

## **Ácido salicílico e silício no tratamento de sementes de amendoim submetidas ao déficit hídrico**

### **Salicylic acid and silicon in the treatment of peanut seeds submitted to water deficit**

**Vinícius Alves da Costa GUIMARÃES<sup>1</sup>; Fabio Roberto ZAVA<sup>2</sup>; Alef Veiga dos SANTOS<sup>3</sup>; Guilherme Novas Hernandes GALHARDO<sup>4</sup>; João Emmanuel Ribeiro GUIMARÃES<sup>5</sup>; Mirela Vantini CHECCHI<sup>6</sup>; Gilmar da Silveira SOUSA JUNIOR<sup>7</sup>.**

<sup>1</sup> Graduando em Engenharia Agronômica, Instituto Municipal de Ensino Superior de Bebedouro “VC”, e-mail: [viniciusadcg@gmail.com](mailto:viniciusadcg@gmail.com)

<sup>2</sup> Graduando em Engenharia Agronômica, Instituto Municipal de Ensino Superior de Bebedouro “VC”, e-mail: [fabiorobertozava@gmail.com](mailto:fabiorobertozava@gmail.com)

<sup>3</sup> Graduando em Engenharia Agronômica, Instituto Municipal de Ensino Superior de Bebedouro “VC”, e-mail: [alef.santos0966@gmail.com](mailto:alef.santos0966@gmail.com)

<sup>4</sup> Graduando em Engenharia Agronômica, Instituto Municipal de Ensino Superior de Bebedouro “VC”, e-mail: [guilherme\\_hernandes@outlook.com.br](mailto:guilherme_hernandes@outlook.com.br)

<sup>5</sup> Professor Doutor em Agronomia, Instituto Municipal de Ensino Superior de Bebedouro “VC”, e-mail: [joaoemmanuelrg@gmail.com](mailto:joaoemmanuelrg@gmail.com)

<sup>6</sup> Doutora em Agronomia, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, e-mail: [mirelavantini@hotmail.com](mailto:mirelavantini@hotmail.com)

<sup>7</sup> “Autor para correspondência”, Professor Doutor em Agronomia, Instituto Municipal de Ensino Superior de Bebedouro “VC”, e-mail: [gilmar.ssjr@hotmail.com](mailto:gilmar.ssjr@hotmail.com)

Recebido em: 08-03-2022; Aceito em: 02-12-2025

#### **Resumo**

O amendoim, assim como outra cultura, também é influenciado por vários fatores abióticos, como a deficiência hídrica. Aliando-se com os mecanismos endógenos das plantas, a aplicação de atenuadores vem se tornando uma alternativa promissora para a redução dos efeitos adversos do déficit hídrico. Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de ácido salicílico e silício no tratamento de sementes de amendoim sob déficit hídrico. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, utilizando-se a cultivar IAC OL6, submetidas à duas condições hídricas (80 e 30% da capacidade de campo) e tratamento de sementes com ácido salicílico ( $0,5 \text{ mmol L}^{-1}$ ), silício ( $1,0 \text{ mmol L}^{-1}$ ) e controle (água destilada). O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, em esquema fatorial  $2 \times 3$ , com cinco repetições. Foram realizadas avaliações do comprimento da parte aérea, número de folhas, massa seca da parte aérea, teores de clorofila e de carotenoides e quantificação do malondialdeído (MDA). Os resultados demonstraram que as plantas de amendoim sob déficit hídrico sem a adição de ácido salicílico e silício apresentaram valores menores na maioria das variáveis avaliadas e maior conteúdo de MDA. A aplicação de ácido salicílico e silício mitigou os

efeitos do déficit hídrico em plantas de amendoim IAC OL6 refletindo em um melhor crescimento da parte aérea.

**Palavras-chave adicionais:** pigmentos vegetais; ácido malondialdeído; capacidade de campo; *Arachis hypogaea L.*

### Abstract

Peanut, like other crops, is also influenced by several abiotic factors, such as water deficiency. Combined with endogenous mechanisms of plants, the application of attenuators has become a promising alternative to reduce the effects of water deficit. Therefore, the objective of this work was to evaluate the effect of salicylic acid and silicon in the treatment of peanut seeds under water stress. The experiment was carried out in a greenhouse, using the cultivar IAC OL6, subjected to two water conditions (80 and 30% of field capacity) and seed treatment with salicylic acid ( $0.5 \text{ mmol L}^{-1}$ ), silicon ( $1.0 \text{ mmol L}^{-1}$ ) and control (distilled water). The experimental design used in the experiment was completely randomized, in a  $2 \times 3$  factorial scheme, with five replications. Evaluations were made of shoot length, number of leaves, shoot dry mass, chlorophyll and carotenoid contents and malonaldehyde acid content. The results showed that peanut plants under water stress without the addition of salicylic acid and silicon presented lower values of the evaluated variables. The application of salicylic acid and silicon attenuated the effects of water stress in IAC OL6 peanut plants, resulting in better shoot growth.

**Additional keywords:** plant pigments; malonaldehyde acid; field capacity; *Arachis hypogaea L.*

### Introdução

O Brasil é o quinto maior produtor de amendoim do mundo, logo após a China, Índia, Nigéria e Sudão (USDA, 2020). No país, a área destinada a essa leguminosa é de 255,4 mil hectares com uma produção de  $2.873 \text{ kg ha}^{-1}$  (CONAB, 2024). Sendo a região Sudeste responsável por 94% de toda a produção nacional, sendo o Estado de São Paulo o principal produtor, devido à relação da cultura com as áreas de renovação de canaviais (IBGE, 2019).

O amendoim é utilizado principalmente na alimentação humana, seja *in natura*, processada ou para a produção de óleo. Assim como outras culturas, a leguminosa também é influenciada por vários fatores abióticos, como a deficiência hídrica, ocasionada pela ausência de precipitação durante um período ou pela

precipitação abaixo da demanda exigida para o pleno desenvolvimento da cultura (Arruda *et al.*, 2015). De acordo com Cattivelli *et al.* (2008), a falta de água e de nutrientes estão entre os fatores que limitam o desenvolvimento e a produtividade das culturas agrícolas. Além disso, Chaves e Oliveira (2004), relataram que o nível de dano causado pelo estresse hídrico depende da intensidade, duração e estádio fenológico em que a cultura se encontra.

Nesse contexto, o déficit hídrico é considerado o fator mais importante quando se analisa os fatores externos que influenciam na qualidade das sementes durante o processo de germinação, pois a água reativa o metabolismo e está envolvida diretamente em todas as demais etapas (Marcos Filho, 2005). Segundo Carrega *et al.* (2019), estudos de germinação sob condições de déficit hídrico são fundamentais para permitir avaliar o comportamento das sementes a ambientes adversos à germinação e assim auxiliar na tomada de decisão.

Aliando-se com os mecanismos endógenos das plantas, a aplicação de atenuadores vem se tornando uma alternativa promissora para redução dos efeitos do déficit hídrico. O ácido salicílico (AS) é um composto fenólico com defesa contra o estresse hídrico que modifica o conteúdo dos pigmentos fotossintetizantes e a massa seca das plantas (Nobrega, *et al.*, 2020). Já o silício (Si) é o segundo elemento mais abundante no solo e devido a sua afinidade com o oxigênio, proporciona maior eficiência na absorção de água, resultando em maior tolerância às condições de déficit hídrico, por meio da capacidade de manter a integridade e a estabilidade da membrana celular (Sonobe *et al.*, 2011). Além disso, o Si promove o ajustamento osmótico (Pilon *et al.*, 2014), tornando as células epidérmicas das folhas mais eretas, auxiliando na absorção de CO<sub>2</sub>, resultando em eficiência fotossintética (Heckman, 2013; Patel *et al.*, 2021). Esses benefícios induzidos pela regulação osmótica, reduzem o estresse causado pela falta de água (Cantuário *et al.*, 2014).

Adicionalmente, alguns autores verificaram que a aplicação de AS e Si apresentam benefícios para várias culturas, principalmente quando estão expostas a estresses abióticos (Shakirova *et al.*, 2003; Singh & Usha, 2003; Hattori *et al.*, 2005; Gunes *et al.*, 2007; Abdalla, 2011).

Diante da hipótese de que o AS e o Si podem atenuar o estresse pela deficiência hídrica, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito do AS e Si no tratamento de sementes de amendoim submetidas ao déficit hídrico.

## **Material e métodos**

O experimento foi conduzido em casa de vegetação no Laboratório de Plantas Daninhas (LAPDA), pertencente à Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus de Jaboticabal, São Paulo. Para o experimento utilizou-se a cultivar de amendoim, IAC OL6, submetidas a duas condições hídricas e três tratamentos de sementes (água destilada – controle, ácido salicílico a 0,5 mmol L<sup>-1</sup> e silício a 1,0 mmol L<sup>-1</sup>). O delineamento experimental utilizado no experimento foi em blocos casualizados, em esquema fatorial 2x3, com cinco repetições.

Previamente à semeadura em vasos, as sementes de amendoim foram imersas por 40 minutos em solução de água destilada para o controle, 0,5 mmol L<sup>-1</sup> de ácido salicílico diluídos em água destilada para o tratamento com AS e 1,0 mmol L<sup>-1</sup> de sílicio diluídos em água destilada para tratamento com Si. Após o processo de embebição, uma semente foi semeada por vaso de 300 ml que foram preenchidos com substrato de fibra de coco tratado, pois é leve, poroso e possui excelente capacidade de absorção de água ao mesmo tempo que garante boa aeração das raízes, sanidade e ausência de patógenos.

As sementes receberam irrigação diária e uniforme até 10 dias após a emergência. Passado este período, deu-se início aos tratamentos, submetendo-as condições controle (80% da capacidade de campo) e déficit hídrico (30% da capacidade de campo), o déficit hídrico foi submetido as plantas por três dias. Ao final da condução do experimento (13 dias após a emergência), a parte aérea foi coletada para execução das análises.

### **Avaliações**

#### **Caracterização do estresse**

Para a caracterização do estresse foi realizada a análise de peroxidação lipídica, pela quantificação do conteúdo de substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBA), destacando entre estas o malondialdeído (MDA). A leitura foi realizada em espectrofotômetro nos comprimentos de onda 535 a 600 nm (Gratão *et al.*, 2015).

#### **Quantificação de clorofila e carotenoides**

Para a quantificação dos teores de clorofila e carotenoides, os discos foliares foram removidos e colocados em uma mistura contendo 2 mL de acetona (80%) mantidos por 48 h sob refrigeração. Após este período, foram mensurados em espectrofotômetro nos comprimentos de onda: Clorofila a = 663 nm; Clorofila b = 647 nm; Carotenóides = 470 nm, calculados de acordo com as equações propostas por Lichtenthaler (1987).

### *Crescimento*

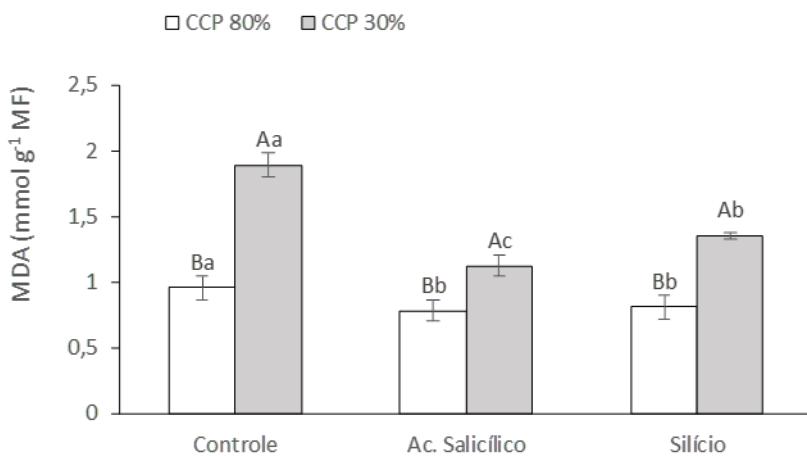
Foram realizadas avaliações do comprimento da parte aérea, utilizando-se uma régua graduada em centímetros, número de folhas e massa seca da parte aérea. A obtenção da massa seca foi realizada após a secagem dos tecidos vegetais em estufa de ventilação forçada (65 °C) por 72 horas.

### *Análise estatística*

A análise estatística foi realizada pelo software estatístico Agrostat (Barbosa e Maldonado Júnior, 2011), sendo submetidos à análise de variância pelo teste F. As diferenças significativas entre os tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

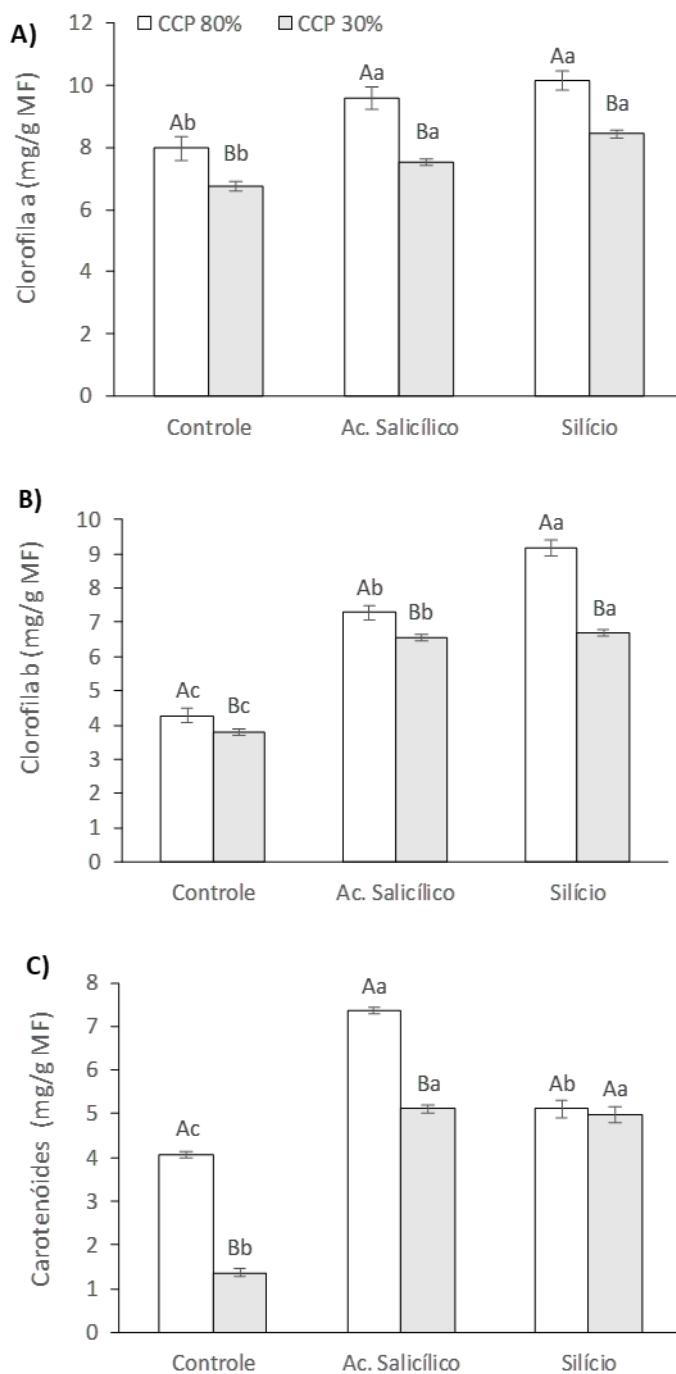
## **Resultados e Discussão**

A peroxidação lipídica, expressa como teor de MDA é um indicativo de dano na membrana. Com relação aos dados obtidos na parte aérea (Figura 1), o maior teor foi observado em plantas sem tratamento e com capacidade de campo de campo (CCP) de 30%, mostrando que o déficit hídrico provocou maior estresse para as plantas. Com relação ao tratamento com AS observou-se que na capacidade de campo de 80% as plantas produziram menor quantidade de MDA quando comparado com as plantas controle na mesma condição, na CCP de 30% com AS houve um aumento no MDA comparado com a CCP de 80% no mesmo tratamento porém esse aumento foi significativamente menor quando comparado com o controle na CCP de 30%. Para o tratamento com Si foi possível constatar uma resposta similar ao AS quando comparado com o controle na CCP de 80%, porém se compararmos o tratamento Si com o tratamento com AS na CCP de 30% é possível notar uma diferença significativa, que demonstra o quanto o AS teve uma menor produção de MDA quando comparado com o Si (Figura 1);



**Figura 1.** Teor de malondialdeído (MDA) na parte aérea das plantas de amendoim sob tratamento de sementes com ácido salicílico e silício e submetidas duas condições hídricas. Barras mostram erro padrão de média ( $n = 5$ ). Letras maiúsculas iguais dentro do tratamento e letra minúscula iguais entre os tratamentos não mostram diferença pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CCP = Capacidade de Campo.

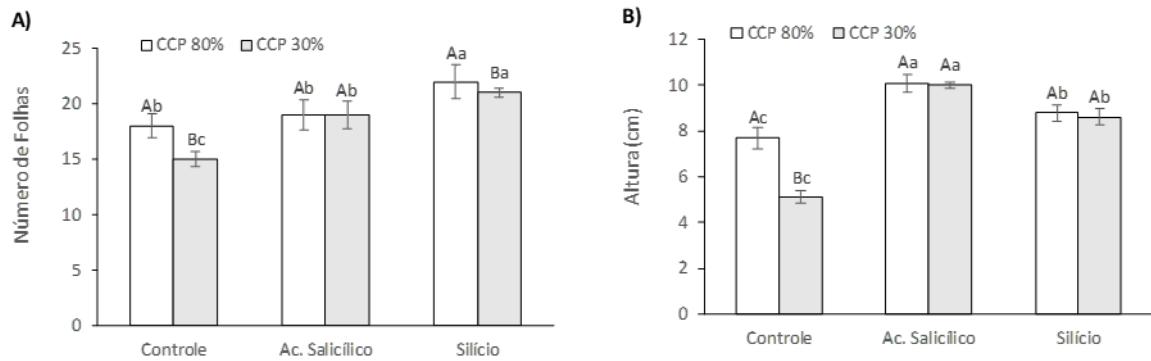
Como principal produto da peroxidação lipídica, tem-se o MDA, que reflete o grau de dano na membrana celular (Checchio, 2021). Nessa situação, a CCP em 30% foi suficiente para ocasionar a peroxidação lipídica, uma vez que o MDA aumentou nessa condição quando comparado as plantas cultivadas na CCP de 80%. O déficit hídrico é um dos principais estresses responsáveis pelas mudanças na atividade metabólica das plantas (Pandey *et al.*, 2016), ocasionando acúmulo de MDA em plantas estressadas (Ventura *et al.*, 2019). No entanto os níveis de MDA foram reduzidos significativamente em ambos os tratamentos. Desse modo, o tratamento de sementes com AS e Si pode ter induzido a tolerância ao déficit hídrico, suprimindo o acúmulo de MDA nas plantas para recuperá-las dos efeitos tóxicos deletérios ocasionados pelo déficit, consequentemente reduzindo a peroxidação lipídica (Wu *et al.*, 2014).



**Figura 2.** Teor de clorofila a (A), clorofila b (B) e carotenoides (C) de plantas de amendoim com sementes tratadas com ácido salicílico e silício expostas a duas concentrações hídricas. Barras mostram erro padrão de média ( $n = 5$ ). Letras maiúsculas iguais dentro do tratamento e letra minúscula iguais entre os tratamentos não mostram diferença pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CCP = Capacidade de Campo. CCP = capacidade de campo; MF = Massa Fresca.

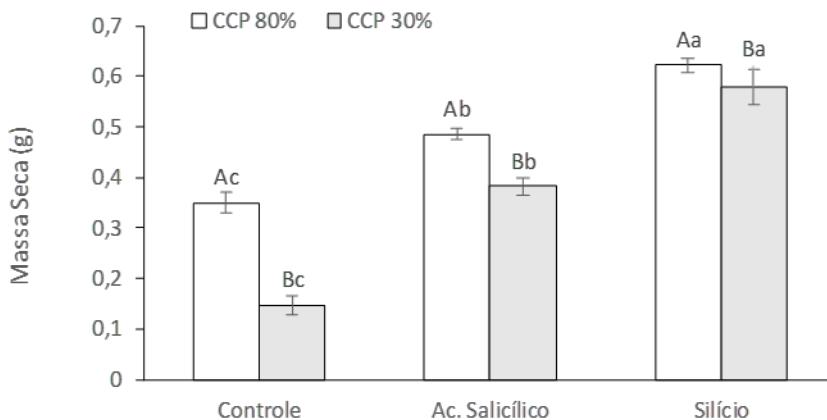
Dentre os efeitos diversos ocasionados pelo déficit hídrico, a fotossíntese e sua relação com os pigmentos fotossintéticos, como clorofitas e carotenoides são diretamente afetados, podendo haver redução do seu teor, o que pode ocasionar relação negativa com o crescimento vegetal (Gomes *et al.*, 2017). Os resultados deste trabalho corroboram com a literatura, mostrando que sob déficit hídrico, tanto as plantas não tratadas quanto as tratadas com AS ou Si tiveram considerável redução no teor desses pigmentos quando comparados ao controle (figura 2). De acordo com Rao *et al.* (2007) e Kordi *et al.* (2013), a redução da clorofila em razão do déficit hídrico está associada ao aumento da produção de oxigênio reativo na célula, uma vez que esses radicais livres ocasionam peroxidação, desintegração e perda do conteúdo de clorofila. Karlidag *et al.* (2009) revelam que a aplicação exógena de AS atua como sinalizadores de mecanismos de defesa de plantas através do aumento dos teores de clorofitas e Al-aghabary *et al.* (2005), observaram aumento do teor de clorofila em tomateiro pela adição de Si.

Os carotenoides são fundamentais no processo de fotoproteção fotossintética, atuando como poderosos antioxidantes (Patel *et al.*, 2021). Os dados de carotenoides neste estudo demonstram que o maior teor de carotenoides está em plantas que ficaram sobre CCP de 80% tratadas com AS ou Si, no entanto plantas em condição de CCP de 30% tratadas com AS ou Si também aumentaram seus tores de carotenoides quando comparadas ao controle (Figura 2). Esse aumento pode ser atribuído ao papel dos carotenoides como precursores na sinalização em condições estressantes (Ashraf e Harris, 2013). Neste trabalho, esse aumento é verificado em todos os tratamentos expostos ao déficit hídrico. Uma das funções dos carotenoides é contribuir para o aumento da tolerância das plantas em curtos períodos de estresse por falta de água (Farooq *et al.*, 2009). Além disso, eles são importantes para a proteção do pigmento da clorofila quando submetida à essa condição, que é responsável pela alteração do ciclo de vida da planta (Pincelli, *et al.*, 2012).



**Figura 3.** Crescimento de plantas de amendoim com sementes tratadas com ácido salicílico e silício expostas a duas concentrações hídricas. A) número de folhas; B) Altura de parte aérea. Barras mostram erro padrão de média ( $n = 5$ ). Letras maiúsculas iguais dentro do tratamento e letra minúscula iguais entre os tratamentos não mostram diferença pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CCP = Capacidade de Campo.

Os dados bioquímicos e fisiológicos demonstraram que a CCP de 30% interfere negativamente no acúmulo de MDA (figura 1) e nos pigmentos (figura 2), esses dados refletiram diretamente no crescimento, onde plantas expostas a condição estressante tiveram seu número de folhas (figura 3), altura (figura 3) e massa seca (figura 4) influenciados negativamente pelo déficit hídrico. A aplicação de AS e Si, não só atenuaram o estresse causado pelo déficit com o aumento dos pigmentos e diminuição do acúmulo do MDA, como também tiveram maior número de folhas, altura e massa seca. O AS e Si não só diferiram significativamente nas plantas estressadas como também diferiram do controle nas plantas que não estavam sob estresse.



**Figura 4.** Massa seca de plantas de amendoim com sementes tratadas com ácido salicílico e silício expostas a duas concentrações hídricas. Barras mostram erro padrão de média ( $n = 5$ ). Letras maiúsculas iguais dentro do tratamento e letra minúscula iguais entre os tratamentos não mostram diferença pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CCP = Capacidade de Campo.

Sabe-se que a redução da disponibilidade de água provoca redução do crescimento das plantas (Arruda *et al.*, 2015). Essa redução é consequência da estratégia da planta de evitar gastos metabólicos, mesmo que isso resulte em menor crescimento e desenvolvimento. Contudo, Abdalla (2011) relata que o maior desenvolvimento vegetativo pode estar associado ao maior crescimento radicular das plantas, proporcionado pela aplicação de Si. Além disso, o Si proporciona plantas mais eretas, com parede celular mais fortalecida e rígida, resistentes ao acamamento e com melhor intercepção de luz (Pulz *et al.*, 2008). De acordo com Gomes *et al.* (2018) a aplicação de AS ativa a defesa da planta contra estresses, inclusive de seca, e evita a redução da taxa fotossintética, garantindo a longevidade das folhas.

Os resultados de crescimento apresentados corroboram com a literatura, onde a aplicação de AS e Si no tratamento de sementes, induziu as plantas de amendoim a tolerar ao estresse causado pela CCP de 30%.

## Conclusão

O ácido salicílico e o silício no tratamento de sementes de amendoim mitigaram os efeitos deletérios do déficit hídrico nas condições avaliadas. O tratamento de sementes com o AS e Si pode ser uma técnica viável para aliviar os efeitos adversos do déficit hídrico na germinação, sobretudo a irrigação 30% da capacidade de campo.

## Referências

- ABDALLA, M. M. (2011). Beneficial effects of diatomite on growth, the biochemical contents and polymorphic DNA in *Lupinus albus* plants grown under water stress. *Agriculture and Biology Journal of North America*, v.2, n.2, p.207-220. <https://doi.org/10.5251/abjna.2011.2.2.207.220>
- AL-AGHABARY, K.; Zhujun, Z.; Qinhua, S. (2005) 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. <https://doi.org/10.1081/PLN-200034641>
- ARRUDA, I. M.; Moda-Cirino, V.; Buratto, J. S.; Ferreira, J. M. (2015) Crescimento e produtividade de cultivares e linhagens de amendoim submetidas a déficit hídrico. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v.15, n.2, p.146-154. <https://doi.org/10.1590/1983-40632015v4529652>
- ASHRAF, M. H. P. J. C.; Harris, P. J. C. (2013) Photosynthesis under stressful environments: An overview. *Photosynthetica*, v.51, n.2, p.163-190. <https://doi.org/10.1007/s11099-013-0021-6>
- BARBOSA, J. C.; Maldonado Junior, W. (2015) AgroEstat - sistema para análises estatísticas de ensaios agronômicos. Jaboticabal: FCAV/UNESP. 396 p.
- CANTUÁRIO, F. S.; Luz, J. M. Q.; Pereira, A. I. A.; Salomão, L. C.; Rebouças, T. N. H. (2014) Podridão apical e escaldadura em frutos de pimentão submetidos a estresse hídrico e doses de silício. *Horticultura Brasileira*, v.32, n.2, p.215-219. <https://doi.org/10.1590/S0102-05362014000200017>
- CARREGA, W. C.; Santos, J. I.; Cesarin, A. E.; Gallardo, G. J. T.; Bacha, A. L.; Godoy, I. J.; Alves, P. L. D. C. A. (2019). Respostas fisiológicas de genótipos de amendoim à deficiência hídrica. *Brazilian Journal of Environmental Sciences (Online)*, (54), p.119-133. <https://doi.org/10.5327/Z2176-947820190580>
- CATTIVELLI, L.; Rizza, F.; Badeck, F. W.; Mazzucotelli, E.; Mastrangelo, A. M.; França, E.; Marè, C.; Tondelli, A.; Stanca, A. M. (2008) Drought tolerance improvement in crop plants: an integrated view from breeding to genomics. *Field Crops Research*, v.105, n.1, p.1-14. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2007.07.004>
- CHAVES, M. M.; Oliveira, M. M. (2004) Mechanisms underlying plant resilience to water deficits: prospects for water-saving agriculture. *Journal of Experimental Botany*, v.55, n.407, p.2365-2384. <https://doi.org/10.1093/jxb/erh269>
- CHECCHIO, M. V.; Alves, R. C.; Oliveira, K. R.; Moro, G. V.; Santos, D. M. M.; Gratão, P. L. (2021) Enhancement of salt tolerance in corn using *Azospirillum brasiliense*: an approach on antioxidant systems. *Journal of Plant Research*, v.134, n.6, p.1279-1289. <https://doi.org/10.1007/s10265-021-01332-1>
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Informações Agropecuárias -Safras -Série Histórica das Safras: Amendoim. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras>. Acesso em: 20 nov. 2025.
- DALLACORT, R.; MARTINS, J. A.; INOUE, M. H.; FREITAS, P. S. L.; KRAUSE, W. Aptidão agroclimática do pinhão-manso na região de Tangará da Serra, MT. *Ciência Agronômica*, v. 41, n. 3, p. 373-379, 2010. <https://doi.org/10.1590/S1806-66902010000300008>

FAROOQ, M.; Wahid, A.; Kobayashi, N.; Fujita, D.; Basra, S. M. A. (2009) Plant drought stress: effects, mechanisms and management. *Agronomy for Sustainable Development*, v.29, p.185-212. <https://doi.org/10.1051/agro:2008021>

GOMES, C. A.; Assis, A. C. L. P.; Alves, D. P.; Reis, M. R. (2018) Aplicação de ácido salicílico como atenuador dos efeitos de déficit hídrico no milho. *Journal of Engineering and Exact Sciences*, v.4, n.3, p.359-363. <https://doi.org/10.18540/jcecv4iss3pp0359-0363>

GRATÃO, P. L.; Monteiro, C. C.; Tezotto, T.; Carvalho, R. F.; Alves, L. R.; Peters, L. P.; Azevedo, R. A. (2015) Cadmium stress antioxidant responses and root-to-shoot communication in grafted tomato plants. *Biometals*, v.28, n.5, p.803-816. <https://doi.org/10.1007/s10534-015-9867-3>

GUNES, A.; Inal, A.; Bagci, E. G.; Coban, S. (2007) Silicon-mediated changes on some physiological and enzymatic parameters symptomatic of oxidative stress in barley grown in sodic-B toxic soil. *Journal of Plant Physiology*, v.164, n.6, p.807-811. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2006.07.011>

HATTORI, T.; Inanaga, S.; Araki, H.; An, P.; Morita, S.; Luxová, M.; Lux, A. (2005) Application of silicon enhanced drought tolerance in Sorghum bicolor. *Physiologia Plantarum*, v.123, n.4, p.459-466. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2005.00481.x>

HECKMAN, J. (2013) Silicon: a beneficial substance. *Better Crops*, v.97, n.4, p.14-16.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2019) Estatísticas sobre produção agrícola municipal. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br>. Acesso em: 12 ago. 2021.

KARLIDAG, H.; Yildirim, E.; Turan, M. (2009) Salicylic acid ameliorates the adverse effect of salt stress on strawberry. *Scientia Agricola*, v.66, n.2, p.180-187. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162009000200006>

KORDI, S.; Saidi, M.; Ghanbari, F. (2013) Induction of drought tolerance in sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) by salicylic acid. *International Journal of Agricultural and Food Research*, v.2, n.2, p.18-26. <https://doi.org/10.24102/ijafr.v2i2.149>

LICHTENTHALER, H. K. (1987) Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods in Enzymology*, v.148, p.350-382. [https://doi.org/10.1016/0076-6879\(87\)48036-1](https://doi.org/10.1016/0076-6879(87)48036-1)

MARCOS Filho, J. (2005) Dormência de sementes. In: *Fisiologia de sementes de plantas cultivadas*. Piracicaba: FEALQ. p.253-289.

NÓBREGA, J. S.; Silva, T. I.; Ribeiro, J. E. S.; Vieira, L. S.; Figueiredo, F. R. A.; Fátima, R. T.; Dias, T. J. (2020) Emergência e crescimento inicial de melancia submetida a salinidade e doses de ácido salicílico. *Desafios*, v.7, n.2, p.162-171. <https://doi.org/10.20873/uftv7-8169>

PANDEY, P.; Srivastava, R. K.; Rajpoot, R.; Rani, A.; Pandey, A. K.; Dubey, R. S. (2016) Water deficit and aluminum interactive effects on reactive oxygen species generation and antioxidative enzymes in rice seedlings. *Environmental Science and Pollution Research*, v.23, n.2, p.1516-1528. <https://doi.org/10.1007/s11356-015-5392-8>

PATEL, M.; Fatnani, D.; Parida, A. K. (2021) Silicon-induced mitigation of drought stress in peanut genotypes. *Plant Physiology and Biochemistry*, v.166, p.290-313.  
<https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.06.003>

PILON, C.; Soratto, R. P.; Broetto, F.; Fernandes, A. M. (2014). Foliar or soil application of silicon alleviate water-deficit stress of potato plants. *Agronomy Journal*, v.106, n.6, p.2325-2334.  
<https://doi.org/10.2134/agronj14.0176>

PINCELLI, R. P.; Silva, M. D. A. (2012) Leaf morphological changes in sugarcane cultivars in response to water deficit. *Bioscience Journal*, v.28, n.4, p.546-556.

PULZ, A. L.; Crusciol, C. A. C.; Lemos, L. B.; Soratto, R. P. (2008) Influência de silicato e calcário na nutrição, produtividade e qualidade da batata sob deficiência hídrica. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32, n.4, p.1651-1659. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000400030>

RAO, V. R.; Murty, U. R. (1994) Botany - Morphology and Anatomy. In: Smartt, J. (ed.) *The Groundnut Crop*. Southampton: British Library. p.43-95.  
[https://doi.org/10.1007/978-94-011-0733-4\\_3](https://doi.org/10.1007/978-94-011-0733-4_3)

SHAKIROVA, F. M.; Sakhabutdinova, A. R.; Bezrukova, M.; Fatkhutdinova, R.; Fatkhutdinova, D. R. (2003) Changes in the hormonal status of wheat seedlings induced by salicylic acid and salinity. *Plant Science*, v.164, n.3, p.317-322. [https://doi.org/10.1016/S0168-9452\(02\)00415-6](https://doi.org/10.1016/S0168-9452(02)00415-6)

SINGH, B.; Usha, K. (2003) Salicylic acid induced physiological and biochemical changes in wheat seedlings under water stress. *Plant Growth Regulation*, v.39, n.2, p.137-141.  
<https://doi.org/10.1023/A:1022556103536>

SONOBE, K.; Hattori, T.; An, P.; Tsuji, W.; Eneji, A. E.; Kobayashi, S.; Kawamura, Y.; Tanaka, K.; Inanaga, S. (2011) Effect of silicon application on sorghum root responses to water stress. *Journal of Plant Nutrition*, v.34, n.1, p.71-82. <https://doi.org/10.1080/01904167.2011.531360>

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE - USDA (2020) *World Agricultural Production*. Washington: USDA. 34 p.

VENTURA, R. B.; Alves, L. R.; Oliveira, R.; Martinez, C. A.; Gratão, P. L. (2019) Impacts of warming and water deficit on antioxidant responses in *Panicum maximum*. *Physiologia Plantarum*, v.165, n.2, p.413-426. <https://doi.org/10.1111/ppl.12907>

WU, S.; Hu, C.; Tan, Q.; Nie, Z.; Sun, X. (2014) Effects of molybdenum on water utilization, antioxidative defense system and osmotic adjustment in winter wheat under drought stress. *Plant Physiology and Biochemistry*, v.83, p.365-374. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2014.08.022>