

SEED PRIMING DE MICROPARTÍCULAS VÍTREAS AZUL E ÂMBAR OTIMIZA DESEMPENHO FOTOSSINTÉTICO EM FEIJÃO-CAUPI SOB ESTRESSE HÍDRICO

Eulália Margarethe da Costa Melo¹, Alberto Soares de Melo², Ricardo Schneider³, Vitória
Saskia Ferreira Barroso⁴, Igor Eneas Cavalcante⁵, Agda Malany Forte de Oliveira⁶

RESUMO: O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) é uma leguminosa de grande importância socioeconômica no semiárido brasileiro, contudo, a sua produtividade e seu desenvolvimento é impactado pelo estresse hídrico na região. Nesta perspectiva, objetivou-se avaliar a aplicação de *seed priming* com micropartículas vítreas azul e âmbar como fonte de silício na mitigação do déficit hídrico induzido por Polietilenoglicol 6000 em feijão-caupi “BRS Tapaihum”. O experimento foi conduzido em DIC, em esquema fatorial 2x4, com cinco repetições. Os fatores foram: dois níveis de reposição de hídrica (W35% e W75% da ETc) e quatro condicionamentos de sementes: Controle, priming 1 (Ψ_h - 0,4 MPa), priming 2 (Ψ_h - 0,4 MPa + 200 mg L⁻¹ de Si Azul) e priming 3 (Ψ_h - 0,4 MPa + 200 mg L⁻¹ de Si Âmbar). Foram avaliadas: a taxa fotossintética, transpiração, condutância estomática e a eficiência instantânea do uso da água. O priming com PEG 6000 e micropartículas vítreas âmbar e azul como fonte de silício promoveu maior eficiência nas trocas gasosas de plantas de feijão-caupi submetidas ao estresse, demonstrando ser uma estratégia promissora para mitigar os efeitos deletérios da seca na cultura.

PALAVRAS-CHAVE: silício, déficit hídrico, PEG 6000.

¹ 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.

² Prof. Doutor, Departamento de Biologia, UEPB, Campina Grande, PB.

³ Prof. Doutor, Departamento de Química, UTFPR, Toledo, PR.

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

⁵ Doutorando, Departamento de Fitotecnia e Ciências Ambientais, UFPB, Areia, PB.

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

SEED PRIMING OF SILICON GLASSY MICROPARTICLES OPTIMIZES PHOTOSYNTHETIC PERFORMANCE IN COWPEA UNDER WATER STRESS

ABSTRACT: Cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) is a legume of great socioeconomic importance in the Brazilian semiarid region. However, its productivity and development are impacted by water stress in the region. In this perspective, the objective was to evaluate the application of *seed priming* with blue and amber glassy microparticles as a source of silicon in the mitigation of water deficit induced by Polyethylene glycol 6000 in cowpea “BRS Tapaihum”. The experiment was conducted in DIC, in a 2x4 factorial scheme, with five replicates. The factors were: two levels of water replacement (W35% and W75% of ETc) and four seed conditioning: Control, priming 1 (Ψ_h - 0.4 MPa), priming 2 (Ψ_h -0.4 MPa + 200 mg L⁻¹ of Blue Si) and priming 3 (Ψ_h -0.4 MPa + 200 mg L⁻¹ of Amber Si). The following were evaluated: photosynthetic rate, transpiration, stomatal conductance and instantaneous water use efficiency. Priming with PEG 6000 and amber and blue glassy microparticles as a silicon source promoted greater efficiency in gas exchange in cowpea plants subjected to stress, demonstrating to be a promising strategy to mitigate the deleterious effects of drought on the crop.

KEYWORDS: silicon, water stress, PEG 6000.

INTRODUÇÃO

Dentre as culturas cultivadas no semiárido brasileiro, o feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp), também conhecido como feijão-de-corda ou feijão-macassar, destaca-se como principal produto da agricultura familiar devido seu alto valor proteico, baixa necessidade de fertilização e capacidade de adaptação a diversos estresses (Omomowo & Babalola, 2021; Miri et al., 2022). Entretanto, dentre os fatores bióticos e abióticos capazes de limitar o desenvolvimento e produtividade das plantas, o déficit hídrico destaca-se como um dos mais deletérios, provocando diversas alterações fisiológicas, morfológicas e bioquímicas (Melo et al., 2024).

O estresse hídrico ocorre principalmente em regiões áridas e semiáridas, onde há altos índices de radiação solar, temperatura do ar e precipitação irregulares (Cavalcante et al., 2025). Aliado ao aumento das temperaturas e desregulamentação dos padrões de precipitação no mundo nas últimas décadas (WMO, 2024) e a baixa utilização de tecnologias nos sistemas produtivos na região, tem limitado mais significativamente o potencial de rendimento da

cultura, aumentando a procura por técnicas que mitiguem essa lacuna (Horn et al, 2022). Dentre essas tecnologias, o *seed priming* é uma técnica que induz tolerância aos efeitos abióticos deletérios nas plantas, através da indução da “memória” ao estresse imposto as sementes antes da germinação (Alencar et al., 2024).

O polietilenoglicol 6000 (PEG 6000) tem se destacado como uma ferramenta eficiente na simulação de estresse hídrico em plantas, por induzir estresse osmótico, sem causar danos celulares ou fisiológicos (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). Considerando a relevância do feijão-caupi no semiárido, principal produto da agricultura familiar, e o impacto do déficit hídrico em seu metabolismo (Miri et al., 2022; Cavalcante et al., 2025),m 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 Polietilenoglicol 6000 (PEG 6000) em feijão-caupi “BRS Tapaihum”.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em delineamento inteiramente casualizado (DIC), em esquema fatorial 2x4, com cinco repetições, totalizando 40 unidades experimentais. Os fatores consistiram em: duas lâminas de irrigação (W35% e W75% da ETc) e quatro condicionamentos de sementes: Controle, priming 1 (Ψ_h - 0,4 MPa), priming 2 (Ψ_h -0,4 MPa + 200 mg L⁻¹ de Si Azul) e priming 3 (Ψ_h -0,4 MPa + 200 mg L⁻¹ de Si Âmbar). Foram utilizadas nesse estudo sementes de feijão-caupi “BRS Tapaihum” provenientes da Embrapa Meio Norte. Para a simulação do estresse hídrico (-0,4 Mpa) foi utilizado Polietilenoglicol 6000 (PEG 6000, Neon, PA) conforme proposto por Villela (1991) e Braccine (1998). A concentração de silício (200 mg L⁻¹) foi utilizada na forma de micropartícula vítreas proveniente de garrafas de vidro âmbar e azul com aproximadamente < 400 µm de tamanho. A aplicação dos condicionamentos foi realizada segundo o proposto por Alencar et al. (2024).

As sementes preparadas foram semeadas em vasos de polietileno com capacidade volumétrica de 3,6 L preenchidos com solo, cuja as características físico-químicas são: areia (71,56%), silte (18,07%), argila (10,35%), classe textural: Franco arenoso, densidade do solo (1,38 g cm⁻³), densidade de partículas (2,69 g cm⁻³), porosidade (48,70%), nitrogênio (0,46 g kg⁻¹), fósforo (2,84 mg kg⁻¹), potássio (0,26 cmolc kg⁻¹), cálcio (1,78 cmolc kg⁻¹), magnésio (4,18 cmolc kg⁻¹), sódio (0,55 cmolc kg⁻¹), enxofre (7,11 cmolc kg⁻¹), matéria orgânica (1,05 g

kg^{-1}), V(%): 96,88%, SB: 6,22, CTC ($6,42 \text{ cmolc kg}^{-1}$), hidrogênio ($0,92 \text{ cmolc kg}^{-1}$), alumínio ($0,20 \text{ cmolc kg}^{-1}$), pH H_2O (6,46), condutividade elétrica ($0,83 \text{ mmhos cm}^{-1}$) e água disponível (10,03% base solo seco).

Foi realizado em turno de irrigação diário, utilizando-se o método de pesagem, no qual, a água perdida pela evapotranspiração foi repostada. 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 fenológico V4) foram avaliadas as variáveis de trocas gasosas foliares utilizando-se do analisador de gás infravermelho (IRGA) (Li-cor 6800, Portable Photosynthesis System) na terceira folha completamente expandida, no terço médio da planta, entre as 7h00 às 11h00. Foram quantificados: taxa fotossintética (A), transpiração (E), condutância estomática (gs), e a eficiência instantânea do uso da água (EiUA), através da razão entre (A/E). 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 ($p \leq 0,05$), 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® v. 5.6 (Ferreira, 2019).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A condutância estomática (gs) diferenciou-se em relação as lâminas de irrigação nos condicionamentos P2 e P3, com maiores aberturas estomáticas sob estresse W35 (38,8% e 18,47%, respectivamente). Nos demais tratamentos não foi observado diferença significativa entre as reposições hídricas. Os maiores valores de condutância, em relação ao controle, foram obtidas no P3 sob estresse W35 e no P1 para lâmina W75, o menor valor encontrado no P2 submetido a W75 (Figura 1).

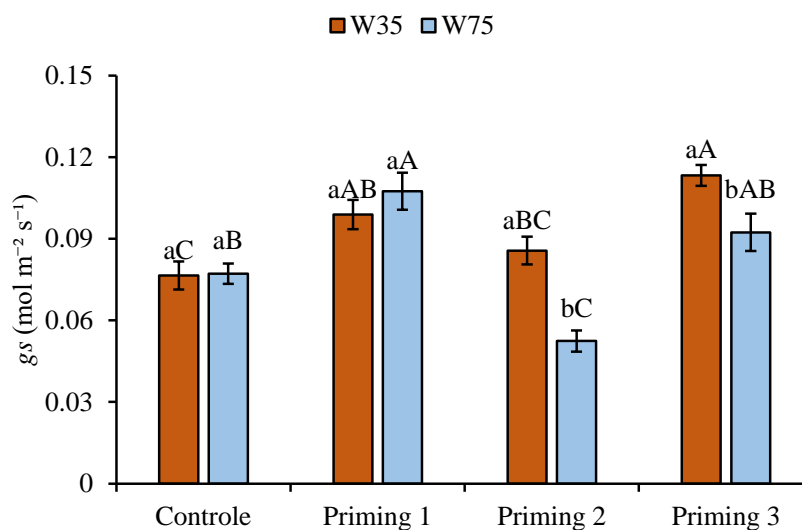


Figura 1. – Condutância estomática (g_s) em feijão-caupi “BRS Tapaihum” submetidas a diferentes condicionamentos – controle, priming 1 (Ψ_h - 0,4 MPa), priming 2 (Ψ_h - 0,4 MPa + 200 mg L^{-1} de Si Azul) e priming 3 (Ψ_h - 0,4 MPa + 200 mg L^{-1} de Si Âmbar) e dois níveis de reposição hídrica (W35% e W75%). Letras maiúsculas diferenciam os primings dentro das lâminas (Tukey $P \leq 0,05$) e letras minúsculas diferenciam as lâminas de irrigação (t-student $P \leq 0,05$).

Em relação a transpiração (E), os dois níveis de reposição hídrica demonstraram diferenças significativas apenas no P1 e P2, os demais não se diferem estatisticamente. As maiores transpirações foram obtidas com o condicionamento P3 em ambas as lâminas, 35,02% (W35) e 27,71% (W75), respectivamente, em relação ao controle, porém não diferindo estatisticamente de P2 sob a condição de W35, e as menores E foram obtidas em plantas controle (W35) e P2 (W75) (Figura 2).

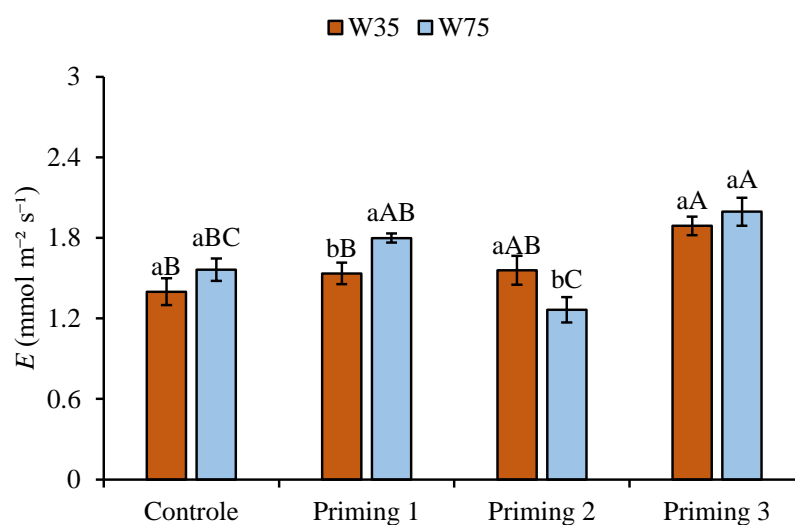


Figura 2. – Transpiração (E) em feijão-caupi “BRS Tapaihum” submetidas a diferentes condicionamentos – controle, priming 1 (Ψ_h - 0,4 MPa), priming 2 (Ψ_h - 0,4 MPa + 200 mg L^{-1} de Si Azul) e priming 3 (Ψ_h - 0,4 MPa + 200 mg L^{-1} de Si Âmbar) e dois níveis de reposição hídrica (W35% e W75%). Letras maiúsculas diferenciam os primings dentro das lâminas (Tukey $P \leq 0,05$) e letras minúsculas diferenciam as lâminas de irrigação (t-student $P \leq 0,05$).

As maiores eficiências do uso da água (EiUA) sob estresse foram verificadas no controle, P1, e P2, no entanto, o priming 3 resultou em diminuição da eficiência, equivalente a 16,59% em relação ao priming 1, sob lâmina de W75 houve comportamento semelhante, no qual o condicionamento P3 resultou em diminuição de 22,79% na eficiência do uso da água em relação ao controle. Observou-se que todos os tratamentos submetidos a W35 diferem-se significativamente a lâmina W75, porém apenas o condicionamento P3 resultou em menor eficiência do uso da água para ambos os níveis de reposição hídrica em comparação com os demais tratamentos (Figura 3).

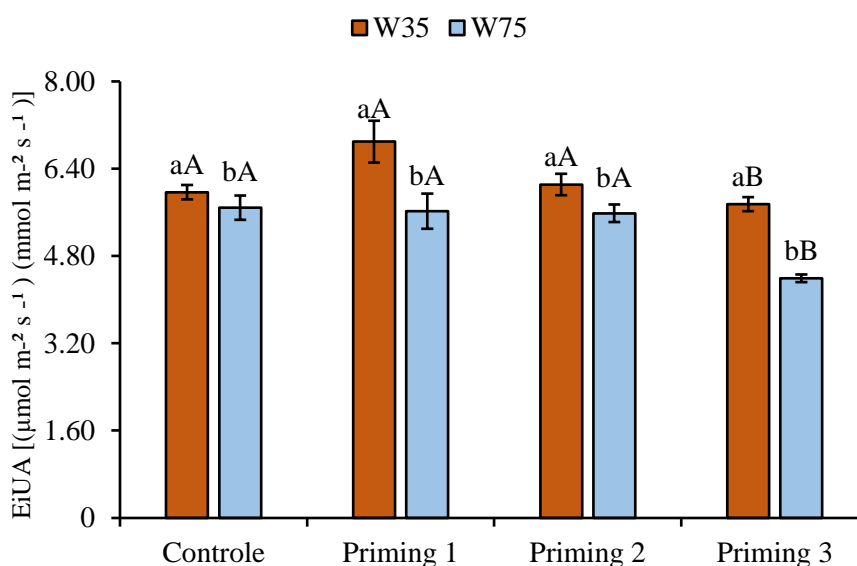


Figura 3. – Eficiência instantânea do uso da água (EiUA) em feijão-caupi “BRS Tapaihum” submetidas a diferentes condicionamentos – controle, priming 1 (Ψ_h - 0,4 MPa), priming 2 (Ψ_h -0,4 MPa + 200 mg L⁻¹ de Si Azul) e priming 3 (Ψ_h -0,4 MPa + 200 mg L⁻¹ de Si Âmbar) e dois níveis de reposição hídrica (W35% e W75%). Letras maiúsculas diferenciam os primings dentro das lâminas (Tukey $P \leq 0,05$) e letras minúsculas diferenciam as lâminas de irrigação (t-student $P \leq 0,05$).

A taxa fotossintética (A) das plantas de feijão-caupi “BRS Tapaihum” não foi influenciada significativamente pelas lâminas de irrigação W35 e W75. Contudo, verificou-se aumento de fotossíntese com os condicionamentos P1 e P3, 22,65% e 22,32% em comparação ao controle, respectivamente (Figura 4).

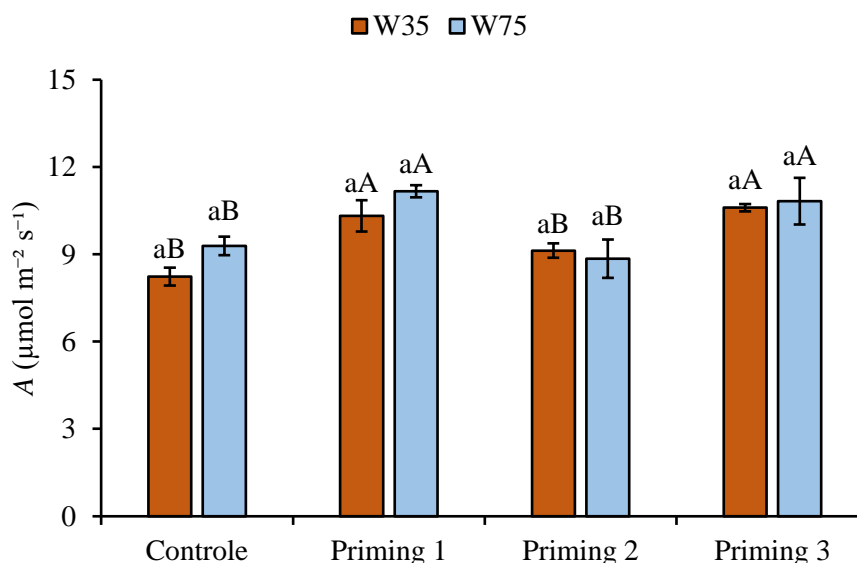


Figura 4. – Taxa de transpiração (A) em feijão-caupi “BRS Tapaihum” submetidas a diferentes condicionamentos – controle, priming 1 (Ψ_h - 0,4 MPa), priming 2 (Ψ_h -0,4 MPa + 200 mg L⁻¹ de Si Azul) e priming 3 (Ψ_h -0,4 MPa + 200 mg L⁻¹ de Si Âmbar) e dois níveis de reposição hídrica (W35% e W75%). Letras maiúsculas diferenciam os primings dentro das lâminas (Tukey $P \leq 0,05$) e letras minúsculas diferenciam as lâminas de irrigação (t-student $P \leq 0,05$).

Os condicionamentos P1 e P3, favoreceram a manutenção das trocas gasosas e permitiram que as plantas de feijão-caupi “BRS Tapaihum” mantivessem níveis moderados mesmo submetidas a estresse, sugerindo que os condicionamentos aplicados promoveram otimização nas trocas gasosas sob limitação hídrica (Dias et al., 2025). Esse resultado pode estar associado a ação do PEG 6000, que, durante o processo de condicionamento da semente, ocasiona estresse osmótico na parede celular da semente, induzindo o acúmulo de solutos e resultando em um maior potencial de turgor celular no momento da reidratação da semente, e da ação das micropartículas vítreas azul e âmbar como fonte de silício, que podem atuar como barreira física nos apoplastos foliares e mitigar os efeitos deletérios da restrição hídrica (Alencar et al., 2024; Dias et al., 2025).

CONCLUSÕES

O uso do PEG 6000 induziu uma “memória” nas sementes, promovendo maior eficiência de trocas gasosas quando submetidos a estresse hídrico. O *seed priming* com PEG 6000 e micropartículas vítreas âmbar como fonte de silício é uma estratégia promissora como mitigadores do efeito do estresse hídrico no feijão-caupi “BRS Tapaihum”.

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.
- BRACCINI, A. L.; REIS, M. S.; SEDIYAMA, C. S.; SEDIYAMA, T.; ROCHA, V. S. Influência do potencial hídrico induzido por polietilenoglicol na qualidade fisiológica de sementes de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 9, n. 33, p. 1451-1459, 1998.
- 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.
- DIAS, G. F.; ALENCAR, R. S.; VIANA, P. M. O.; CAVALCANTE, I. E.; FARIAS, E. S. D.; BONOU, S. I.; SALES, J. R. S.; ALMEIDA, H. A.; FERRAZ, R. L. S.; LACERDA, C. F.; LOPES, S. F.; MELO, A. S. *Seed Priming with PEG 6000 and Silicic Acid Enhances Drought Tolerance in Cowpea by Modulating Physiological Responses*. **Horticulturae**, v. 11, n. 4, p. 438, 2025.
- 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.

HORN, L. N.; NGHITUWAMHATA, S. N.; ISABELLA, U. Cowpea Production Challenges and Contribution to Livelihood in Sub-Saharan Region. **Agricultural Sciences**, v. 13, n. 1, 2022.

MELO, A. S.; COSTA, R. R.; SÁ, F. V. S.; DIAS, G. F.; ALENCAR, R. S.; VIANA, P. M. O.; PEIXOTO, T. D. C.; SUASSUNA, J. F.; BRITO, M. E. B.; FERRAZ, R. L. S.; COSTA, P. S.; MELO, Y. L.; CORRÊA, E. B.; LACERDA, C. F.; DANTAS NETO, J. Modulation of Drought-Induced Stress in Cowpea Genotypes Using Exogenous Salicylic Acid. **Plants (Basel)**, v. 13, n. 5, p. 634, 2024.

MIRI, M.; GHOOSHCHI, F.; MOGHADAM, H. R. T.; LARIJANI, H.; KASRAIE, P. Cowpea seeds from plants subjected to restricted-and full-irrigation regimes show differential phytochemical activity. **Bot Stud**, v. 63, n. 30, 2022.

OMOMOWO, O. I. & BABALOLA, O. O. Constraints and Prospects of Improving Cowpea Productivity to Ensure Food, Nutritional Security and Environmental Sustainability. **Front. Plant. Sci.** v. 12, 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.

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

VILLELA, F.A. Tabela de potencial osmótico em função da concentração de polietilenoglicol 6000 e da temperatura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 26, p. 1957- 1968, 1991.

World Meteorological Organization (WMO). **State of the Global Climate 2023**. n. 1347, p. 53, 2024.