°C, e os grãos trilhados manualmente. Nas plantas, foram avaliados os seguintes parâmetros: número de panículas, produção de matéria seca das raízes e da parte aérea (colmo + folhas) e rendimento de grãos. Na parte aérea (colmo + folhas) foram determinados os teores de Si por absorção atômica, conforme procedimento descrito por SILVA & BOHNEN (2001b), os teores de N por destilação em semimicro Kjeldhal, de P, S e B por colorimetria, de K por fotometria de chama e de Ca, Mg, Cu, Zn, Fe, Mn por absorção atômica, todos conforme metodologias descritas por TEDESCO et al. (1995).

Os tratamentos foram analisados estatisticamente em um esquema fatorial 2x2 (dois níveis de Ca e dois de Si) através da análise da variância (P<0,05) e, quando significativa, as médias dos tratamentos para cada parâmetro avaliado nas plantas foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve efeito significativo apenas para o nível de Ca na solução nutritiva, sendo que o tratamento -Ca apresentou restrição em todos os parâmetros avaliados, caracterizando a ocorrência de um estresse nutricional para este nutriente (Tabela 1). Segundo MARSCHNER (1995), a deficiência de Ca aumenta a atividade da enzima polygalacturonase, a qual

Tabela 1 - Produtividade de grãos, rendimento de matéria seca de raízes e colmo+folhas, e número de panículas de plantas de arroz cultivadas em dois níveis de cálcio (-Ca = deficiente e +Ca = suficiente) e com (c/Si) e sem (s/Si) a adição de silício.

Tratamentos	Produtividade de grãos	Produção de matéria seca		Número de panículas	
		Raízes	Colmo + folhas		
		g planta <sup>-1</sup>			
- Ca	s/Si	47,7	10,3	129,7	50
	c/Si	42,3	11,2	115,0	49
	<i>média</i>	<i>45,0 b</i>	<i>10,7 b</i>	<i>120,7 b</i>	<i>50 b</i>
+ Ca	s/Si	89,9	21,4	157,5	70
	c/Si	94,9	21,6	159,2	68
	<i>média</i>	<i>92,4 a</i>	<i>21,5 a</i>	<i>156,6 a</i>	<i>69 a</i>
CV(%)	16,9	13,3	11,8	8,7	

\* Análise de variância significativa apenas para o efeito do nível de cálcio; as médias seguidas de letras distintas na coluna, dentro do fator cálcio, diferem-se significativamente pelo teste de Tukey a 5% de significância.

promove a degradação dos pectatos e, conseqüentemente, a desintegração da parede celular e o colapso dos tecidos afetados. Entretanto, não houve efeito da presença de Si na solução nutritiva, independente do nível de Ca utilizado. Isso indica que o Si não compensou os efeitos da deficiência de Ca, o que pode estar relacionado a outras funções fisiológicas deste nutriente na planta, as quais restringiram os parâmetros de rendimento e não foram influenciadas pela presença do Si.

Sob nível adequado de Ca, o Si também não exerceu efeitos benéficos sobre os parâmetros avaliados, de modo similar ao que já havia ocorrido no trabalho de SILVA & BOHNEN (2001a). Nestas condições, confirma-se a ausência de efeitos benéficos do Si, tendo em vista a ausência de outros tipos de estresses ambientais ou nutricionais.

Ao final do período de cultivo, as plantas s/Si e c/Si do tratamento +Ca transpiraram um volume acumulado de 145 e 140 L planta<sup>-1</sup>, respectivamente, enquanto que as plantas s/Si e c/Si do tratamento -Ca transpiraram um volume acumulado de 100 e 88 L planta<sup>-1</sup>, respectivamente. No tratamento +Ca, as plantas cultivadas c/Si apresentaram taxa de transpiração menor do que as plantas s/Si no período entre 48 e 68 dias após o plantio (em média 16% de redução) (Figura 1). Apesar de transpirem menos, as plantas s/Si e c/Si no tratamento -Ca tiveram comportamento semelhante ao das plantas +Ca. Entretanto, as plantas -Ca e c/Si reduziram drasticamente a transpiração após os 110 dias, caracterizando uma interrupção abrupta do ciclo neste tratamento. O trabalho de SILVA (2001) não encontrou diferenças na transpiração de plantas cultivadas com e sem adição de Si, mas as avaliações foram feitas apenas em dois períodos do cultivo (entre 55 e 60 dias e entre 88 e 95 dias). A redução na transpiração provocada pelo Si já é conhecida na literatura, tendo em vista que a maior parte do Si absorvido pelas plantas (90 a 95%) é depositado na parte externa da parede celular como uma fina camada de sílica amorfa (opala biogênica, SiO<sub>2</sub>.nH<sub>2</sub>O), principalmente na epiderme das folhas (LANNING et al., 1958; DRESS et al., 1989). Esta camada de sílica, juntamente com a camada de cutícula, funcionaria como uma barreira efetiva contra a perda de água pela transpiração (MARSCHNER, 1995).

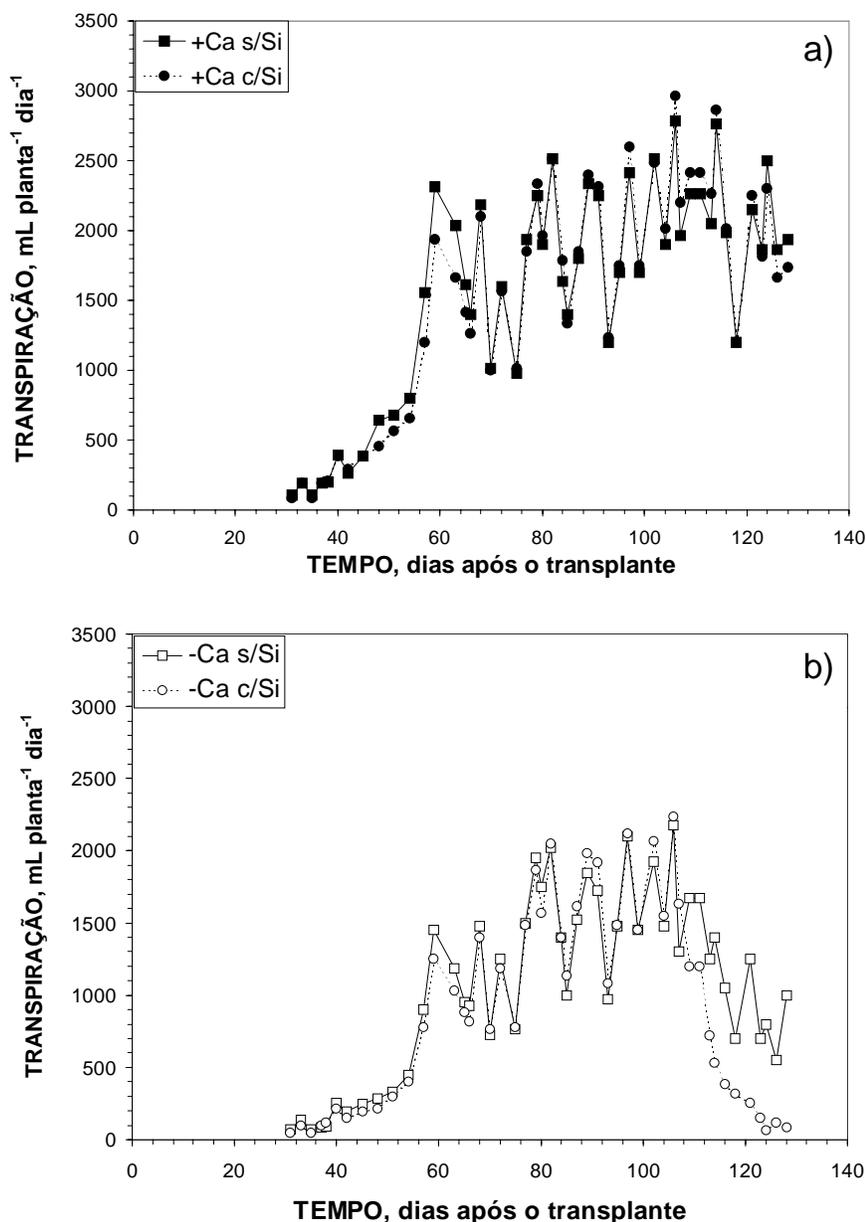


Figura 1 - Taxa de transpiração de plantas de arroz cultivadas em solução nutritiva com 60 (a) e 8 (b) mg L<sup>-1</sup> de Ca (+Ca e -Ca, respectivamente), sem e com adição de Si (s/Si e c/Si respectivamente).

Houve efeito da interação Si x Ca para os teores de Si na parte aérea das plantas de arroz, sendo que as plantas do tratamento +Ca acumularam maiores quantidades de Si do que as plantas do tratamento -Ca (Tabela 2). A hipótese de que o Si poderia ser absorvido em maior quantidade em função da menor disponibilidade de Ca e compensar o nível deficiente deste elemento na planta de arroz não se confirmou. Considerando os macro e micronutrientes, não houve efeito significativo dos níveis de Ca e da presença de Si no acúmulo de K. Para os demais nutrientes, houve efeito significativo apenas para os níveis de Ca, sendo que os teores deste elemento foram menores para as plantas do tratamento -Ca e maiores para os demais. Os menores teores de Ca estão relacionados com o próprio tratamento, onde o nível aplicado foi considerado deficiente para suprir as necessidades das

plantas. Os maiores teores para os demais nutrientes nas plantas do tratamento -Ca devem estar associados com a menor produção de matéria seca destas plantas (Tabela 1) e o efeito de diluição dos nutrientes no tecido.

#### CONCLUSÃO

A adição de Si na solução nutritiva não compensou a restrição na produção de matéria seca e no rendimento de grãos de arroz provocada pelo nível deficiente de Ca (8 mg L<sup>-1</sup>) e não influenciou a absorção de macro e micronutrientes, comparado com o nível suficiente de Ca (60 mg L<sup>-1</sup>), embora tenha reduzido a evapotranspiração das plantas em determinados períodos do cultivo.

Tabela 2 - Teores de silício e de macro e micronutrientes na parte aérea de plantas de arroz cultivadas em solução nutritiva com dois níveis de cálcio (-Ca = deficiente e +Ca = suficiente) e com (c/Si) e sem (s/Si) a adição de silício.

Nutriente	Tratamentos					
	-Ca			+Ca		
	s/Si	c/Si	média	s/Si	c/Si	média
	g kg <sup>-1</sup>					
Silício*	B 0,5 a	A 7,9 b		B 0,5 a	A 10,5 a	
Nitrogênio	19	20	19 a**	12	11	11 b
Fósforo	5,1	5,3	5,2 a	3,4	3,1	3,2 b
Potássio***	35	39		34	34	
Cálcio	1,7	1,7	1,7 b	5,4	5,3	5,3 a
Magnésio	6,0	6,7	6,2 a	4,7	4,5	4,6 b
Enxofre	3,6	4,3	3,9 a	2,3	2,4	2,3 b
	mg kg <sup>-1</sup>					
Cobre	39	42	40 a	31	32	31 b
Zinco	38	41	39 a	30	32	31 b
Ferro	300	320	310 a	235	260	247 b
Manganês	110	114	112 a	81	75	78 b
Boro	8	12	10 a	5	7	6 b

\* Efeito significativo da análise de variância para a interação CaxSi onde letras maiúsculas indicam diferença significativa dos níveis de Si dentro do nível de Ca e as letras minúsculas indicam diferença significativa dos níveis de Ca dentro do mesmo nível de Si pelo teste de Tukey a 5% de significância;

\*\* Efeito significativo da análise de variância apenas para o nível de Ca e as médias seguidas de letras minúsculas diferentes na linha indicam diferenças significativas pelo teste de Tukey a 5% de significância;

\*\*\* Análise de variância não significativa.

#### ABSTRACT

*Silicon is not considered an essential nutrient for the majority of plants but rice can benefit from it. In this species silicon is absorbed in great quantity and accumulate on the leaves in a similar way as the structural function of calcium. An experiment was conducted in the greenhouse in order to evaluate the silicon in the nutrient solution using two calcium levels (sufficient and not sufficient). Rice plants (cv. IRGA 410) were cultivated in nutrient solution. Water transpiration was measured every two days, during four months. At the end of rice cycle were evaluated the number of panicles, roots and tops dry matter, nutrient uptake, and grain yield. The additions of silicon did not reduce the effect of low level of calcium in solution, which reduced the number of panicles, dry matter (roots and tops) and grain yield. Silicon x calcium interaction affected only the silicon levels in dry matter. The lower level of calcium in solution also produced plants with the lowest levels of silicon in roots and tops.*

**Key words:** *Oryza sativa*, calcium deficiency, transpiration.

#### REFERÊNCIAS

DRESS, 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. (eds.) **Mineral in soils environments**. 2 ed. Wisconsin: Soil Science Society of American, 1989. cap. 19, p. 913-974.

FISCHER, R.G.; EIMORE, I.E.; MILAN, P.A. et al. Efeito do calcário e fontes de silício sobre a toxidez de ferro em arroz irrigado. **Lavoura Arrozeira**, Porto Alegre, v. 43, n. 390, p. 6-10, 1990.

INANAGA, S.; OKASAKA, A.; TANAKA, S. Does silicon exist in association with organic compounds in rice plant? **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, v. 41, n.1, p.111-117, 1995.

INANAGA, S.; OKASAKA, A. Calcium and silicon binding compounds in cell walls of rice shoots. **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, v. 41, n.1, p.103-110, 1995.

KORNDÖRFER, G.H.; ARANTES, V.A.; CORREA, G.F. et al. Efeito do silicato de cálcio no teor de silício no solo e na produção de grãos de arroz de sequeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 3, p. 635-641, 1999.

LANNING, F.C.; PONNAIYA, B.W.X.; CRUMPTON, C.F. The chemical nature of silica in plants. **Plant Physiology**, Lancaster, v. 33, p. 339-343, 1958.

LIMA FILHO, O.F.; LIMA, M.T.G.; TSAI, S.M. Supressão de patógenos em solos por agentes abióticos: o caso do silício. **Informações Agrônomicas**, Piracicaba, n. 87, p. 8-12, 1999. (encarte técnico)

MA, J.F.; SASAKI, M.; MATSUMOTO, H. Al-induced inhibition of root elongation in corn, *Zea mays* L. is overcome by Si addition. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 188, n. 2, p. 171-176, 1997.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition in higher plants**. 2.ed. San Diego: Academic Press, 1995. 889p.

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

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. 771-777, 2001a.

SILVA, L.S.; BOHNEN, H. Liberação de nutrientes durante a decomposição de palha de aveia preta (*Avena strigosa*) com diferentes teores de silício. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 2, p. 515-520, 2001b.

SILVA, L.S. **Dinâmica da matéria orgânica e a interação com componentes inorgânicos na planta e no solo**. 2001. 167f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A. et al. **Análises de solo, planta e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre: Departamento de Solos, Faculdade de Agronomia, UFRGS, 1995. 174p. (Boletim técnico, n.5).

YAMAUCHI, M.; WINSLOW, M.D. Effect of silica and magnesium on yield of upland rice in the humid tropics. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 113, n. 2, p. 265-269, 1989.