

COMPOSTOS NITROGENADOS, PROTEÍNAS E AMINOÁCIDOS EM MILHO SOB DIFERENTES NÍVEIS DE SILÍCIO E DEFICIÊNCIA HÍDRICA

LUMA CASTRO DE SOUZA¹, JACKELINE ARAÚJO MOTA SIQUEIRA², JONNY LUCIO DE SOUSA SILVA¹, JAOMARA NASCIMENTO DA SILVA¹, CARLA CAROLYNNE RESUENO COELHO¹, MYRIAM GALVÃO NEVES¹, CÂNDIDO FERREIRA DE OLIVEIRA NETO¹ e ALLAN KLYNGER DA SILVA LOBATO¹

¹Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, PA, Brasil, lumasouza30@hotmail.com, jonnylucios.silva@hotmail.com, karlynha-000@hotmail.com, ns_jaomara@hotmail.com, agronomyriam@hotmail.com, candido.neto@ufra.edu.br, allan.lobato@ufra.edu.br

²Universidade Estadual Norte Fluminense, Darcy Ribeiro, RJ, Brasil, jackelinearaujo86@hotmail.com

Revista Brasileira de Milho e Sorgo, v.13, n.2, p. 117-128, 2014

RESUMO - O milho (*Zea mays* L.) faz parte da família Poaceae e é uma das plantas que apresenta grande importância para o Brasil, sendo produzido em várias regiões do país. O uso de silício (Si) na agricultura vem ganhando destaque no combate a diversos fatores abióticos, dentre eles a deficiência hídrica. O objetivo deste trabalho foi estudar o comportamento de compostos nitrogenados, proteínas e aminoácidos solúveis totais em plantas de milho sob diferentes níveis de Si e deficiência hídrica. O experimento foi conduzido em casa de vegetação da Universidade Federal Rural da Amazônia - Capitão Poço, utilizando-se plantas de milho (*Zea mays* L.) variedade PZ 242, provenientes da safra 2010. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado (DIC) com sete repetições, sendo os tratamentos constituídos de controle (sem déficit hídrico), déficit hídrico sem aplicação de Si e déficit hídrico com quatro diferentes doses de Si na forma de metassilicato de sódio (0,5; 1,0; 1,5 e 2,0 mm Si). A deficiência hídrica promoveu alterações no conteúdo relativo de água e em todos os processos bioquímicos avaliados, tais como a atividade da redutase do nitrato e concentrações de proteínas, aminoácidos, amônio livre e nitrato. No entanto, o Si apresentou resultados satisfatórios em amenizar os efeitos negativos da deficiência hídrica sobre as plantas de milho, principalmente nas doses de 0,5 e 1,0 mm Si.

Palavras-chave: *Zea mays* L.; estresse; fatores abióticos.

NITROGEN COMPOUNDS, PROTEINS AND AMINO ACIDS IN MAIZE UNDER DIFFERENT LEVELS OF SILICON AND WATER DEFICIT

ABSTRACT - Maize (*Zea mays* L.), from family Poaceae is one of the most important plants in Brazil, being produced in various regions of the country. The use of Silicon (Si) in the agriculture has been shown to be effective against various abiotic factors such as water deficit. The objective of this work was to study the behavior of nitrogen compounds, proteins and total soluble amino acids in maize plants under different levels of Si and water stress. The experiment was conducted in a greenhouse at the Federal Rural University of Amazonia - Captão Poço, using the PZ 242 maize variety, from the 2010 crop season. A completely randomized design (CRD) in a 2 x 4 factorial scheme was used, with seven replications. Treatments were control (without water deficit), water deficit without Si supply, and water deficit with four doses of Si supplied as sodium metasilicate (0.5, 1.0, 1.5 and 2.0 mm Si). Water stress caused alterations in relative water content and biochemical processes in all studied biochemical processes, such as nitrate reductase activity, and concentration of proteins, amino acids, free ammonium and nitrate. However, satisfactory results were observed when Si was applied in plants exposed to water deficit, particularly at concentrations of 0.5 and 1.0 mm.

Key words: *Zea mays*; nitrogen fertilization; urea; sulfur source.

Recentemente, existe necessidade de buscar técnicas para melhorar o setor produtivo, pois a agricultura no país vem enfrentando diversos problemas devido a fatores bióticos e abióticos, principalmente em regiões que apresentam período prolongado de seca. Essas técnicas precisam estar voltadas para aperfeiçoar o setor produtivo e melhorias na qualidade do produto final, com preços acessíveis para que o consumidor possa garantir o sustento da família. Esse avanço no setor agrícola é essencial na busca da sustentabilidade dos sistemas de produção.

O uso do silício (Si) na agricultura vem ganhando destaque no combate a diversos fatores abióticos, dentre eles a deficiência hídrica. Assim, a obtenção de informações sobre a utilização do Si na nutrição de plantas tem mostrado grande importância e vem trazendo vários benefícios, tais como: proporciona maior resistência das plantas ao ataque de pragas, doenças e nematóides, além de reduzir os efeitos do estresse hídrico em épocas de escassez de água (Marafon & Endres, 2011). Além disso, reduz o efeito tóxico de alguns metais considerados potencialmente nocivos para as plantas (Epstein, 1994) e reduz o estresse salino (Savant et al., 1999).

Para Epstein (1994), pesquisas têm mostrado que o Si pode melhorar tanto o crescimento, quanto a produção das plantas, através da proteção contra estresse hídrico e salino, amenização da toxicidade devido à absorção excessiva de alguns elementos químicos e, também, proteção contra os estresses bióticos como, por exemplo, a incidência de praga. Além do mais, o Si se acumula nas lâminas foliares, formando dupla camada de sílica-celulose, aumentando a resistência à penetração das hifas de fungos, reduz a permeabilidade ao vapor de água, o que acaba limitando a perda de água através da cutícula (Yoshida et al., 1962; Raven, 2003).

O Si pode favorecer o crescimento e a produção vegetal de forma indireta, causando aumento no teor de clorofila nos tecidos foliares, alterando a arquitetura das plantas, tornando-as mais eretas e evitando o autossombreamento excessivo, atrasando a senescência, aumentando a rigidez estrutural dos tecidos e protegendo as plantas da deficiência hídrica (Ma & Yamaji, 2008). Assim, pode-se presumir que plantas de milho nutridas com Si tendem a ficar mais resistentes à baixa disponibilidade hídrica quando submetidas a períodos de seca. Segundo Gunes et al. (2008), o silício pode exercer alguma função em atividades ligadas ao metabolismo ou à fisiologia das plantas sob estresse salino e estresse hídrico. Segundo Schmidt et al. (1999), a aplicação de Si em gramíneas aumentou os níveis de enzimas antioxidantes, elevando também a capacidade fotossintética e o teor de clorofila em cultivo de grama sob baixa disponibilidade hídrica. Além disso, observou-se que a maior concentração dessas enzimas em plantas tratadas com Si parece auxiliar na tolerância ao estresse hídrico. No entanto, existem poucos estudos sobre os efeitos do Si no crescimento das plantas. A maior parte das publicações refere-se aos aspectos nutricionais e ao papel benéfico desse elemento químico na resistência a estresse abiótico, com eventual avaliação da produtividade final do cultivo (Pozza et al., 2009).

O milho (*Zea mays* L.) faz parte da família Poaceae e apresenta grande importância para o Brasil, sendo cultivado em várias regiões do país. Essa cultura apresenta importância econômica caracterizada pelas várias formas de uso tanto na alimentação humana como na animal. Além disso, essa cultura tem grande importância socioeconômica e sua produtividade depende demasiadamente da condição hídrica durante o seu desenvolvimento, principalmente no período de pendoamento-espigamento (Bergamaschi

et al., 2004). O estresse causado pela limitação hídrica (seca) é um dos problemas mais prejudiciais à agricultura. A capacidade das plantas de resistir a esse estresse é de grande importância para o desenvolvimento do agronegócio de qualquer país (Shao et al., 2008). Pesquisas sobre a tolerância à seca envolvendo a cultura do milho podem trazer melhores resultados no crescimento e no rendimento do milho em regiões com baixa disponibilidade hídrica (Li et al., 2009), pois o milho é conhecido por ser altamente sensível a este estresse (Welcker et al., 2007).

O objetivo deste trabalho foi estudar o comportamento de compostos nitrogenados, proteínas e aminoácidos solúveis totais em plantas de milho sob diferentes níveis de Si e deficiência hídrica.

Material e Métodos

O experimento foi realizado em casa de vegetação da Universidade Federal Rural da Amazônia (Ufra - Capitão Poço), utilizando-se plantas de milho (*Zea mays* L.) variedade PZ 242 fornecido pelo comércio regional provenientes da safra 2010. Os vasos foram dispostos no espaçamento de 0,60 m entrelinhas e 0,40 m entre as plantas, em distribuição ao acaso. Cultivaram-se as plantas de milho em vasos Leonard modificadas, contendo substrato de areia: vermiculita (2:1) e irrigados com solução nutritiva de Hoagland & Arnon (1938).

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado (DIC), com sete repetições, sendo os tratamentos constituídos de controle (sem déficit hídrico), déficit hídrico sem aplicação de Si e déficit hídrico com quatro diferentes doses de Si na forma de metassilicato de sódio (0,5;1,0;1,5 e 2,0 mM Si), no qual cada unidade experimental foi composta de duas plantas vaso⁻¹. Os tratamentos de Si foram aplicados

após a emergência das plântulas (3-4 dias). As plantas foram submetidas à deficiência hídrica a partir do 25º dia após a germinação. A deficiência hídrica foi mantida por um período de sete dias, sendo que as plantas de milho não receberam solução nutritiva nesse período.

Realizaram-se coletas destrutivas das plantas no estágio vegetativo (30 dias após a germinação), pela manhã, quando as plantas foram separadas em raiz, colmo e folhas. Em seguida, as partes foram pesadas separadamente para a determinação da massa fresca. Amostras de cada parte foram reservadas para a determinação da porcentagem de umidade através da determinação da massa seca em estufa de circulação forçada de ar a 70 °C (+/- 5 °C).

Analizou-se nas folhas o conteúdo relativo de água, o qual foi obtido utilizando o método descrito por Slavick (1979), sendo retirados 30 discos foliares (10 mm de diâmetro) de cada planta, ao acaso, e determinando imediatamente a massa dos mesmos (MF1) em balança analítica. Os discos pesados foram transferidos para uma placa de petri, contendo 35 ml de água destilada, que permaneceu sobre a bancada (25 °C) por um período de 6-7 h. Após o prazo, os discos foram colocados em papel de filtro para retirar o excesso de água (1 min) e, em seguida, foram pesados para determinação da massa túrgida (MF2). Posteriormente, os discos foram armazenados em saco de papel e colocados em estufa (75 °C) por 48 h para posterior determinação da massa seca dos discos (MS).

A atividade da redutase do nitrato foi obtida utilizando o método descrito por Hageman & Hucklesb (1971). Com o auxílio de um furador de rolas, foram retirados discos foliares (0,5 cm² de diâmetro) e, em seguida, foram pesados aproximadamente 200 mg dos discos foliares. Para obtenção

do extrato, os discos foliares foram transferidos para tubos de ensaio para serem submetidos a vácuo, contendo 5,0 ml do tampão fosfato (meio de reação) por 2 min. Em seguida, os tubos de ensaio foram colocados em “banho-maria” a 300 °C por 30 min e ao abrigo da luz (escuro).

Para obtenção das proteínas solúveis totais, foi utilizado o método descrito por Bradford (1976). Utilizando-se tubos de ensaio de 15 ml, foram adicionados 100 mg MS liofilizada / 5,0 ml do tampão de extração (Tris-HCl 25 mM pH 7,6) e, em seguida, foram agitados durante 2 h no shacker (com os tubos devidamente lacrados) para obtenção do extrato. Os aminoácidos solúveis totais foram obtidos utilizando o método de Peoples et al. (1989), quando foram transferidos 50 mg MS liofilizada para tubos de ensaio de 15 ml, adicionando-se 5 ml de água destilada. Em seguida, os tubos foram colocados em banho-maria por 30 min a 100 °C para obtenção do extrato total. O amônio livre foi obtido utilizando-se o método segundo Weatherburn (1967). Amostra de 50 mg de massa seca (MS) das raízes e folhas em pó foi pesada e colocada em tubos de ensaio de 15 ml, adicionando-se 5 mL de água destilada, sendo levada ao “banho-maria” por 30 min a 100 °C, para obtenção do extrato total. A concentração de nitrato foi obtida pelo método descrito por Cataldo et al. (1975), no qual amostras de 50 mg de folhas e raízes previamente liofilizadas foram adicionadas em tubos de ensaio contendo 5,0 ml de água destilada e estes incubados em “banho-maria” por 30 minutos a 100 °C. Em seguida, foi centrifugada a 3.000 rpm por 10 min para obtenção do extrato total.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Além disso, foram calculados os desvios padrão para

cada tratamento, sendo as análises estatísticas realizadas com o software SAS-Institute (1996) e embasadas nas teorias estatísticas preconizadas (Gomes & Garcia, 2000).

Resultados e Discussão

O déficit hídrico afetou significativamente o conteúdo relativo de água nas folhas de milho (*Zea mays* L.). Houve diferença significativa entre o controle e as plantas submetidas ao déficit hídrico (Figura 1). A deficiência hídrica reduziu o conteúdo relativo de água em todas as plantas submetidas ao estresse hídrico. Entretanto, a aplicação de Si amenizou os efeitos maléficos da deficiência hídrica sobre o conteúdo relativo de água, quando comparada com plantas cultivadas sob deficiência hídrica e sem aplicação de Si (tratamento estresse + S/Si). Os valores encontrados nos tratamentos sem estresse hídrico (controle); com estresse (S/Si); estresse (0,5 mm Si); estresse (1,0 mm Si); estresse (1,5 mm Si) e estresse (2,0 mm Si) foram respectivamente 89%, 54%, 72%, 70%, 74% e 68%. Os depósitos de sílica nos tecidos foliares promoveram a redução na taxa de transpiração. Para Faria (2000), em locais com deficiência hídrica, a acumulação de Si nos órgãos de transpiração promove a formação de uma dupla camada de sílica cuticular e, com o aumento da espessura, causa uma redução do processo de transpiração, diminuindo, com isso, a abertura dos estômatos e restringindo a perda de água pelas plantas. Assim, neste trabalho esperava-se que, nas maiores doses de Si, o conteúdo relativo de água nas folhas fosse maior que nas menores doses desse elemento, fato que não foi observado.

A Figura 2 apresenta os valores de atividade da redutase do nitrato nas raízes e nas folhas

do milho. Os valores de atividade dessa enzima nas raízes foram 0,83; 0,02; 0,49; 0,47; 0,21 e 0,20 $\mu\text{moles NO}_2^- \text{ g}^{-1} \text{ MF h}^{-1}$ nas plantas controle, estresse S/Si, estresse (0,5 mm Si), estresse (1,0 mm Si), estresse (1,5 mm Si) e estresse (2,0 mm Si), respectivamente. Nas folhas, os valores de atividade foram 1,68; 0,02; 0,92; 0,82; 0,42 e 0,21 $\mu\text{moles NO}_2^- \text{ g}^{-1} \text{ MF h}^{-1}$ nas plantas controle, estresse S/Si, estresse (0,5 mm Si), estresse (1,0 mm Si), estresse (1,5 mm Si) e estresse (2,0 mm Si), respectivamente. Observa-se, na Figura 2, que todas as plantas submetidas ao estresse hídrico tiveram reduções drásticas na atividade da redutase do nitrato quando comparadas ao tratamento controle (sem estresse hídrico). Contudo, comparando o tratamento de estresse hídrico sem aplicação de Si (S/Si) com os

tratamentos com estresse hídrico + Si, verificou-se que a aplicação desse elemento amenizou o efeito negativo da deficiência de água sobre a atividade da redutase do nitrato, tanto nas raízes quanto nas folhas. Em adição, em termos de atividade da redutase do nitrato, plantas com estresse hídrico submetidas às menores doses de Si apresentaram melhores resultados que as plantas com estresse submetidas a maiores doses. Assim, em geral, a atividade da redutase do nitrato foi diretamente afetada pelo estresse hídrico. Segundo Sharner & Boyer (1976), o estresse hídrico reduz a atividade dessa enzima por diminuir o fluxo de água pela corrente transpiratória e, com isso, também o fluxo de nitrato para as folhas. A atividade da redutase do nitrato é altamente dependente de seu substrato.

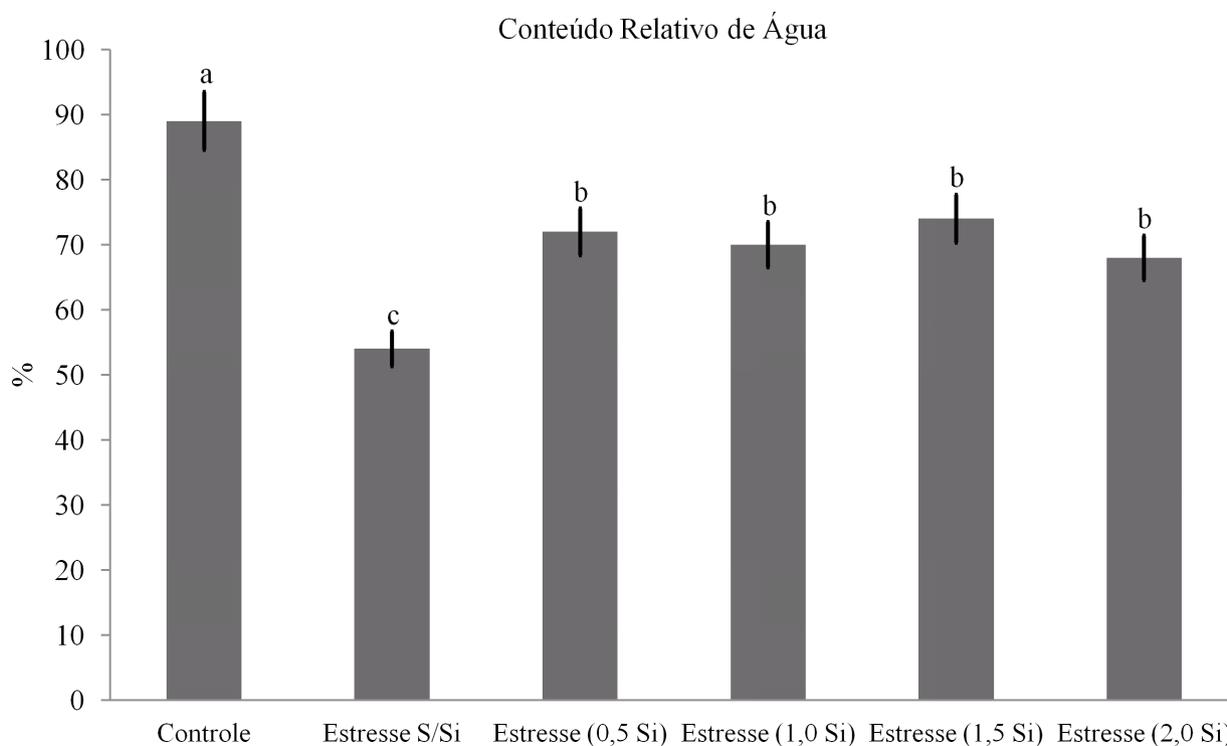


FIGURA 1. Conteúdo relativo de água em folhas de milho (*Zea mays* L.) submetido por sete dias de deficiência hídrica e diferentes concentrações de Si. Letras minúsculas iguais não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade, através do teste de Tukey. As barras representam o desvio padrão da média.

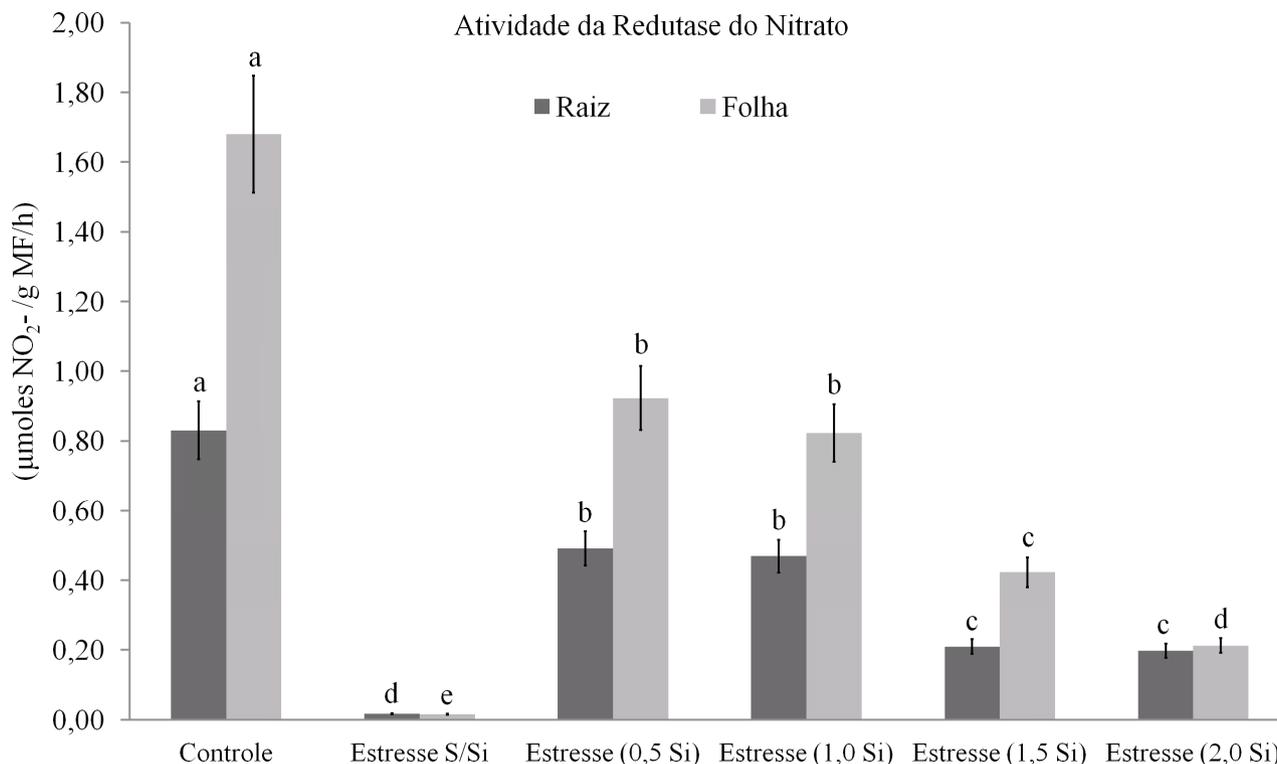


FIGURA 2. Atividade da redutase do nitrato nas raízes e nas folhas de milho (*Zea mays* L.) submetido a sete dias de deficiência hídrica e diferentes concentrações de Si. Letras minúsculas iguais não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade, através do teste de Tukey. As barras representam o desvio padrão da média.

A interação entre nitrogênio e a condição hídrica do solo é importante porque esse nutriente frequentemente limita o crescimento das plantas cultivadas em ambientes de baixa pluviosidade. A redução da atividade da redutase do nitrato diminui a formação de aminoácidos, proteínas e clorofilas, prejudicando, assim, o crescimento e o desenvolvimento da planta.

As concentrações de proteínas solúveis totais nas raízes e nas folhas das plantas de milho reduziram significativamente quando as plantas foram submetidas a deficiência hídrica em comparação ao controle (Figura 3). As concentrações de proteínas solúveis totais nas raízes foram 1,62; 0,19; 0,72; 0,74; 0,24 e 0,28 mg de proteína/g MS nas plantas

controle, estresse S/Si, estresse (0,5 mm Si), estresse (1,0 mm Si), estresse (1,5 mm Si) e estresse (2,0 mm Si), respectivamente. Nas folhas, as concentrações foram 5,07; 1,05; 1,95; 2,78; 2,87 e 2,69 mg de proteína g⁻¹ MS nas plantas controle, estresse S/Si, estresse (0,5 mm Si), estresse (1,0 mm Si), estresse (1,5 mm Si) e estresse (2,0 mm Si), respectivamente. Observa-se que, em comparação ao tratamento com estresse hídrico sem Si (estresse S/Si), a aplicação de Si amenizou os efeitos deletérios da deficiência hídrica sobre a concentração de proteínas solúveis totais nas folhas. Nas raízes, esse efeito também foi observado nos tratamentos com menores doses de Si (0,5 e 1,0 mm Si).

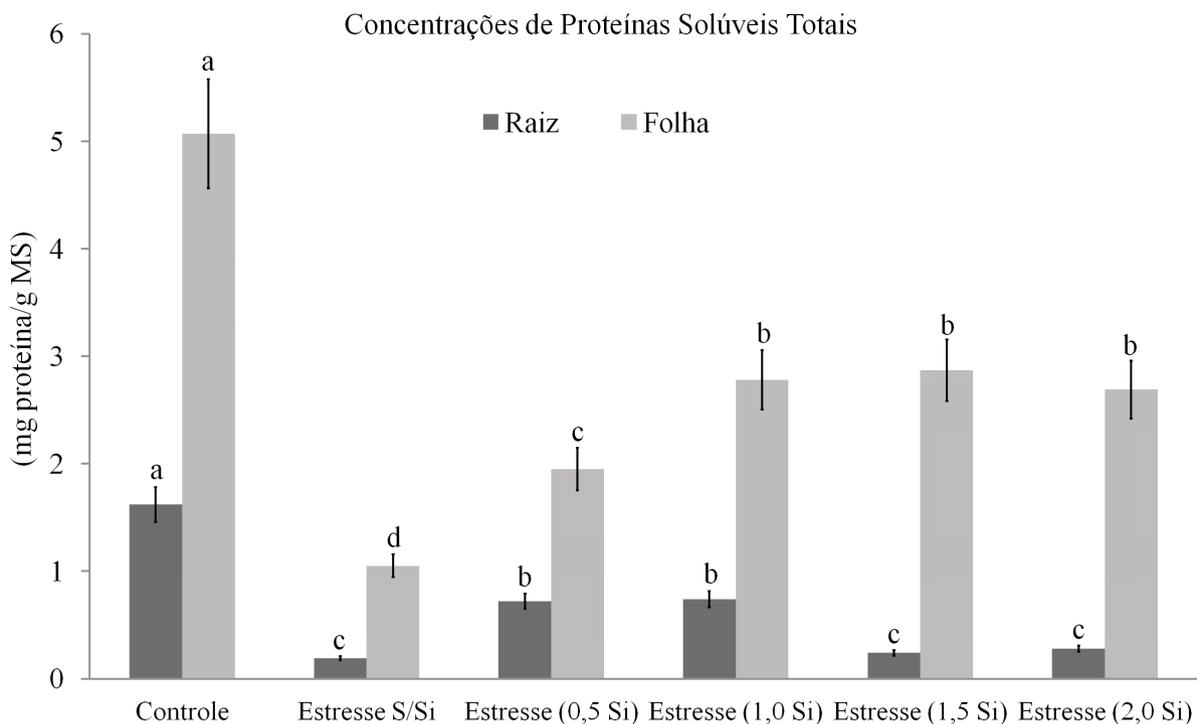


FIGURA 3. Concentrações de proteínas solúveis totais nas raízes e folhas de milho (*Zea mays* L.) submetido a sete dias de deficiência hídrica e diferentes concentrações de silício. Letras minúsculas iguais não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade, através do teste de Tukey. As barras representam o desvio padrão da média.

Os tratamentos de déficit hídrico que receberam maiores concentrações de Si (1,0; 1,5 e 2,0 mm Si) apresentaram menor redução nas concentrações de proteínas solúveis totais nas folhas, em comparação ao tratamento com menor dose de Si (0,5 mm Si). O Si pode formar uma dupla camada silicatada sobre a epiderme da folha, reduzindo, dessa forma, a perda de água pelas plantas, amenizando, assim, os efeitos negativos da deficiência hídrica (Faria, 2000; Raven, 2003). No entanto, nas raízes, houve redução de proteínas solúveis totais nos dois maiores níveis de Si (1,5 e 2,0 mm Si). Provavelmente, nesse caso, as altas doses de Si podem ter sido tóxicas para as concentrações de proteínas solúveis totais nas raízes do milho.

O déficit hídrico reduz as concentrações de proteínas solúveis totais nos tecidos da planta devido ao aumento na atividade de enzimas proteolíticas, que quebram as proteínas de reservas e, ao mesmo tempo, reduz a síntese das mesmas. Esse tipo de estresse interfere basicamente no metabolismo bioquímico da planta e, como forma de defesa contra a deficiência hídrica, a planta altera seu comportamento metabólico degradando, por exemplo, várias proteínas para liberarem aminoácidos, como a prolina, que está diretamente ligada ao ajustamento osmótico do tecido foliar das células. Lechinowski et al. (2007) também encontraram resultados similares. Esses autores observaram diminuição acentuada (97,5%) dos teores de proteínas durante nove dias

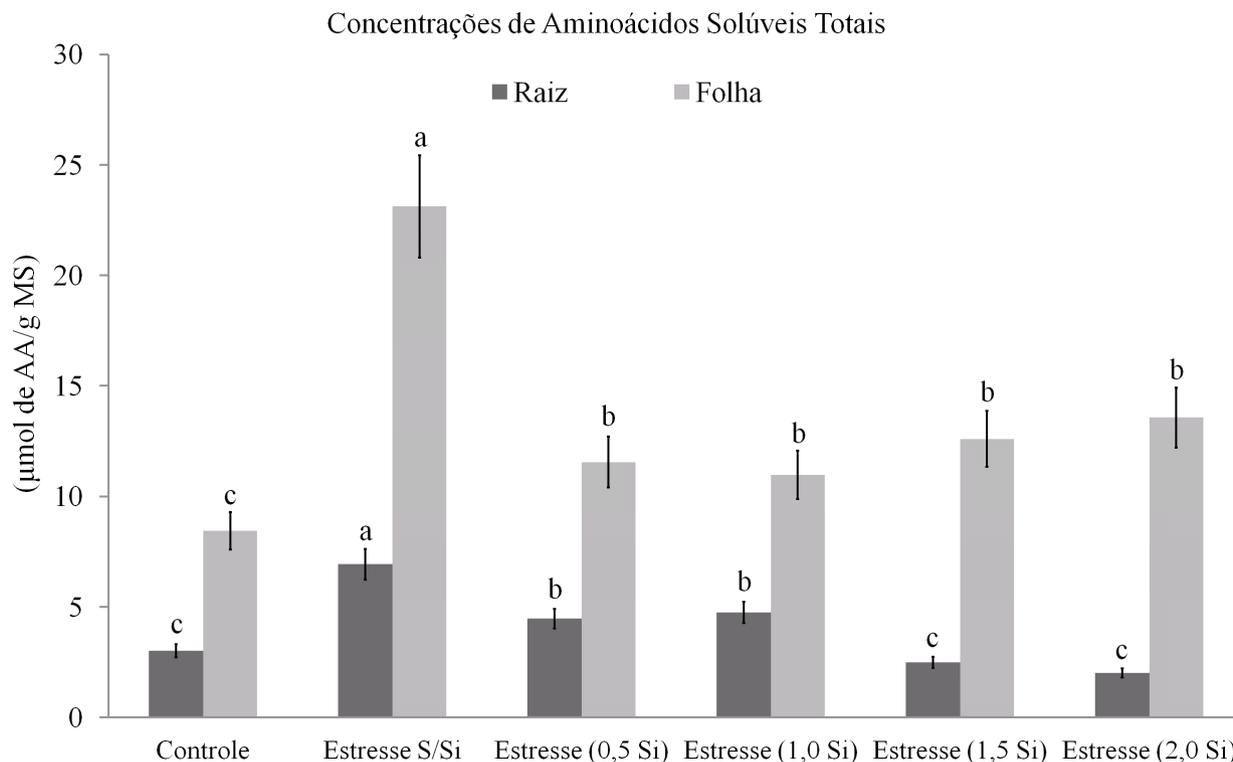


FIGURA 4. Concentrações de aminoácidos solúveis totais nas raízes e nas folhas de milho (*Zea mays* L.) submetido a sete dias de deficiência hídrica e diferentes concentrações de Si. Letras minúsculas iguais não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade, através do teste de Tukey. As barras representam o desvio padrão da média.

de deficiência hídrica em plantas de teca (*Tectona grandis*).

As concentrações de aminoácidos solúveis totais nas raízes (Figura 4) foram 3,01; 6,93; 4,46; 4,74; 2,48 e 2,01 mg de aminoácidos g⁻¹ MS nas plantas controle, estresse S/Si, estresse (0,5 mm Si), estresse (1,0 mm Si), estresse (1,5 mm Si) e estresse (2,0 mm Si), respectivamente. Nas folhas, as concentrações foram 8,44; 23,12; 11,55; 10,97; 12,60 e 13,56 mg de aminoácidos g⁻¹ MS, nas plantas controle, estresse S/Si, estresse (0,5 mm Si), estresse (1,0 mm Si), estresse (1,5 mm Si) e estresse (2,0 mm Si), respectivamente. Observa-se, na Figura 4, que os valores de concentrações de aminoácidos solúveis totais das raízes e das folhas

foram o menor e o maior, respectivamente, nos tratamentos controle e deficiência hídrica sem Si (estresse S/Si). Tanto nas raízes, quanto nas folhas, os tratamentos com Si apresentaram menores valores de concentrações de aminoácido solúveis totais que o tratamento estresse S/Si, evidenciando um efeito amenizante de Si sobre os efeitos maléficis do déficit hídrico sobre as plantas de milho. O estresse hídrico favorece a degradação das proteínas pelas enzimas proteolíticas. Essa degradação favorece o acúmulo de aminoácidos, devido à restrição da síntese de proteínas, bem como aos distúrbios provocados pela deficiência hídrica nos tecidos do floema, reduzindo a translocação para outros órgãos (Oliveira, 2005). No entanto, quando

comparadas ao tratamento estresse S/Si, observa-se que houve reduções nas concentrações de aminoácidos solúveis totais, devido ao fato de que o Si forma uma dupla camada silicatada acima da epiderme da folha, que impede até certo ponto a perda de água (Raven, 2003), podendo, dessa maneira, evitar a quebra das proteínas e, conseqüentemente, a formação de aminoácidos. Nas folhas de arroz, é formada uma camada de sílica abaixo da cutícula nas células epidérmicas, reduzindo a perda de água pelas folhas (Batista Júnior, 2010).

As concentrações de amônio livre nas raízes foram 20,21; 11,27; 17,92; 18,81; 20,30 e 14,09 μmol de amônio livre kg^{-1} MS nas plantas controle, estresse S/Si, estresse (0,5 mm Si), estresse (1,0 mm Si), estresse (1,5 mm Si) e estresse (2,0 mm

Si), respectivamente. Nas folhas, as concentrações foram 16,03; 8,12; 15,74; 13,50; 14,88 e 11,51 μmol de amônio livre kg^{-1} MS nas plantas controle, estresse S/Si, estresse (0,5 mm Si), estresse (1,0 mm Si), estresse (1,5 mm Si) e estresse (2,0 mm Si), respectivamente (Figura 5). As plantas cultivadas sob deficiência hídrica e sem aplicação de Si (estresse S/Si) tiveram os menores valores de concentração de amônio livre nas raízes e nas folhas, em comparação aos demais tratamentos. Observa-se que a aplicação de Si nas plantas com déficit hídrico elevou as concentrações de amônio livre igual ou próximo aos valores observados no controle (sem déficit hídrico). Costa & Marengo (2007) encontraram resultados similares em plantas de andiroba (*Carapa guianensis* Aubl) submetidas ao estresse hídrico.

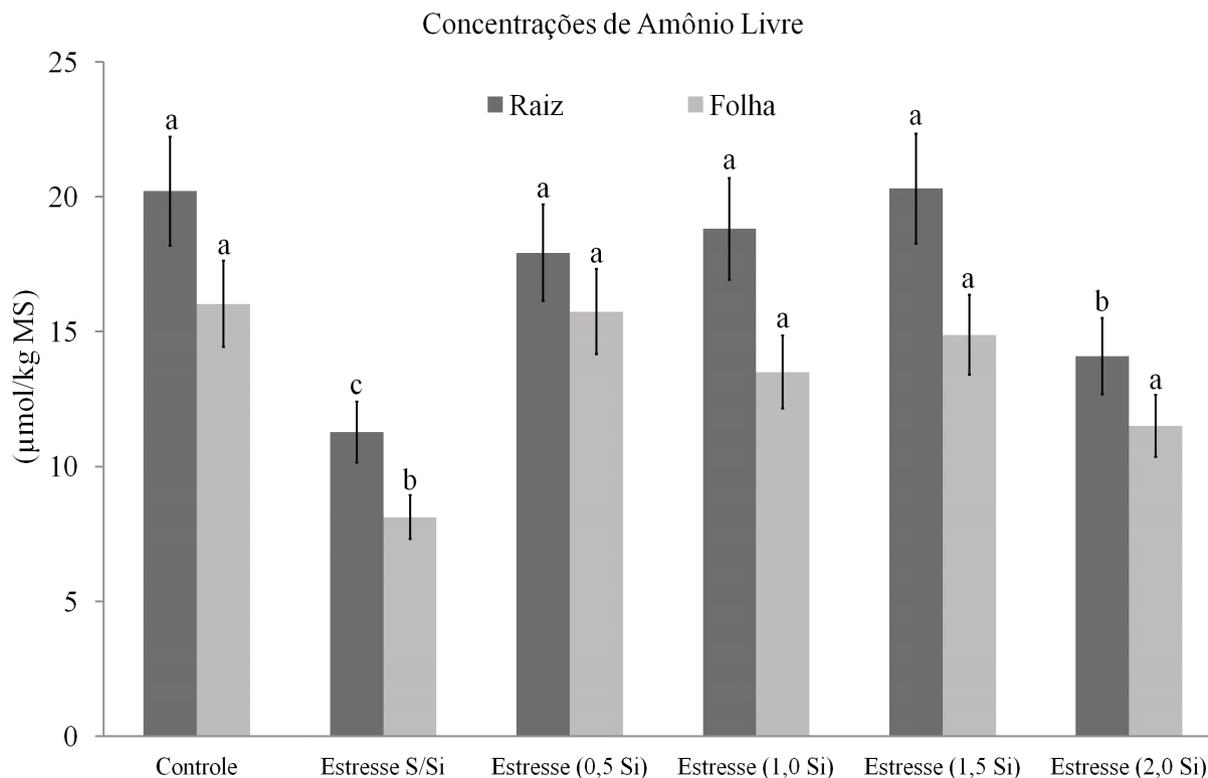


FIGURA 5. Concentração de amônio livre em folhas e nas raízes de milho (*Zea mays* L.) submetido a sete dias de deficiência hídrica e diferentes concentrações de Si. Letras minúsculas iguais não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade, através do teste de Tukey. As barras representam o desvio padrão da média.

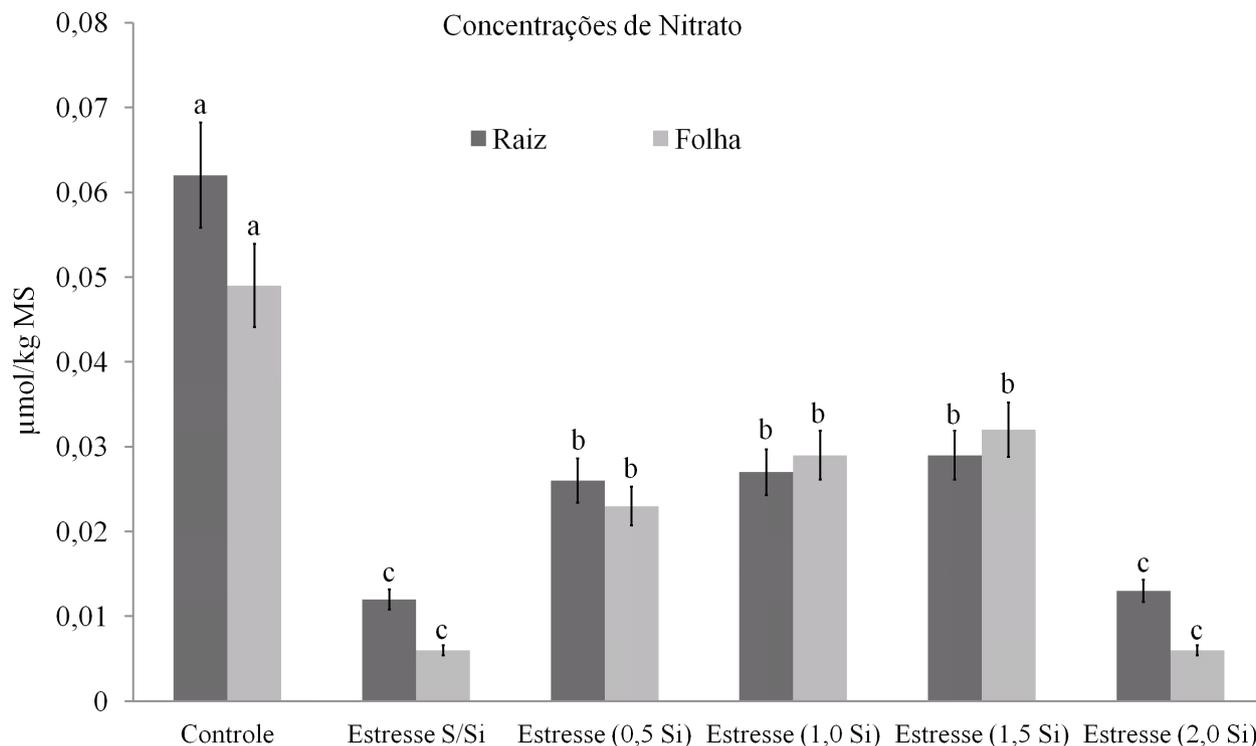


FIGURA 6. Concentrações de nitrato nas raízes e nas folhas em milho (*Zea mays* L.) submetido a sete dias de deficiência hídrica e diferentes concentrações de Si. Letras minúsculas iguais não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade, através do teste de Tukey. As barras representam o desvio padrão da média.

As concentrações de nitrato nas raízes foram 0,062; 0,012; 0,026; 0,027; 0,029 e 0,013 μmol de nitrato kg^{-1} MS nas plantas controle, estresse S/Si, estresse (0,5 mm Si), estresse (1,0 mm Si), estresse (1,5 mm Si) e estresse (2,0 mm Si), respectivamente. Nas folhas, as concentrações foram 0,049; 0,006; 0,023; 0,029; 0,032 e 0,006 μmol de nitrato kg^{-1} MS nas plantas controle, estresse S/Si, estresse (0,5 mm Si), estresse (1,0 mm Si), estresse (1,5 mm Si) e estresse (2,0 mm Si), respectivamente (Figura 6). Em comparação ao controle, esses resultados indicam que a deficiência hídrica reduziu a absorção de nitrato pela planta de milho. Entretanto, plantas tratadas com Si (exceto na maior dose) tiveram maior concentração de nitrato em relação ao tratamento sem Si (estresse S/Si). Na maior dose de Si (2,0 mm Si), houve acentuado decréscimo

nos valores de concentração de nitrato. Esse fato pode estar relacionado a uma possível toxidez causada pela elevada concentração de Si nos tecidos.

Conclusão

Os processos bioquímicos nas plantas de milho foram negativamente afetados pelo estresse hídrico, verificado pela diminuição do conteúdo relativo de água em folhas e da atividade da redutase do nitrato, redução nas concentrações de proteínas solúveis totais, amônio livre e nitrato nos tecidos, e pela elevação das concentrações de aminoácidos solúveis totais.

O fornecimento de Si amenizou os efeitos negativos promovidos pelo estresse hídrico sobre todas as variáveis analisadas nas plantas de milho.

Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelas bolsas de Iniciação Científica que subsidiaram esta pesquisa.

Referências

- BATISTA JÚNIOR, I. S. **Índices de crescimento e aspectos bromatológicos de *Brachiaria brizantha* CV. Marandu frente á adubações com fontes diferentes de silício**. 2010. 52 f. (Dissertação de Mestrado) - Departamento de Medicina Veterinária, Universidade Camilo Castelo Branco, Descalvado.
- BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G. A.; BERGONCI, J. I.; BIANCHI, C. A. M.; MÜLLER, A. G.; COMIRAN, F.; ECKLER, B. M. M. Distribuição hídrica no período crítico do milho e produção de grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 39, p. 831-839, 2004.
- BRADFORD, M. M. A rapid and sensitive method for the quantization of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analytical Biochemistry**, New York, v. 72, p. 248-254, 1976.
- CATALDO, D. A.; HAROON, M.; SCHRADER, L. E.; YOUNGS, V. L. Rapid colorimetric determination of nitrate in plant tissue by nitration of salicylic acid. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 6, p.71-80, 1975.
- COSTA, G. F.; MARENCO, R. A. Fotossíntese, condutância estomática e potencial hídrico foliar em árvores jovens de andiroba (*Carapa guianensis* Aubl.). **Acta Amazônica**, Manaus, v. 37, p. 229-234, 2007.
- EPSTEIN E. The anomaly of silicon in plant biology. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, Washington, v. 9, p. 11-17, 1944.
- FARIA, R. **Efeito da acumulação de silício e a tolerância das plantas de arroz do sequeiro ao déficit hídrico do solo**. 2000. 125 f. (Dissertação Mestrado) - Universidade Federal de Lavras. Lavras.
- GOMES, F. P; GARCIA, C. H. **Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais exposição com exemplos e orientações para uso de aplicativos**. Piracicaba: FEALQ, 2000. 309 p.
- GUNES, A.; PILBEAM, D. J.; INAL, A.; COBAN, S. Influence of silicon on sunflower cultivars under drought stress, in growth, antioxidant mechanisms, and lipid peroxidation. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 39, n. 13-14, p. 1885-1903, 2008.
- HAGEMAN, R. H. G.; HUCKLESBY, D. P. Nitrate reductase from higher plants. **Methods in Enzymology**, New York, v. 17, p. 497-505, 1971.
- HOAGLAND, D. R.; ARNON, D. I. **The water culture method for growing plants without soil**. Berkeley: University of California, 1938. 39 p. (Circular, 347).
- LECHINOSKI, A.; FREITAS, J. M. N.; CASTRO, D. S.; LOBATO, A. K. S.; OLIVEIRA NETO, C. F.; CUNHA, R. L. M. Influencia do estresse hídrico nos teores de proteínas e aminoácidos solúveis totais em folhas de Teca (*Tectona grandis* L. f.). **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 5, p. 927-929, 2007. Supl.2

- LI, Y.; SPERRY, J. S.; SHAO, M.; Hydraulic conductance and vulnerability to cavitation in corn (*Zea mays* L.) hybrids of differing drought resistance. **Environmental and Experimental Botany**, Oxford, v. 66, p. 341-346, 2009.
- MA, J. F.; YAMAJI, N. Functions and transport of silicon in plants. **Cellular and Molecular Life Sciences**, Basel, v. 65, p. 3049-3057, 2008.
- MARAFON, A. C.; ENDRES, L. **Adubação silicatada em cana-de-açúcar**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2011. 46 p. (Embrapa Tabuleiros Costeiros. Documentos, 165).
- OLIVEIRA, M. A. J. de; BOVI, M. L. A.; MACHADO, E. C.; RODRIGUES, J. D. Atividade da redutase de nitrato em mudas de pupunheira (*Bactris gasipaes*). **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 3, p. 515-522, 2005.
- PEOPLES, M. B., FAIZAH, A. W., REAKASEM, B. E HERRIDGE, D. F. **Methods for evaluating nitrogen fixation by nodulated legumes in the field**. Canberra: Australian Centre for International Agricultural Research, 1989. 76 p.
- POZZA, A. A. A.; CARVALHO, J. G.; GUIMARÃES, P. T. G.; FIGUEIREDO, F. C.; ARAÚJO, A. R. Suprimento do silicato de cálcio e a eficiência nutricional de variedades de café. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 33, p.1705-1714, 2009.
- RAVEN J, A. Cycling silicon-the role of accumulation in plant. **New Phytologist**, Oxford, v.158. p. 419-421, 2003.
- SAVANT, N. K.; KORNDORFER, G. H.; DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H. Silicon nutrition and sugarcane production: a review. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 22, n. 12, p. 1853-1903, 1999.
- SCHMIDT, R. E.; ZHANG, X.; CHALMERS, D. R. Response of photosynthesis and superoxide dismutase to silica applied to creeping bentgrass grown under two fertility levels. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 22, p. 1763-1773, 1999.
- SHAO, H.; CHU, L.; JALEEL, C. A.; ZHAO, C. Water-deficit stress induced anatomical changes in higher plants. **Comptes Rendus Biologies**, Paris, v. 331, p. 215-225, 2008.
- SHARNER, D. L.; BOYER, J. S. Nitrate reductase activity in maize (*Zea mays* L.) leaves. I. Regulation by nitrate flux. **Plant Physiology**, Washington, v. 58, p. 499-504, 1976.
- SLAVICK, B. **Methods of studying plant water relations**. New York: Springer Verlag, 1979. 449 p.
- WEATHERBURN, M. W. Phenol hypochlorite reaction for determination of ammonia. **Analytical Chemistry**, Washington, v. 39, p.971-974, 1967.
- WELCKER, C.; BOUSSUGE, B.; BENCIVENNI, C.; RIBAUT, M.; TARDIEU, F. Are source and sink strengths genetically linked in maize plants subjected to water deficit: a QTL study of the responses of leaf growth and of Anthesis-Silking Interval to water deficit. **Journal of Experimental Botany**, London, v. 58, p. 339-349, 2007.
- YOSHIDA, S.; OHNISHI, Y.; KITAGISHI, K. Histochemistry of silicon in rice plant. **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, v. 8, p. 107-111, 1962.