

SILÍCIO E METIONINA MELHORAM A RESPOSTA ANTIOXIDANTE DO FEIJÃO-CAUPI SOB DÉFICIT HÍDRICO E RETOMADA DA IRRIGAÇÃO

Guilherme Félix Dias¹, Agda Malany Forte de Oliveira², Semako Ibrahim Bonou³, Priscylla Marques de Oliveira Viana⁴, Maurisrael de Moura Rocha⁵, Alberto Soares de Melo⁶

RESUMO: O feijão-caupi é uma leguminosa de elevado valor nutricional e socioeconômico, principalmente em regiões semiáridas. Embora possua adaptações para suportar condições adversas, o estresse hídrico impõe severas alterações fisiológicas e bioquímicas, comprometendo sua produtividade. Diante disso, a busca por tecnologias que mitiguem os efeitos do estresse hídrico e viabilizem o cultivo dessa cultura é fundamental. Nesse sentido, objetivou-se avaliar a eficácia da aplicação de silício e metionina, na mitigação do estresse hídrico em feijão-caupi, avaliando os parâmetros bioquímicos. Para tanto, foi conduzido um experimento em delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições, sendo avaliadas plantas que passaram por estresse hídrico e posteriormente reidratadas, e quatro tratamentos, sendo, Controle, 300 mg/L de Silício; 890 mg/L de Metionina e sua respectiva combinação, 300 mg/L de Silício + 890 mg/L de Metionina. Foram avaliadas atividades das enzimas superóxido dismutase, Catalase e Ascorbato peroxidase. Conclui-se que o silício e metionina melhoraram a defesa antioxidante das plantas, com a metionina se destacando na eficiência contra espécies reativas de oxigênio.

PALAVRAS-CHAVE: “BRS Verdejante”. estresse hídrico. Turno de rega

¹ Doutorando, Programa de Pós-graduação em Ciências Agrárias, Universidade Estadual da Paraíba, CEP: 58109-753, Campina Grande – PB, guilhermefelix038@gmail.com;

² Pós-doutoranda, Programa de Pós-graduação em Ciências Agrárias, Universidade Estadual da Paraíba, CEP: 58109-753, Campina Grande – PB;

³ Doutorando, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande, CEP: 58429-900, Campina Grande – PB;

⁴ Doutoranda, Programa de Pós-graduação em Ciências Agrárias, Universidade Estadual da Paraíba, CEP: 58109-753, Campina Grande – PB;

⁵ Pesquisador, Embrapa Meio-Norte, CEP: 64008-780, Teresina - PI;

⁶ Prof. Doutor, Programa de Pós-graduação em Ciências Agrárias, Universidade Estadual da Paraíba, CEP: 58109-753, Campina Grande – PB.

SILICON AND METHIONINE IMPROVE THE ANTIOXIDANT RESPONSE OF COWPEA UNDER WATER DEFICIT AND RESUMPTION OF IRRIGATION

ABSTRACT: Cowpea is a legume with high nutritional and socioeconomic value, especially in semiarid regions. Although it has adaptations to withstand adverse conditions, water stress imposes severe physiological and biochemical changes, compromising its productivity. Therefore, the search for technologies that mitigate the effects of water stress and enable the cultivation of this crop is essential. Therefore, the objective was to evaluate the effectiveness of silicon and methionine application in mitigating water stress in cowpea by evaluating biochemical parameters. To this end, a completely randomized experiment was conducted with four replicates, evaluating plants that had undergone water stress and were subsequently rehydrated. Four treatments were used: Control; 300 mg/L silicon; 890 mg/L methionine and their respective combination, 300 mg/L silicon + 890 mg/L methionine. The activities of the enzymes superoxide dismutase, catalase, and ascorbate peroxidase were evaluated. It was concluded that silicon and methionine improved the antioxidant defense of plants, with methionine standing out in its effectiveness against reactive oxygen species.

KEYWORDS: “BRS Verdejante”. water stress. watering regime

INTRODUÇÃO

A água é um recurso indispensável para o desenvolvimento das plantas, especialmente daquelas com importância agrícola. A demanda hídrica aumenta à medida que a planta cresce e se desenvolve, e a escassez desse insumo essencial provoca uma série de alterações fisiológicas que caracterizam o estresse hídrico, condição recorrente nos cultivos agrícolas. Por esse motivo, o cultivo de plantas tolerantes à seca torna-se essencial. Dentre essas, destaca-se o feijão-caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.], por apresentar mecanismos de defesa, como a ativação do sistema antioxidante, com a produção das enzimas superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT) e ascorbato peroxidase (APX), que atuam na eliminação das espécies reativas de oxigênio (EROs) (Alencar et al., 2025; Cavalcante et al., 2024).

Mesmo apresentando tolerância à restrição hídrica, o uso de substâncias capazes de potencializar as defesas naturais das plantas tem sido amplamente investigado, considerando que a tolerância intrínseca nem sempre é suficiente para garantir que a planta atinja seu pleno potencial fisiológico em condições adversas. Como descrito por Queiroz et al. (2025) e

Cavalcante et al. (2024), os danos ocasionados pelas espécies reativas de oxigênio (EROs) estão intimamente ligados a situações de estresse, que provocam reduções no crescimento, danos irreversíveis às membranas, alterações em processos fotossintéticos e perdas consideráveis em indicadores de produção.

Nesse contexto, diversas substâncias vêm sendo estudadas com o intuito de mitigar os efeitos deletérios da deficiência hídrica, destacando-se entre elas o silício e a metionina, os quais contribuem para a melhoria de atributos fisiológicos e a indução de respostas adaptativas. Essas substâncias, em conjunto ou isoladamente, podem induzir uma série de benefícios às plantas sob estresse, sobretudo por potencializarem a ação das enzimas antioxidantes, que atenuam o estresse oxidativo por meio da redução das espécies reativas de oxigênio (Oliveira et al., 2023; Araújo et al., 2023).

Nesse sentido, a aplicação de silício e metionina destaca-se como uma estratégia promissora para induzir a tolerância do feijão-caupi ao estresse hídrico, viabilizando seu cultivo em regiões semiáridas. Essa abordagem pode ser fundamental para fortalecer a produção de feijão-caupi frente aos desafios ambientais e econômicos. Todavia, ainda são escassas as informações sobre os efeitos desses agentes mitigadores, sobretudo quanto à sua ação combinada sob condições de estresse hídrico. Diante disso, objetivou-se avaliar os efeitos da pulverização foliar de silício e metionina como atenuadores do estresse hídrico em plantas de feijão-caupi, por meio da análise de parâmetros bioquímicos.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido em casa de vegetação pertencente à Universidade Estadual da Paraíba (UEPB) Campus II, em Lagoa Seca-PB, e as análises bioquímicas foram realizadas nas dependências do Laboratório de Ecofisiologia e Melhoramento de Plantas Cultivadas (EcoLab), localizado no Complexo Três Marias, do Centro de Ciências Biológicas e da Saúde da UEPB campus I, em Campina Grande-PB.

O estudo foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado (DIC), em esquema fatorial 2×4, com quatro repetições. O primeiro fator consistido de dois períodos: Período de estresse (Restrição da irrigação durante 10 dias) e período de reidratação (Retorno da irrigação durante 2 dias). O segundo fator e referente as aplicações dos elicitores, sendo: Controle (Nada Aplicado), silício (300 mg/L Si); Metionina (890 mg/L de MET) e sua respectiva combinação, silício e metionina (300 mg/L de Si + 890 mg/L de MET). A combinação desses fatores resultou

em 16 unidades experimentais, na qual, cada unidade foi constituída de um vaso com duas plantas.

Para a execução do experimento, vasos de polietileno de 3,6 L foram preparados com uma fina camada de brita na base e preenchidos com 3,7 Kg de solo seco (Figura 1). Após, foi realizado a saturação dos mesmos com água, afim de se obter um substrato próximo da capacidade de campo. Por diante, 24 h depois, procedeu-se a semeadura com cinco sementes por vaso (Figura 2), utilizando-se de sementes de feijão-caupi da cultivar BRS Verdejante, que passaram por triagem, eliminando aquelas que continham danos físicos, biológicos e/ou má formação. Transcorridos 20 dias após semeadura, intercorreu a aplicação dos tratamentos, onde, foram aplicados via foliar com pulverizador manual de 2 L, de compressão previa da marca Dasshaus, a aplicação foi realizada até ponto de escorrimento nas folhas, para melhor aderência dos elicitores utilizou-se espalhante Adesivo Wil Fix[®], seguindo as instruções do fabricante. Seguida a aplicação dos tratamentos, todos os vasos foram submetidos a restrição da irrigação, decorridos 10 dias da aplicação dos tratamentos efetuou-se a primeira coleta, decorrido isso, os vasos retornaram a receber irrigação normalmente durante 2 dias, onde ocorreu a segunda e última coleta. Nas duas coletas as plantas estavam em estágio fenológica V4.

O manejo da irrigação foi realizado diariamente pelo método de pesagens proposto por Silva et al. (2020), com adaptações. Em que foi reposta a água evapotranspirada no dia que antecedeu cada evento de irrigação. Diariamente, foi realizada a pesagem dos vasos, de modo a se obter a massa do substrato após evapotranspiração, posteriormente, foi repostado 70% do volume de água requerido, afim de evitar que o substrato permaneça encharcado. Para reposição do volume de água requerida, utilizou-se de proveta graduada em mililitros (mL) com capacidade volumétrica para 250 mL. As pesagens foram realizadas no período entre 07:00 e 08:00 horas. Para as pesagens, utilizou-se de balança digital portátil, com capacidade para 15 Kg (TOMATE, modelo SF-440).

Seguida a aplicação dos tratamentos, todos os vasos foram submetidos a restrição da irrigação, decorridos 10 dias da aplicação dos tratamentos efetuou-se a primeira coleta, após isso, os vasos retornaram a receber irrigação normalmente durante 2 dias, em que, ocorreu a segunda e última coleta. Nas duas coletas as plantas se encontravam no estágio fenológico V4. Foram avaliados a superóxido dismutase (SOD), Ascorbato peroxidase (APX), Catalase (CAT). A SOD foi determinada por meio de uma mistura de reação composta por 0,3 mL de metionina a 130 µM; 0,1 mL de azul de p-nitrotetrazólio (NBT) a 2250 µM; 0,1 mL de EDTA a 3 µM; 0,2 mL de riboflavina; 0,75 mL de água deionizada; e 1,5 mL de tampão fosfato de sódio 50 mM com pH 7,8. A essa mistura, foram adicionados 100 µL do extrato enzimático bruto. Em

seguida, a absorvância foi medida a 560 nm, sendo subtraída da leitura de absorvância da mistura de reação sem o extrato enzimático. Nessas condições, uma unidade de SOD foi definida como a quantidade de enzima necessária para inibir em 50% a fotorredução do NBT (Giannopolitis & Ries, 1977).

Já a APX foi realizada pelo método proposto por Nakano e Asada (1981), na qual, foram misturados 100 μL de extrato enzimático ao meio de reação (2,7 mL) composto por tampão fosfato de potássio (50 mM e pH 6,0) e acrescido de ácido ascórbico (0,8 mM). Em seguida, a reação foi iniciada pela adição de 200 μL de peróxido de hidrogênio (2 mM), à qual foi monitorada pelo decréscimo da absorvância, durante 1 min, com a realização das leituras a cada 10 segundos. Utilizou-se a equação de Lambert-Beer ($A = \epsilon \cdot b \cdot c$) para expressar os dados de absorvância em $\text{nmol de ascorbato min}^{-1} \text{ mg}^{-1}$ de MF. Em que: A = diminuição da absorvância (média em duplicata); ϵ = coeficiente de extinção molar ($2,8 \text{ mmol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$); b = comprimento do caminho óptico (1 cm); c = concentração da enzima expressa (mol L^{-1}).

Por fim, a CAT foi quantificada de acordo com Kar e Mishra (1976). A reação ocorreu por meio da adição do extrato enzimático (150 μL) na cubeta de quartzo, contendo o meio de reação (2,95 mL), composto por tampão fosfato de potássio (50 mM com pH 7) e acrescido de peróxido de hidrogênio (20 mM). Após breve agitação, a solução foi levada ao espectrofotômetro, configurado em 240 nm, cujos decréscimos da absorvância foram observados durante 2 min e as leituras realizadas a cada 10 segundos. Utilizou-se a equação de Lambert-Beer ($A = \epsilon \cdot b \cdot c$) para expressar os dados de absorvância em $\mu\text{mol de H}_2\text{O}_2 \text{ min}^{-1} \text{ mg}^{-1}$ de MF. Em que: A = diminuição da absorvância (média em duplicata) ϵ = coeficiente de extinção molar ($39,4 \text{ mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$); b = comprimento do caminho óptico (1 cm); c = concentração da enzima (mol L^{-1})

Os dados foram submetidos à análise de variância (teste F até 5% de probabilidade), seguidos pelo teste de pares independentes (*t-student*, $P \leq 0,05$) para os dois períodos, antes e depois da reidratação, e os tratamentos pelo teste de comparação de médias (Tukey, $P \leq 0,05$), para tanto foi utilizado o software computacional SISVAR 5.6 (Ferreira, 2019).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Constatou-se que as plantas produziram SOD enquanto se encontravam sob restrição hídrica, com destaque ao tratamento com MET, que proporcionou aumento de 33,8 % em relação ao controle (Figura 1A). Após reidratação, houve aumento da SOD em todos os

tratamentos, embora, maior produção desta enzima foram verificados nos tratamentos com metionina apenas e também sua respectiva combinação com silício, com incrementos de 23,9 e 37% respectivamente, quando comparado ao controle também em reidratação (Figura 1A). A CAT reduziu de 49,9; 38,4 e 20,3% dos tratamentos Si, Met e sua combinação sob estresse, em relação a testemunha em mesma condição, no entanto, após reidratação foram observados aumentos significativos para esta variável. Esse aumento foi de 17,3% para o silício e de 9,8% para metionina quando comparado ao controle (Figura 1B). Ao avaliar a APX, verificou-se que não houve diferença estatística entre os tratamentos, no entanto, cabe ressaltar que incrementos surgiram de 19,4; 28,9 e 16,7%, respectivamente, para Si, MET e sua combinação após a reidratação (Figura 1C).

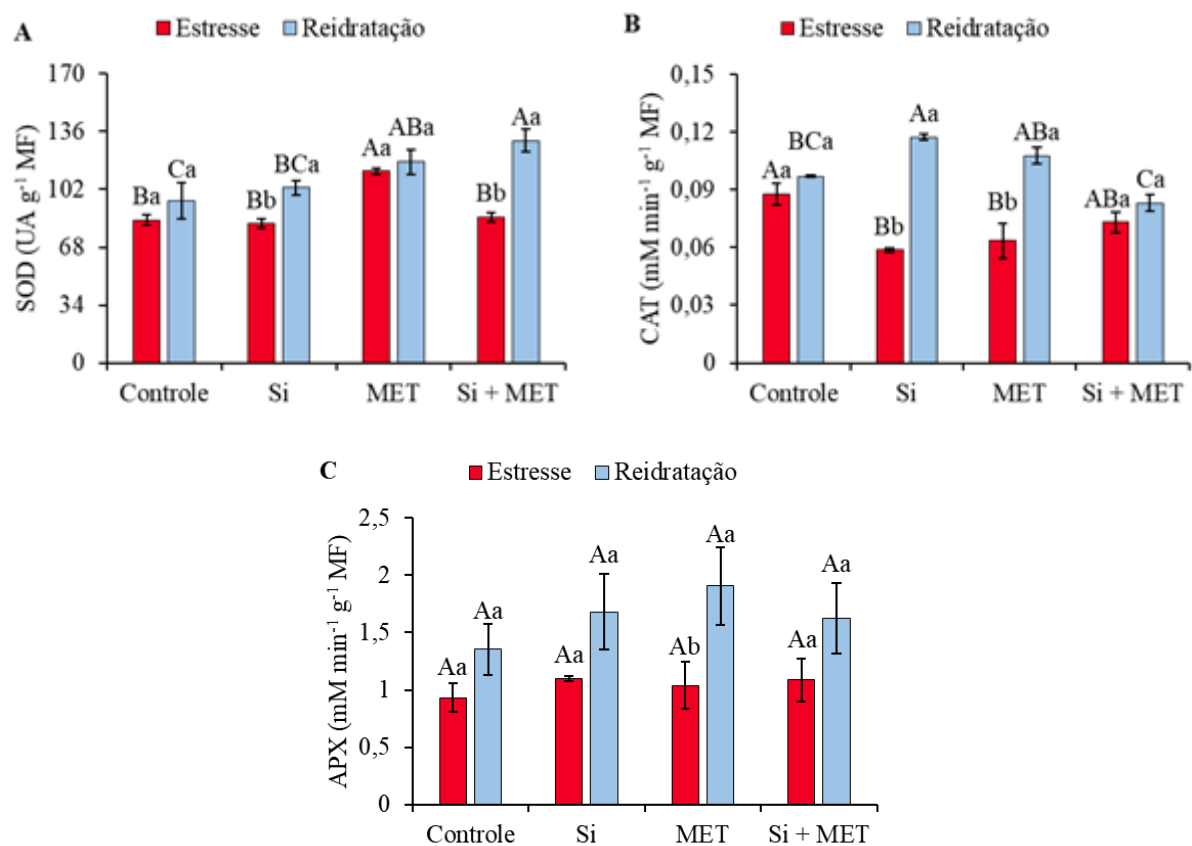


Figura 1. Superóxido dismutase (SOD) (A), Catalase (CAT) (B) e Ascobato peroxidase (APX) (C). Letras minúsculas diferenciam as condições hídricas dentro de um mesmo tratamento (*t-student* $P \leq 0,05$). E letras maiúsculas diferenciam os tratamentos dentro de uma mesma condição hídrica (*Tukey* $P \leq 0,05$).

A produção dessas enzimas durante o período de estresse hídrico reflete a atuação do mecanismo antioxidante, responsável pela conversão de radicais livres em moléculas menos tóxicas às plantas. Esse processo ocorre por via enzimática, protegendo as células vegetais dos danos ocasionados pela deficiência hídrica. Trabalhos anteriores, como os de Cavalcante et al. (2024), Melo et al. (2024) e Queiroz et al. (2025) destacam a importância dessas enzimas na

resposta de plantas de feijão-caupi ao estresse, especialmente por escassez hídrica, eliminando as EROs em excesso e minimizando os impactos negativos em diversas organelas responsáveis pela sobrevivência plena da planta.

A diminuição ou o aumento da ação dessas enzimas está relacionado à planta e aos estímulos do ambiente, haja vista que diversos fatores podem influenciar a fisiologia vegetal, como descrito por Ferraz et al. (2023), Shumayla et al. (2025) e Viana et al. (2025). Contudo, outros estímulos podem incrementar a atividade dessas enzimas, como a ação dos elicitores MET e Si observada neste estudo. A produção da SOD durante o período de estresse reflete atuação do metabolismo ativo, responsável pela dismutação dos radicais aniônicos superóxidos, transformando-os em moléculas menos tóxicas para as plantas (Taiz et al., 2017). Os aumentos observados se devem a ação do MET e do Si. A metionina por se tratar de um aminoácido, pode atuar favorecendo mudanças positivas nos aspectos fisiológicos e bioquímicos da cultura, reduzindo assim as espécies reativas de oxigênio protegendo as células vegetais dos danos ocasionados pelo déficit hídrico (Merwad et al., 2018), já o silício pode atuar na expressão de genes relacionados a enzimas antioxidantes, potencializando assim a ação desta variável (Ranjan et al., 2021).

Quando o sistema antioxidante não aumenta o suficiente para neutralizar grandes quantidades de espécies reativas geradas, o resultado se dá por danos ao nível celular (Nxele et al., 2017). Por tanto, os acréscimos de CAT por intermédio do MET e Si notados após reidratação demonstram a ação dessas substâncias em auxiliar as plantas a suportar estresse por seca. Dentre os benéficos MET, se destacam as doações de grupos metil para formação de enzimas e proteínas, bem como, o metabolismo de carbono, o que pode contribuir para um melhor aporte energético do vegetal em condições de estresse oxidativo por meio de produção de açúcares solúveis (Afzal et al., 2021). Complementando a ação da catalase, a enzima ascorbato peroxidase possui mesma função, contudo, detém uma maior afinidade pelo ácido ascorbato como agente redutor agindo em local distinto, mais especificamente nos cloroplastos e no citosol. Embora não tenha sido possível constatar diferença estatística entre os tratamentos, e importante destacar a ação desta enzima, uma vez que ela está ligada a recuperação das plantas sob estresse hídrico, como descrito por Alencar et al. (2025).

CONCLUSÃO

Conclui-se que os tratamentos proporcionaram melhorias por meio de uma melhor defesa antioxidante, isto, embasado nos resultados das enzimas. Assim, a suplementação com silício e metionina emerge como uma abordagem promissora para fortalecer as plantas de feijão-caupi em regiões de seca, principalmente nos locais de chuvas irregulares, contribuindo para a viabilização, sustentabilidade agrícola e a segurança alimentar. Contudo, mais pesquisas são necessárias para compreender plenamente os benefícios e as interações desses agentes mitigadores.

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 (FapesqPB) (Edital FapesqPB/CNPq no. 77/2022), Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Agricultura Sustentável no Semiárido Tropical (INCTAgris) e a Universidade Estadual da Paraíba (UEPB).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALENCAR, Rayanne Silva de et al. Chitosan mitigates water stress in cowpea plants through modulation of growth, homeostasis, and antioxidant activities. **Frontiers in Plant Science**, v. 16, p. 1591920, 2025.

ARAÚJO, Edilene Daniel et al. Improvement of silicon-induced tolerance to water stress is dependent on genotype sensitivity and phenological stage. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 23, n. 2, p. 1648-1659, 2023.

CAVALCANTE, Igor Eneas et al. 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.

CAVALCANTE, Igor Eneas et al. Salicylic acid improves cowpea productivity under water restriction in the field by modulating metabolism. **Frontiers in Plant Science**, v. 15, p. 1415682, 2024.

FERRAZ, Rener Luciano de Souza et al. allelopathy of ricinus communis and light spectrum variation decrease emergence and growth of cyperus rotundus. **Bioscience Journal**, v. 39, 2023.

FERREIRA, Daniel Furtado. SISVAR: A computer analysis system to fixed effects split plot type designs. **Brazilian Journal of Biometrics**, v. 37, n. 4, p. 529-535, 2019.

GIANNOPOLITIS, Constantine N.; RIES, Stanley K. Superoxide dismutases: I. Occurrence in higher plants. **Plant physiology**, v. 59, n. 2, p. 309-314, 1977.

KAR, Manoranjan; MISHRA, Dinabandhu. Catalase, peroxidase, and polyphenoloxidase activities during rice leaf senescence. **Plant physiology**, v. 57, n. 2, p. 315-319, 1976.

MELO, Alberto Soares de et al. Modulation of drought-induced stress in cowpea genotypes using exogenous salicylic acid. **Plants**, v. 13, n. 5, p. 634, 2024.

MERWAD, Abdel-Rahman. Response of water deficit-stressed *Vigna unguiculata* performances to silicon, proline or methionine foliar application. **Scientia Horticulturae**, v. 228, p. 132-144, 2018.

NAKANO, Yoshiyuki; ASADA, Kozi. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. **Plant and cell physiology**, v. 22, n. 5, p. 867-880, 1981.

NXELE, Xolisa et al. Drought and salinity stress alters ROS accumulation, water retention, and osmolyte content in sorghum plants. **South African journal of botany**, v. 108, p. 261-266, 2017.

OLIVEIRA, Auta Paulina da Silva et al. Osmoregulatory and antioxidants modulation by salicylic acid and methionine in cowpea plants under the water restriction. **Plants**, v. 12, n. 6, p. 1341, 2023.

QUEIROZ, Larissa Lanay Germano de et al. Foliar Silicon Alleviates Water Deficit in Cowpea by Enhancing Nutrient Uptake, Proline Accumulation, and Antioxidant Activity. **Plants**, v. 14, n. 8, p. 1241, 2025.

RANJAN, A. et al. Silicon-mediated abiotic and biotic stress mitigation in plants: Underlying mechanisms and potential for stress resilient agriculture. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 163, p. 15-25, 2021.

RANJAN, Alok et al. Silicon-mediated abiotic and biotic stress mitigation in plants: Underlying mechanisms and potential for stress resilient agriculture. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 163, p. 15-25, 2021.

AFZAL, Shadma et al. Role of soluble sugars in metabolism and sensing under abiotic stress. In: **Plant growth regulators: signalling under stress conditions**. Cham: Springer International Publishing, 2021. p. 305-334.

SHUMAYLA et al. The promise of resurrection plants in enhancing crop tolerance to water scarcity. **Philosophical Transactions B**, v. 380, n. 1927, p. 20240231, 2025.

SILVA, Alexandre Eugênio. et al. Microclimate changes, photomorphogenesis and water consumption of *Moringa oleifera* cuttings under different light spectrums and exogenous phytohormone concentrations. **Australian Journal of Crop Science**, v. 14, n. 5, p. 751-760, 2020.

TAIZ, Lincoln et al. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. Artmed Editora, 2017.

VIANA, Priscylla Marques de Oliveira et al. Prospecção de cultivares de feijão-caupi resilientes no agreste paraibano: Uma análise de rendimento e vigor. **Journal of Education Science and Health**, v. 5, n. 1, p. 1-14, 2025.