



SILÍCIO COMO AGENTE MITIGADOR DA RESTRIÇÃO HÍDRICA EM FEIJÃO-CAUPI: AVALIAÇÃO DE PARÂMETROS DE CRESCIMENTO

SILICON AS A MITIGATING AGENT FOR WATER RESTRICTION IN COWPEA: EVALUATION OF GROWTH PARAMETERS

SILICIO COMO AGENTE MITIGADOR DE LA RESTRICCIÓN HÍDRICA EN CAUPI: EVALUACIÓN DE PARÁMETROS DE CRECIMIENTO

Guilherme Felix Dias^{1*} ; Semako Ibrahim Bonou² ; Priscylla Marques de Oliveira Viana¹ ; Rayanne Silva de Alencar³ ; Leticia Diniz Ribeiro⁴ ; Igor Eneas Cavalcante⁵ ; Yngrid Mikhaelly Lourenço de Araujo⁴ ; Rosana Araujo Martins Lucena⁶ ; Túlio William da Silva Gonçalves⁴ ; Alberto Soares de Melo⁷ 

⁷Doutor em Recursos Naturais (UFCG). Professor Associado da Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), Campina Grande, Paraíba, Brasil; ¹Bacharel em Agroecologia (UEPB). Lagoa Seca, Paraíba, Brasil; ²Mestre em Engenharia Agrícola (UFCG). Campina Grande, Paraíba, Brasil; ³Licenciada em Ciências em Biológicas (UEPB). Campina Grande, Paraíba, Brasil; ⁴Graduando(a) em Ciências Biológicas (UEPB). Campina Grande, Paraíba, Brasil. ⁵Mestre em Ciências Agrárias (UEPB), Campina Grande, Paraíba, Brasil; ⁶Bacharel em Engenharia de Biosistemas (UFCG). Sumé, Paraíba, Brasil.

*Autor correspondente: guilhermefelix038@gmail.com.

Recebido: 13/01/2025 | Aprovado: 30/01/2025 | Publicado: 15/02/2025

Resumo: O *Vigna unguiculata* é uma leguminosa amplamente cultivada devido ao seu elevado valor nutricional e econômico. Embora possua adaptações para suportar condições adversas, esta planta pode sofrer diversas alterações negativas quando submetida ao estresse abiótico, especialmente ao estresse hídrico. Por esse motivo, é essencial buscar tecnologias que viabilizem o cultivo dessa cultura sob tais adversidades. Nesse sentido, objetivou-se avaliar a eficácia da pulverização foliar de silício, na mitigação dos danos causados pelo estresse hídrico em feijão-caupi, focando nos parâmetros de crescimento da planta. Para tanto, foi conduzido um experimento em estufa utilizando-se de delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições, sendo avaliadas plantas com e sem restrição hídrica e dois tratamentos, sendo, Controle (Nada Aplicado) e silício (300 mg/L Si). Foram avaliados, taxa de crescimento relativo da parte aérea (TCRA, cm cm⁻¹ dia⁻¹), Taxa de crescimento relativo caulinar (TCRC, mm mm⁻¹ dia⁻¹), Razão de área foliar (RAF, cm² g⁻¹), Razão de massa foliar (RMF, g g⁻¹) e área foliar específica (AFE, mg mm²). Os dados foram submetidos à análise de variância e testes de comparações de médias. Conclui-se que, o estresse hídrico reduziu o crescimento do feijão-caupi nas variáveis TCRA, TCRC, RMF e AFE, mas não afetou a RAF. A suplementação com silício melhorou a maioria das variáveis estudadas, sugerindo que o silício pode beneficiar o crescimento do feijão-caupi sob estresse hídrico. No entanto, mais pesquisas são necessárias para entender completamente os efeitos do silício como agente mitigador.

Palavras-chave: Estresse Hídrico. *Vigna unguiculata* (L.) Walp. Indicadores Agrônômicos. Plasticidade. Adaptação.

Abstract: O *Vigna unguiculata* is a legume widely cultivated due to its high nutritional and economic value. Despite its adaptations to withstand adverse conditions, this plant can experience various negative changes when subjected to abiotic stress, particularly water stress. Therefore, it is crucial to explore technologies that enable the cultivation of this crop under such challenging conditions. In this context, the study aimed to evaluate the effectiveness of foliar silicon application in mitigating the damage caused by water stress in cowpea, with a focus on plant growth parameters. The experiment was conducted in a greenhouse using a completely randomised design with four replications, assessing plants under water restriction and no water restriction, with two treatments: Control (No Application) and silicon (300 mg/L Si). The parameters evaluated were relative growth rate of the aerial part (RGRAP, cm cm⁻¹ day⁻¹), relative stem growth rate (RSGR, mm mm⁻¹ day⁻¹), leaf area ratio (LAR, cm² g⁻¹), leaf mass ratio (LMR, g g⁻¹), and specific leaf area (SLA, mg mm²). Data were subjected to analysis of variance and mean comparison tests. The results showed that water stress reduced cowpea growth in the variables RGRAP, RSGR, LMR, and SLA, but did not affect LAR. Silicon supplementation improved most of the variables studied, indicating that silicon can enhance cowpea growth under water stress conditions. However, further research is required to fully understand the effects of silicon as a mitigating agent.

Keywords: Water Stress. *Vigna unguiculata* (L.) Walp. Agronomic Indicators. Plasticity. Adaptation.

Resumen: O *Vigna unguiculata* es una leguminosa ampliamente cultivada por su alto valor nutricional y económico. Aunque presenta adaptaciones para soportar condiciones adversas, la planta puede experimentar alteraciones negativas cuando se somete a estrés abiótico, especialmente hídrico. Por lo tanto, es esencial explorar tecnologías que permitan el cultivo del caupí en condiciones desafiantes. Este estudio evaluó la eficacia de la aplicación foliar de silicio en la mitigación de los daños causados por el estrés hídrico en caupí, con un enfoque en los parámetros de crecimiento. El experimento se realizó en un diseño completamente aleatorizado con cuatro repeticiones, evaluando plantas con y sin restricción hídrica y dos tratamientos: Control (sin aplicación) y silicio (300 mg/L de Si). Los parámetros evaluados incluyeron la tasa de crecimiento relativo de la parte aérea (TCRPA, $\text{cm cm}^{-1} \text{ día}^{-1}$), tasa de crecimiento relativo del tallo (TCRT, $\text{mm mm}^{-1} \text{ día}^{-1}$), razón de área foliar (RAF, $\text{cm}^2 \text{ g}^{-1}$), razón de masa foliar (RMF, g g^{-1}) y área foliar específica (AFE, mg mm^2). Los datos se sometieron a análisis de varianza y pruebas de comparación de medias. Los resultados indicaron que el estrés hídrico redujo el crecimiento del caupí en las variables TCRPA, TCRT, RMF y AFE, pero no afectó la RAF. La suplementación con silicio mejoró la mayoría de las variables estudiadas, lo que sugiere que el silicio puede mitigar los efectos del estrés hídrico en el crecimiento del caupí. Sin embargo, se necesita más investigación para comprender completamente el papel del silicio como agente mitigador.

Palabras-clave: Estrés Hídrico. *Vigna unguiculata* (L.) Walp. Indicadores Agronómicos. Plasticidad. Adaptación.

1 INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas globais geradas principalmente em consequência ao aumento das emissões de gases de efeito estufa (Artaxo *et al.*, 2022) constituem-se o principal desafio a ser enfrentado por todas as sociedades no século XXI, haja vista que seus impactos negativos irão refletir em diversas atividades humanas em todo planeta. Dentre essas atividades, a agricultura é a mais afetada, comprometendo sobre tudo a segurança alimentar e nutrição da população (Mekonnen *et al.*, 2022).

Nesse sentido, um melhor entendimento da plasticidade das plantas aumentará a possibilidade de produzir culturas resilientes às oscilações climáticas previstas (Brooker *et al.*, 2022). Por tanto, há necessidade de cultivo de espécies com diversidade de genótipos melhorados geneticamente para adaptação aos ambientes de cultivo, por exemplo, feijão-caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] com atributos de interesse aos agricultores (Martey *et al.*, 2021).

O feijão-caupi é uma planta de alto potencial, rica em nutrientes essenciais para a saúde, incluindo proteínas, aminoácidos, carboidratos, minerais, fibras e vitaminas. Além disso, contém compostos bioativos com propriedades anti-inflamatórias, imunoestimulantes, neuroprotetoras, anticancerígenas, antioxidantes e cardioprotetoras (Collado *et al.*, 2019; Fasuan *et al.*, 2022). Contudo, mesmo com todos os seus benefícios, ainda é baixo o emprego de tecnologias que possam proporcionar ainda mais produtividade frente aos eventos climáticos extremos e chuvas irregulares (CONAB, 2024).

Na maioria das produções de feijão-caupi, prevalece a agricultura familiar, que por sua vez são acometidos por perdas consideráveis, muito em decorrência do estresse hídrico (Andrade *et al.*, 2021). Apesar do seu baixo custo de cultivo e tolerância moderada ao déficit hídrico tornam essa cultura amplamente utilizada por agricultores de diferentes portes (Guimarães *et al.*, 2020).

No entanto, ainda que possua tolerância moderada, a seca permanece como uma das principais limitações ao cultivo do feijão-caupi (Boukar *et al.*, 2019; Saka *et al.*, 2019). Portanto, é crucial a implementação de alternativas que possibilitem a produção do feijão-caupi em condições adversas, garantindo segurança

alimentar e uma fonte de renda para os agricultores.

Dentre essas alternativas, o uso do silício se destaca, melhorando atributos fisiológicos e induzindo respostas adaptativas (Araújo *et al.*, 2023). Logo, a aplicação de silício emerge como uma estratégia promissora para induzir a tolerância do feijão-caupi ao estresse por restrição hídrica, viabilizando seu cultivo em regiões de seca. Essa abordagem pode ser fundamental para fortalecer a produção de feijão-caupi em face dos desafios ambientais e econômicos (Melo *et al.*, 2022). Neste contexto, este estudo teve como objetivo avaliar a pulverização foliar de silício como atenuador do estresse hídrico feijão-caupi por meio dos parâmetros de crescimento.

2 PERCURSO METODOLÓGICO

2.1 Fundamentação teórica

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata*) é uma leguminosa essencial para a segurança alimentar, especialmente em regiões suscetíveis à seca. Embora apresente tolerância moderada ao déficit hídrico, a seca continua sendo uma das principais limitações ao seu cultivo, comprometendo o crescimento e a produtividade. Nesse contexto, o uso de silício tem emergido como uma estratégia eficaz para mitigar os efeitos negativos do estresse hídrico. O silício atua fortalecendo as paredes celulares, melhorando a eficiência no uso da água e induzindo respostas adaptativas em plantas, o que pode aumentar a resistência do feijão-caupi à seca. Assim, a suplementação com silício via pulverização foliar pode ser uma solução promissora para viabilizar o cultivo do feijão-caupi em condições adversas.

2.3 Metodologia da pesquisa

O estudo foi conduzido em casa de vegetação pertencente à Universidade Estadual da Paraíba (UEPB) Campus II, em Lagoa Seca-PB, e as análises 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.

2.4 Delineamento estatístico e tratamentos

O estudo foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado (DIC), em esquema fatorial 2×2, com quatro repetições. O primeiro fator consistido de plantas sob restrição hídrica (Restrição da irrigação durante 10 dias) e plantas irrigadas diariamente (Plantas irrigadas todos os dias). O segundo fator e referente a aplicação do elicitor, sendo: Controle (Nada Aplicado) e silício (300 mg/L Si). A combinação desses fatores resultou em 16 unidades experimentais, onde, cada unidade foi constituída de um vaso com duas plantas.

2.5 Instalação e condução

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, 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, utilizando-se de sementes de feijão-caupi da cultivar BRS Verdejante.

Transcorridos 20 dias após sementeira, intercorreu a aplicação dos tratamentos, onde, foram aplicados via foliar com pulverizador manual de 2 L, a aplicação foi realizada até ponto de escorrimento nas folhas, para melhor aderência do silício na folha utilizou-se espalhante Adesivo Wil Fix®.

Seguida a aplicação dos tratamentos, parte dos vasos foram submetidos a restrição total da irrigação durante um período de 10 dias, decorrido esse período efetuou-se a coleta. Na qual ocorreu enquanto as plantas se encontravam no estágio fenológico 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. 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).

2.6 Variáveis analisadas

Transcorridos 30 dias após a sementeira, foram realizadas avaliações para mensuração do crescimento das plantas de feijão-caupi. Para tanto, foram realizadas medidas de altura de planta (cm), diâmetro do caule (mm), Massa seca das folhas (g), Massa seca do caule (g) e área foliar (cm²). De posse desses dados, foi obtida a taxa de crescimento relativo da parte aérea (TCRA, cm cm⁻¹ dia⁻¹), Taxa de crescimento relativo caulinar (TCRC, mm mm⁻¹ dia⁻¹), Razão de área foliar (RAF, cm² g⁻¹), Razão de massa foliar (RMF, g g⁻¹) e área foliar específica (AFE, mm² mg⁻¹) obtidas pelos métodos descritos por Benincasa (2003) e Silva, Beltrão e Amorim Neto (2000).

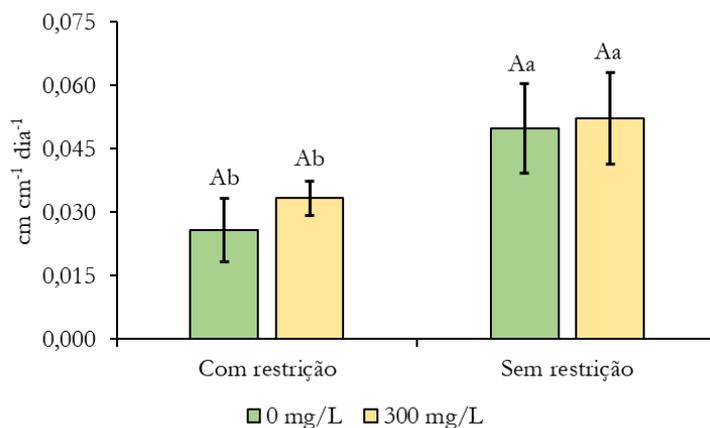
2.7 Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) pelo teste F, com nível de significância de até 5%. Em seguida, foi aplicado o teste de *Student* para pares independentes ($P \leq 0,05$) nas variáveis relacionadas às lâminas de controle. Para a comparação dos tratamentos, utilizou-se o teste de médias de *Tukey* ($P \leq 0,05$). Todas as análises foram realizadas no software SISVAR versão 5.6 (Ferreira, 2019).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Quando analisado a taxa de crescimento relativo da parte aérea, não é possível observar diferença entre os tratamentos. Contudo, é notável a diferença nesta variável quando analisado plantas com estresse e sem, com decréscimos de -48 e -36,5% equiparado aos seus respectivos tratamentos sob irrigação normal (Figura 1).

Figura 1 – Taxa de crescimento relativo da parte aérea (TCRA) da cultivar BRS Verdejante. Letras maiúsculas diferenciam os tratamentos (*Tukey* $P \leq 0,05$). E letras minúsculas diferenciam as plantas com e sem restrição (*t-student* $P \leq 0,05$).



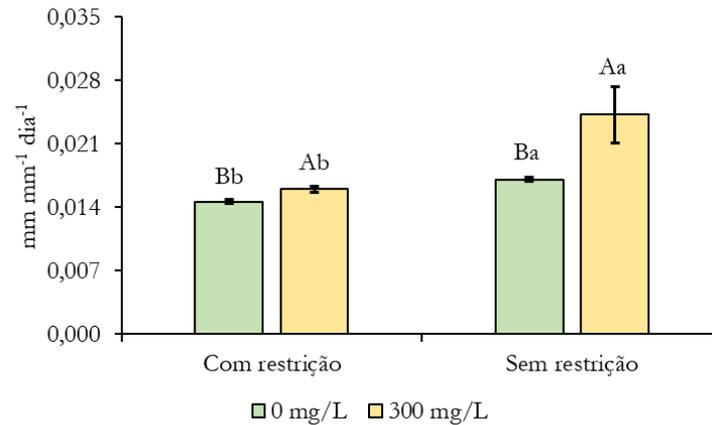
Fonte: Autores, 2024.

Plantas de feijão-caupi sob estresse tendem a diminuir seu crescimento devido a uma maior produção de espécies reativas de oxigênio (ERO's), principalmente durante o início do crescimento vegetativo. O aumento das ERO's ocasiona em sérias consequências ao acúmulo de biomassa da parte aérea, limitando a altura das plantas (Melo *et al.*, 2022).

Costa *et al.* (2023) reportam que a aplicação de silício em plantas de grão de bico não influenciou na altura e diâmetro da planta, corroborando aos achados desta pesquisa. Miranda *et al.* (2018), observaram que a aplicação de silício pode gerar acúmulo deste elemento nos estômatos, proporcionando a formação de uma dupla camada de sílica cuticular, proporcionando melhorias na transpiração, isso faz com que a necessidade de água utilizada pelas plantas seja menor, proporcionando benefícios à altura e diâmetro, contudo, não foi possível verificar estes resultados no presente estudo.

Ao avaliar a taxa de crescimento caulinar, é possível verificar redução significativa das plantas sob estresse quando comparadas a irrigadas diariamente, essas reduções correspondem a 11,7 e 5,8% para a testemunha e plantas tratadas com sílico, respectivamente. Quando comparado o efeito do tratamento em plantas sob estresse, o silício proporcionou incremento significativo de 6,6%. Ainda nesta variável, é possível observar que o silício influenciou positivamente nas plantas irrigadas normalmente quando contrastados as plantas controle na mesma situação de irrigação, este aumento foi de 41,1% (Figura 2).

Figura 2 – Taxa de crescimento relativo caulinar (TCRC) da cultivar BRS Verdejante. Letras maiúsculas diferenciam os tratamentos (*Tukey* $P \leq 0,05$). E letras minúsculas diferenciam as plantas com e sem restrição (*t-student* $P \leq 0,05$).



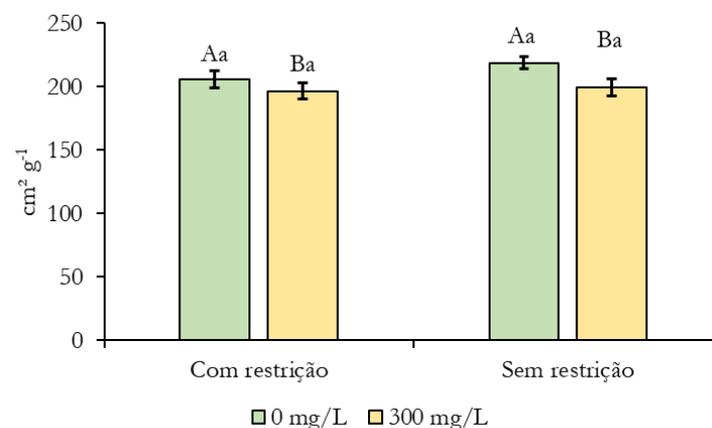
Fonte: Autores, 2024.

As plantas de modo geral, possuem de forma intrínseca, mecanismos de defesa a várias condições desfavoráveis para seu crescimento e desenvolvimento. A diminuição da expansão do caule pode estar relacionada a um desses mecanismos, onde, a planta investe muito mais no desenvolvimento de um sistema radicular para aumentar a absorção de água, reduzindo assim o desenvolvimento de outras partes do mesmo, como caule e área foliar (Campos, Santos & Nacarath, 2021).

Os incrementos verificados na presença do silício são em decorrência de melhorias na estrutura celular da planta, além disto o silício pode atuar conferindo melhor balanço hormonal de plantas sob estresse hídrico, fitormônios estes que estão diretamente relacionados com o crescimento da planta, como auxinas e giberelinas (Melo *et al.*, 2022).

Para a razão de área foliar não houve diferença estatística entre plantas com ou sem irrigação, já para os tratamentos com as plantas controle demonstraram ter melhor desempenho (Figura 3).

Figura 3 – Razão de área foliar (RAF) da cultivar BRS Verdejante. Letras maiúsculas diferenciam os tratamentos (*Tukey* $P \leq 0,05$). E letras minúsculas diferenciam as plantas com e sem restrição (*t-student* $P \leq 0,05$).



Fonte: Autores, 2024.

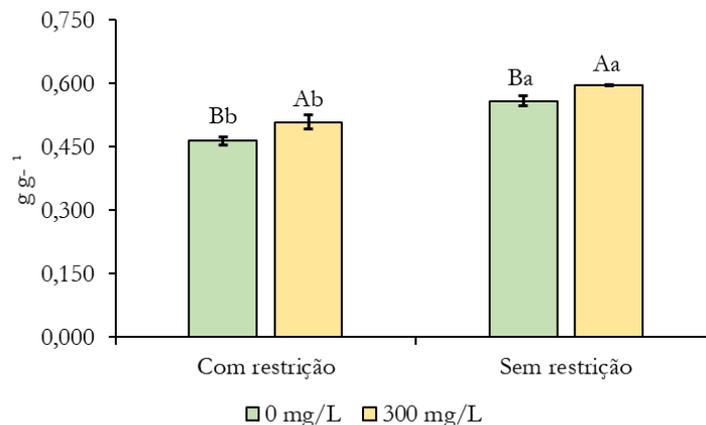
A RAF reflete a relação entre a área foliar e a massa da matéria seca total da planta. Esta variável tende a diminuir enquanto a planta cresce ou passa por algum estresse que por sua vez venha a diminuir a área foliar útil

ou fotossinteticamente ativa, para a produção de matéria seca (Peixoto *et al.*, 2020).

Azimi, Pirzad e Hadi (2012) reportam este comportamento da RAF em plantas de calêndula expostas a diferentes níveis de restrição hídrica ao longo do tempo. Contudo, não foi possível verificar diferença nesta variável no presente estudo, mesmo sob restrição hídrica.

Ao verificar a razão de massa foliar, verifica-se decréscimos de 16,3 e 15,2% das plantas testemunha e tratadas com silício, respectivamente, quando comparadas ao controle sem restrição. Apesar disso, o silício proporcionou incremento de 19,5 e 18% quando comparados aos seus respectivos controles (Figura 4).

Figura 4 – Razão de massa foliar (RMF) da cultivar BRS Verdejante. Letras maiúsculas diferenciam os tratamentos (Tukey $P \leq 0,05$). E letras minúsculas diferenciam as plantas com e sem restrição (t-student $P \leq 0,05$).



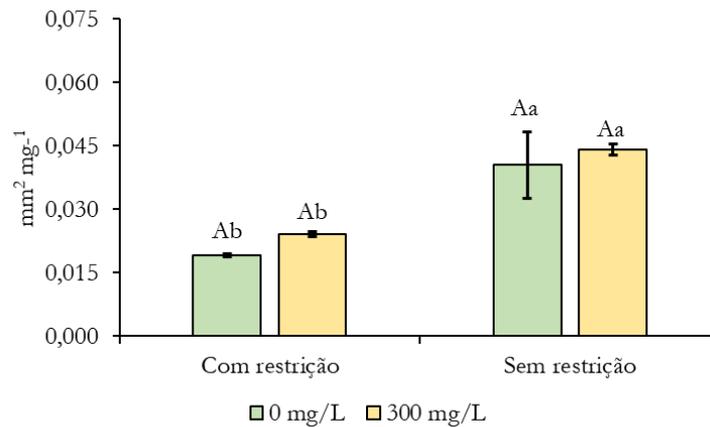
Fonte: Autores, 2024.

A redução na RMF, ocorre devido a baixa disponibilidade de água, sendo ela necessária para que a planta possa expandir as folhas. A desidratação da planta resulta em estratégias de tolerância à seca, como menor partição de biomassa para as folhas para que as raízes se desenvolvam, aumentando dessa forma a probabilidade de o sistema radicular atingir condições úmidas, explicando assim as reduções desta variável nas plantas sob restrição (Anjos *et al.*, 2017).

Os incrementos observados nas plantas tratadas com silício se devem a ação desse nutriente como um bom elicitador de estresse hídrico, mantendo ou aumentando a área foliar (Korkmaz *et al.*, 2022). Este efeito benéfico pode estar relacionado a um aumento nos conteúdos de clorofilas e carotenoides, permitindo melhor o fornecimento de assimilados aos tecidos em crescimento, incrementando nas características de crescimento do feijão-caupi (Merwad *et al.*, 2018).

A área foliar específica sofreu com reduções significativas quando as plantas foram expostas a restrição hídrica, reduções de 53,6 e 45,4%, respectivamente, quando comparados aos controles sem e com silício. Não houve resultados das aplicações de silício independente da restrição ou não (Figura 5).

Figura 5 – Área foliar específica (AFE) da cultivar BRS Verdejante. Letras maiúsculas diferenciam os tratamentos (*Tukey* $P \leq 0,05$). E letras minúsculas diferenciam as plantas com e sem restrição (*t-student* $P \leq 0,05$).



Fonte: Autores, 2024.

Comparado com a condição sem estresse, a área foliar específica foi significativamente diminuída. Se trata de um mecanismo de defesa em que, a folha da planta adapta sua estrutura a fim de reduzir a perda de água para atmosfera por meio da transpiração, reduzindo assim esta variável (Taiz *et al.*, 2017).

No entanto, Si pode ser depositado abaixo da camada da cutícula para formar uma camada dupla cutícula-Si, aumentando a espessura da folha, conseqüentemente levando ao aumento do peso seco por unidade de área da folha, resultando em melhorias na transpiração e estrutura da folha, proporcionando para a planta matimento de sua área fotossinteticamente ativa (Dehghanipoodeh *et al.*, 2018; Zhang *et al.*, 2013).

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante do exposto, conclui-se que o estresse hídrico ocasionou em reduções no crescimento da planta mediante avaliação das variáveis TCRA, TCRC, RMF e AFE. No entanto, não foi possível verificar este mesmo resultado para a RAF.

Ademais, a suplementação com silício proporcionou melhorias para a maioria das variáveis estudadas, podendo-se concluir que o silício pode trazer benefícios a plantas de feijão-caupi sob restrição hídrica, por meio do melhor crescimento nesta situação.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) com os processos: 408952/2021-0 e 307559/2022-0, Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado da Paraíba (FAPESQ/PB), Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), Laboratório de Ecofisiologia de Plantas Cultivadas (EcoLab), Programa de Pós-graduação em Ciências Agrárias (PPGCA) e ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola (PPGEA).

Conflitos de interesses

Os autores declaram que não possuem conflitos de interesse relacionados ao conteúdo deste artigo. Todos os coautores foram informados e consentem com a submissão do manuscrito.

Contribuições dos autores

Guilherme Felix Dias: Escrita – revisão e edição, Escrita – rascunho original, Metodologia, Análise formal, Curadoria de dados, Conceitualização. **Semako Ibrahim Bonou:** Metodologia, Investigação, Análise formal. **Priscylla Marques de Oliveira Viana:** Metodologia, Investigação, Análise formal. **Rayanne Silva de Alencar:** Metodologia, Investigação, Análise formal. **Leticia Diniz Ribeiro:** Metodologia, Investigação, Análise formal. **Igor Eneas Cavalcante:** Metodologia, Investigação, Análise formal. **Yngrid Mikhaelly Lourenço de Araujo:** Metodologia, Investigação, Análise formal. **Rosana Araujo Martins Lucena:** Metodologia, Investigação, Análise formal. **Túlio William da Silva Gonçalves:** Metodologia, Investigação, Análise formal. **Alberto Soares de Melo:** Redação – revisão e edição, Redação – rascunho original, Supervisão, Recursos, Administração do projeto, Metodologia, Investigação, Obtenção de financiamento, Análise formal, Conceitualização.

REFERÊNCIAS

- Andrade, W. L. de; Melo, A. S. de; Melo, Y. L.; Sá, F. V. S.; Rocha, M. M. R; Oliveira, A. P. S. da; Fernandes-Júnior, P. I. (2021). *Bradyrhizobium* inoculation plus foliar application of salicylic acid mitigates water deficit effects on cowpea. *Journal Plant Growth Regulation*, 40(1),656–667. <https://doi.org/10.1007/s00344-020-10130-3>
- Anjos, R. A. R., da Silva Santos, L. C., de Oliveira, D. B., Amaro, C. L., Rios, J. M., Rocha, G. T., Matos, F. S. (2017). Initial growth of '*Jatropha curcas*' plants subjected to drought stress and silicon (Si) fertilization. *Australian Journal of Crop Science*, 11(4), 479-484. <https://doi.org/10.21475/ajcs.17.11.04.377>
- Araújo, E. D., de Melo, A. S., do Socorro Rocha, M., Silva, P. C. C., Ferraz, R. L. S., Melo, Y. L., Lacerda, C. F. (2023). Improvement of silicon-induced tolerance to water stress is dependent on genotype sensitivity and phenological stage. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 23(2), 1648-1659. <https://doi.org/10.1007/s42729-023-01126-5>
- Artaxo, P., Bustamante, M. M. D. C., Lapola, D. M., Dias, P. L. D. S., Di Giulio, G. M. (2022). Mudanças climáticas globais: seus impactos e estratégias de mitigação e adaptação. *Fapesp 60 anos: A ciência no desenvolvimento nacional*. <https://doi.org/10.4322/978-65-86819-27-4.1000002>
- Azimi, J., Pirzad, A., Hadi, H. (2012). Effect of increasing severity of drought stress on leaf physiological and morphological characters in *Calendula officinalis* L., *Bio Technology Indian Journal*, 6(7), 212-218.
- Benincasa, M. M. P. (2003). *Análise de crescimento de plantas: noções básicas*. Jaboticabal: FUNEP, 42 p.
- Boukar, O.; Belko, N.; Chamarthi, S.; Togola, A.; Batieno, J.; Owusu, E.; Fatokun, C. (2019) Cowpea (*Vigna unguiculata*): Genetics, genomics and breeding. *Plant Breeding*, 138(4), 415-424. <https://doi.org/10.1111/pbr.12589>
- Brooker, R., Brown, L. K., George, T. S., Pakeman, R. J., Palmer, S., Ramsay, L., Schöb, C., Schurch, N., Wilkinson, M. J. (2022). Active and adaptive plasticity in a changing climate. *Trends in Plant Science*, 27(7), 717-728. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2022.02.004>

- Campos, A. J. M., Santos, S. M., Nacarath, I. R. F. F. (2021). Water stress in plants: a review. *Research, Society and Development*, 10(15), e311101523155. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i15.23155>
- Collado, E., Klug, T. V., Artés-Hernández, F., Aguayo, E., Artés, F., Fernández, J. A., Gómez, P. A. (2019). Quality changes in nutritional traits of fresh-cut and then microwaved cowpea seeds and pods. *Food and Bioprocess Technology*, 12(2), 338-346. <https://doi.org/10.1007/s11947-018-2214-2>
- CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. *Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos*, Brasília, v. 11, safra 2023/24, n. 6, sexto levantamento, p. 1-124, março 2024. [file:///C:/Users/rajan/Downloads/E-book BoletimZdeZSafraZ-Z6Zlevantamento-compactado.pdf](file:///C:/Users/rajan/Downloads/E-book%20Boletim%20de%20Safra%20-%206%20levantamento-compactado.pdf)
- Costa, A. C. R., dos Santos Sousa, W., Campos, T. S., dos Santos, W. S., da Silva, A. T., Nascimento, M. V., Pelá, A. (2023). Efeito do silício no cultivo de grão-de-bico (*Cicer arietinum* L.). *Revista de Biotecnologia & Ciência*, 12, e14240. <https://doi.org/10.31668/rbc.v12i0.14240>
- Dehghanipoodeh, S., Ghobadi, C., Baninasab, B., Gheysari, M., Shiranibidabadi, S. (2018). Effect of silicon on strawberry growth and development under water deficit conditions. *Horticultural Plant Journal*, 4(6), 226-232. <https://doi.org/10.1016/j.hpj.2018.09.004>
- Fasuan, T. O., Chukwu, C. T., Uchegbu, N. N., Olagunju, T. M., Asadu, K. C., Nwachukwu, M. C. (2022). Effects of pre-harvest synthetic chemicals on post-harvest bioactive profile and phytoconstituents of white cultivar of *Vigna unguiculata* grains. *Journal of Food Processing and Preservation*, 46(1), e16187. <https://doi.org/10.1111/jfpp.16187>
- Ferreira, D. F. (2019). Sisvar: A computer analysis system to fixed effects split plot type designs. *Revista brasileira de biometria*, 37(4), 529-535.
- Guimarães, D. G., Oliveira, L. M., Guedes, M. O., Ferreira, G. F. P., Prado, T. R., Amaral, C. L. F. (2020). Desempenho da cultivar de feijão-caupi BRS Novaera sob níveis de irrigação e adubação em ambiente protegido. *Ciência Agronômica*, 29, 61- 75. <http://dx.doi.org/10.32929/2446-8355.2020v29n1p61-75>
- Korkmaz, K., Bolat, I., Karakas, S., Dikilitas, M. (2022). Responses to single and combined application of Humic acid and silicon under water stress on strawberry. *Erwerbs-Obstbau*, 64(4), 523-533. <https://doi.org/10.1007/s10341-022-00692-9>
- Martey, E., Etwire, P. M., Adogoba, D. S., Tengey, T. K. (2021). Farmers preferences for climate-smart cowpea varieties: implications for crop breeding programmes. *Climate and Development*, 12, 1-16. <https://doi.org/10.1080/17565529.2021.1889949>
- Mekonnen, T. W., Gerrano, A. S., Mbuma, N. W., Labuschagne, M. T. (2022). Breeding of vegetable cowpea for nutrition and climate resilience in Sub-Saharan Africa: Progress, Opportunities, and Challenges. *Plants*, 12(11), e1583. <https://doi.org/10.3390/plants11121583>
- Melo, A. S., Melo, Y. L., Lacerda, C. F., Viégas, P. R. A., Ferraz, R. L. S., Gheyi, H. R. (2022). Water restriction in cowpea plants [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.]: Metabolic changes and tolerance induction. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 26(3), 190-197. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v26n3p190-197>
- Merwad, A. R. M., Desoky, E. S. M., Rady, M. M. (2018). Response of water deficit-stressed *Vigna unguiculata* performances to silicon, proline or methionine foliar application. *Scientia Horticulturae*, 228, 132-144.
- Miranda, P. S., Moraes, T. R., Santos, J. R. E., Carvalho, F. D., Viana, J. P., Maluf, R. P. (2018). Aplicação de silício na cultura do milho. *Revista de Ciências Agroambientais*, Cáceres, 16(1), <https://doi.org/10.5327/rcaa.v16i1.1853>

Peixoto, C. P., Almeida, A. T., Oliveira, E. R., Santos, J. M. S., Peixoto, M. F. S. P., Poelking, V. G. C. (2020). *Princípios de fisiologia vegetal: teoria e prática*. Rio de Janeiro: PoD editora, 256.

Saka, J. O., Agbeleye, O. A., Ayoola, O. T., Lawal, B. O., Adetumbi, J. A., Oloyede-Kamiyo, Q. O. (2019). Assessment of varietal diversity and production systems of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) in Southwest Nigeria. *Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics*, 119(2), 43-52. <https://doi.org/10.17170/kobra-2018121864>

Silva, A. E., Ferraz, R. L. S., Silva, J. P., Costa, P. S., Viegas, P. R. A., Brito Neto, J. F., Melo, A. S.; Meira, K. S., Soares, C. S., Magalhães, I. D., Medeiros, A. S. (2020). Microclimate changes, photomorphogenesis, and water consumption by Moringa oleifera cuttings under light spectrum variations and exogenous phytohormones concentrations. *Australian Journal of Crop Science*, 14, 751-760. <https://doi.org/10.21475/ajcs.20.14.05.p2096>

Silva, L. C., Beltrão, N. E. M., Amorim Neto, M. S. (2000). *Análise do crescimento de comunidades vegetais*.

Taiz, L., Zeiger, E., Moller, I. M., Murphy, A. (2017). *Fisiologia e desenvolvimento vegetal*. Porto Alegre: Artmed.

Zhang, C., Moutinho-Pereira, JM, Correia, C., Coutinho, J., Gonçalves, A., Guedes, A., Gomes-Laranjo, J. (2013). Foliar application of Sili-K[®] increases growth and photosynthesis of chestnut (*Castanea* spp.) while increasing susceptibility to water deficit. *Plant and Soil*, 365, 211-225. <https://doi.org/10.1007/s11104-012-1385-2>