



**Comportamento bioquímico no milho submetido ao déficit hídrico e a diferentes concentrações de silício**

**Biochemical behavior in grass subjected to drought and different concentrations of silicon**

**Luma Castro de Souza<sup>1</sup>, Nilvan Carvalho Melo<sup>1</sup>, Jackeline Araújo Mota Siqueira<sup>2</sup>, Vicente Filho Alves Silva<sup>3</sup>, Cândido Ferreira de Oliveira Neto<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP), Campus de Jaboticabal, SP. Via de Acesso Professor Paulo Donato Castellane, S/N - Vila Industrial. 14.884-900, E-mail: lumasouza30@hotmail.com

<sup>2</sup>Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), Campus de Capitão Poço, PA

<sup>3</sup>Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), Campus de Parauapebas, PA

<sup>4</sup>Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), Campus de Belém, PA

Recebido em: 16/10/2013

Aceito em: 10/06/2015

**Resumo.** O milho é uma cultura que apresenta grande importância socioeconômica, no entanto, vêm sofrendo com estresse hídrico. O estresse é considerado um desvio significativo das condições excelentes para a vida. O silício (Si) é um elemento químico que atenua esse tipo de estresse na cultura, pois pode estimular o crescimento e a produção vegetal por meio de várias ações indiretas, e dessa forma propicia a proteção contra fatores abióticos, tais como estresse hídrico, toxidez de alumínio, ferro entre outros. O objetivo do trabalho foi avaliar a concentração de proteínas e aminoácidos no milho submetido ao déficit hídrico e a diferentes concentrações de Si. O experimento foi conduzido em casa de vegetação da Universidade Federal Rural da Amazônia, Campi de Capitão Poço, PA, Brasil. Foram utilizadas plantas de milho (*Zea mays*) variedade PZ 242. O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado (DIC), no qual foram avaliadas duas condições hídricas: controle (sem Si) e déficit hídrico (com concentração de Si) com quatro concentrações de silício na forma de metassilicato de sódio (0,5, 1,0, 1,5 e 2,0  $\mu\text{M}$ ) com 7 repetições. As plantas tratadas com Si nas concentrações de 0,5 $\mu\text{M}$  e 1,5 $\mu\text{M}$  aumentaram a manutenção de água no tecido foliar. As concentrações de proteínas solúveis totais nas raízes e folhas de plantas de milho diminuíram significativamente quando foram submetidas à deficiência hídrica, enquanto as concentrações de aminoácidos solúveis totais nas raízes das plantas submetidas ao estresse S/Si, estresse 0,5 $\mu\text{M}$  e estresse 1,0 $\mu\text{M}$  aumentaram. Todavia, as concentrações de aminoácidos solúveis totais nas folhas aumentaram em todos os tratamentos. Além disso, o estresse hídrico afetou significativamente os processos bioquímicos nas plantas de milho.

**Palavras-chave:** estresse hídrico, fatores abióticos, processos bioquímicos

**Abstract.** Corn is a crop that has a great socio-economic importance, however, have suffered from water stress. Stress is considered a significant deviation from the excellent conditions for life, thus silicon (Si) is a chemical element that mitigates this type of stress that culture, as silicon can stimulate growth and crop production through various actions indirect, and thus provides protection against abiotic factors such as water stress, aluminum toxicity, iron and others. The objective of this study was to evaluate the concentration of proteins and amino acids in maize subjected to drought and different concentrations of Si. The experiment was conducted in a greenhouse at the Federal Rural University of Amazonia, Campi Captain Wells, PA, Brazil. Maize plants (*Zea mays*) variety were used PZ 242. The experimental design was completely randomized (CRD), in which two water conditions were evaluated: Control (without Si) and water deficit (with Si concentration) with four concentrations silicon in the form of sodium metasilicate (0.5, 1.0, 1.5 and 2.0  $\mu\text{M}$ ) with 7 replicates. The plants treated with Si in concentrations of 0.5  $\mu\text{M}$  and 1.5  $\mu\text{M}$  increased the retention of water in the leaf tissue. Concentrations of total soluble proteins in roots and leaves of corn plants decreased significantly when they were subjected to water stress. While the concentrations of soluble amino acids in the roots of plants subjected to stress S / Si, 0.5  $\mu\text{M}$  stress and stress have increased 1.0  $\mu\text{M}$ .



However, the concentrations of soluble amino acids in leaves increased in all treatments. Moreover, water stress significantly affected the biochemical processes in corn plants.

**Keywords:** water stress, abiotic factors, biochemical processes

### Introdução

O milho apresenta uma grande importância socioeconômica, sendo o seu rendimento dependente da condição hídrica do solo durante o seu desenvolvimento, principalmente na fase de pendramento-espigamento (Bergamaschi et al., 2004). O milho pode ser cultivado ao longo de todo o ano, porém é preciso ocorrer condições físicas e climáticas apropriadas para o bom desenvolvimento da cultura (Brunini et al., 2001). Essa cultura apresenta alta variabilidade no rendimento que tem como causa principal a deficiência hídrica devido à instabilidades no regime de chuvas, pois é muito exigente em água (Cruz et al., 2010). Além disso, mesmo em anos em que o clima esteja favorável para o cultivo, se a deficiência hídrica ocorre no período crítico, que vai da pré-floração ao início de enchimento de grãos, pode haver a diminuição no seu rendimento (Bergamaschi et al., 2004).

O estresse causado pela deficiência hídrica é um dos principais problemas da agricultura e a capacidade das plantas para resistir ao estresse hídrico é de grande importância para o desenvolvimento do agronegócio do país (Shao et al., 2008). Estudos relacionados à tolerância à seca podem trazer aumento no crescimento e no rendimento do milho em regiões com deficit hídrico (Li et al., 2009), já que essa cultura é conhecida pela sua alta sensibilidade a esse tipo de estresse (Welcker et al., 2007). Quando submetido ao deficit hídrico podem ocorrer alterações e respostas em parte do organismo ou mesmo nele como todo, as quais podem ser reversíveis a princípio, ou se tornarem permanentes (Larcher, 2006). O estresse causado pela baixa disponibilidade hídrica nos solos é um dos principais problemas que afeta a agricultura. A capacidade das plantas em resistir ao estresse é de suma importância para o desenvolvimento do agronegócio do país (Shao et al., 2008).

Dentre os fatores abióticos, a deficiência hídrica é considerada uma das principais restrições ambientais que afeta a produção das culturas (Chaves & Oliveira, 2004), sendo que a água participa como reagente em numerosas reações metabólicas e a falta dessa afeta todos os aspectos do crescimento e desenvolvimento dos vegetais (Larcher, 2000). Diversos processos fisiológicos e bioquímicos, como por exemplo, a troca de gases

entre o interior da folha e a atmosfera, a fotossíntese (Pagter et al., 2005) e também o metabolismo dos carboidratos, das proteínas, dos aminoácidos e de outros compostos orgânicos, sofrem modificações pela seca (Sircelj et al., 2005).

Os nutrientes designam um papel importante na diminuição do estresse das plantas. Serafim et al. (2012) estudando a cultura da soja submetida a diferentes níveis de umidade do solo, relataram que a adubação mais elevada de potássio ameniza o efeito do déficit hídrico na soja. Também tem sido mostrado que o silício (Si) pode estimular o crescimento e a produção vegetal por meio de várias ações indiretas, e dessa forma pode propiciar a proteção contra fatores abióticos, tais como estresse hídrico, toxidez de alumínio, ferro, entre outros, e bióticos, como a incidência de insetos-praga (Epstein, 1994). Com isso, a adição de Si na cultura do milho poderá aumentar o grau de resistência das plantas e, conseqüentemente, diminuir a infestação e os prejuízos provocados pela lagarta do cartucho, pulgões, cigarrinhas, dentre outros.

O Si é absorvido pelos vegetais na forma de ácido monossilícico ( $H_4SiO_4$ ) juntamente com a água e se acumula principalmente como ácido silícico polimerizado nas áreas de máxima transpiração. De maneira geral, as plantas consideradas acumuladoras de Si são as que possuem teor foliar acima de 1%, e as não acumuladoras, as com teor de Si menor que 0,5% (Ma et al., 2001). Além disso, acredita-se que esse elemento seja absorvido pelas gramíneas através de fluxo de massa por processo não seletivo (Yassuda, 1989).

O Si pode estar envolvido em atividades metabólicas ou fisiológicas das plantas submetidas à deficiência hídrica (Gunes et al., 2008). Em gramíneas como o milho, o uso do Si leva ao acréscimo nos níveis de enzimas antioxidantes, elevando o processo fotossintético e o conteúdo de clorofila em gramados submetidos à baixa disponibilidade de água (Schmidt et al., 1999). Em estudo realizado por Faria (2000) com a cultura do arroz foi observada elevação na produção de grãos quando se aplicou o Si, principalmente quando as plantas foram submetidas a baixos teores de água no solo.

Estudos relacionados à deficiência hídrica na cultura do milho são de suma importância, já que o



seu crescimento é limitado quando está submetido à baixa disponibilidade de água, pois é conhecido pela sua alta sensibilidade ao estresse hídrico (Welcker et al., 2007).

O objetivo do trabalho foi avaliar a concentração de proteínas e aminoácidos no milho submetido ao déficit hídrico e a diferentes concentrações de Si.

### Material e Métodos

O experimento foi conduzido em casa de vegetação da Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA, Capitão Poço), utilizando-se plantas de milho (*Zea mays*) variedade PZ 242. A temperatura e umidade média dentro da casa de vegetação foram de 26° C e 79%, respectivamente. Os vasos foram dispostos no espaçamento de 0,60 m entre linhas e 0,40 m entre plantas, em distribuição ao acaso. Para o cultivo das plantas de milho, utilizaram-se vasos Leonard, que continham substrato de areia:vermiculita na proporção de 2:1. O volume da irrigação foi de 500 ml de solução nutritiva e as soluções com Si foram ajustadas a pH final de 5,8 ( $\pm 0,2$ ) (Hoagland & Arnon, 1950). O ponto de murcha permanente dos vasos analisados no início do experimento variaram de 0,050 a 0,063 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> e após o déficit hídrico variou de 0,023 a 0,041 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>. Enquanto a capacidade de campo varia entre 0,087 a 0,096 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> e após o déficit hídrico variou de 0,052 a 0,064 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>.

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, no qual foram avaliadas duas condições hídricas: controle (sem Si) e déficit hídrico (com concentração de Si) com quatro concentrações de silício na forma de metasilicato de sódio (0,5, 1,0, 1,5 e 2,0  $\mu\text{M}$ ) com sete repetições. Foi realizada a aplicação de Si nas diferentes concentrações após a emergência das plântulas (3-4 dias), duas vezes por dia (manhã e tarde). Após a germinação das plantas, aos 25 dias aplicou-se a deficiência hídrica e a mesma foi mantida por um período de sete dias.

Após os sete dias de déficit hídrico foram feitas coletas destrutivas das plantas no estágio vegetativo (32 dias), sempre às 9:00 h da manhã, realizando-se a separação das plantas em raiz, colmo e folhas. Posteriormente, 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 ( $\pm 5^\circ\text{C}$ ). Imediatamente após a coleta, as partes foram congeladas em nitrogênio

líquido e mantidas em freezer (-20°C) até a liofilização ou secagem para preparo da farinha das partes. Foi determinado o conteúdo relativo de água, proteínas solúveis totais e aminoácidos solúveis totais pelo método descrito por Slavick (1979), Bradford (1976) e Peoples et al. (1989), respectivamente.

Foi aplicada a análise de variância aos dados e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância. As análises estatísticas foram realizadas com SAS- Institute (1996) e embasadas nas teorias estatísticas preconizadas (Gomes & Garcia, 2000).

### Resultados e Discussão

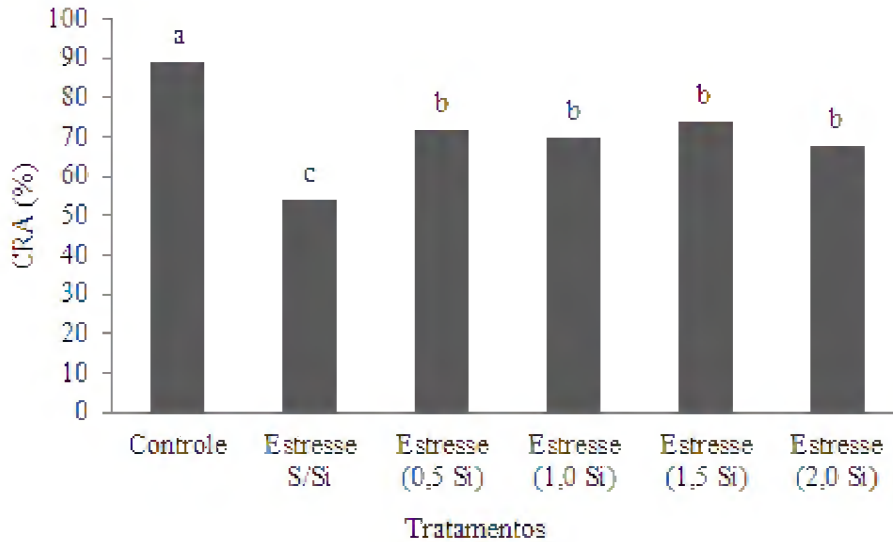
O conteúdo relativo de água (CRA) nas folhas de milho (*Zea mays*) foi afetado pelo déficit hídrico, observando-se diferença significativa entre as plantas consideradas como controle (89%) e as plantas submetidas ao estresse (estresse S/Si, estresse 0,5 $\mu\text{M}$  de Si, 1,0 $\mu\text{M}$  de Si, 1,5 $\mu\text{M}$  de Si e 2,0 $\mu\text{M}$  de Si foram 54%, 72%, 70%, 74% e 68%, respectivamente) (Figura 1).

O déficit hídrico reduziu o conteúdo relativo de água em todos os tratamentos submetidos ao estresse. Esses resultados mostram que as plantas tratadas com Si nas concentrações de 0,5 $\mu\text{M}$  de Si e 1,5 $\mu\text{M}$  de Si aumentaram a manutenção de água no tecido foliar quando comparadas às tratadas com as concentrações de 1,0 e 2,0  $\mu\text{M}$  de Si. Isso provavelmente ocorreu porque o Si acumula-se nos tecidos foliares, promovendo assim, a redução na taxa de transpiração. Além disso, o depósito de Si nos órgãos de transpiração causa a formação da dupla camada de Si (Castro et al, 2007), dessa forma ocorre redução da transpiração, devido à diminuição da abertura estomática, o que limita a perda de água (Dayanandam et al., 1983; Ferreira et al., 2000). Por isso, esperava-se que nas maiores doses aplicadas de Si, as perdas por transpiração fossem reduzidas.

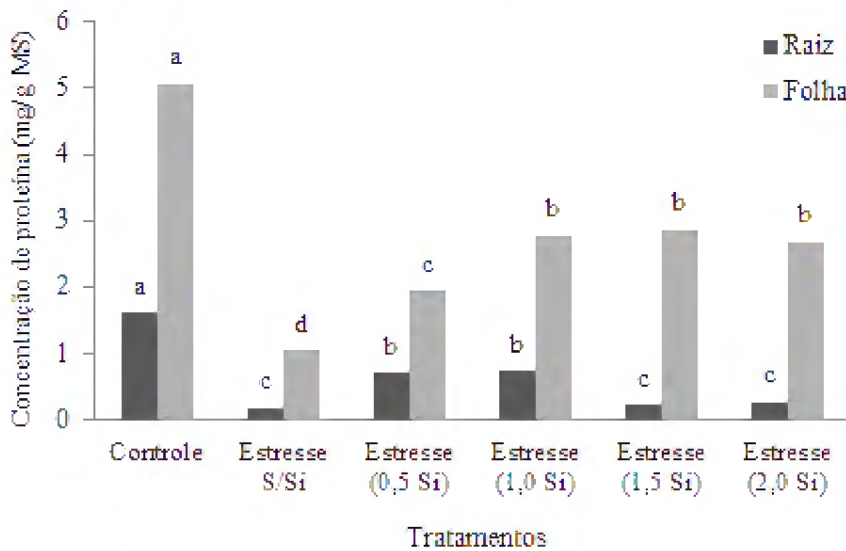
As concentrações de proteínas solúveis totais nas raízes e folhas de plantas de milho diminuíram significativamente quando foram submetidas à deficiência hídrica em comparação às plantas controle. As concentrações de proteínas solúveis totais nas raízes (Figura 2) foram de: 1,62, 0,19, 0,72, 0,74, 0,24 e 0,28 mg g<sup>-1</sup> nas plantas controle, estresse S/Si, estresse 0,5 $\mu\text{M}$  de Si, 1,0 $\mu\text{M}$  de Si, 1,5 $\mu\text{M}$  de Si e 2,0 $\mu\text{M}$  de Si, respectivamente. Enquanto nas folhas as concentrações foram de: 5,07, 1,05, 1,95, 2,78, 2,87 e 2,69 mg de proteína g<sup>-1</sup> de massa seca, nas plantas controle, estresse S/Si,



0,5 $\mu$ M de Si, 1,0 $\mu$ M de Si, 1,5 $\mu$ M de Si e 2,0 $\mu$ M de Si, respectivamente.



**Figura 1.** Conteúdo Relativo de Água em plantas de milho submetido a sete dias de suspensão hídrica e diferentes concentrações de Si (0,5, 1,0, 1,5 e 2,0  $\mu$ M). \*Letras minúsculas iguais não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.



**Figura 2.** Concentrações de proteínas solúveis totais em plantas de milho submetido a sete dias de suspensão hídrica e diferentes concentrações de silício (0,5, 1,0, 1,5 e 2,0  $\mu$ M). \*Letras minúsculas iguais não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

O déficit hídrico provoca limitação na absorção de água e dessa forma reduz a turgescência celular, atrasando o crescimento da planta e aumentando a síntese de enzimas proteolíticas. Estas enzimas quebram as proteínas armazenadas nas plantas e reduzem sua síntese, afetando vários processos bioquímicos na tentativa de manter os

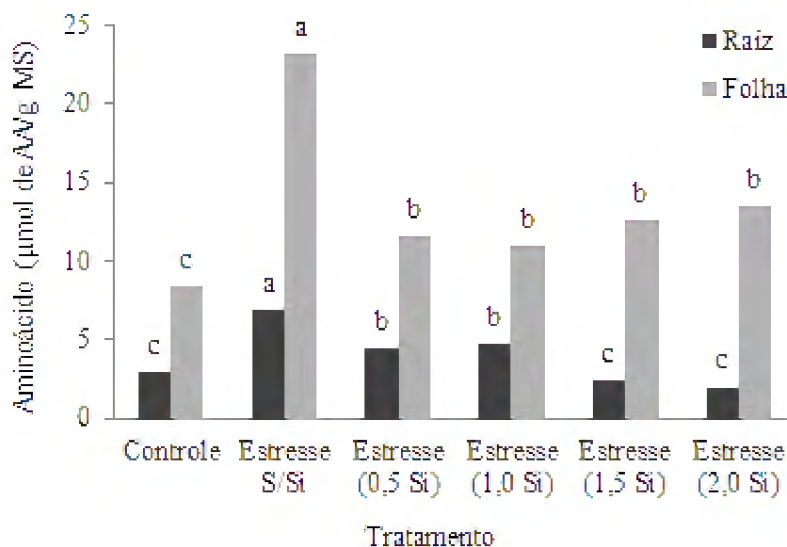
níveis de água na folha, assim como o balanço osmótico celular. Além disso, algumas proteínas envolvidas na interação hidrofílica com macromoléculas celulares são sintetizadas para estabelecer o metabolismo e atuar na recuperação dos danos provocados pelo estresse hídrico (Castro et al, 2007).

Observa-se que a concentração de proteínas solúveis totais diminuiu nas folhas das plantas que foram tratadas sem adição de Si (estresse S/Si) e nas que foram tratadas com baixa concentração de silício (0,5mM). Isso ocorreu provavelmente pelo aumento da atividade de enzimas proteolíticas responsáveis por quebrar as proteínas de reserva das plantas e também devido à redução da síntese “*de novo*” dessas proteínas. Esse tipo de estresse interfere basicamente no metabolismo bioquímico dos vegetais e como uma forma de defesa contra falta de água, a planta altera seu comportamento metabólico como, por exemplo, degrada proteínas em aminoácidos. Além do mais, algumas proteínas envolvidas na interação hidrofílica com as macromoléculas celulares são sintetizadas “*de novo*” visando estabilizar o metabolismo e atuar na recuperação das perdas causadas pelo estresse hídrico (Xiong et al., 2002).

Estudos mostram que algumas proteínas relacionadas com a desidratação se acumulam em função de sinais do ambiente como déficit hídrico, baixas e altas temperaturas, pressão osmótica externa elevada e outros fatores ambientais adversos. Isso se deve às prováveis funções que estão envolvidas com sequestro de íons, proteção de membranas e saturação de proteínas (chaperonas) e retenção de água (Zhu et al., 1997). No entanto, praticamente todas as proteínas LEA (“*late embryogenesis abundant*”) podem apresentar uma

parte extremamente hidrofílica e expressão abundante durante a maturação e o estresse hídrico (Dure, 1993). Esse fato provavelmente implicaria na função de proteção das estruturas celulares, já que esse estresse abiótico afetaria todo o processo bioquímico da planta e, através desta estratégia poderia manter os níveis de água nas folhas, e de certa forma manter o equilíbrio osmótico das células (Lobato et al., 2008).

As concentrações de aminoácidos solúveis totais nas raízes (Figura 3) foram de: 3,01, 6,93, 4,46, 4,74, 2,48 e 2,01 mg de aminoácidos g<sup>-1</sup> de MS nas plantas controle, estresse S/Si, estresse (0,5µM de Si), estresse (1,0µM de Si), estresse (1,5µM de Si) e estresse (2,0µM de Si), respectivamente. Nas folhas as concentrações foram de: 8,44, 23,12, 11,55, 10,97, 12,60 e 13,56 mg de aminoácidos g<sup>-1</sup> de massa seca, nas plantas controle, estresse S/Si, estresse (0,5µM de Si), estresse (1,0µM de Si), estresse (1,5µM de Si) e estresse (2,0µM de Si), respectivamente. No entanto, a concentração de aminoácidos solúveis totais nas raízes das plantas submetidas ao estresse S/Si, estresse 0,5µM de Si e estresse 1,0µM de Si aumentou quando comparadas com as plantas controle. Já nas concentrações de Si 1,5µM de Si e 2,0µM de Si houve redução. À medida que se aumenta a concentração de silício a tendência é diminuir as concentrações de aminoácidos nas raízes, devido ao efeito de toxidez causado por este elemento químico.



**Figura 3.** Aminoácidos solúveis totais em plantas de milho submetido a 07 dias de suspensão hídrica e diferentes concentrações de silício (0,5, 1,0, 1,5 e 2,0 µM). \*Letras minúsculas iguais não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.



Todavia, as concentrações de aminoácidos solúveis totais nas folhas aumentaram em todos os tratamentos quando comparadas às plantas controle. Isso ocorreu provavelmente devido ao estresse hídrico favorecer a degradação das proteínas pelas enzimas proteolíticas. Essa degradação favorece o acúmulo de aminoácidos, devido à redução da síntese de proteínas, assim como aos distúrbios causados pela deficiência hídrica nos tecidos do floema, diminuindo dessa forma a translocação para os demais órgãos vegetais (Castro, 2007).

No entanto, quando comparadas ao estresse S/Si observa-se que houve redução nas concentrações de aminoácidos, devido ao silício formar uma dupla camada silicatada que impede até certo ponto a perda de água, impedindo dessa forma a quebra das proteínas e a formação de aminoácidos. Além disso, os aminoácidos se acumularam nos tecidos foliares, o que pode ser considerado um sinal de tolerância das plantas quando sofrem diferentes estresses ambientais, principalmente os causados pelo déficit hídrico. Estudos realizados por Carvalho (2005) com quatro leguminosas em resposta ao déficit hídrico foram semelhantes aos encontrados neste trabalho, onde foi possível verificar o aumento de aminoácidos nessas plantas quando submetidas à deficiência hídrica. Além disso, os elevados teores de aminoácidos nas raízes e folhas se devem provavelmente à alta atividade do metabolismo do nitrogênio (Oliveira Neto, 2008).

### Conclusões

O estresse hídrico afetou significativamente os processos bioquímicos nas plantas de milho. O Si, embora não seja um elemento essencial para as plantas, foi eficiente no controle da deficiência hídrica.

### Referências

- BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G.A.; BERGONCI, J.I.; BIANCHI, C.A.M.; MÜLLER, A.G.; COMIRAN, F.; HECKLER, B.M.M. Distribuição hídrica no período crítico do milho e produção de grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, p.831-839, 2004.
- BRADFORD, M. M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analytical Biochemistry**, v.72, p.248-254, 1976.
- BRUNINI, O.; JÚNIOR, J. Z.; PINTO, H. S.; ASSAD, E.; SAWAZAKI, E.; DUARTE, A., P.; 1 e
- Maria Elisa Z. PATTERNIANI, M. E. Z. Riscos climáticos para a cultura de milho no estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.9, n. 3, (Nº Especial: Zoneamento Agrícola), p. 519-526, 2001.
- CARVALHO, C. J. R. Respostas de plantas de *Schizolobium amazonicum* [S. parahyba var. amazonicum] e *Schizolobium parahyba* [*Schizolobium parahybum*] à deficiência hídrica. **Revista Árvore**, v.29, n.6, p.907-914, 2005.
- CASTRO, D. S.; LOBATO, A. K. S.; MENDES, F. S.; OLIVEIRA NETO, C. F.; CUNHA, R. L. M.; COSTA, R. C. L. Atividade da redutase do nitrato em folhas de Teca (*Tectona grandis* L. f.) sob déficit hídrico. **Revista Brasileira de Biociências**, v.5, p.936-938, 2007.
- CHAVES, M.M.; OLIVEIRA, M.M. Mechanisms underlying plant resilience to water deficits: prospects for water-saving agriculture. **Journal of Experimental Botany**, v.8, p.1-20, 2004.
- CRUZ, J. C.; FILHO, I. A. P.; ALVARENGA, R. C.; NETO, M. M. G.; VIANA, J. H. M. V.; OLIVEIRA, M. F.; MATRANGOLO, W. J. R.; FILHO, M. R. A. **Cultivo do Milho**. Embrapa Milho e Sorgo Sistemas de Produção, 2010
- DAYANANDAM, P.; KAUFMAN, P. B.; FRAKIN, C. I. Detection of sílica in plants. **American Journal**, v. 70, p. 1079-1084, 1983.
- DURE, L. I. Structural motifs in Lea proteins. In: T. J. CLOSE, and E. A. BRAY (eds.) *Plant Responses to Cellular Dehydration during Environmental Stress*. **American Society of Plant Physiologists**, Rockville, MD. 1993. p. 91-103.
- EPSTEIN E. The anomaly of silicon in plant biology. **Proceeding of the National Academic of Science**, v. 9, p. 11-17, 1994.
- FARIA, R. **Efeito da acumulação de silício e a tolerância das plantas de arroz do sequeiro ao déficit hídrico do solo**. 2000. 65f. Dissertação (Mestrado de Agronomia)-Universidade Federal de Lavras, UFLA, Lavras, MG, 2000.
- FERREIRA, V.M., MAGALHÃES, P.C., DURÃES, F.O.M. Produtividade de genótipos de milho (*Zea mays* L.) sob manejo diferenciado de irrigação e



- adubação. **Ciência e Agrotecnologia**, v.24, p.663-670, 2000.
- GOMES, F. P; GARCIA, C. H. **Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais exposição com exemplos e orientações para uso de aplicativos**. FEALQ, Piracicaba, SP. 2000. p.309.
- 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**, v.39,n.13-14, p.1885-1903, 2008.
- HOAGLAND, D.R.; ARNON, D.I. **The water culture method for growing plants without soil**. California Agricultural Experiment Station, Circular. 1950. p.347.
- LACHER W. **Ecofisiologia vegetal**. RIMA. São Carlos, SP. 2000. p.554.
- LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. Tradução: Prado, C. H. B. A. São Carlos: Rima, 2006. 531 p.
- 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**, v.66, p.341-346, 2009.
- LOBATO, A. K. S.; OLIVEIRA NETO, C. F.; COSTA, R. C. L.; SANTOS FILHO, B. G., CRUZ, F. J. R.; LAUGHINGHOUSE IV, H. D. Biochemical and physiological behavior of *Vigna unguiculata* (L.) Walp. under stress during the vegetative phase. **Asian Journal of Plant Sciences**, v.7, p.44-49, 2008.
- MA, J. F.; MIYAKE. Y.; TAKAHASHI, E. Silicon as a beneficial element for crop plants. In: DATNOFF, L. E., SNYDER, G. H., KORNDÖRFER, G. H. **Silicon in Agriculture. Studies in plant science**, Amsterdam: Elsevier, 2001. v.8, p.17-39.
- OLIVEIRA-NETO, C.F. **Crescimento, produção e comportamento fisiológico e bioquímico em plantas de sorgo (*sorghum bicolor* [L.] moench) submetidas à deficiência hídrica /Belém, 2008. 114p. (Dissertação de Mestrado).**
- PAGTER, M.; BRAGATO, G.; BRIX, H. Tolerance and physiological responses phragmites australis to water deficit. **Aquatic Botany**, v.81, p.285-299, 2005.
- PEOPLES, M. B., FAIZAH, A. W., REAKASEM, B. E HERRIDGE, D. F. **Methods for evaluating nitrogen fixation by nodulated legumes in the field**. Australian Centre for International Agricultural Research Canberra. p. 76, 1989.
- SAS INSTITUTE. **SAS/STAT User's Guide: version 6.12**, SAS Institute, Cary, NC. 1996.
- SERAFIM, M. E., ONO, F. B., ZEVIANI, W. M., NOVELINO, J. O., SILVA, J. V. Umidade do solo e doses de potássio na cultura da soja. **Revista Ciência Agrônômica**, v.43, n.2, p.222-227, 2012.
- SHAO, H.; CHU, L.; JALEEL, C.A.; ZHAO, C. Water-deficit stress induced anatomical changes in higher plants. **Comptes Rendus Biologies**, v.331, p.215-225, 2008.
- 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**, v.22, p.1763-1773, 1999.
- SIRCELJ, H.; TAUSZ, M.; GRILL, D.; BATIC, FRANC. Biochemical responses in leaves of two apple tree cultivars subjected to progressing drought. **Journal of Plant Physiology**, p.1308-1318, 2005.
- SLAVICK, B. **Methods of studying plant water relations**. New York, Springer Verlang. p.449, 1979.
- 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**, v.58, p.339-349, 2007.
- XIONG, L.; SCUMAKER K. S.; ZHU J-K. Cell signaling during cold, drought and stress. **The Plant Cell**, v.14, p.165-183, 2002.
- YASSUDA, M. **Comportamento de fosfatos em solos de cerrado**. Piracicaba, Escola Superior de



## Revista Agrarian

ISSN: 1984-2538

Agricultura 'Luiz de Queiroz' – Universidade de São Paulo, 1989, 62 p. (Dissertação de Mestrado).

ZHU, J., Hasegawa, P. M., Bressan, R. A. Molecular aspects of osmotic stress in plants. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v.16, p.253-277, 1997.