

OSMORREGULADORES EM PLANTAS DE SORGO SOB SUSPENSÃO HÍDRICA E DIFERENTES NÍVEIS DE SILÍCIO

LUMA CASTRO DE SOUZA¹, JACKELINE ARAÚJO MOTA SIQUEIRA²,
JONNY LUCIO DE SOUSA SILVA¹, CARLA CAROLYNNE RESUENO COELHO¹,
MYRIAM GALVÃO NEVES¹ e CÂNDIDO FERREIRA DE OLIVEIRA NETO¹

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

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

Revista Brasileira de Milho e Sorgo, v.12, n.3, p. 240-249, 2013

RESUMO - O sorgo é uma planta de origem tropical, apresenta capacidade fotossintética considerada boa, se adapta muito bem às diversas condições de fertilidade do solo. Dentre os fatores abióticos, a deficiência hídrica é uma das principais limitações ambientais que influenciam a produção das culturas no planeta. O silício pode estimular o crescimento e a produção vegetal por meio de muitas ações indiretas, o que pode propiciar a proteção contra fatores abióticos, como estresse hídrico. O objetivo deste trabalho foi estudar o conteúdo relativo de água e os osmorreguladores de plantas de sorgo submetidas ao estresse hídrico e a diferentes concentrações de silício. O experimento foi conduzido em casa de vegetação da Universidade Federal Rural da Amazônia (Ufra, Capitão-Poço, PA), foram utilizadas plantas de sorgo (*Sorghum bicolor* [Moench.]) forrageiro, variedade BR 700. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado (DIC) com fatorial 2 x 4, duas condições hídricas (controle e déficit hídrico) e quatro concentrações de silício na forma de metassilicato de sódio (0,5; 1,0; 1,5; e 2,0 mm) com 7 repetições. Os conteúdos relativos de água, amido, sacarose, glicina-betaina, prolina e carboidratos foram afetados significativamente em plantas de sorgo sob estresse hídrico. O silício mostrou ser eficaz quando aplicado em plantas submetidas à deficiência hídrica.

Palavras-chave: estresse hídrico; fatores abióticos; *Sorghum bicolor*.

OSMOREGULATORS IN SORGHUM PLANTS UNDER WATER SUSPENSION AND DIFFERENT LEVELS OF SILICON

ABSTRACT - Sorghum is a plant of tropical origin, presenting good photosynthetic capacity, and is easily adaptable to different conditions of soil fertility. Among the abiotic factors, water deficit is a major limiting environmental condition that affects crops production. The silicon can stimulate plant growth and crop productivity through many indirect actions, which may provide protection against abiotic factors such as water stress. The objective of this work was to study the relative water content and osmoregulators of sorghum plants subjected to drought stress and different concentrations of silicon. The experiment was conducted in a greenhouse at the Federal Rural University of Amazonia (Ufra, Capitão Poço, PA), and the forage variety BR-700 of sorghum (*Sorghum bicolor* [Moench.]) was used. A completely randomized design (CRD) in a 2 x 4 factorial scheme was used, with two water conditions (control and water deficit) and four concentrations of silicon in the form of sodium metasilicate (0.5, 1.0, 1.5 and 2.0 mm) with 7 replications. Relative water content, starch, sucrose, glycine, betaine, proline and carbohydrate were significantly affected in sorghum plants under water stress. The silicon was effective when applied to plants subjected to water stress.

Key words: water stress; abiotic factors; *Sorghum bicolor*.

O sorgo é uma planta de origem tropical, apresenta capacidade fotossintética considerada boa, se adapta muito bem às diversas condições de fertilidade do solo, é mais tolerante do que o milho às condições de altas temperaturas e deficiência hídrica. Por esses motivos, é cultivado em ampla faixa de latitudes, mesmo em regiões com altas temperaturas, secas ou onde ocorrem veranicos (Andrade Neto et al., 2010).

O sorgo é uma cultura que vem se tornando uma alternativa para alimentação animal, principalmente nas regiões com pouca disponibilidade de água, pois apresenta sementes que são ricas em proteínas, vitaminas, hidrato de carbono e sais minerais. Além disso, produz plantas com alto volume de massa verde, além de apresentar tolerância à seca e à alta temperatura (Carvalho et al., 2000). Essa cultura apresenta características fisiológicas que permitem interromper o crescimento ou diminuir as atividades metabólicas durante o estresse hídrico e, após o término de um período de estresse hídrico, as plantas conseguem até mesmo crescer mais rapidamente do que as que não sofreram estresse (Amaral et al., 2003). De acordo com Camacho et al. (2002), o sorgo possui tolerância a períodos de estiagem durante seu ciclo vital e, dessa forma, consegue produzir grãos e massa verde, de maneira economicamente compensadora, em condições de baixa pluviosidade e em solos pobres em nutriente.

Segundo Chaves & Oliveira (2004), dentre os fatores abióticos, a deficiência hídrica é uma das principais limitações ambientais que influenciam a produção das culturas no planeta.

Nos vegetais, encontra-se o silício nos tecidos de suporte, como no caule e nas folhas, podendo ser encontrado em quantidades reduzidas nos grãos. De forma geral, o conteúdo médio de silício das raízes é

menor se comparado com o do caule e o de folhas. O silício ocorre com maior frequência nas regiões vegetais nas quais a água é perdida em quantidade elevada, como na epiderme foliar junto às células-guarda dos estômatos e em outra célula epidérmica.

Nas plantas, o silício pode ser relacionado à presença do elemento, à maior resistência ao acamamento, à redução do ataque por pragas e doenças e à maior resistência a condições adversas. Esses fatores são causados por situações de estresses biótico e abiótico, como menor efeito deletério causado pela geada e menor taxa de evapotranspiração em casos de déficit hídrico (Epstein & Bloom, 2005). Além disso, o Si é um elemento químico que fornece às plantas maior resistência tanto a estresses bióticos quanto abióticos (Hashemi et al., 2010). Dessa forma, a utilização de silício na cultura do sorgo poderá elevar o grau de resistência das plantas quando submetidas à deficiência hídrica.

É fundamental conhecer o comportamento de plantas sob diferentes concentrações de silício e déficit hídrico na produção de forragem, visando à determinação de parâmetros de resposta baseados nas modificações bioquímicas dessa cultura e nas relações hídricas do sistema solo-planta (Melo, 2006). Além disso, obter o conhecimento sobre os mecanismos de ação da deficiência hídrica, e associá-los àqueles que podem fornecer tolerância às plantas de sorgo, como a ação de silício, poderá estabelecer estratégias de manejo do solo e da própria cultura, como por exemplo, selecionar cultivares mais tolerantes a estresse hídrico, de forma que o sorgo consiga expressar seu potencial produtivo nessas condições.

O objetivo do trabalho foi estudar o conteúdo relativo de água nas folhas e o comportamento dos osmorreguladores em plantas de sorgo submetidas ao déficit hídrico sob diferentes concentrações de silício.

Material e Métodos

O experimento foi conduzido em casa de vegetação da Universidade Federal Rural da Amazônia (Ufra, Capitão-Poço, PA), utilizando-se plantas de sorgo (*Sorghum bicolor* [Moench.]) forrageiro da variedade BR 700 obtidas na Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa Milho e Sorgo) provenientes da safra 2010, sem controle das condições ambientais e apenas com monitoramentos da temperatura e da umidade relativa do ar através de um termohigrômetro digital. Os vasos continham um volume de 5 L e foram dispostos no espaçamento de 0,60 m entre linhas e 0,40 m entre plantas, em distribuição ao acaso. As plantas de sorgo foram cultivadas em vasos Leonard (1 l) modificados, contendo substrato de areia:vermiculita (1:2), e irrigados duas vezes ao dia (manhã e tarde) com solução nutritiva de Hoagland & Arnon (1950), na qual até o terceiro dia da germinação foi colocada apenas água destilada. A partir do 4º ao 10º dia, foi utilizada ½ força da solução nutritiva e, depois do 11º dia até o final do experimento, foi utilizada solução completa, com diferentes concentrações de silício ($\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ - 0,5 μM ; $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ - 1.00 μM ; $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ - 1.50 μM ; $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ - 2.00 μM) na forma de metassilicato de sódio. As soluções com Si foram ajustadas para o pH final de 5,8 (+/- 0,2).

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado (DIC), com duas condições hídricas: irrigado e déficit hídrico. Cada unidade experimental foi composta de duas plantas por vaso e utilizaram-se sete repetições. A deficiência hídrica iniciou-se no 25º dia após a germinação e a suspensão hídrica foi mantida por um período de 7 dias. A aplicação das concentrações de silício ocorreu após a emergência das plântulas (3-4 dias). Os dados foram avaliados por análise

de variância e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância. As análises estatísticas foram realizadas com uso do pacote estatístico SAS Institute (1996) e embasadas nas teorias estatísticas preconizadas (Gomes & Garcia, 2000).

Ao término do experimento, foram feitas coletas destrutivas das plantas no estágio vegetativo (32 dias) e estas 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). 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.

Analisou-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, 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 e deixados na bancada (25 °C) por um período de 6-7 horas. Após, os discos foram colocados em papel de filtro para retirar o excesso de água (1 min) e, em seguida, pesados para determinar a massa túrgida (MF2). Depois, os discos foram colocados em saco de papel, levados à estufa (75 °C) por 48 h e, posteriormente, foi determinada a massa seca dos discos (MS).

As concentrações de amido foram obtidas utilizando o método descrito por Dubois et al. (1956), no qual foi feita uma extração etanólica (50 mg da massa seca das raízes e das folhas) em 5,0 ml de etanol 80% por 30 min a 80 °C. Depois, foi feita nova extração com 5,0 ml de HClO_4 30% por 30 min a

25 °C. A partir da primeira e da segunda extrações, foram levadas para centrifuga (2.000 rpm por 10 min) e coletados os sobrenadantes. Os sobrenadantes de cada extração foram unidos e aferidos ao volume para 10 mL com água destilada para obtenção do extrato total. A sacarose foi determinada segundo o método Van Handel (1968), no qual foram utilizadas amostras de 30 mg de massa seca das raízes e das folhas. Essas foram homogeneizadas em tubos de Eppendorf de volume de 2,0 ml, contendo 1,5 ml de solução de MWC (metanol, clorofórmio e água; 12:5:3 v/v/v), e agitadas em “shacker” durante 30 min à temperatura ambiente. O homogeneizado foi centrifugado a 10.000 rpm por 10 min e foi coletado o sobrenadante. Os resíduos foram novamente extraídos com igual volume de MCW, seguindo-se uma nova centrifugação e outra coleta do sobrenadantes, na qual os mesmos foram reunidos para obtenção do extrato total.

A glicina-betaína foi obtida utilizando o método descrito por Grieve & Grattan (1983), no qual foram transferidos 25 mg de MS liofilizada ou seca em estufa para tubos Eppendorf de 2 ml e adicionados 2 ml de água destilada. A solução foi agitada por 4 h no shacker a 25 °C (extração a frio), centrifugada a 10.000 rpm por 10 min a 25 °C. Após a centrifugação, foi coletado o sobrenadante para obtenção do extrato aquoso e foi descartado o precipitado. O carboidrato solúvel total foi obtido utilizando o método descrito por Dubois et al. (1956), no qual foram transferidos 50 mg de MS liofilizada para tubos de ensaio de 15 ml, adicionados 5 ml de água destilada e a solução levada ao banho maria por 30 min a 100 °C. Após a extração, as amostras foram centrifugadas em centrífuga de bancada (1.000 rpm) e os sobrenadantes foram coletados para obtenção do extrato total. A prolina foi obtida utilizando o método descrito por Bates et al. (1973), no qual transferem-se 50 mg de massa seca (MS)

liofilizada para tubos de ensaio de 15 mL, adicionando 5 mL de água destilada e levando ao banho maria por 30 min a 100 °C. Após a extração, as amostras foram centrifugadas em centrífuga de bancada (1.000 rpm) e os sobrenadantes foram coletados para obtenção do extrato total.

Resultados e Discussão

O conteúdo relativo de água (Figura 1) foi afetado significativamente em plantas de sorgo sob estresse hídrico. Houve redução no conteúdo relativo de água em todos os tratamentos que receberam aplicação de silício quando comparados com o tratamento seca sem Si, mesmo nas concentrações mais elevadas desse elemento. Esses resultados corroboram os encontrados por Costa & Marengo (2007) em plantas jovens de andiroba.

As plantas tratadas com silício reduziram a demanda por água. Resultados semelhantes foram encontrados por Eneji et al. (2005), que verificaram redução na demanda por água em sorgo submetido a deficiência hídrica em função da aplicação de silicato de cálcio, propondo que esse elemento pode ter amenizado a deficiência hídrica e aumentado a economia de água pela planta.

Para a variável concentração de amido, os resultados demonstram que houve redução desse carboidrato nas raízes e nas folhas em todos os tratamentos quando comparados às plantas controle (Figura 2). Esta redução provavelmente está ligada à degradação do amido através das enzimas α e β -amilase, favorecendo a formação de novos açúcares, como a sacarose. Todavia, ocorreu aumento na quantidade de açúcares solúveis redutores (Filho & Stacciarini-Seraphin, 2002). Resultados semelhantes foram encontrados por Cruz et al. (2008) com plantas de tangerina (*Citrus reticulata*) submetidas a déficit hídrico.

No entanto, os tratamentos com diferentes concentrações de silício aumentam as concentrações de amido tanto nas folhas quanto nas raízes quando comparados ao tratamento que não recebeu silício. A adubação silicatada tem trazido efeitos benéficos para diversas espécies de plantas, principalmente quando estão submetidas a estresse biótico ou abiótico (Ma et al., 2001).

Em folhas, somente o tratamento estresse sem Si possui maior concentração de sacarose; os demais estão iguais ao controle (Figura 3). Esse aumento provavelmente está ligado à quebra do amido pelas enzimas α e β -amilase em açúcares (Oliveira Neto, 2008). Elas podem ser quebradas e se transformar, por meio de reações bioquímicas, em sacarose (Pimentel, 2004). Resultados semelhantes foram encontrados por Silva (2009) ao trabalhar com plantas de Andiroba (*Carapa guianenses* Aubl.) submetidas a déficit hídrico.

O silício não proporcionou aumento na concentração de sacarose em plantas de sorgo submetidas a deficiência hídrica. O acúmulo de Si nos órgãos aumenta a resistência a estresse hídrico (Korndörfer et al., 2002).

Somente estresse sem Si apresentou diferença significativa em relação ao controle. No entanto, apenas o tratamento estresse sem Si apresentou aumento significativo (Figura 4). Nas plantas sob deficiência hídrica, o aumento dos carboidratos solúveis totais está relacionado ao processo de ajustamento fisiológico no metabolismo dessas plantas, reduzindo seus potenciais osmóticos no sentido de manter a planta hidratada e de, conseqüentemente, retardar a desidratação dos seus tecidos (Oliveira Neto, 2008).

Resultados semelhantes foram encontrados por Oliveira et al. (2005), trabalhando com 4 leguminosas arbóreas submetidas a deficiência hídrica, em

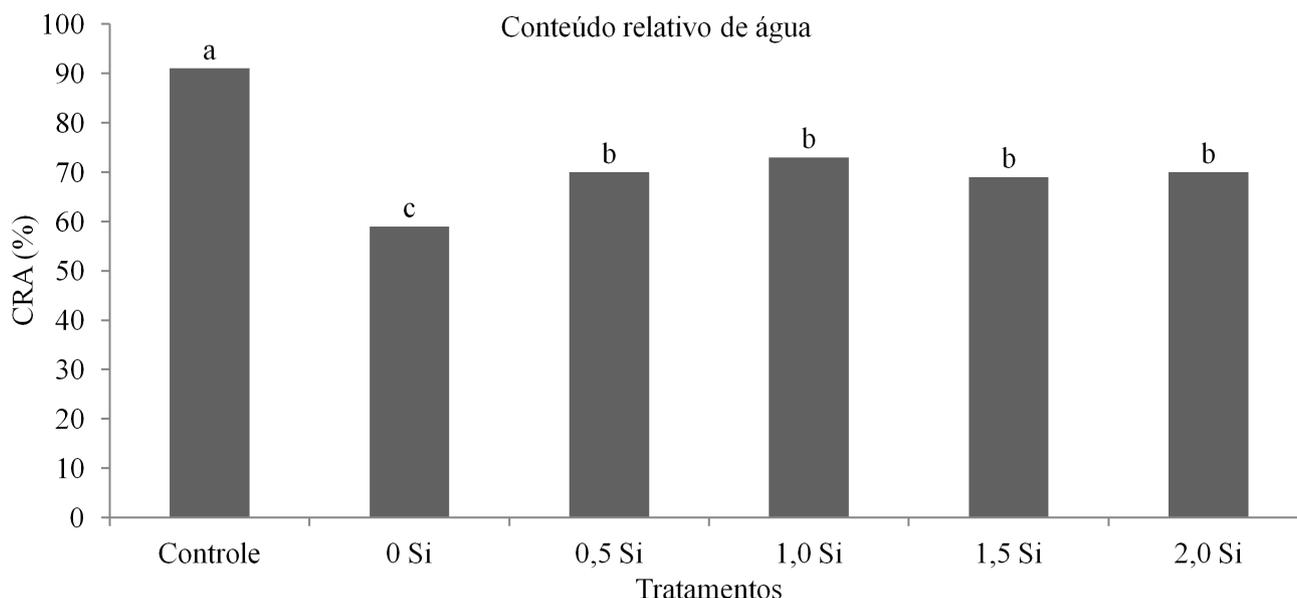


FIGURA 1. Conteúdo relativo de água (CRA) em folhas de sorgo submetidas a estresse hídrico e a diferentes concentrações de silício. Letras minúsculas iguais não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade, através do teste de Tukey. Controle = irrigado, s/Si = sem silício; 0,5 Si = 0,5 μ M de Si; 1,0 Si = 1,0 μ M de Si; 1,5 Si = 1,5 μ M de Si e 2,0 Si = 2,0 μ M de Si.

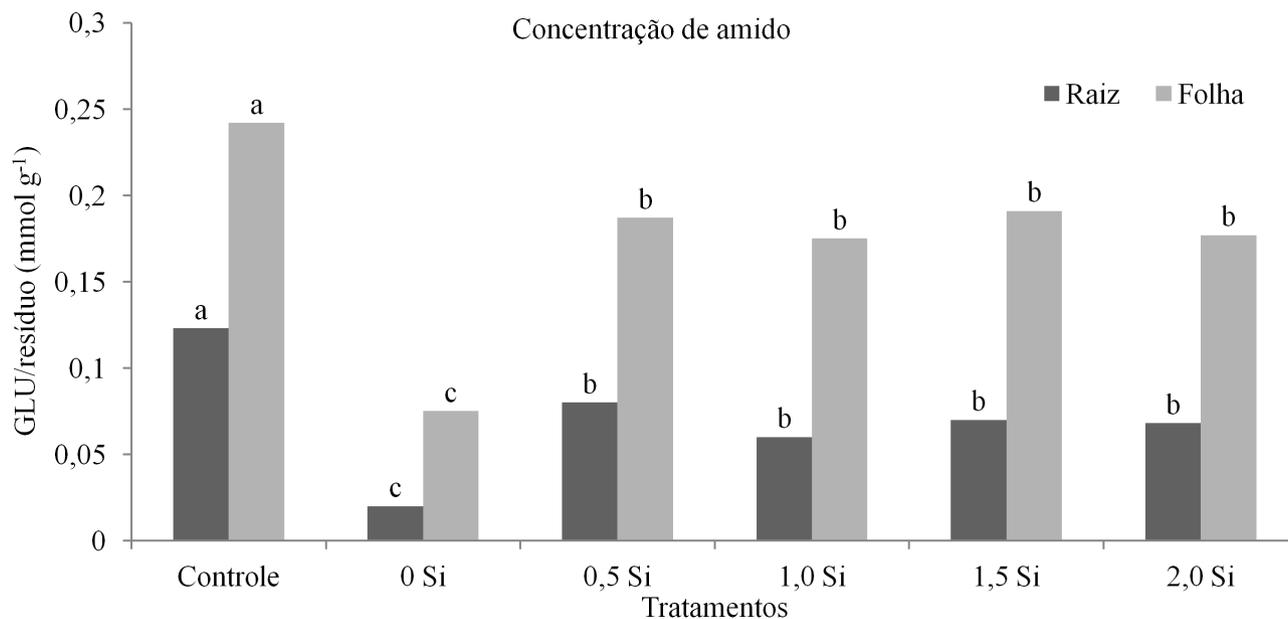


FIGURA 2. Concentrações de amido (mmol de GLU g⁻¹ de resíduo seco) em plantas de sorgo submetidas a estresse hídrico e a diferentes concentrações de silício. Letras minúsculas iguais não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade, através do teste de Tukey. Controle = irrigado, s/Si = sem silício; 0,5 Si = 0,5 μM de Si; 1,0 Si = 1,0 μM de Si; 1,5 Si = 1,5 μM de Si e 2,0 Si = 2,0 μM de Si.

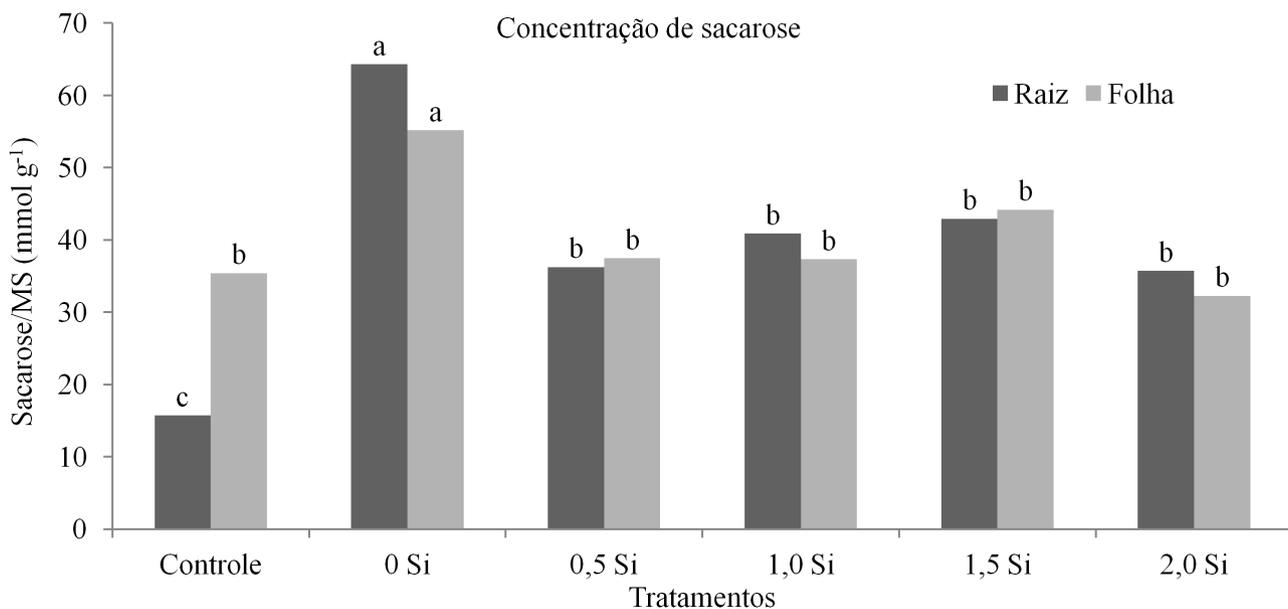


FIGURA 3. Concentrações de Sacarose (mmol de sacarose g⁻¹ MS) em plantas de sorgo submetidas a estresse hídrico e a diferentes concentrações de silício. Letras minúsculas iguais não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade, através do teste de Tukey. Controle = irrigado, s/Si = sem silício; 0,5 Si = 0,5 μM de Si; 1,0 Si = 1,0 μM de Si; 1,5 Si = 1,5 μM de Si e 2,0 Si = 2,0 μM de Si.

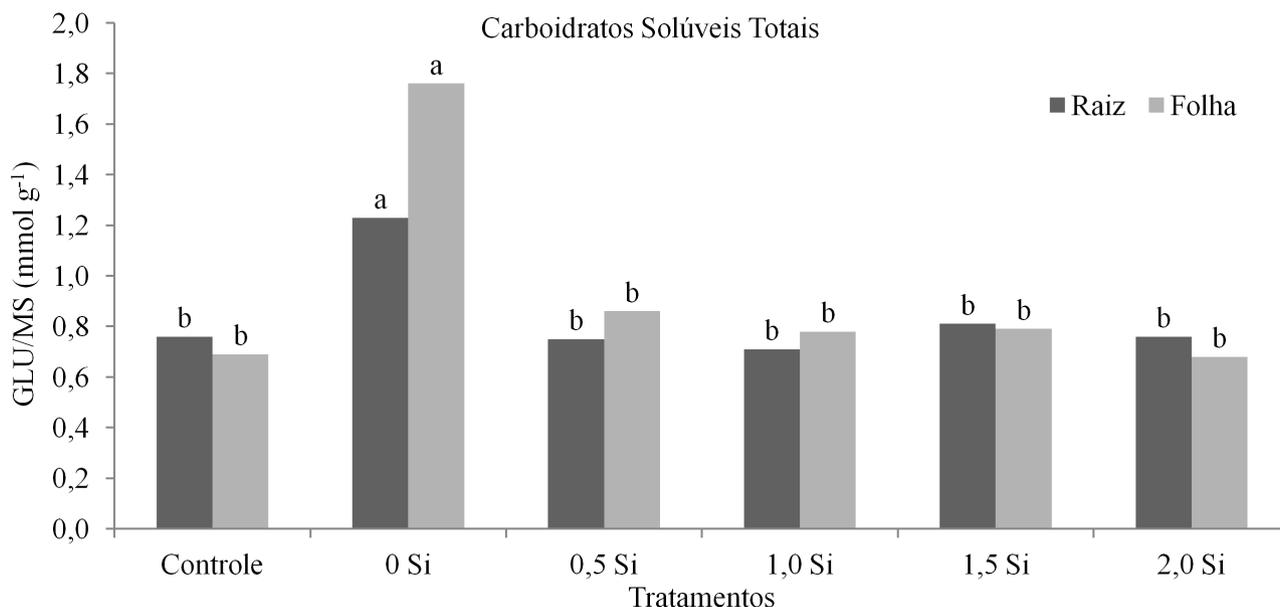


FIGURA 4. Concentrações de carboidratos solúveis totais (mmol de GLU g⁻¹ MS) em plantas de sorgo submetidas a estresse hídrico e a diferentes concentrações de silício. Letras minúsculas iguais não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade, através do teste de Tukey. Controle = irrigado, s/Si = sem silício; 0,5 Si = 0,5 μM de Si; 1,0 Si = 1,0 μM de Si; 1,5 Si = 1,5 μM de Si e 2,0 Si = 2,0 μM de Si.

que houve incremento nas concentrações de carboidratos solúveis totais.

As maiores concentrações de glicina-betaína foram observadas em plantas sob deficiência hídrica (Figura 5). Silva et al. (2012) observaram que as concentrações de glicina-betaína foram maiores nas plantas que sofreram estresse, quando comparadas as plantas sob controle. Além disso, as concentrações de glicina-betaína aumentaram em plantas de sorgo submetidas a deficiência hídrica (Oliveira Neto, 2008).

O silício reduziu a concentração de glicina-betaína em plantas de sorgo submetidas a deficiência hídrica. Esse elemento propicia que plantas de arroz apresentem alta tolerância a períodos de deficiência hídrica, sugerindo que a maior absorção de silício nessas cultivares pode estar relacionada com a sua maior resistência à seca (Camargo, 2011).

A concentração de prolina nas raízes e nas folhas reduziu em todos os tratamentos quando comparados às plantas sobre estresse hídrico S/Si (Figura 6). Sob condições de estresse, a prolina se acumula em grandes quantidades no citosol, contribuindo substancialmente para o ajuste osmótico citosólico, sendo esse aumento associado à tolerância de plantas à desidratação (Ashraf & Foolad, 2007). Resultados similares ocorreram em plantas de feijão, nas quais a diminuição de água na folha reduz os teores de prolina (Lobato et al, 2008).

Conclusões

O estresse hídrico afetou diretamente os níveis dos osmorreguladores nas plantas de sorgo e a aplicação do silício demonstrou ser eficaz no controle da deficiência hídrica.

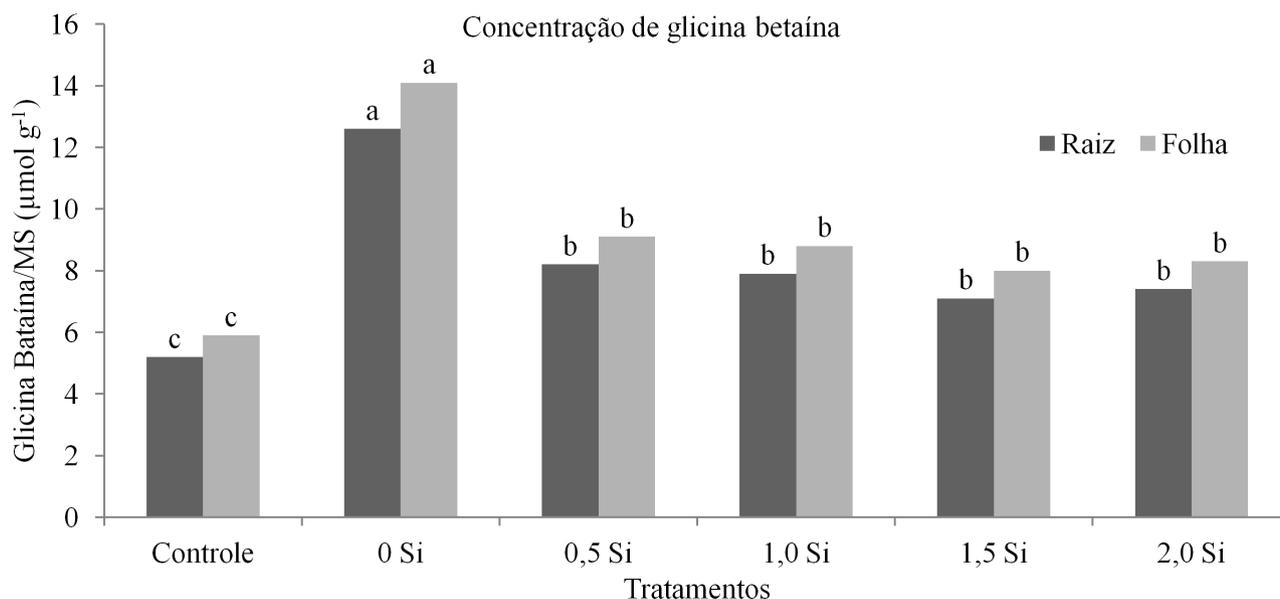


FIGURA 5. Concentrações de glicina-betaína ($\mu\text{mol g}^{-1}$) em plantas de sorgo submetidas a estresse hídrico e a diferentes concentrações de silício. Letras minúsculas iguais não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade, através do teste de Tukey. Controle = irrigado, s/Si = sem silício; 0,5 Si = 0,5 μM de Si; 1,0 Si = 1,0 μM de Si; 1,5 Si = 1,5 μM de Si e 2,0 Si = 2,0 μM de Si.

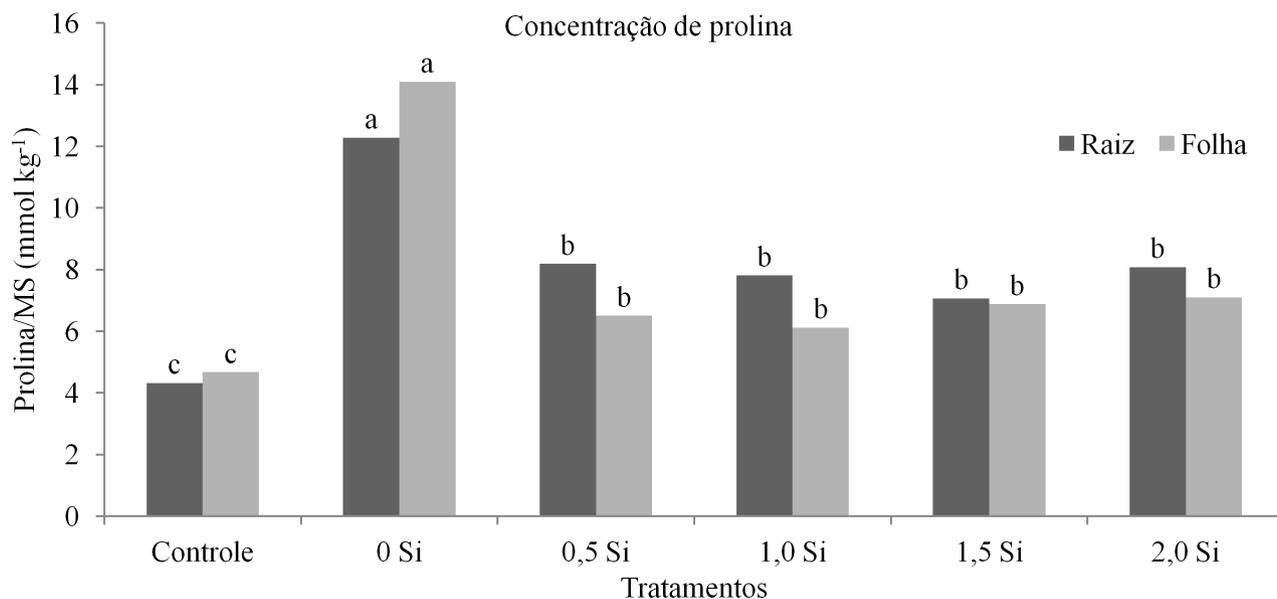


FIGURA 6. Concentrações de prolina (mmol kg^{-1} MS) em plantas de sorgo submetidas a estresse hídrico e a diferentes concentrações de silício. Letras minúsculas iguais não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade, através do teste de Tukey. Controle = irrigado, s/Si = sem silício; 0,5 Si = 0,5 μM de Si; 1,0 Si = 1,0 μM de Si; 1,5 Si = 1,5 μM de Si e 2,0 Si = 2,0 μM de Si.

Referências

- AMARAL, S. R. Comportamento de linhagens de sorgo forrageiro submetidas a déficit hídrico sob condição controlada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 38, n. 8, p. 973-979, 2003.
- ANDRADE NETO, R. C.; MIRANDA, N. O.; DUDA, G. P.; GÓES, G. B.; LIMA, A. S. Crescimento e produtividade do sorgo forrageiro BR 601 sob adubação verde. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 2, p. 124-130, 2010.
- ASHRAF, M.; FOOLAD, M. R. Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. **Environmental and Experimental Botany**, Elmsford, v. 59, n. 2, p. 206-216, 2007.
- BATES, L. S.; WALDREN, R. P.; TEARE, I. D. Rapid determination of free proline for water-stress studies. Short communication. **Plant and Soil**. The Hague, v. 39, p. 205-207, 1973.
- CAMACHO, R.; MALAVOLTA, E.; GUERERO-ALVES, J.; CAMACHO, T. Vegetative growth of grain sorghum in response to phosphorus nutrition. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 59, n. 4, p. 771-776, 2002.
- CAMARGO, M.S. Silício em Cana-de-Açúcar. **Pesquisa & Tecnologia**, Campinas, v. 8, n. 88, 2011. Disponível em: < http://www.aptaaregional.sp.gov.br/index.php?option=com_docman&task=doc_view&gid=1137&Itemid=284 > Acesso em: 4 abr. 2013.
- CARVALHO, L.F.; MEDEIROS FILHO, S.; ROSSETTI, A.G.; TEÓFILO, E.A. Condicionamento osmótico em sementes de sorgo. **Revista Brasileira de Sementes**, Fortaleza, v. 22, n. 1, p. 185-192, 2000.
- CHAVES FILHO, J. T.; STACCIARINI-SERAPHIN, E. Alteração no potencial osmótico e teor de carboidratos solúveis em plantas jovens de lobeira (*Solanum lycocarpum* St.-Hil.) em resposta ao estresse hídrico. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 24, n. 2, p. 199-204, 2002.
- CHAVES, M. M.; OLIVEIRA, M. M. Mechanisms underlying plant resilience to water deficits: prospects for water-saving agriculture. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 55, p. 2365-2384, 2004.
- COSTA, G. F.; MARENCO, R. A. Fotossíntese, condutância estomática e potencial hídrico foliar em árvores jovens de andiroba (*Carapa guianensis*). **Acta Amazonica**, Manaus, v. 37, n. 2, p. 229-234, 2007.
- CRUZ, M. C. M.; SIQUEIRA, D. L.; SALOMÃO, L. C. C.; CECON, P. R.; SANTOS, D. Teores de carboidratos em tangerineira 'ponkan' e limeira ácida 'tahiti' submetidas ao estresse hídrico. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 55, n. 4, p. 305-309, 2008.
- DUBOIS, M.; GILLES, K. A.; HAMILTON, J. K.; REBERS, P. A.; SMITH, F. Calorimetric method for determination of sugars and related substances. **Analytical Chemistry**, Washington-DC, v. 28, n. 3, p. 350-356, 1956.
- ENEJI, E.; INANAGA, S.; MURANAKA, S.; LI, J.; AN, P.; HATTORI, T.; TSUJI, W. Effect of calcium silicate on growth and dry matter yield of *Chloris gayana* and *Sorghum sudanense* under two soil water regimes. **Grass and Forage Science**, Oxford, v. 60, n. 4, p. 393-398, 2005.
- EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Mineral nutrition of plants: principles and perspectives**. Sunderland: Sinauer Associates, 2005. 400 p.
- 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.
- GRIEVE C. M.; GRATTAN S. R. Rapid assay for determination of water soluble quaternary ammonium compounds. **Plant and Soil**, The Hague, v. 70, p. 303-307, 1983.
- HASHEMI, A.; ABDOLZADEH, A.; SADEGHIPOUR, H. R. Beneficial effects of silicon nutrition in alleviating salinity stress in hydroponically grown canola, *Brassica napus* L., plants. **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, v. 56, p. 244-253, 2010.
- HOAGLAND, D. R.; ARNON, D. I. **The water culture method for growing plants without soil.** Berkeley: California Agricultural Experiment Station, 1950. 39 p. (Circular, 347).
- KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; AMARGO, M. S. Papel do silício na produção de cana-de-açúcar, **Stab**, Piracicaba, v. 21, p. 6-9, 2002.
- 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 physiology behavior of *Vigna unguiculata* (L.) Walp. under water stress during the vegetative phase. **Asian Journal of Plant Science**, Faisalada, v. 7, p. 44-49, 2008.
- MA, J. F.; MIYAKE, Y.; TAKAHASHI, E. Silicon as a benefic element for crop plants. In: DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H.; KORNDORFER, G. H. **Silicon in agriculture.** Amsterdam: Elsevier, 2001. v. 8, p.17-39.
- MELO, D. A. **Avaliação de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench.) e milheto (*Pennisetum glaucum* (L.) R. BROWN) sob diferentes níveis de água no solo.** 2006. 48 f. Dissertação (Mestrado) - Centro de Saúde e Tecnologia Rural, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.
- 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.
- OLIVEIRA-NETO, C. F. **Crescimento, produção e comportamento fisiológico e bioquímico em plantas de sorgo (*Sorghum bicolor* [L.] moench) submetidas à deficiência hídrica,** 2008. 114 f. Dissertação (Mestrado), Universidade de Ciências Agrárias, Universidade Federal Rural da Amazônia, Belem.
- PIMENTEL, C. **A relação da planta com a água.** Seropédica: Edur, 2004. 191 p.
- SAS INSTITUTE. **SAS/STAT User's Guid:** version 6.12. Cary, 1996.
- SILVA, J. N.; COELHO, C. C. R.; NEVES, M. G.; SILVA, J. E. S.; OLIVEIRA NETO, C. F. Ajustadores osmóticos e compostos nitrogenados em plantas de milho (*Zea mays*) submetidas ao alagamento. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 29., 2012, Águas de Lindóia. **Diversidade e inovações na era dos transgênicos:** resumos expandidos. Campinas: Instituto Agrônomo; Sete Lagoas: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2012. CD ROM
- SILVA, J. R. R. **Comportamento ecofisiológico de plantas jovens de andiroba (*Carapa guianensis* Aubl.).** 2009. 40 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade de Ciências Agrárias, Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém.
- SLAVICK, B. **Methods of Studying Plant Water Relations.** New York: Springer-Verlag, 1979. 449 p.
- VAN HANDEL, E. Direct microdetermination of sucrose. **Analytical Biochemistry**, New York, v. 22, n. 2, p. 280-283, 1968.