

# Interação entre silício e nitrogênio em arroz cultivado sob solução nutritiva<sup>1</sup>

## Silicon-nitrogen interaction in rice cultivated under nutrient solution

Fabício William Ávila<sup>2\*</sup>, Danielle Pereira Baliza<sup>3</sup>, Valdemar Faquin<sup>4</sup>, Josinaldo Lopes Araújo<sup>5</sup> e Silvio Junio Ramos<sup>2</sup>

**Resumo** - O presente estudo objetivou avaliar o efeito da interação entre silício e nitrogênio nos teores de clorofila, nitrato, amônio e nitrogênio total, na produção de biomassa e nos números de perfilhos e de panículas em arroz cultivado em solução nutritiva. Utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial 5 x 2, sendo duas concentrações de silício (0 e 50 mg L<sup>-1</sup>) e cinco as de nitrogênio (20; 50; 100; 200 e 400 mg L<sup>-1</sup>), com três repetições. No estágio de formação do colar da folha bandeira foram realizadas a leitura SPAD e as determinações dos teores de clorofila *a* e *b*, nitrogênio nítrico, amoniacal e total. No estágio de maturidade completa da panícula, foram avaliados os números de perfilhos e de panículas e determinaram-se os pesos de matéria seca de raiz e parte aérea e o acúmulo de silício na planta. Os resultados mostraram que o fornecimento de silício não alterou o perfilhamento, a produção de matéria seca e os teores de nitrogênio total. O silício elevou os valores SPAD, os teores de clorofila *a* e *b*, os teores de nitrato nas raízes e o número de panículas, especialmente em doses elevadas de nitrogênio.

**Palavras-chave** - *Oryza sativa*. Perfilhamento. Clorofila. SPAD.

**Abstract** - The present study aimed to evaluate the interaction effect between silicon and nitrogen in the content of chlorophyll, nitrate, ammonium and total nitrogen, dry matter production, number of tillers and number of panicles rice-plant cultivated in nutritional solution. A factorial design 5 x 2 trial installed in a completely randomized design was used being two silicon (0 and 50mg L<sup>-1</sup>) and five nitrogen (20; 50; 100; 200 and 400 mg L<sup>-1</sup>) concentrations. In the stadium of the flag leaf collar formation SPDA reading and the *a* and *b* chlorophyll contents, ammoniacal and total nitrogen determinations in plants were determined. During the panicle complete maturity stadium, the number of tillers and panicles were evaluated and the aerial part and root dry matter contents and silicon accumulation were determined. The outcomes show that the silicon supply did not change the tillering, the dry matter production and total nitrogen contents. The silicon increased the SPAD values, the *a* and *b* chlorophyll and the root nitrate contents, and the number of panicles, especially at high nitrogen levels.

**Key words** - *Oryza sativa*. Tillering. Chlorophyll. SPAD.

\* Autor para correspondência

<sup>1</sup>Recebido para publicação em 05/05/2009; aprovado em 22/04/2010  
Pesquisa financiada pela FAPEMIG e CNPq

<sup>2</sup>Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo/UFLA, Lavras-MG, Brasil, 37.200-000, fabriciowilliamavila@yahoo.com.br, silviojramos@gmail.com

<sup>3</sup>Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia/UFLA, Lavras-MG, Brasil, 37.200-000, danibaliza@yahoo.com.br

<sup>4</sup>Departamento de Ciência do Solo/UFLA, Lavras-MG, Brasil, 37.200-000, vafaquin@dcs.ufla.br

<sup>5</sup>Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar/UFCEG, Pombal-PB, Brasil, 58.840-000, jhosinal\_araujo@yahoo.com.br

## Introdução

O arroz (*Oryza sativa* L.) é considerado uma das culturas mais importantes para a humanidade, constituindo-se no alimento básico de quase metade da população mundial (JUNG et al., 2008). No Brasil, ocupa posição de destaque do ponto de vista social e econômico (BUZETTI et al., 2006). Atualmente há a necessidade de aumentar a produtividade dessa cultura com o objetivo de atender à crescente demanda decorrente do aumento da população mundial.

Dentre os fatores que influenciam no crescimento e produção de grãos de arroz, a nutrição nitrogenada tem recebido atenção especial. Na maior parte dos solos onde é cultivado, o nitrogênio (N) é o principal fator limitante à produtividade do arroz. Neste sentido, a adubação nitrogenada adequada tem promovido ganhos de produtividade para a cultura, porém, altas doses de nitrogênio aumentam o auto-sombreamento e a incidência de acamamento, reduzindo o número de panículas por metro quadrado, número de grãos por panícula e, conseqüentemente, a produtividade (ARF et al., 1996; HUSAIN; SHARMA, 1991). Assim, para a obtenção de respostas positivas quanto à aplicação de nitrogênio, deve-se levar em consideração práticas de manejo apropriadas que possibilitem o melhor aproveitamento do N fornecido à planta.

Há relatos na literatura de que o fornecimento de silício (Si) possibilita um melhor aproveitamento de alguns nutrientes pelas plantas (SAVANT et al., 1999). O Si é um elemento considerado útil devido à possibilidade de elevar a produtividade das culturas agrícolas através da redução da ocorrência de pragas e doenças (RODRIGUES et al., 2004; TEIXEIRA et al., 2008), aumento da resistência ao acamamento, estresse hídrico e tolerância a metais pesados (SAVANT et al., 1999). Alguns autores têm estudado o efeito do Si na orizicultura com vista ao incremento na produtividade do arroz (KORNDÖRFER et al., 1999; TOKURA et al., 2007).

Diante da necessidade de uma melhor compreensão da interação do silício com outros elementos, especialmente o N, e considerando que o arroz é uma planta acumuladora de Si (PEREIRA et al., 2007), foi testada nesse trabalho a hipótese de que a adição de Si ao meio de cultivo proporciona melhor aproveitamento do N fornecido à cultura.

O presente estudo objetivou avaliar o efeito da interação entre silício e nitrogênio nos teores de clorofila, nitrato, amônio e nitrogênio total, na produção de biomassa e nos números de perfilhos e de panículas em arroz cultivado em solução nutritiva.

## Material e métodos

O experimento foi conduzido em casa de vegetação no Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras-MG. As sementes de arroz de sequeiro (*Oryza sativa* L. "BRSMG Conai") foram germinadas em papel *germitest* em câmara de germinação. Após a germinação, as plântulas foram transferidas para bandejas de polietileno contendo 40 L de solução nutritiva a 20% de sua força iônica original para adaptação, na ausência dos tratamentos, recebendo arejamento constante. A solução nutritiva empregada foi a de Hoagland modificada (JONES JR., 1983) que, em 100% de sua força iônica, continha: 1 mmol L<sup>-1</sup> N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>; 14 mmol L<sup>-1</sup> N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>; 1 mmol L<sup>-1</sup> P; 6 mmol L<sup>-1</sup> K; 4 mmol L<sup>-1</sup> Ca; 2 mmol L<sup>-1</sup> Mg; 2 mmol L<sup>-1</sup> S; 89,29 μmol L<sup>-1</sup> Fe-EDTA; 46,30 μmol L<sup>-1</sup> B; 9,11 μmol L<sup>-1</sup> Mn; 0,76 μmol L<sup>-1</sup> Zn; 0,31 μmol L<sup>-1</sup> Cu e 0,10 μmol L<sup>-1</sup> Mo.

Quando a condutividade elétrica da solução de adaptação atingiu cerca de 30% da inicial, foram transferidas duas plântulas para vasos contendo 5 L de solução nutritiva de Hoagland modificada com 75% da força iônica, porém, na ausência de N, que teve suas doses ajustadas de acordo com os tratamentos. O volume de solução foi completado diariamente com água deionizada, sendo substituída duas vezes por semana e o pH foi ajustado diariamente em 5,7 (± 0,2) unidades, pela adição de NaOH ou HCl, 0,5 mol L<sup>-1</sup>. O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado em esquema fatorial 5 x 2, sendo duas as concentrações de silício (0 e 50 mg L<sup>-1</sup>) e cinco as de nitrogênio (20; 50; 100; 200 e 400 mg L<sup>-1</sup>), com três repetições, totalizando 30 parcelas experimentais. Como fonte de Si foi utilizado o silicato de potássio comercial (12,50% de K e 9,81% de Si) e para o fornecimento dos nutrientes, inclusive o nitrogênio nos respectivos tratamentos, foram utilizadas as seguintes fontes (reagentes p.a.): KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>; NH<sub>4</sub>H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>; KNO<sub>3</sub>; MgSO<sub>4</sub>; Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>·4H<sub>2</sub>O; K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>; (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>; NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>; CaCl<sub>2</sub>·2H<sub>2</sub>O; MnCl<sub>2</sub>·4H<sub>2</sub>O; CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O; H<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O; H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>; ZnSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O; Fe-EDTA. Essas fontes foram combinadas diferencialmente para cada tratamento, de tal modo que a proporção N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>:N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> variou entre 2 a 2,5.

No estágio de formação do colar na folha bandeira (R2) (FREITAS et al., 2006) foram realizadas medições indiretas dos teores de clorofila na folha bandeira das plantas de arroz com o clorofilômetro Minolta SPAD-502 conforme Blackmer e Schepers (1995). Em seguida, uma planta de cada repetição foi colhida para a determinação dos teores de clorofila *a* e *b* na folha bandeira, conforme Arnon (1949). Nas raízes e na parte aérea dessas plantas, foram determinados os teores de nitrogênio total (N-total) de acordo com Malavolta et al. (1997) e nitrogênio nítrico (N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) e amoniacal (N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), como descrito em Tedesco et al. (1995).

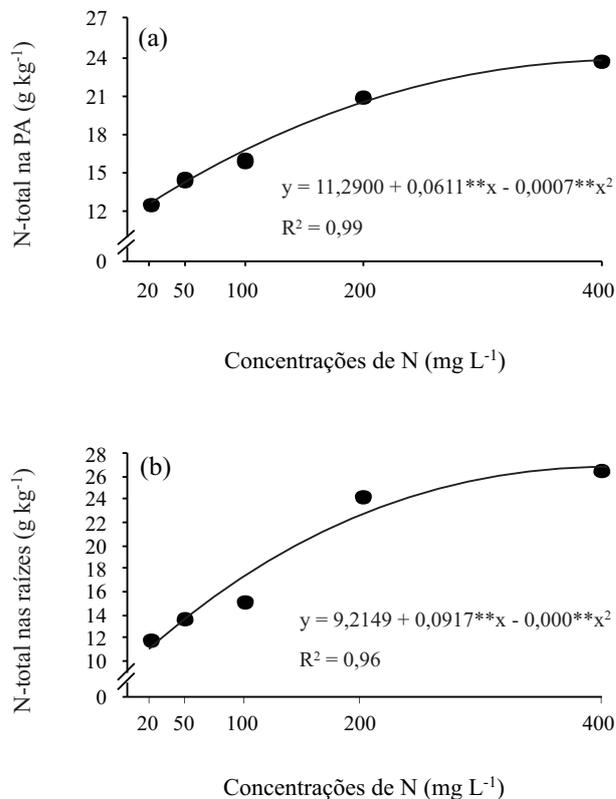
No estágio de maturidade completa da panícula (R8), as plantas restantes foram colhidas, determinando-se o número de perfilhos e de panículas. As raízes e a parte aérea das plantas foram secas em estufa a 70 °C, para a determinação da produção de matéria seca. Posteriormente, foram analisados os teores de Si nas raízes e na parte aérea, utilizando-se o método colorimétrico do azul de molibdênio conforme Botelho et al. (2005). A partir dos dados de produção de matéria seca e de concentração de Si no tecido vegetal, calculou-se o acúmulo deste elemento nas raízes e na parte aérea.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo teste de F ( $p \leq 0,05$ ) através do software SISVAR® (FERREIRA, 2000). Quando significativo, o efeito das concentrações de N sobre as variáveis foram verificados por análise de regressão polinomial. Os coeficientes dos componentes de cada modelo foram testados, escolhendo-se os modelos significativos, com maior coeficiente de determinação.

## Resultados e discussão

Os teores de N-total na parte aérea e nas raízes (Figura 1a e 1b), os teores de  $\text{NO}_3^-$  na parte aérea (Figura 2a) e os teores de  $\text{NH}_4^+$  nas raízes (Figura 2c) foram influenciados somente pelas doses de N utilizadas. A variação dos teores de N-total nas raízes e na parte aérea e de  $\text{NH}_4^+$  nas raízes, em função dos tratamentos, seguiram tendência quadrática, enquanto que os teores de  $\text{NO}_3^-$  seguiram tendência linear. Os teores de  $\text{NH}_4^+$  na parte aérea não foram influenciados pelos fatores em estudo, o que pode estar associado à rápida incorporação desse cátion aos compostos orgânicos (TABUCHI et al., 2007). Os resultados de N-total corroboram os de Mauad et al. (2003b), que também não observaram efeito do Si no teor de N em plantas de arroz quando submetidas às variações de doses de N e de Si. Já o teor de  $\text{NO}_3^-$  nas raízes (Figura 2b) foi influenciado pela interação entre Si e N. Houve elevação dos teores de  $\text{NO}_3^-$  nas raízes quando o silício foi adicionado à solução nutritiva, contrariando os resultados de Mauad et al. (2003b), os quais foram justificados por uma provável inibição competitiva entre os ânions  $\text{H}_3\text{SiO}_4^-$  e  $\text{NO}_3^-$  pelos sítios de absorção da planta. Contudo, esses autores trabalharam em solo, o que pode distinguir a disponibilidade dos nutrientes entre os dois meios de cultivo. Em adição, trabalhos recentes têm mostrado que as plantas de arroz, através da expressão de genes específicos, possuem proteínas de membranas específicas no processo de absorção de Si (MA et al., 2006). No arroz, a folha é o principal órgão de redução assimilatória de  $\text{NO}_3^-$ , o que explica, em parte, os resultados obtidos para os teores

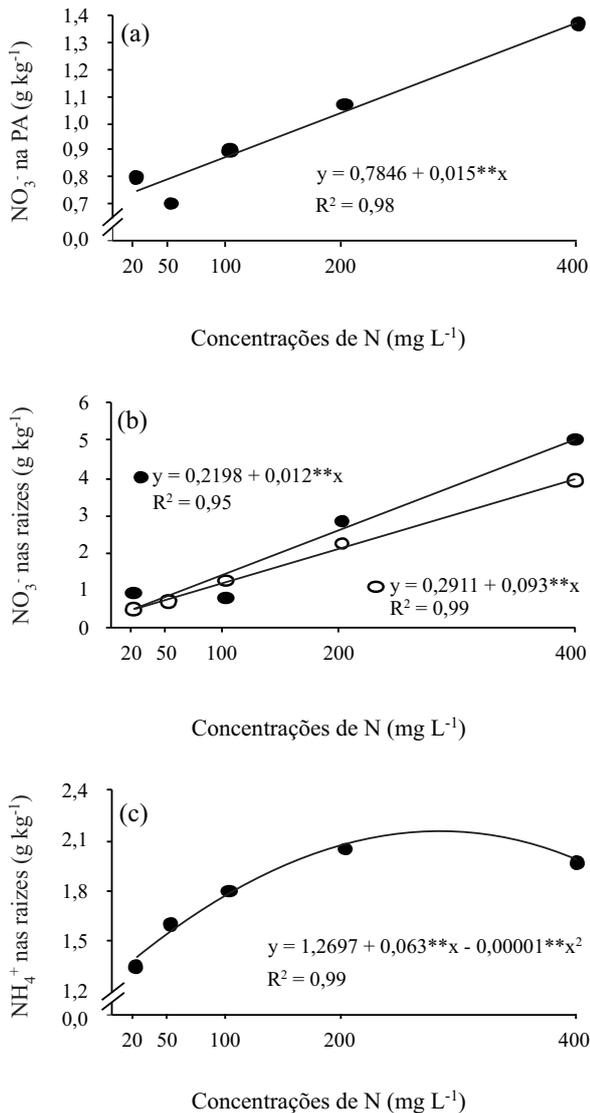
de  $\text{NO}_3^-$  em relação ao fornecimento de Si, que foram significativos somente nas raízes.



**Figura 1** - Teores de nitrogênio total (N-total) na parte aérea (a) e nas raízes (b), em função das concentrações de N fornecidas na solução de cultivo. \*\*Significativo a 1% de probabilidade

Embora os teores de N-total não tenham sido alterados pela adição de Si ao meio de cultivo, os teores de clorofila *a* e *b* e os valores da leitura SPAD (medição indireta do teor de clorofila) foram alterados pela interação entre N e Si, ajustando-se ao modelo de regressão quadrática (Figuras 3a, 3b e 3c). Os maiores valores para essas variáveis foram obtidos com a aplicação de Si na solução de cultivo.

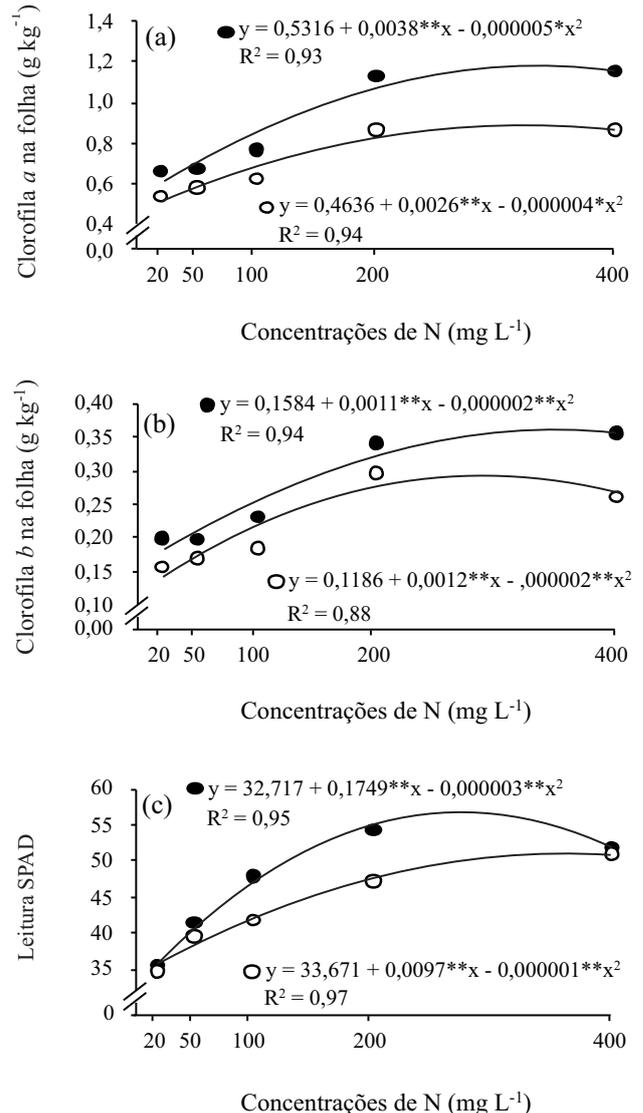
O aumento do teor de clorofila pelo fornecimento de Si às plantas foi observado por Al-aghabary et al. (2005) em tomateiro. Possivelmente, este comportamento esteja associado ao fato de o Si ser acumulado nas células epidérmicas da parte aérea, melhorando o ângulo de abertura das folhas tornando-as mais eretas, diminuindo o auto-sombreamento e favorecendo a um melhor aproveitamento da luz (KORNDÖRFER et al., 1999). O incremento na eficiência fotossintética pode também estar relacionado com a maior absorção de  $\text{NO}_3^-$ , já que o processo exige um gasto de dois moles de ATP para cada mol de  $\text{NO}_3^-$  absorvido. O aspecto associado à arquitetura das plantas em relação ao Si pôde ser observado visualmente durante a



**Figura 2** - Teores de nitrito ( $\text{NO}_3^-$ ) na parte aérea (a) e nas raízes (b) e teores de amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) nas raízes (c), em função das concentrações de N fornecidas na solução de cultivo.  $\circ$  e  $\bullet$ , respectivamente, 0 e 50  $\text{mg L}^{-1}$  de Si. \*\*Significativo a 1% de probabilidade

condução do experimento, especialmente nos tratamentos que receberam as maiores doses de N, onde as plantas que receberam Si apresentaram folhas mais eretas.

Do ponto de vista nutricional, os estudos relacionados com a interação entre o N e o Si ainda são restritos. Entretanto, é conhecido que 50% a 70% do N-total das folhas são integrantes de enzimas que estão associadas aos cloroplastos. Dessa forma, os teores de clorofila estão diretamente relacionados com o teor de N nas plantas (ARGENTA et al., 2001). Uma das vantagens de se utilizar o teor de clorofila na avaliação do nível de N é que este parâmetro não é influenciado pelo consumo de luxo de N,

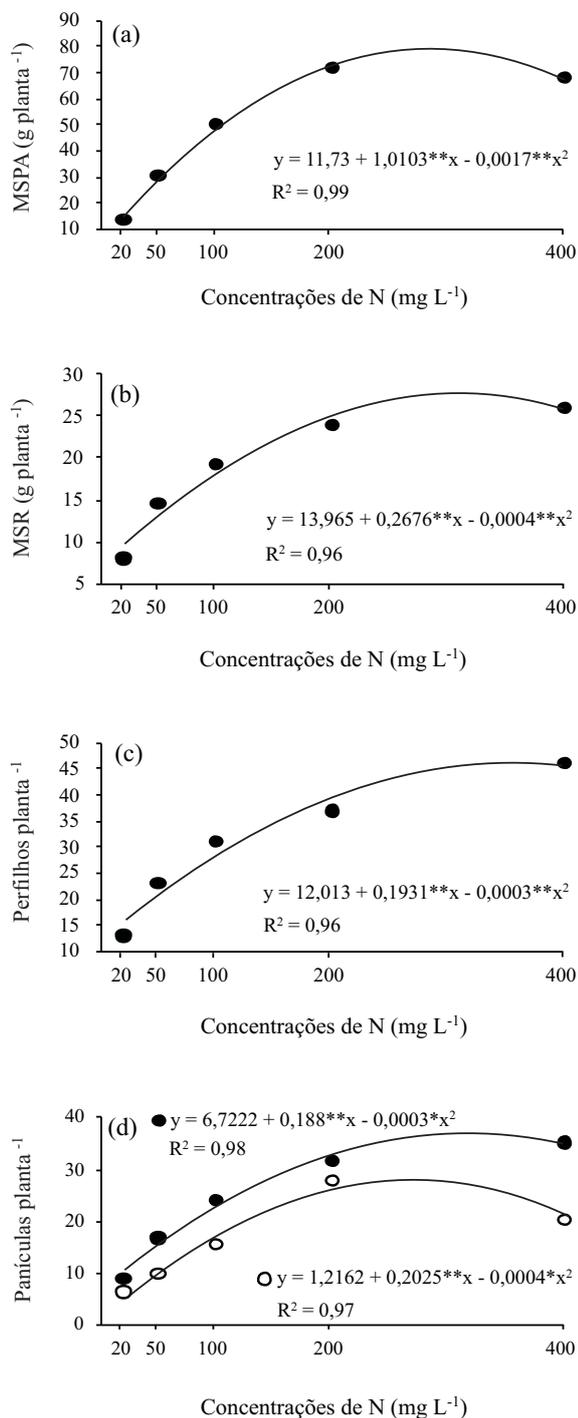


**Figura 3** - Teores de clorofila *a* (a) e clorofila *b* (b) na folha e leitura SPAD (c), em função das concentrações de N fornecidas na solução de cultivo.  $\circ$  e  $\bullet$ , respectivamente, 0 e 50  $\text{mg L}^{-1}$  de Si. \* e \*\*Significativo, respectivamente, a 5 e a 1% de probabilidade

na forma de  $\text{N-NO}_3^-$  (BLACKMER; SCHEPERS, 1995). O nitrito acumulado no vacúolo das células também é incluído na estimativa do N-total resultando em concentração superior àquela considerada adequada. O comportamento da leitura SPAD em função dos tratamentos foi parecido com os dos teores de clorofila *a* e *b* nas folhas, exceto na dose 400  $\text{mg L}^{-1}$  de N, onde essa variável não expressou a tendência real dos teores de clorofila, comprovando a ineficácia do clorofilômetro em estimar o teor de N na planta, quando este se encontra em excesso.

A produção da matéria seca das raízes e parte aérea e o número de perfilhos e de panículas apresentaram um

ajuste quadrático em função das concentrações de N na solução nutritiva (Figuras 4a, 4b, 4c e 4d).



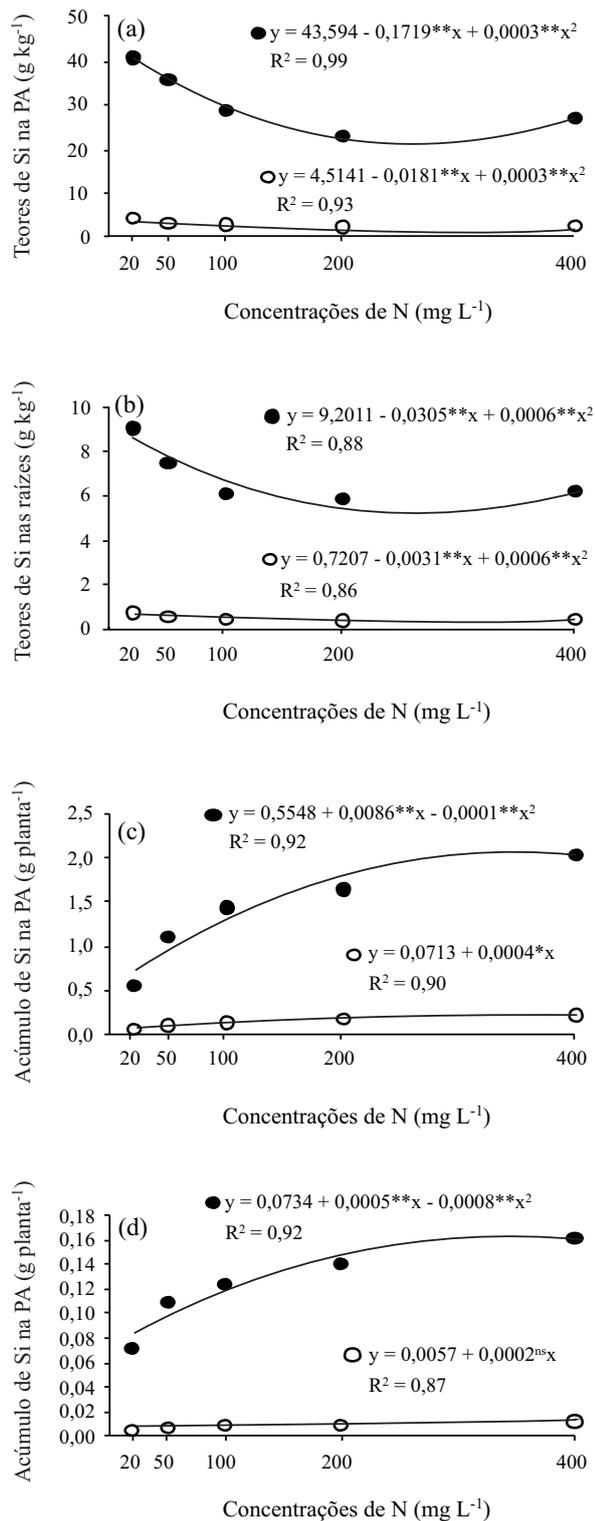
**Figura 4** - Teores de matéria seca na parte aérea (MSPA) (a) e raízes (MSR) (b) e números de perfilhos (c) e de panículas (d) por planta, em função das concentrações de N fornecidas na solução de cultivo. ○ e ●, respectivamente, 0 e 50 mg L<sup>-1</sup> de Si. \* e \*\*Significativo, respectivamente, a 5 e a 1% de probabilidade

O incremento dessas variáveis com o aumento das concentrações de N na solução nutritiva é devido à participação desse nutriente na produção de tecido vegetal (MAUAD et al., 2003b). Porém, o Si aplicado não exerceu influência sobre a produção de matéria seca e no perfilhamento do arroz. Estes resultados estão de acordo com os encontrados por Mauad et al. (2003b) e Buzetti et al. (2006). Entretanto, o número de panículas por planta foi superior quando o silício foi adicionado à solução nutritiva. Resultados de pesquisas que avaliaram a interação do Si com o número de panículas têm-se mostrado divergentes; há relatos de incremento (TAKAHASKI, 1995) e de ausência de resposta (MAUAD et al., 2003a). O nitrogênio e grande parte dos fotoassimilados das panículas são oriundos da remobilização do nutriente presente nos órgãos vegetativos, visto que a produção fotossintética após a floração é insuficiente para atender essa demanda. Infere-se que a maior eficiência fotossintética promovida pelo Si promoveu aumento no número de panículas, que é um dos componentes de produtividade da cultura (ANDRADE; AMORIM NETO, 1996).

Os teores e o acúmulo de Si nas raízes e na parte aérea foram influenciados pelas concentrações de N e Si, ocorrendo interação entre esses fatores (Figuras 5a, 5b, 5c e 5d).

Osteores e o acúmulo de Si nas raízes e na parte aérea, nos tratamentos com Si, seguiram tendência quadrática em função das doses de N. Já o acúmulo de Si na parte aérea no tratamento sem Si seguiu tendência linear decrescente e nas raízes, na ausência de Si, não foi significativo em função das doses de N aplicadas. A relação negativa entre os teores de Si e as concentrações de N ocorreu devido ao efeito de diluição. O incremento da produção de matéria seca em virtude do aumento das doses de N na solução nutritiva não foi acompanhado de uma absorção de Si na mesma proporção, ocorrendo diminuição do teor desse elemento na planta. As mesmas considerações foram feitas por Mauad et al. (2003b) que também observaram a mesma relação entre concentrações de N e teores de Si em plantas de arroz. Entretanto, o acúmulo de Si nas plantas de arroz foi maior nas concentrações mais elevadas de N, inferindo-se que o efeito desse nutriente na produção de biomassa vegetal relaciona-se positivamente com o acúmulo de Si na planta.

O Si identificado nos tratamentos que não receberam silicato de potássio, provavelmente, foi originário da água utilizada na condução dos experimentos, que, embora fosse deionizada, algumas formas neutras de Si presentes não podem ser totalmente eliminadas. No entanto, ressalta-se que esse Si absorvido foi em quantidades irrelevantes quando comparado aos tratamentos que receberam silicato de potássio.



**Figura 5** - Teores de silício (Si) na parte aérea (a) e nas raízes (b) e acúmulo de Si na parte aérea (c) e nas raízes (d), em função das concentrações de N fornecidas na solução de cultivo. ○ e ●, respectivamente, 0 e 50 mg L<sup>-1</sup> de Si. <sup>ns</sup>Não significativo a 5% de probabilidade. \* e \*\*Significativo, respectivamente, a 5 e a 1% de probabilidade

Analisando-se os dados do teor de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> nas raízes (Figura 2b), teores de clorofila *a* e *b* (Figuras 3a e 3b) e de número de panículas (Figura 4d), observa-se que o efeito do Si sobre essas variáveis foi mais pronunciado nas altas concentrações de N na solução. Este fato é um indicativo de que a adubação suplementar com Si, especialmente nos cultivos que estão sujeitos às altas doses de N, pode levar a uma maximização do potencial produtivo na orizicultura, contudo são necessários mais trabalhos para sustentar tal generalização.

## Conclusão

O fornecimento de Si pouco influencia na produção de matéria seca do arroz, no entanto, eleva positivamente o teor de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> na raiz, a síntese de clorofila na folha e o número de panículas por planta, especialmente em doses elevadas de nitrogênio.

## Agradecimentos

Os autores agradecem à FAPEMIG e ao CNPq pelo auxílio financeiro na condução dos experimentos.

## Referências

- AL-AGHABARY, K.; ZHUJUN, Z.; QINHUA, S. Influence of silicon supply on chlorophyll content, chlorophyll fluorescence, and antioxidative enzyme activities in tomato plants under salt stress. *Journal of Plant Nutrition*, v. 27, n. 12, p. 2101-2115, 2005.
- ANDRADE, W. E. de B.; AMORIM NETTO, S. Influência da adubação nitrogenada sobre o rendimento e outros parâmetros de duas cultivares de arroz irrigado na região norte fluminense. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 20, n. 03, p. 293-300, 1996.
- ARF, O. *et al.* Comportamento de cultivares de arroz para condição de sequeiro irrigados por aspersão em diferentes doses de adubação nitrogenada em cobertura. *Científica*, v. 24, n. 01, p. 85-97, 1996.
- ARGENTA, G.; SILVA, P. R. F. da; BORTOLINI, C. G. Clorofila na folha como indicador do nível de nitrogênio em cereais. *Ciência Rural*, v. 31, n. 04, p. 715-722, 2001.
- ARNON, D. I. Copper enzymes in isolated chloroplasts: polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology*, v. 24, n. 01, p. 1-15, 1949.
- BLACKMER, T. M.; SCHEPERS, J. S. Techniques for monitoring crop nitrogen status in corn. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v. 25, n. 09/10, p. 1791-1800, 1995.
- BOTELHO, D. M. S. *et al.* Intensidade da cercosporiose em mudas de cafeeiro em função de fontes e doses de silício. *Fitopatologia Brasileira*, v. 30, n. 06, p. 582-588, 2005.

- BUZETTI, S.; *et al.* Resposta de cultivares de arroz a doses de nitrogênio e do regulador de crescimento cloreto de cloromequat. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 12, p. 1731-1737, 2006.
- FERREIRA, D. F. Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows 4.0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45, 2000, São Carlos, **Anais...** São Carlos: UFSCar, 2000. p. 255-258.
- FREITAS, T. F. S.; *et al.* Validação de escala de desenvolvimento para cultivares brasileiras de arroz irrigado. **Ciência Rural**, v. 36, n. 02, p. 404-410, 2006.
- HUSAIN, S. M.; SHARMA, U. C. Response of rice to nitrogen fertilizer in acidic soil of Nagaland. **Indian Journal of Agricultural Sciences**, v. 61, p. 662-664, 1991.
- JONES JUNIOR., J. B. **A Guide for the hydroponic & soilless culture grower**. Portland, Timber Press, 1983. 123 p.
- JUNG, K.; AN, G.; RONALD, P. C. Towards a better bowl of rice: assigning function to tens of thousands of rice genes. **Nature Reviews Genetics**, v. 09, p. 91-101, 2008.
- KORNDÖRFER, G. H. *et al.* Avaliação de métodos de extração de silício para solos cultivados com arroz de sequeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 101-106, 1999.
- MA, J. F.; *et al.* A silicon transporter in rice. **Nature**, v. 440, p. 688-691, mar. 2006.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Potafos, 1997. 319 p.
- MAUAD, M.; *et al.* Nitrogen and silicon fertilization of upland rice. **Scientia Agrícola**, v. 60, n. 06, p. 761-765, 2003a.
- MAUAD, M.; *et al.* 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**, v. 27, n. 05, p. 867-873, 2003b.
- PEREIRA, H. S.; *et al.* Avaliação de fontes e de extratores de silício no solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 02, p. 239-247, fev. 2007.
- RODRIGUES, F. A.; *et al.* Silicon enhances the accumulation of dipterenoid phytoalexins in rice: a potential mechanism for blast resistance. **Phytopathology**, v. 94, n. 02, p. 177-183, 2004.
- SAVANT, N. K.; *et al.* Effects of silicon nutrition on metabolism and translocation of nutrients in rice plants. **Journal of Plant Nutrition**, v. 12, n. 22, p.1853-1903, 1999.
- TABUCHI, M.; ABIKO, T.; YAMAYA, T. Assimilation of ammonium ions and reutilization of nitrogen in rice (*Oryza sativa* L.). **Journal of Experimental Botany**, v. 58, n. 09, p. 2319-2327, 2007.
- TAKAHASHI, E. Uptake mode and physiological functions of silica. In: MATUSUO, T.; KUMAZAWA, K.; ISHII, R.; (Ed.). **Science of rice plant physiology**. Tokio: Nobunkyo, 1995. p. 420-433. 2 v.
- TEDESCO, M. J.; *et al.* **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre:UFRGS, 1995. 174 p. (Boletim técnico, 5).
- TEIXEIRA, I. R.; *et al.* SILVA, R. P.; SILVA, A. G.; Korndörfer, P. H. Fontes de silício em cultivares de feijão nas safras das águas e da seca. **Revista Ciência Agronômica**, v. 39, n. 04, p. 562-568, 2008.
- TOKURA, A. M.; *et al.* Silício e fósforo em diferentes solos cultivados com arroz de sequeiro. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 29, n. 01, p. 09-16, 2007.