

SILÍCIO E PROLINA MODULAM CRESCIMENTO DE FEIJÃO-CAUPI SOB RESTRIÇÃO HÍDRICA

Guilherme Félix Dias¹, Agda Malany Forte de Oliveira², Semako Ibrahim Bonou³, Igor Enéas Cavalcante⁴, Maurisrael de Moura Rocha⁵, Alberto Soares de Melo⁶

RESUMO: O silício é considerado um elemento benéfico na mitigação dos estresses abióticos, especialmente o déficit hídrico. Contudo, a interação e os benefícios da associação do silício com outros elicitores, como a prolina, ainda demandam maior investigação. Nesse sentido, objetivou-se avaliar a eficácia da aplicação de silício e prolina, na mitigação do estresse hídrico em feijão-caupi, avaliando os parâmetros de crescimento e acúmulo de biomassa. Para tanto, foi conduzido um experimento em delineamento em blocos casualizados, com três blocos, sendo avaliadas plantas sob restrição hídrica e irrigadas normalmente, e três tratamentos, sendo, Controle, 300 mg/L de Silício, 690 mg/L de Prolina e sua respectiva combinação, 300 mg/L de Silício + 690 mg/L de Prolina. Foram avaliados, matéria seca total; Área foliar total; Razão de área foliar; Razão de massa foliar. O estresse hídrico ocasionou alterações no crescimento do feijão-caupi. Contudo, os tratamentos com silício e prolina melhoraram os atributos de crescimento das plantas. A utilização de silício isolado e sua combinação com prolina apresentou resultados importantes em relação a modulação de indicadores de crescimento.

PALAVRAS-CHAVE: “BRS Exuberante”. estresse hídrico. ácido silícico.

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 Doutorando, Programa de Pós-graduação em Agronomia, Universidade Federal da Paraíba, CEP: 58397-000, Areia – 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 PROLINE MODULATE THE GROWTH OF COWPEA PLANTS UNDER WATER RESTRICTION

ABSTRACT: Silicon is considered a beneficial element in mitigating abiotic stresses, especially water deficit. However, the interaction and benefits of combining silicon with other elicitors, such as proline, still require further investigation. Therefore, the objective of this study was to evaluate the effectiveness of silicon and proline application in mitigating water stress in cowpea, evaluating growth parameters and biomass accumulation. To this end, a randomized block design experiment was conducted with three blocks, evaluating plants under water restriction and normally irrigated, and three treatments: Control, 300 mg/L silicon, 690 mg/L proline, and their respective combination, 300 mg/L silicon + 690 mg/L proline. The following were evaluated: total dry matter; total leaf area; leaf area ratio; and leaf mass ratio. Water stress caused changes in cowpea growth. However, treatments with silicon and proline improved plant growth characteristics. The use of silicon alone and its combination with proline yielded significant results in modulating growth indicators.

KEYWORDS: “BRS Exuberante”. water stress. silicic acid.

INTRODUÇÃO

O feijão-caupi é uma leguminosa anual, nativa da África e cultivada em diversas regiões do mundo. Esta cultura é amplamente reconhecida por seu elevado valor nutricional, desempenhando um papel fundamental na segurança alimentar, por ser uma importante fonte de proteínas, carboidratos, vitaminas e minerais para o consumo humano. Além disso, destaca-se por sua adaptabilidade a condições de baixa disponibilidade hídrica, sendo uma alternativa viável para cultivos em sequeiro, especialmente em regiões com irregularidade de chuvas (Alencar et al., 2025). No entanto, ainda que apresente tolerância moderada, a seca permanece como uma das principais limitações ao cultivo do feijão-caupi, afetando aspectos fisiológicos que, diminuem de forma expressiva o crescimento e acúmulo de biomassa, como descrito por Oliveira et al. (2023), Cavalcante et al. (2024) e Queiroz et al. (2025).

Portanto, torna-se crucial a implementação de alternativas que viabilizem a produção dessa leguminosa em condições hídricas adversas, garantindo a segurança alimentar e uma fonte de renda para os agricultores, notadamente, pelo consumo desta leguminosa ou por sua comercialização dos grãos. Dentre essas alternativas, destaca-se o uso do silício e a prolina,

elicitores estes que tem se mostrado eficazes na melhoria de atributos fisiológicos e na indução de respostas adaptativas, o que, ocasiona principalmente melhorias no crescimento, expansão de área foliar e aumento de biomassa, como descrito por Merwad et al. (2018), Jales Filho et al. (2022) e Araújo et al. (2023).

Assim, a aplicação desses elicitores configura-se como uma estratégia promissora para induzir a tolerância do feijão-caupi ao estresse hídrico, possibilitando seu cultivo em regiões com escassez de água. Essa abordagem pode ser fundamental para fortalecer a produção de feijão-caupi frente aos desafios ambientais e econômicos. Nesse contexto, objetivou-se avaliar os efeitos da aplicação foliar de silício e prolina em plantas de feijão-caupi submetidas a regimes de irrigação deficitário e adequado, com ênfase na análise de indicadores de crescimento.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em condições de campo, em área agrícola pertencente ao Centro de Ciências Agrárias e Ambientais (CCAA), Campus II da Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), localizado no município de Lagoa Seca – PB. Foram avaliadas plantas cultivadas sob duas condições hídricas: restrição hídrica e irrigação plena, em que, a condição hídrica deficitária correspondeu a 10 dias de restrição da irrigação, já a condição plena intercorreu com o manejo de irrigação adequado para a cultura. Os tratamentos consistiram em: controle (sem aplicação), silício (300 mg L⁻¹ de Si) e a combinação de silício e prolina (300 mg L⁻¹ de Si + 690 mg L⁻¹ de PRO).

O delineamento experimental adotado foi em blocos casualizados (DBC), com três blocos, totalizando 18 unidades experimentais. Cada unidade experimental possuía 2 m de largura por 3 m de comprimento, contendo cinco linhas de irrigação com 10 plantas cada. As sementes de “BRS exuberante” foram obtidas por meio da Embrapa Meio-Norte, estas sementes foram submetidas triagem eliminando-se aquelas que continham danos físicos, biológicos e/ou má formação. Após a triagem, as sementes foram transferidas e armazenadas para posterior semeadura. A área experimental foi irrigada com o intuito de deixar o solo próximo a condição de capacidade de campo no dia da semeadura, a qual foi realizada manualmente, adicionando-se uma semente por cova com profundidade de aproximadamente 3cm.

Quando o estande de plantas estava em torno de 70% no estágio reprodutivo R1 foi realizado a aplicação dos tratamentos, em que, foram aplicados via foliar com pulverizador costal de 20 L, com bico tipo cone vazio, 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. Após aplicação, as plantas que a serem submetidas ao estresse tiveram sua irrigação cessada durante 10 dias, após este período realizou a coleta, ainda, no estágio R1 das plantas.

A irrigação foi manejada diariamente com base na evapotranspiração estimada a partir da evaporação do tanque classe A, instalado nas proximidades da área experimental, e dos coeficientes de cultura (K_c) correspondentes a cada estágio fenológico, conforme descrito por Mendonça et al. (2015). O sistema de irrigação adotado foi o localizado, com aplicação de água via fitas de gotejamento autocompensante, de vazão de 1,8 L/hora.

As variáveis analisadas foram, matéria seca total da parte aérea (MST), área foliar total (AFT), razão de área foliar (RAF) e razão de massa foliar (RMF), realizados conforme Calcante et al. (2024) e Gorni et al. (2021). Os dados foram submetidos à análise de variância (teste F, a 5% de probabilidade), seguida pelo teste t de Student ($P \leq 0,05$) para comparação entre as duas condições hídricas, e pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$) para comparação entre os tratamentos. As análises estatísticas foram realizadas utilizando o software SISVAR, versão 5.6 (Ferreira, 2019).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao verificar os resultados de MST, pode-se constatar que não houve diferença estatística dos tratamentos sob condições de restrição hídrica, contudo, sob irrigação normal houve incremento de 23,3% no tratamento Si + PRO quando comparado ao seu respectivo controle (Figura 1A). Com relação a área foliar, é possível verificar incrementos de 22,9 e 42,2% nos tratamentos com Si e Si + PRO respectivamente quando comparadas ao controle na mesma condição de estresse. De modo semelhante, as plantas sob irrigação normal tratadas com Si e Si + PRO apresentaram incrementos de AFT, correspondendo a 57,0 e 16,3%, respectivamente, comparadas ao controle (Figura 1B).

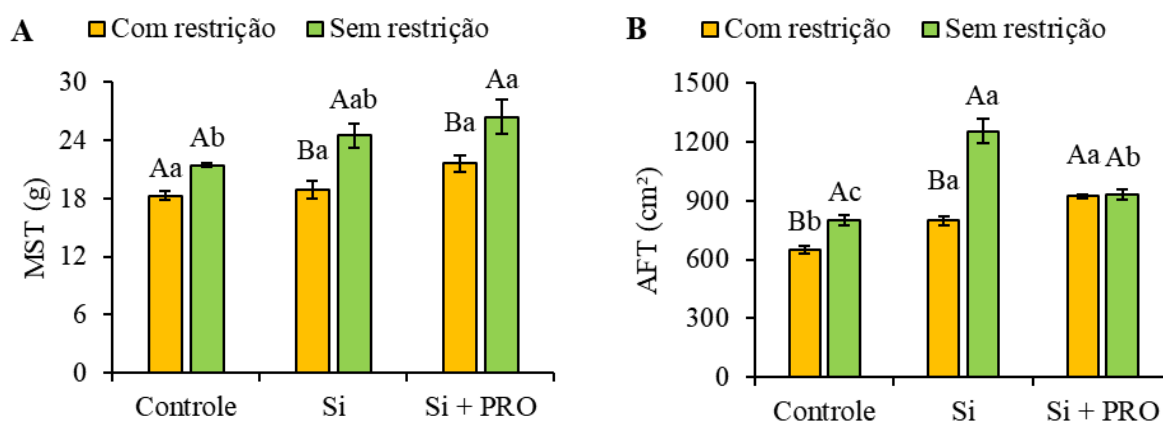


Figura 1. Massa seca total (MST) (A) e Área foliar total (AFT) (B). Letras maiúsculas diferenciam as condições hídricas dentro de um mesmo tratamento (*t-student* $P \leq 0,05$). E letras minúsculas diferenciam os tratamentos dentro de uma mesma condição hídrica (*Tukey* $P \leq 0,05$).

As melhorias observadas na acumulação de biomassa e na expansão foliar, na presença do silício, devem-se aos efeitos positivos desse elemento sobre os mecanismos de osmorregulação e defesa antioxidante, promovendo, assim, um aumento significativo no crescimento vegetativo do feijão-caupi. Além disso, estudos indicam que o silício também pode estar associado ao aumento da atividade fotossintética e à redução da taxa de transpiração, fatores que, em conjunto, contribuem para o incremento do crescimento da planta (Dias et al., 2025a; Dias et al., 2025b). Por sua vez, os efeitos positivos observados na presença da prolina podem estar relacionados ao aumento da atividade de enzimas antioxidantes, bem como à ação osmoprotetora da própria prolina, que atua como um osmólito. Ademais, a prolina pode contribuir para a remoção não enzimática de espécies reativas de oxigênio e radicais livres, favorecendo o desenvolvimento da planta mesmo sob condições adversas (Jales Filho et al., 2022).

Ao examinar os resultados da RAF, verifica-se que não houve diferença significativa entre os tratamentos sob condições de restrição hídrica. No entanto, em condição hídrica adequada, observou-se um incremento de 37,8% no tratamento com silício, em comparação ao controle submetido à mesma condição (Figura 2A). A RMF apresentou pouca variação significativa entre os tratamentos, tanto sob restrição quanto em condição hídrica adequada (Figura 2B).

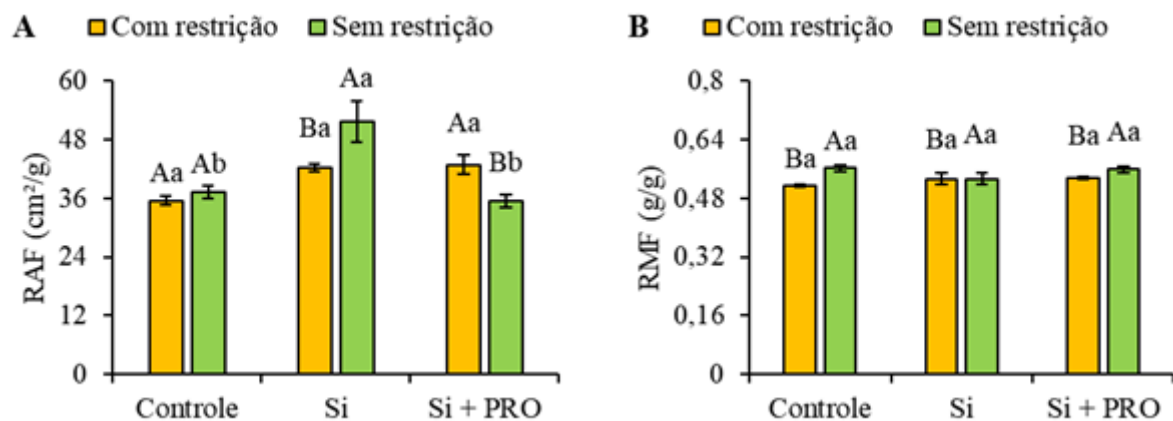


Figura 2. Razão de área foliar (RAF) (A) e Razão de massa foliar (RMF) (B). Letras maiúsculas diferenciam as condições hídricas dentro de um mesmo tratamento (*t-student* $P \leq 0,05$). E letras minúsculas diferenciam os tratamentos dentro de uma mesma condição hídrica (*Tukey* $P \leq 0,05$).

A razão de área foliar (RAF) reflete a relação entre a área foliar e a massa de matéria seca total da planta. Essa variável tende a diminuir à medida que a planta cresce ou quando é submetida a algum tipo de estresse que, por sua vez, reduz a área foliar funcional (Dias et al., 2025). Portanto, os baixos valores de RAF no controle, tanto no estresse como na condição de irrigação ideal refletem reduções na área foliar, como observado na figura 1 B. Trabalhos anteriores como os Santos et al. (2022) e Andrade et al. (2021) relatam a tendência de diminuição da área foliar de plantas de feijão-caupi em decorrência a fatores abióticos, especialmente o estresse hídrico.

Assim, os resultados positivos observados na presença do silício e prolina devem-se, sobretudo, à maior expansão foliar promovida pela ação desse elemento em decorrência de melhorias nas relações hídricas da planta. Quando aplicado nas folhas, esses elicitores são absorvidos e se acumulam, podendo reestruturar a arquitetura celular como no caso do silício ou, reduzir a perda excessiva pela transpiração de água em plantas, como relatado por Lacerda et al. (2022) e Irfan et al. (2023) e Jales filho et al. (2022). No presente estudo, isso pode, a princípio, explicar a maior plasticidade da AFT e conseqüentemente RAF na presença do Si e/ou PRO.

CONCLUSÃO

O estresse hídrico ocasionou redução do crescimento, mediante avaliação dos resultados de massa seca e área foliar. No entanto, os tratamentos com Si e Si + PRO proporcionaram

melhorias na massa seca e área foliar total, o que influenciaram positivamente nas demais variáveis. Portanto, a aplicação de sílico isolado ou com prolina pode melhorar o crescimento de plantas sob restrição hídrica e também em condições de irrigação normal.

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.

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.

ANDRADE, Wellerson Leite de et al. Bradyrhizobium inoculation plus foliar application of salicylic acid mitigates water deficit effects on cowpea. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 40, n. 2, p. 656-667, 2021.

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

DIAS, Guilherme Félix et al. Seed Priming with PEG 6000 and Silicic Acid Enhances Drought Tolerance in Cowpea by Modulating Physiological Responses. **Horticulturae**, v. 11, n. 4, p. 438, 2025a.

DIAS, Guilherme Felix et al. Silício como agente mitigador da restrição hídrica em feijão-caupi: avaliação de parâmetros de crescimento. **Journal of Education Science and Health**, v. 5, n. 1, p. 1-11, 2025b.

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.

GORNI, Pedro Henrique et al. Elicitation improves the leaf area, enzymatic activities, antioxidant activity and content of secondary metabolites in *Achillea millefolium* L. grown in the field. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 40, n. 4, p. 1652-1666, 2021.

IRFAN, Muhammad et al. Silicon nutrition in plants under water-deficit conditions: overview and prospects. **Water**, v. 15, n. 4, p. 739, 2023.

JALES FILHO, Renato C. et al. Salicylic acid and proline modulate water stress tolerance in a traditional variety of cowpeas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 27, p. 18-25, 2022.

LACERDA, Vander Rocha et al. Silicon as a mitigator of water deficit stress in radish crop. **Scientia Horticulturae**, v. 291, p. e110600, 2022.

MENDONÇA, C. A. et al. Caracterização fenológica associada a graus-dia em genótipos de feijão-caupi para produção de grãos verdes. **Enciclopédia Biosfera**, v. 11, n. 21, p. 485-493, 2015.

MERWAD, Abdel-Rahman 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.

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.

SANTOS, Anderson Reges dos 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.