

## OTIMIZAÇÃO DE PIGMENTOS CLOROPLASTÍDICOS EM FEIJÃO-CAUPI: O PAPEL DO SILÍCIO E DA METIONINA SOB RESTRIÇÃO HÍDRICA E REIDRATAÇÃO

Guilherme Félix Dias<sup>1</sup>, Priscylla Marques de Oliveira Viana<sup>2</sup>, Tulio William da Silva Gonçalves<sup>3</sup>, Emmanuely Silva Dias de Farias<sup>4</sup>, Maurisrael de Moura Rocha<sup>5</sup>, Alberto Soares de Melo<sup>6</sup>

**RESUMO:** A manutenção dos pigmentos cloroplastídicos é fundamental na fotossíntese, uma vez que, participam do processo metabólico que converte a energia proveniente da radiação solar em energia química, por meio da fixação de CO<sub>2</sub> em carboidratos. Nesse contexto, objetivou-se avaliar a eficácia da aplicação de silício e metionina na atenuação dos efeitos do estresse hídrico em plantas de feijão-caupi, com ênfase na manutenção dos pigmentos cloroplastídicos. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2x4, com quatro repetições. O primeiro fator constituído de dois períodos: Período de estresse e período de reidratação. O segundo fator referente as aplicações dos elicitores: Controle, 300 mg L<sup>-1</sup> de Silício, 890 mg L<sup>-1</sup> de Metionina e a combinação de 300 mg L<sup>-1</sup> de Silício + 890 mg L<sup>-1</sup> de Metionina. As variáveis analisadas foram: clorofila a, clorofila b e clorofila total. A aplicação foliar de silício promoveu o incremento dos teores de clorofilas, mesmo sob condições de estresse hídrico. A aplicação isolada do silício aumentou o teor dos pigmentos cloroplastídicos. Portanto, a utilização deste elicitador se caracteriza como uma abordagem eficiente para o cultivo de feijão-caupi em regiões sujeitas à seca e chuvas irregulares, contribuindo para a atenuação da degradação das clorofilas.

**PALAVRAS-CHAVE:** “BRS Exuberante”, estresse hídrico, elicitores.

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

<sup>2</sup> Doutoranda, Programa de Pós-graduação em Ciências Agrárias, Universidade Estadual da Paraíba, CEP: 58109-753, Campina Grande – PB

<sup>3</sup> Graduando, Departamento de Biologia, Universidade Estadual da Paraíba, CEP: 58109-753, Campina Grande – PB

<sup>4</sup> Graduanda, Departamento de Biologia, Universidade Estadual da Paraíba, CEP: 58109-753, Campina Grande – PB

<sup>5</sup> Pesquisador, Embrapa Meio-Norte, CEP: 64008-780, Teresina - PI;

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

## **OPTIMIZATION OF CHLOROPLASTIDIC PIGMENTS IN COWPEA: THE ROLE OF SILICON AND METHIONINE UNDER WATER RESTRICTION AND REHYDRATION**

**ABSTRACT:** The maintenance of chloroplast pigments is essential for photosynthesis, as they participate in the metabolic process that converts energy from solar radiation into chemical energy through the fixation of CO<sub>2</sub> into carbohydrates. In this context, the objective was to evaluate the effectiveness of silicon and methionine applications in mitigating the effects of water stress in cowpea plants, with an emphasis on the maintenance of chloroplast pigments. The experiment was conducted in a completely randomized design, in a 2x4 factorial arrangement, with four replicates. The first factor consisted of two periods: the stress period and the rehydration period. The second factor concerned the elicitor applications: Control, 300 mg L<sup>-1</sup> silicon, 890 mg L<sup>-1</sup> methionine, and the combination of 300 mg L<sup>-1</sup> silicon + 890 mg L<sup>-1</sup> methionine. The variables analyzed were chlorophyll a, chlorophyll b, and total chlorophyll. Foliar application of silicon increased chlorophyll levels, even under water stress conditions. Silicon application alone increased chloroplast pigment levels. Therefore, the use of this elicitor is an efficient approach for cowpea cultivation in regions subject to drought and irregular rainfall, helping to mitigate chlorophyll degradation.

**KEYWORDS:** “BRS Exuberante”, water stress, elicitors.

### **INTRODUÇÃO**

Os pigmentos foliares, especialmente as clorofilas a e b, desempenham papel essencial nos processos fotossintéticos, especialmente, por participarem do metabolismo que converte a energia proveniente da radiação solar em energia química, por meio da fixação de CO<sub>2</sub> em carboidratos, sendo este, processo vital para o crescimento e o desenvolvimento das plantas (Buscemi et al., 2022). Sob condições de estresse abiótico, em destaque o que ocorre por meio da restrição hídrica, tem potencial de afetar os teores de clorofilas, por meio da degradação desses pigmentos em razão dada pela desorganização das membranas dos tilacoides e pelo aumento da atividade de espécies reativas de oxigênio (EROs) nas estruturas celulares. Esse aumento das EROs decorre, em parte, de alterações fisiológicas, como a redução da condutância estomática, que limita a assimilação de CO<sub>2</sub> como mecanismo para reduzir a perda de água via evapotranspiração, a qual gera acúmulo de energia que posteriormente aumenta a incidência de

danos pelas EROs, como relatado por Ahlem et al. (2023), Bhardwaj et al. (2024) e Alencar et al. (2025).

Dessa forma, o estresse por restrição hídrica compromete diretamente a eficiência fotossintética das plantas, por meio redução da condutância estomática e redução na assimilação de CO<sub>2</sub> (Dias et al., 2025), especialmente pela redução dos teores de clorofilas. Neste contexto, se faz necessário a busca por substâncias que minimizem esses efeitos deletérios. Entre as substâncias estudadas, destacam-se o silício e a metionina, que têm demonstrado potencial para melhorar atributos fisiológicos e promover o aumento dos pigmentos fotossintéticos, contribuindo para a tolerância ao estresse hídrico (Bukhari et al., 2021; El-Bauome et al., 2022).

Nesse sentido, a aplicação de silício e metionina surge como uma estratégia promissora para induzir a tolerância do feijão-caupi ao estresse hídrico, viabilizando seu cultivo em regiões com chuvas irregulares. Essa abordagem pode ser fundamental para fortalecer a produção dessa leguminosa frente aos desafios ambientais e econômicos. Todavia, ainda são escassas as informações sobre os efeitos combinados desses agentes mitigadores sob condições de estresse hídrico. Nesse contexto, objetivou-se avaliar os efeitos da pulverização foliar de silício e metionina como atenuadores do estresse hídrico em plantas de feijão-caupi, com base na análise do conteúdo de clorofilas.

## MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi conduzido em casa de vegetação pertencente à Universidade Estadual da Paraíba (UEPB) Campus II, em Lagoa Seca-PB (7° 09' 17'' de latitude sul, 35° 52' 16'' longitude Oeste), e as análises dos teores de pigmentos foram realizadas nas dependências do Laboratório de Ecofisiologia 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 (07° 12' 42'' de latitude Sul, 35° 54' 36'' longitude Oeste).

O estudo foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado (DIC), em esquema fatorial 2×4, com quatro repetições. O primeiro fator consistiu 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 foi 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 concentração de Si foi baseada em estudos anteriores de Silva et al. (2019), Santos et al. (2022) e Araújo et al. (2023), em que

ficou definido de usar 300 mg/L de Si. Para a Metionina, utilizou-se a concentração de 890 mg/L com base nos estudos de Merwad et al. (2018) e Oliveira et al. (2023). A fonte do Si utilizada foi o Sifol<sup>®</sup> powder, contendo aproximadamente 42% de silício na forma de ácido silícico, e a metionina usou a L Metionina da Dinâmica, contendo 98% de Met.

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. Após a preparação dos vasos foi realizado a saturação dos mesmos com água, a fim de se obter um substrato próximo da capacidade de campo. Os vasos foram cobertos com sacos plásticos a fim de se evitar a evaporação da água. Por diante, 24 h depois, procedeu-se a pesagem dos vasos seguido da semeadura com cinco sementes por vaso, utilizando-se de sementes de feijão-caupi da “BRS Exuberante”. Os vasos foram dispostos em bancada em quatro linhas de quatro vasos, espaçados em 20 cm entre vasos.

Trascorridos 22 dias após semeadura, intercorreu a aplicação dos tratamentos, em que, foram aplicados via foliar com pulverizador manual de 2 L, de compressão da marca Dasshaus, a aplicação foi realizada durante 20 segundos, tempo esse necessário para se obter o ponto de escorrimento nas folhas. Para melhor aderência dos elicitores utilizou-se espalhante Adesivo Wil Fix<sup>®</sup>, 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, em que, após esse período, ocorreu a segunda e última coleta. No decorrer do experimento foram realizadas 2 coletas, ambas realizadas no estágio V3.

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 reposto 70% do volume de água requerido, a fim 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).

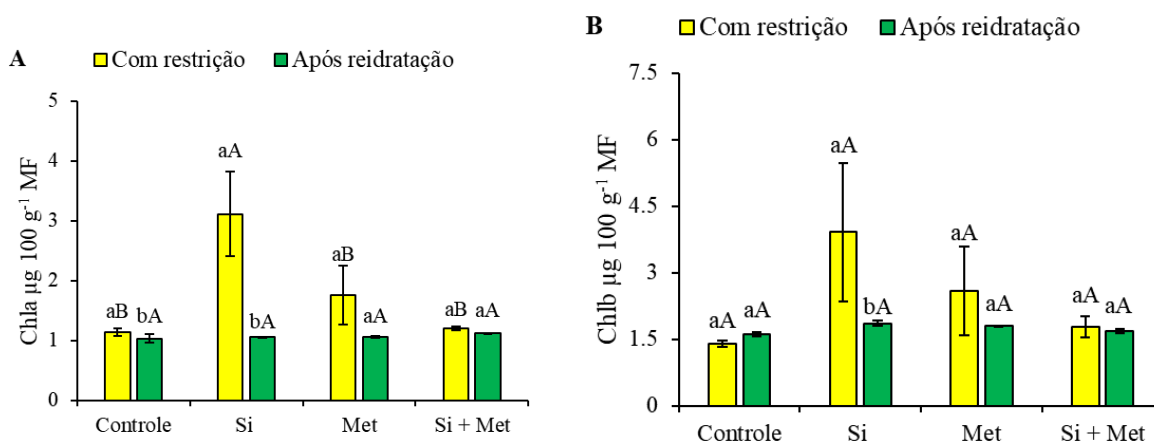
A quantificação dos pigmentos fotossintéticos foi realizada conforme o método de Sims e Gamon (2002), utilizando 100 mg de massa fresca de folhas extraídas em 3 mL de acetona a 80% tamponada com TRIS-HCl (pH 7,8). Após a extração, as leituras de absorvância foram realizadas em espectrofotômetro nos comprimentos de onda específicos para cada pigmento, a

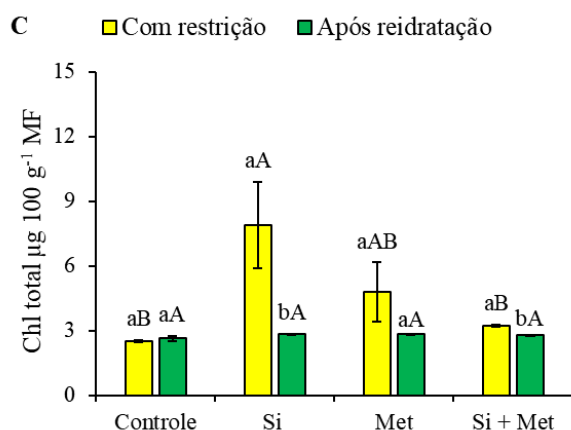
saber: 663 nm para clorofila a (chl<sub>a</sub>), 647 nm para clorofila b (chl<sub>b</sub>), para a obtenção da clorofila total (chl total), utilizou-se do somatório de chl<sub>a</sub> e chl<sub>b</sub>. Os valores de absorção foram aplicados em equações específicas para cada pigmento e os resultados foram expressos em mg/100g de MF e posteriormente convertidos para µg/100 g de MF, a saber:

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (teste F  $p \leq 0,05$ ), seguidos pelo teste de pares independentes (t-student,  $P \leq 0,05$ ) para os dois períodos, e pelo teste de comparação de médias (Tukey,  $P \leq 0,05$ ) para as aplicações de elicitores, utilizando-se o software computacional SISVAR v. 5.6 (Ferreira, 2019).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Constatou-se que apenas o tratamento com silício promoveu incremento significativo nos níveis de clorofila a em plantas sob restrição hídrica, representando um aumento de 182% em relação ao controle (Figura 1A). Após a reidratação, não foram observadas diferenças estatísticas entre as aplicações de elicitores. No entanto, a aplicação de silício apresentou uma redução nos níveis de clorofila a após a reidratação, correspondendo a diminuição de 67,7% (Figura 1A). Com relação ao conteúdo de clorofila b, não foram observadas diferença estatística significativa, tanto entre os períodos quanto entre as aplicações de elicitores (Figura 1B). O teor de clorofilas totais aumentou com a aplicação isolada de silício e metionina, proporcionando aumentos significativos de 212% e 88%, respectivamente, em relação ao controle sob restrição hídrica (Figura 1C). Após a reidratação, não houve diferenças significativas entre os tratamentos. Considerando os dois períodos (restrição e reidratação), apenas os tratamentos com Si e com a combinação Si + Met apresentaram reduções significativas nos teores de clorofilas totais, correspondendo a diminuições de 64,1% e 15,6%, respectivamente (Figura 1C).





**Figura 1.** Clorofila a (Chla) (A), Clorofila b (Chlb) (B) e clorofila total (Chl total) (C) em plantas de feijão-caupi “BRS Verdejante” sob restrição hídrica e reidratado, e aplicações de Silício (Si), metionina (MET) e a combinação Silício + Metionina (Si + MET). As letras minúsculas mostram diferenças entre os períodos de restrição e reidratação pelo teste de Student ( $P \leq 0,05$ ), enquanto as letras maiúsculas mostram diferenças entre os tratamentos pelo teste de Tukey ( $P \leq 0,05$ ).

Os pigmentos cloroplastídicos podem ser degradados ou produzidos em menores quantidades sob condições de estresse hídrico, principalmente em decorrência da redução na absorção e no transporte de água pela planta. Esses fatores afetam a biossíntese de clorofila e, conseqüentemente, comprometem a capacidade fotossintética da planta, conforme relatado por Sepahvand et al. (2021), Wu et al. (2022) e Alencar et al. (2025).

Os incrementos desses pigmentos, especialmente a clorofila a e a clorofila total, observados na presença de silício em plantas sob estresse hídrico no estágio V3, devem-se aos efeitos benéficos desse elemento em induzir uma maior produção de clorofilas. Ademais, o silício pode atuar aumentando a capacidade antioxidante enzimática por meio da elevação das enzimas superóxido dismutase, catalase e ascorbato peroxidase, que atuam eliminando as EROs e, conseqüentemente, impedindo ou minimizando a degradação das clorofilas, como descrito por Leite et al. (2023) e Sharifi et al. (2022). Esses resultados destacam a capacidade do silício em minimizar a degradação desses pigmentos, ao mesmo tempo em que induz uma maior biossíntese.

## CONCLUSÃO

O silício, aplicado de forma isolada, promoveu incremento significativo nos teores de clorofila a e clorofila total em plantas de feijão-caupi submetidas ao estresse hídrico. A suplementação com silício caracteriza-se como uma estratégia promissora para o fortalecimento

fisiológico do feijão-caupi, contribuindo para a preservação da atividade fotossintética mesmo em condições adversas.

## 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

AHLEM, B. S., et al. Variation of Osmolytes, Photosynthetic Pigments, Growth, Water Status and Gas Exchange in Green Kohlrabi under Drought and Rehydration Conditions. **Russian Journal of Plant Physiology**, v. 70, n. 3, p. 46, 2023.

BUKHARI, M. A., et al. Silicon mitigates drought stress in wheat (*Triticum aestivum* L.) through improving photosynthetic pigments, biochemical and yield characters. **Silicon**, v. 13, p. 4757-4772, 2021.

BUSCEMI, G., et al. Chlorophylls as molecular semiconductors: introduction and state of art. **Advanced Materials Technologies**, v. 7, n. 2, p. 2100245, 2022.

EL-BAUOME, H. A. et al. Exogenous proline, methionine, and melatonin stimulate growth, quality, and drought tolerance in cauliflower plants. **Agriculture**, v. 12, n. 9, p. 1301, 2022.

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.

LEITE, W. S., et al. Silicon alleviates drought damage by increasing antioxidant and photosynthetic performance in cowpea. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 209, n. 6, p. 772-787, 2023.

SHARIFI, P. et al. Role of silicon in mediating heat shock tolerance in soybean. **Gesunde Pflanzen**, v. 74, n. 2, p. 397-411, 2022.

SIMS, D. A.; GAMON, J. A. Relationships between leaf pigment content and spectral reflectance across a wide range of species, leaf structures and developmental stages. **Remote sensing of environment**, v. 81, n. 2-3, p. 337-354, 2002.

WU, J. et al. Physiology of plant responses to water stress and related genes: A review. **Forests**, v. 13, n. 2, p. 324, 2022.

BHARDWAJ, Anjali et al. Phenotyping for heat tolerance in food crops. **Plant Physiology Reports**, v. 29, n. 4, p. 736-748, 2024.

SEPAHVAND, Ali et al. Effects of water stress on seedling growth and physiological traits in four thyme species. **Journal of Rangeland Science**, v. 11, n. 1, p. 1-14, 2021.

SILVA, A. E. 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.

SANTOS, A. R. et al. Exogenous silicon and proline modulate osmoprotection and antioxidant activity in cowpea under drought stress. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 22, n. 2, p. 1692-1699, 2022.

SILVA, D. C. et al. Silicon foliar application attenuates the effects of water suppression on cowpea cultivars. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 43, p. e023019, 2019.

OLIVEIRA, A. P. S. 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.

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

ARAÚJO, E. D. 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.