

## **SEED PRIMING DE MICROPARTÍCULAS VÍTREAS AZUL E ÂMBAR ESTIMULA O CRESCIMENTO DE FEIJÃO-CAUPI SOB ESTRESSE HÍDRICO**

Eulália Margarethe da Costa Melo<sup>1</sup>, Alberto Soares de Melo<sup>2</sup>, Ricardo Schneider<sup>3</sup>, Vitória Saskia Ferreira Barroso<sup>4</sup>, Igor Eneas Cavalcante<sup>5</sup>, Agda Malany Forte de Oliveira<sup>6</sup>

**RESUMO:** Considerando a importância socioeconômica do feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) como cultura de subsistência nas regiões semiáridas e o impacto provocado pelo déficit hídrico no seu desenvolvimento e produtividade, objetivou-se avaliar a aplicação de *seed priming* com micropartículas vítreas (SiMPs) âmbar e azul como fonte de silício (Si) na mitigação do déficit hídrico induzido por Polietilenoglicol 6000 (PEG 6000) em feijão-caupi “BRS Tapaihum”. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2x4, com cinco repetições. O primeiro fator consistiu em dois níveis de reposição de hídrica (W35% e W75% da ETc) e o segundo fator em quatro condicionamentos de sementes: Controle, *priming* 1 ( $\Psi_h - 0,4$  MPa), *priming* 2 ( $\Psi_h - 0,4$  MPa + 200 mg L<sup>-1</sup> de Si Azul) e *priming* 3 ( $\Psi_h - 0,4$  MPa + 200 mg L<sup>-1</sup> de Si Âmbar). Foram avaliadas: conteúdo relativo de água, vazamento de eletrólitos, área foliar total e massa seca total. O condicionamento de sementes com PEG 6000 e micropartículas vítreas âmbar e azul como fonte de silício promoveu a manutenção do CRA, reduziu o VE e aumentou a área foliar em condições de restrição hídrica, sendo uma estratégia promissora para mitigar os efeitos negativos da seca no feijão-caupi.

**PALAVRAS-CHAVE:** Polietilenoglicol 6000, SiMPs, “BRS Tapaihum”.

<sup>1</sup> Mestranda, Programa de Pós-graduação em Ciências Agrárias, Universidade Estadual da Paraíba, CEP 58429-500, Campina Grande, PB. Telefone (83) 99363-4418. e-mail: eulaliameo91@gmail.com.

<sup>2</sup> Prof. Doutor, Departamento de Biologia, UEPB, Campina Grande, PB.

<sup>3</sup> Prof. Doutor, Departamento de Química, UTFPR, Toledo, PR.

<sup>4</sup> Mestra, Programa de Pós-graduação em Ciências Agrárias, UEPB, Campina Grande, PB.

<sup>5</sup> Doutorando, Departamento de Fitotecnia e Ciências Ambientais, UFPB, Areia, PB.

<sup>6</sup> Pós-doutoranda PIPD-CAPES, Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias- PPGCA – UEPB, Campina Grande, PB.

## **SEED PRIMING WITH BLUE AND AMBER GLASSY MICROPARTICLES STIMULATES COWPEA GROWTH UNDER WATER STRESS**

**ABSTRACT:** Considering the socioeconomic importance of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) as a subsistence crop in semiarid regions and the impact caused by water deficit on its development and productivity, the objective was to evaluate the application of *seed priming* with amber and blue glassy microparticles (SiMPs) as a source of silicon (Si) in mitigating water deficit induced by Polyethylene glycol 6000 (PEG 6000) in cowpea “BRS Tapaihum”. The experiment was conducted in a completely randomized design, in a 2x4 factorial scheme, with five replicates. The first factor consisted of two levels of water replacement (W35% and W75% of ETC) and the second factor consisted of four seed conditioning: Control, *priming* 1 ( $\Psi_h$  - 0.4 MPa), *priming* 2 ( $\Psi_h$  -0.4 MPa + 200 mg L<sup>-1</sup> of Blue Si) and *priming* 3 ( $\Psi_h$  -0.4 MPa + 200 mg L<sup>-1</sup> of Amber Si). Relative water content, electrolyte leakage, total leaf area, and total dry mass were evaluated. *Priming* seeds with PEG 6000 and amber and blue glassy microparticles as a silicon source promoted the maintenance of WRC, reduced VE, and increased leaf area under water-restricted conditions, representing a promising strategy for mitigating the negative effects of drought in cowpea.

**KEYWORDS:** polietilenoglicol 6000, SiMPs, “BRS Tapaihum”.

### **INTRODUÇÃO**

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), também conhecido como feijão-de-corda ou feijão-macassar, destaca-se entre as espécies cultivadas no semiárido brasileiro devido ao seu alto valor proteico, essencial para a segurança alimentar, ambiental e econômica da região, e capacidade de desenvolver sob estresses abióticos, como o déficit hídrico (Gerrano et al., 2022). No entanto, o aumento substancial das temperaturas e desregulamentação dos padrões de precipitação nos últimos anos têm intensificado as alterações provocadas pelo estresse hídrico nas plantas e impactado negativamente a produtividade dessa espécie na região (Melo et al., 2022).

Aliado ao crescimento exponencial da população humana e à baixa utilização de tecnologias nos sistemas produtivos na região, a procura por técnicas que auxiliem a produtividade, sem perdas da rentabilidade e menor impacto sobre os recursos naturais tem crescido (Elshamly et al., 2024). Dentre as tecnologias utilizadas, o *seed priming* se destaca por

induzir tolerância aos efeitos deletérios nas plantas, através da indução da “memória” ao estresse imposto as sementes antes da germinação, resultando em modulações fisiológicas e metabólicas que viabilizam indivíduos com maior vigor e resistência ao estresse (Alencar et al., 2024).

O polietilenoglicol 6000 (PEG 6000) tem se destacado como uma ferramenta eficiente na simulação de estresse hídrico em plantas, ao induzir estresse osmótico sem causar danos celulares ou fisiológicos às plantas (Qi et al., 2023). Assim como o uso de micropartículas vítreas (SiMPs) como uma fonte de (Si) destaca-se como uma alternativa para mitigar estresses abióticos (Alencar et al., 2024). Nesse contexto, considerando a relevância do feijão-caupi no semiárido e o impacto do déficit hídrico em seu metabolismo, objetivou-se avaliar a aplicação de *seed priming* com micropartículas vítreas azul e âmbar como fontes de silício para mitigação do déficit hídrico induzido por PEG 6000 em feijão-caupi “BRS Tapaihum”.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2x4, com cinco repetições, totalizando 40 unidades experimentais. Os fatores consistiram em: dois níveis de reposição hídrica (W35% e W75% da ETc) e quatro condicionamentos de sementes: Controle, *priming* 1 ( $\Psi_h$  - 0,4 MPa), *priming* 2 ( $\Psi_h$  -0,4 MPa + 200 mg L<sup>-1</sup> de Si Azul) e *priming* 3 ( $\Psi_h$  -0,4 MPa + 200 mg L<sup>-1</sup> de Si Âmbar). Para a simulação do estresse hídrico foi utilizado Polietilenoglicol 6000 (PEG 6000, Neon, PA), diluído em água destilada, e as concentrações de silício (200 mg L<sup>-1</sup>) obtidas a partir de micropartículas vítreas provenientes de garrafas de vidro âmbar e azul foram coletadas do aterro municipal de Toledo, Paraná, Brasil.

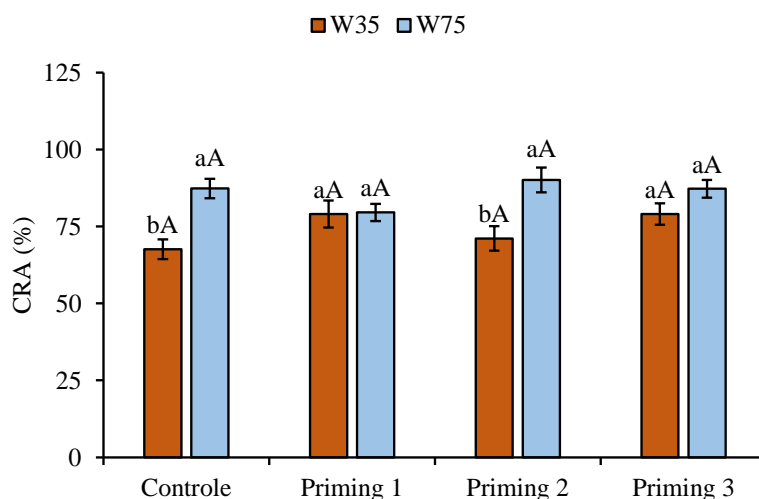
Foram utilizadas nesse estudo 200 sementes de feijão-caupi “BRS Tapaihum”, previamente selecionadas e submetidas ao processo de assepsia com hipoclorito de sódio (1%), por três minutos (Carvalho; Carvalho, 2009). Para a realização do condicionamento, as sementes foram alocadas em quatro caixas plásticas, tipo Gerbox®, medindo 11 x 11 x 3,5 cm de comprimento, largura e altura, respectivamente. O substrato no interior das caixas foi constituído de duas camadas de folha de papel ‘germitex’ umedecidas com as soluções correspondentes a cada *priming*, em volume correspondente a aproximadamente três vezes a sua massa seca (Ferreira et al., 2017). O tempo de aplicação do condicionamento foi de 18 h,

período necessário para embebição das sementes sem que haja a conclusão da germinação (Alencar et al., 2024).

Após aplicação do *priming*, as sementes foram semeadas em vasos de polietileno com capacidade volumétrica de 3,6 L preenchidos com solo, os quais foram irrigados diariamente utilizando-se o método de pesagem, no qual a água perdida pela evapotranspiração foi reposta. A restrição hídrica iniciou-se aos oito dias após a emergência, com a reposição de 35% e 75% do consumo de água. Aos 20 dias após a emergência (estádio V4), foram avaliados o conteúdo relativo de água (CRA), pelo método de Smart & Bingham (1974), vazamento de eletrólitos (VE) conforme (Cavalcante et al., 2025), área foliar total (AFT) e massa seca total (MFT) segundo Santos et al. (2022). Os dados obtidos foram submetidos ao teste de normalidade de Shapiro – Wilk (Shapiro & Wilk, 1965). Atendidos os pressupostos, os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F ( $P < 0,05$ ), seguidos pelo teste de Tukey ( $P \leq 0,05$ ) para as combinações de *primings*, e pelo teste t (LSD) ( $P \leq 0,05$ ) para os níveis de reposição hídrica, utilizando-se o software estatístico SISVAR<sup>®</sup> v. 5.6 (Ferreira, 2019).

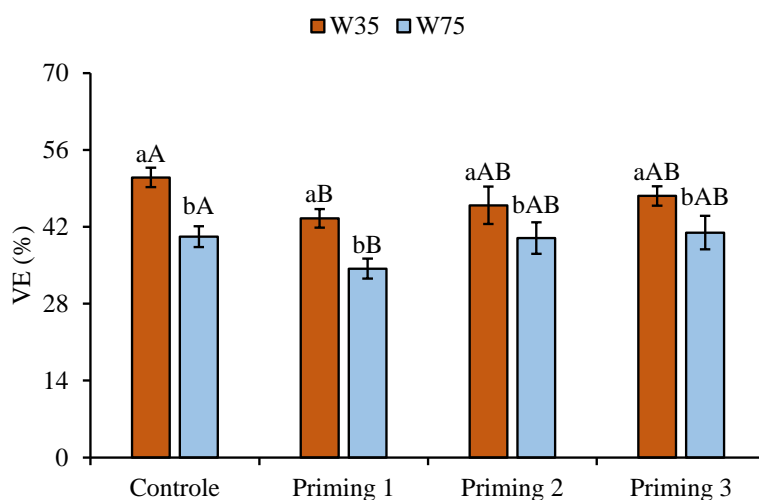
## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O conteúdo relativo de água (CRA) do feijão-caupi BRS Tapaihum não diferiu entre os condicionamentos, apenas para as reposições hídricas (W35 e W75) (Figura 1). Ao comparar as duas lâminas de irrigação, nota-se redução do CRA na lâmina W35 em relação à W75, nos tratamentos controle e *priming* 2. Entretanto, observa-se que as plantas submetidas ao *priming* 1 e *priming* 3, não apresentaram diferença de CRA entre as lâminas de irrigação, indicando que o condicionamento de sementes com potencial osmótico de -0,4 Mpa (P1), de forma isolada ou associado à 200 mg L<sup>-1</sup> de Si âmbar (P3), podem garantir a manutenção do status hídrico dessa cultivar em condições de restrição hídrica. Tal fato é de grande importância para a manutenção do metabolismo celular e a garantia dos processos de defesa nessas condições (Qayyum et al., 2021).



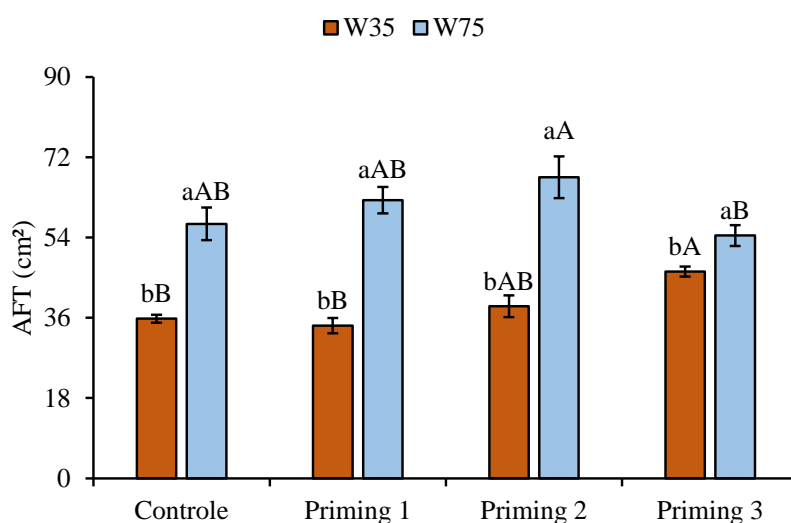
**Figura 1** – Conteúdo Relativo de Água (CRA) em feijão-caupi “BRS Tapaihum” submetida a diferentes condicionamentos – controle, *priming* 1 ( $\Psi_h$  - 0,4 MPa), *priming* 2 ( $\Psi_h$  -0,4 MPa + 200 mg L<sup>-1</sup> de Si Azul) e *priming* 3 ( $\Psi_h$  -0,4 MPa + 200 mg L<sup>-1</sup> de Si Âmbar) e dois níveis de reposição hídrica (W35% e W75%). Letras maiúsculas diferenciam os *primings* dentro das lâminas (Tukey P < 0,05) e letras minúsculas diferenciam as lâminas de irrigação (t-student P < 0,05).

Quanto ao vazamento de eletrólitos (VE), observa-se aumento significativo na lâmina W35 em comparação com a W75, tanto no controle quanto sob aplicação dos *priming* (Figura 2). Esses resultados podem indicar um aumento dos danos às membranas vegetais em condições mais severas de estresse (Cavalcante et al., 2025). Ademais, verifica-se dentro de cada lâmina de irrigação que, quando tratadas com o *priming* 1, as plantas expressaram redução no VE em comparação com o tratamento controle, o que pode ter ocorrido em virtude da manutenção do CRA, observada na figura 1, nesse mesmo tratamento.



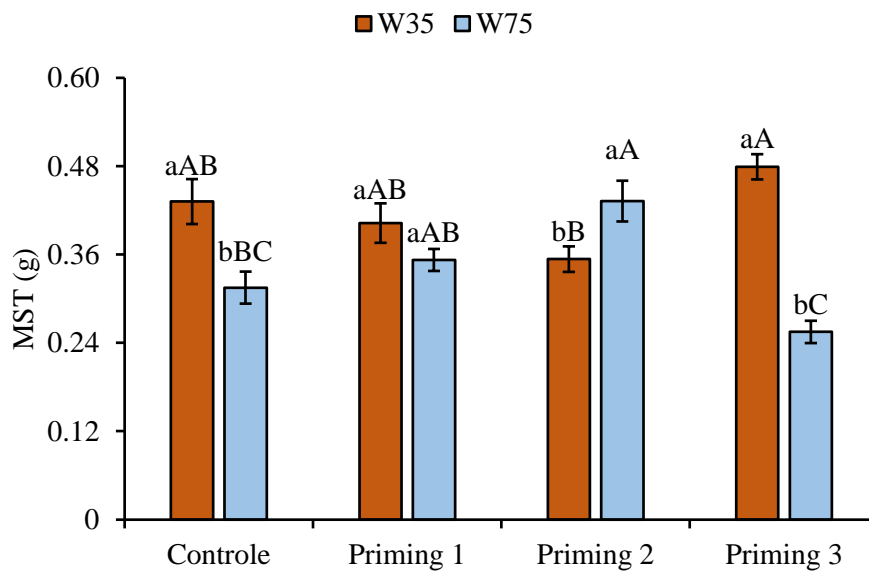
**Figura 2** – Vazamento de Eletrólitos (VE) em feijão-caupi “BRS Tapaihum” submetida a diferentes condicionamentos – controle, *priming* 1 ( $\Psi_h$  - 0,4 MPa), *priming* 2 ( $\Psi_h$  -0,4 MPa + 200 mg L<sup>-1</sup> de Si Azul) e *priming* 3 ( $\Psi_h$  -0,4 MPa + 200 mg L<sup>-1</sup> de Si Âmbar) e dois níveis de reposição hídrica (W35% e W75%). Letras maiúsculas diferenciam os *primings* dentro das lâminas (Tukey P < 0,05) e letras minúsculas diferenciam as lâminas de irrigação (t-student P < 0,05).

A área foliar total (AFT) foi significativamente reduzida na condição de estresse (W35) em comparação com a lâmina W75. Entretanto, sob 35% de reposição hídrica, é possível notar que as plantas submetidas a P2 e P3 expressaram aumento significativo da AFT em comparação com o tratamento controle nessa mesma condição hídrica. Além disso, destaca-se que, sob 75% de reposição hídrica, as plantas submetidas ao *priming* 2 (-0,4 MPa + 200 mg L<sup>-1</sup> de Si Azul) expressaram os maiores valores de AFT observados nesse estudo, o que indica um efeito benéfico do Si (Figura 3). Além disso, destaca-se que a redução da área foliar em condições de estresse pode ser uma resposta de defesa para evitar a perda de água por transpiração (Kapoor et al., 2020).



**Figura 3** – Área Foliar Total (AFT) em feijão-caupi “BRS Tapaihum” submetida a diferentes condicionamentos – controle, *priming* 1 ( $\Psi_h$  - 0,4 MPa), *priming* 2 ( $\Psi_h$  -0,4 MPa + 200 mg L<sup>-1</sup> de Si Azul) e *priming* 3 ( $\Psi_h$  -0,4 MPa + 200 mg L<sup>-1</sup> de Si Âmbar) e dois níveis de reposição hídrica (W35% e W75%). Letras maiúsculas diferenciam os *primings* dentro das lâminas (Tukey  $P < 0,05$ ) e letras minúsculas diferenciam as lâminas de irrigação (t-student  $P < 0,05$ ).

Quanto à massa seca total (MST), observa-se, no tratamento controle e sob aplicação do *priming* 3, que as plantas submetidas à condição de estresse (W35) expressaram valores superiores ao observado na lâmina W75. Enquanto isso, na condição de estresse, os tratamentos com *priming* não afetaram a MST em comparação com o tratamento controle, entretanto, na lâmina W75, o tratamento com o *priming* 2 potencializou o acúmulo de MST em comparação com o controle nessa lâmina hídrica, e com as plantas sob condição de estresse (Figura 1D). Esse fato demonstra o papel benéfico do Si no desenvolvimento vegetal, semelhante ao obtido por Alencar et al. (2024) em estudo semelhante.



**Figura 4** – Massa Seca Total (MST) (D) em feijão-caupi “BRS Tapaihum” submetida a diferentes condicionamentos – controle, *priming* 1 ( $\Psi_h$  - 0,4 MPa), *priming* 2 ( $\Psi_h$  -0,4 MPa + 200 mg L<sup>-1</sup> de Si Azul) e *priming* 3 ( $\Psi_h$  -0,4 MPa + 200 mg L<sup>-1</sup> de Si Âmbar) e dois níveis de reposição hídrica (W35% e W75%). Letras maiúsculas diferenciam os *primings* dentro das lâminas (Tukey P < 0,05) e letras minúsculas diferenciam as lâminas de irrigação (t-student P < 0,05).

## CONCLUSÕES

O estresse hídrico reduz o conteúdo relativo de água e a área foliar total e aumenta o vazamento de eletrólitos, não influenciando a massa seca total do feijão-caupi ‘BRS Tapaihum’. O condicionamento com *priming* 1 (-0,4 Mpa) promove a manutenção do CRA em condições de restrição hídrica e ajuda a reduzir o vazamento de eletrólitos e, quando associado a 200 mg L<sup>-1</sup> de Si azul ou âmbar, aumenta a área foliar sob estresse.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), código financeiro 001. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de auxílio financeiro (Proc. 408952/2021-0 e 307559/2022-0), Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado da Paraíba (Fapesq/PB) (Edital FapesqPB/CNPq no. 77/2022), Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Agricultura

Sustentável no Semiárido Tropical (INCTAgris), Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), Laboratório de Ecofisiologia de Plantas Cultivadas (Ecolab).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALENCAR, R. S.; DIAS, G. F.; ARAUJO, Y. M. L.; VIANA, P. M. O.; BORBOREMA, L. D. A.; BONOU, S. I.; SALES, J. R. S.; CAVALCANTE, I. E.; BARROSO, V. S. F.; SCHNEIDER, R.; FERRAZ, R. L. S.; MELO, A. S. *Seed priming with residual silicon-glass microparticles mitigates water stress in cowpea*. **Scientia Horticulturae**, v. 328, p.112933, 2024.
- CARVALHO, D. B. D., & CARVALHO, R. I. N. D. Qualidade fisiológica de sementes de guaxuma sob influência do envelhecimento acelerado e da luz. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 31, p. 489-494, 2009.
- CAVALCANTE, I. E.; ALENCAR, R. S. de; DIAS, G. F.; RIBEIRO, L. D.; MELO, Y. L.; FERRAZ, R. L. de S.; COSTA, P. S.; VIEGAS, P. R. A.; ALMEIDA, H. A. de; LACERDA, C. F. de.; MELO, A. S. de. Water status, cell integrity, and growth of cowpea plants under water restriction and salicylic acid. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 29, n. 5, p. e283012, 2025.
- ELSHAMLY, A. M. S. & ABAZA, A. S. Precise partial root-zone irrigation technique and potassium-zinc fertigation management improve maize physio-biochemical responses, yield, and water use in arid climate. **BMC plant biology**, v. 24, n. 1, 2024.
- FERREIRA, D. T. D. R. G.; DA SILVA, V. M.; DA SILVA, I. C.; DE ARAÚJO NETO, J. C.; DE SOUZA, R. C.; FERREIRA, V. M. Germinação de três Euphorbiaceae influenciada pela luz e níveis de palhada. **Revista Agroambiente On-line**, v. 11, n. 3, p. 215-222, 2017.
- FERREIRA, D. F. SISVAR: A computer analysis system to fixed effects split plot type designs. **Brazilian Journal of Biometrics**, v. 37, n. 4, p. 529-535, 2019.
- GERRANO, A. S.; THUNGO, Z. G.; MAVENGAHAMA, S. Phenotypic description of elite cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp) genotypes grown in drought-prone environments using agronomic traits. **Heliyon** ed. 2, v. 8, 2022.

KAPOOR, D.; BHARDWAJ, S.; LANDI, M.; SHARMA, A.; RAMAKRISHNAN, M.; SHARMA, A. The impact of drought in plant metabolism: how to exploit tolerance mechanisms to increase crop production. **Applied Sciences**, v. 10, n. 16, p. 5692, 2020.

MELO, A. S.; MELO, Y. L.; LACERDA, C. F.; VIÉGAS, P. R. A.; FERRAZ, R. L. S.; GHEYI, H. R. Water restriction in cowpea plants [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.]: Metabolic changes and tolerance induction. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 26, n. 3, p. 190-197, 2022.

QAYYUM, A.; AL AYOUBI, S.; SHER, A.; BIBI, Y.; AHMAD, S.; SHEN, Z.; JENKS, M. A. Improvement in drought tolerance in bread wheat is related to an improvement in osmolyte production, antioxidant enzyme activities, and gaseous exchange. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 28, n. 9, p. 5238-5249, 2021.

QI, I.; MA, L.; GHANI, M. I.; PENG, Q.; RUIDONG, F.; HU, X. J.; CHEN, X. Y. L. Effects of Drought Stress Induced by Hypertonic Polyethylene Glycol (PEG-6000) on *Passiflora edulis* Sims Physiological Properties. **Plants**, v. 12, n.12, p. 2296, 2023.

SANTOS, A. R. dos; MELO, Y. L.; OLIVEIRA, L. F. de; CAVALCANTE, I. E.; FERRAZ, R. L. de S.; SÁ, F. V. da.; LACERDA, C. F. de; MELO, A, S. de. Exogenous silicon and proline modulate osmoprotection and antioxidant activity in cowpea under drought stress. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v.22, p.1-8, 2022.

SHAPIRO, S. S., & WILK, M. B. An analysis of variance test for normality (complete samples). **Biometrika**, v. 52, n.3, p. 591-611, 1965.

SMART, RE; BINGHAM, GE Estimativas rápidas do conteúdo relativo de água. **Plant Physiology**, v. 53, p. 258-260, 1974.