

**Adubação foliar influencia o desenvolvimento de plantas de milho
submetidas ao estresse hídrico?**

José Guilherme Ferreira Marciano¹, Danielle Cristina de Oliveira², Givanildo Zildo da Silva³, June Faria Scherrer Menezes³, Paulo Fernandes Boldrin³, Ricardo de Castro Dias⁴

¹PIVIC, graduando do curso de Agronomia, Universidade de Rio Verde, jose.g.f.marciano@academico.unirv.edu.br

²Mestranda no Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Universidade de Rio Verde, dani--oliveira@hotmail.com

³Docentes Doutores da Faculdade de Agronomia, Universidade de Rio Verde, givanildo@unirv.edu.br, june@unirv.edu.br, pfboldrin@gmail.com

⁴Orientador, Docente Doutor da Faculdade de Agronomia, Universidade de Rio Verde, ricardodias@unirv.edu.br

Reitor:

Prof. Dr. Alberto Barella Netto

**Pró-Reitor de Pesquisa
e Inovação:**

Prof. Dr. Carlos César E. de Menezes

Editor Geral:

Prof. Dra. Andrea Sayuri Silveira Dias Terada

Editores de Seção:

Profa. Dra. Ana Paula Fontana

Prof. Dr. Hidélberto Matos Silva

Prof. Dr. Fábio Henrique Baia

Pra. Dra. Muriel Amaral Jacob

Prof. Dr. Matheus de Freitas Souza

Prof. Dr. Warley Augusto Pereira

Fomento:

Programa PIBIC/PIVIC UniRV/CNPq 2023-2024

O presente trabalho teve como objetivo avaliar a interação entre adubação foliar e estresse hídrico sobre o desenvolvimento de plantas de milho. Para tanto, foi realizado experimento em casa de vegetação, em delineamento inteiramente casualizado, com esquema fatorial 6 x 2, consistindo em seis condições de adubação foliar (aplicação de K₂SiO₃, K₂SO₄, CaSO₄, MgSO₄, ZnSO₄ e o tratamento controle, sem adubação foliar), duas condições de umidade do solo (70% e 40% da capacidade de campo), com três repetições. As parcelas foram compostas por vasos plásticos contendo 3 dm³ de solo. Foi realizado um cultivo de 60 dias com milho. Após este período, foram coletadas as partes aéreas para a determinação da produção de matéria seca. Foi determinada, durante a condução do experimento, a altura das plantas. Foi verificado que o estresse hídrico afetou de maneira significativa e negativa a produção de matéria seca e a altura da soja e do milho. CaSO₄ e ZnSO₄, aplicados por via foliar, proporcionaram maior produção de matéria seca de plantas de milho submetidas ao estresse hídrico. A adubação foliar com CaSO₄ e ZnSO₄ foi eficaz em minimizar os efeitos prejudiciais do estresse hídrico.

Palavras-Chave: Nutrição Mineral.
Fertilizantes. Sulfato de Zinco.

***Does Foliar Fertilization Influence the
Development of Maize Plants Under Water
Stress?***

Abstract: *The objective of this study was to evaluate the interaction between foliar fertilization and water stress on the development of maize plants. A greenhouse experiment was conducted*

using a completely randomized design with a 6 x 2 factorial scheme, consisting of six foliar fertilization conditions (application of K_2SiO_3 , K_2SO_4 , $CaSO_4$, $MgSO_4$, $ZnSO_4$, and the control treatment without foliar fertilization) and two soil moisture conditions (70% and 40% of field capacity), with three repetitions. The plots consisted of plastic pots containing 3 dm³ of soil. A 60-day maize cultivation was carried out. After this period, the aerial parts were collected to determine dry matter production. During the experiment, plant height and stem diameter were measured. It was found that water stress significantly and negatively affected dry matter production, as well as the height of soybean and maize plants. Foliar-applied $CaSO_4$ and $ZnSO_4$ resulted in higher dry matter production in maize plants subjected to water stress. Foliar fertilization with $CaSO_4$ and $ZnSO_4$ was effective in minimizing the harmful effects of water stress.

Keywords: Mineral Nutrition. Fertilizers. Zinc Sulfate

Introdução

A disponibilidade de água é considerada o principal fator climático que impacta a produtividade agrícola. Devido às alterações climáticas, projeta-se um aumento na variabilidade das precipitações, resultando em secas mais frequentes e chuvas intensas, o que pode ter efeitos devastadores sobre a produtividade das culturas e nos agroecossistemas (Abdallah et al., 2021). A aplicação de nutrientes via foliar pode potencializar a produção agrícola em condições de estresse biótico e abiótico (Bahamonde et al., 2023). Shabala e Pottosin (2014) observaram que a manutenção da homeostase de potássio dentro das células é essencial para o desempenho metabólico ideal das plantas, e que os estresses bióticos e abióticos causam uma perturbação significativa nessa homeostase. Assim, plantas adequadamente nutridas com K demonstram maior resistência a fatores de estresse.

O cálcio apresenta mobilidade limitada nas plantas, e sua absorção é influenciada por condições de seca devido à escassez de água. Contudo, é essencial garantir um suprimento constante de Ca para que as plantas possam se desenvolver adequadamente. Nesse contexto, a aplicação foliar de Ca pode ser uma estratégia eficaz para aprimorar o estado nutricional das plantas (Naeem et al., 2018).

A literatura indica que a adubação foliar com Mg pode otimizar o metabolismo antioxidante, atenuando o estresse ambiental que as plantas enfrentam ao longo de seu ciclo. A diminuição do estresse proporcionada pelo Mg está relacionada à ativação de enzimas como glutatona-sintase, ribulose-1,5-bisfosfato carboxilase/oxigenase, fosfoenolpiruvato carboxilase e RNA polimerase. Além disso, o Mg desempenha um papel crucial na síntese de clorofila (Rodrigues et al., 2021).

Diante do exposto, o presente trabalho teve por objetivo avaliar o efeito da adubação foliar sobre o desenvolvimento de plantas de milho submetidas ao estresse hídrico.

Material e Métodos

O experimento foi instalado em casa de vegetação, em delineamento inteiramente casualizado, esquema fatorial 6 x 2, com três repetições. Os tratamentos foram constituídos por seis categorias de adubação foliar (aplicação de K_2SiO_3 , K_2SO_4 , $CaSO_4$, $MgSO_4$, $ZnSO_4$ e um tratamento controle, sem aplicação de fertilizantes foliares) em duas condições de umidade do solo (70% da capacidade de campo durante todo o experimento e 40% da umidade do solo durante um período de 10 dias), totalizando 36 unidades experimentais.

As unidades experimentais consistiram em vasos plásticos contendo 3 kg de solo coletado na camada de 0-20 cm de um LATOSSOLO VERMELHO, localizado em área de mata nativa. O solo, após coletado, foi peneirado em peneira com abertura de malha de 4 mm e posteriormente seco ao ar. Posteriormente, realizou-se a análise física e química do solo, seguindo as recomendações de Teixeira et al. (2017). Os resultados das análises são apresentados pela Tabela 1.

Tabela 1. Propriedades físicas e químicas do solo utilizado no experimento antes da correção com calcário e aplicação da solução nutritiva.

pH	M.O.	P ^{1/}	K ^{2/}	Ca ^{2/}	Mg ^{2/}	H+Al	Al ^{2/}	S.B.	T
CaCl ₂	g dm ⁻³	mg dm ⁻³	-----mmol dm ⁻³ -----						

4,3	27	1	1,7	8	4	67	2	13,7	80,7
V	B^{3/}	Cu^{4/}	Fe^{4/}	Mn^{4/}	Zn^{4/}	S^{5/}	Areia	Silte	Argila
%	-----mg dm ⁻³ -----						-----g kg ⁻¹ -----		
17	0,09	0,8	36	10,3	0,9	3	530	100	370

^{1/} Resina; ^{2/} NH₄Cl; ^{3/} Água quente; ^{4/} DTPA; ^{5/} Fosf. de cálcio.

Foram realizadas a correção e a adubação, de acordo com as recomendações descritas por Dias et al. (2022). Para a correção do pH do solo, foram aplicados 3,05 g dm⁻³ de calcário dolomítico, com PRNT de 70,6%, 60 dias antes da semeadura do milho. O valor de pH em água do solo estabilizou em 6,0 ao término deste período. Antecedendo a semeadura, foram aplicados ao solo 300 mg dm⁻³ de P na forma de monoamônio fosfato; 150 mg dm⁻³ de K na forma de cloreto de potássio; 80 mg dm⁻³ de S na forma de sulfato de amônio, 4 mg dm⁻³ de Zn na forma de ZnSO₄.7H₂O, 3,6 mg dm⁻³ de Mn na forma de MnCl₂.4H₂O; 1,5 mg dm⁻³ de Fe na forma de FeCl₃; 1,3 mg dm⁻³ de Cu na forma de CuSO₄.5H₂O; 0,8 mg dm⁻³ de B na forma de H₃BO₃ e 0,15 mg dm⁻³ de Mo na forma de Na₂MoO₄.2H₂.

Foram semeadas 5 sementes por vaso do milho híbrido 9602 VIP3, e após oito dias da semeadura, foi realizado o desbaste, deixando uma planta por vaso (Figura 1). A umidade do solo foi mantida em 70% da capacidade máxima de retenção, e a reposição da água evapotranspirada era feita diariamente através da pesagem das parcelas. A capacidade de campo foi definida de acordo com o Manual de Métodos de Análises de Solo (Teixeira et al., 2017).

As soluções aplicadas como fertilizantes foliares foram preparadas com as seguintes concentrações: 3 g L⁻¹ de Ca; 3 g L⁻¹ de Mg, 3 g L⁻¹ de K e 0,5 g L⁻¹ de Zn. Foram aplicadas em uma dose de 5 mL planta⁻¹, equivalente a um volume de calda de 300 L ha⁻¹ considerando uma população de 60.000 plantas ha⁻¹. As aplicações foram realizadas com uso de frascos de vidro âmbar de 60 mL com válvula spray mini gatilho.

Dez dias após a aplicação dos fertilizantes foliares, foi imposta a condição de estresse hídrico em metade das parcelas. As demais permaneceram com a umidade equivalente a 70% da capacidade de campo. O estresse hídrico foi mantido por dez dias e, após este período, a umidade de todos os vasos foi mantida em 70% da capacidade de campo. O experimento foi conduzido durante 60 dias após a semeadura.

Foram realizadas três avaliações da altura de inserção da última folha completamente expandida durante a condução do experimento. As avaliações foram realizadas aos 40, 50 e 60 dias após a semeadura. Ao final do experimento (60 dias) a parte aérea das plantas de milho foram coletadas, alocadas em sacos de papel e transferidas para estufa com circulação forçada de ar a 65 °C até atingirem peso constante. Para a determinação da produção de matéria seca da parte aérea.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância por meio do teste F. Os pressupostos de normalidade dos resíduos e homogeneidade das variâncias foram verificados por meio dos testes de Shapiro-Wilk e Bartlett, respectivamente. Quando verificada diferença significativa entre os tratamentos, as médias foram verificadas por meio do teste de Tukey. Em todos os testes, foi considerada significância de 5%. Todas as análises estatísticas foram realizadas por meio do software R® (R CORE TEAM, 2023).

Resultados e Discussão

Foi verificado que, em todas as avaliações de altura, houve diferença significativa entre as condições de umidade do solo. Foi verificada interação significativa entre os fatores para a altura de plantas na terceira avaliação.

Em todas avaliações, as plantas cultivadas em solo com 70% da capacidade de campo apresentaram maior altura em relação as plantas submetidas à uma umidade de 40% da capacidade de campo durante dez dias (Figura 1). Foi observado que, na última avaliação, as adubadas por via foliar com CaSO₄ apresentaram maior altura de plantas entre aquelas submetidas ao estresse hídrico. A adubação com K₂SiO₃ proporcionou a menor altura de planta submetida ao estresse hídrico na terceira avaliação, significativamente inferior às plantas adubadas com CaSO₄. As plantas adubadas com CaSO₄, MgSO₄ e ZnSO₄ por via foliar, não apresentaram diferença significativa de altura em função do estresse hídrico.

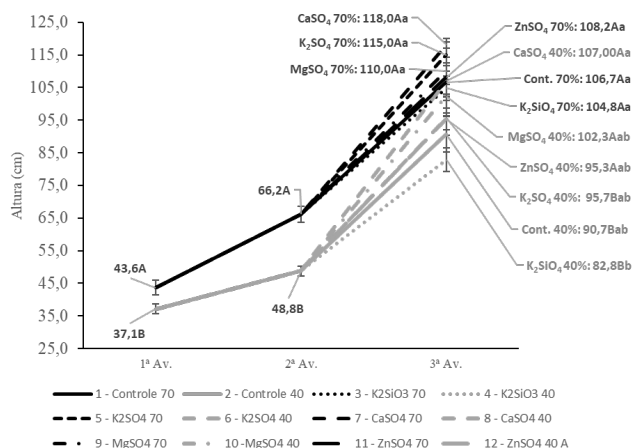


Figura 1. Altura de inserção da última folha completamente expandida (A) de plantas de milho com estresse hídrico (40%) e sem estresse hídrico (70%) adubadas com diferentes fertilizantes por via foliar. Letras maiúsculas diferentes indicam diferença significativa entre as umidades de solo, para um determinado fertilizante; Letras minúsculas diferentes indicam diferença significativa entre os fertilizantes dentro de uma mesma condição de umidade do solo pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

Quando as plantas foram mantidas em condição adequada de umidade do solo (70 % da capacidade de campo), não foram observadas diferenças significativas entre fertilizantes aplicadas por via foliar (Figura 2). Entretanto, quando as plantas foram submetidas a um estresse hídrico de 10 dias (40% da capacidade de campo), verificou-se que o $ZnSO_4$ foi o fertilizante de melhor desempenho, sendo o único estatisticamente superior ao tratamento controle. Foi possível constatar que não houve diferença significativa para a produção de matéria seca para as plantas crescidas com ou sem estresse hídrico quando adubadas com $CaSO_4$.

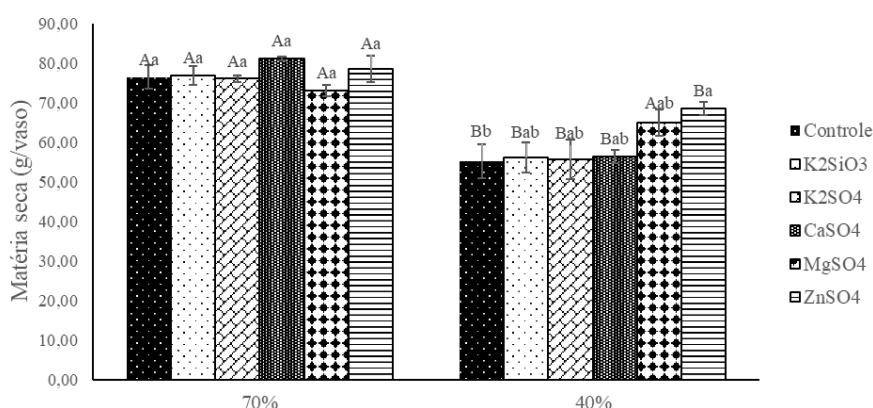


Figura 2. Produção de matéria seca da parte aérea de plantas de milho em função da aplicação de fertilizantes por via foliar em duas condições de umidade do solo

Letras maiúsculas diferentes indicam diferença significativa entre as umidades de solo, para um determinado fertilizante; Letras minúsculas diferentes indicam diferença significativa entre os fertilizantes dentro de uma mesma condição de umidade do solo pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

O Zn participa da ativação de enzimas antioxidantes, como a superóxido dismutase (SOD). Essa enzima auxilia na proteção das membranas aos danos causados pelo estresse oxidativo proporcionado pela baixa disponibilidade hídrica no solo. A membrana celular é o primeiro alvo de estresses abióticos e a manutenção de sua estabilidade faz parte central da tolerância à seca (Hassan et. al., 2020). Em estudo realizado por Chattha et al. (2017), foi verificado que o Zn aplicado por via foliar diminuiu os impactos negativos do déficit hídrico e melhorou a produtividade do milho nesta condição.

É amplamente aceito que o cálcio desempenha um papel crucial como mensageiro secundário, participando de processos bioquímicos e fisiológicos que favorecem a resistência ao estresse (Parvin et al., 2019). Ele contribui para a estabilização da membrana celular, além de regular a atividade enzimática hormonal que atenua os impactos de estresses abióticos (Ahmad et al., 2015). Também influencia a absorção de K^+ , a expressão de genes e o movimento dos estômatos. Ademais, a aplicação externa de Ca^{2+} eleva a taxa de fotossíntese, melhora a condutância estomática e apoia a atividade das catalases, resultando em uma maior capacidade de adaptação a situações de estresse (Tan et al., 2011).

A suplementação com magnésio em plantas de soja sob estresse hídrico mostrou-se altamente eficaz ao aumentar o acúmulo de pigmentos relacionados à fotossíntese, especialmente a clorofila. Os resultados sugerem que a disponibilidade elevada de magnésio no ambiente facilitou sua absorção pelas raízes, sendo posteriormente transportado para as folhas, onde promoveu a biossíntese da clorofila (Siddiqui et al., 2018) e, conseqüentemente, intensificou o processo fotossintético. Isso permitiu que as plantas continuassem a crescer, mesmo com restrições de água no solo.

Conclusão

A aplicação de $ZnSO_4$, $CaSO_4$ e $MgSO_4$ foram práticas eficientes em minimizar os efeitos da baixa disponibilidade hídrica e promover uma rápida recuperação após o estresse em plantas de milho. Portanto, a adubação foliar demonstrou ser uma prática eficaz na mitigação dos efeitos do déficit hídrico em plantas de milho.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Universidade de Rio Verde (UniRV), à Pró-Reitoria de Pesquisa e Inovação (PRPI), ao Programa de Pós-Graduação de Produção Vegetal da UniRV e ao Programa Institucional Voluntário de Iniciação Científica (PIVIC) pelo suporte a execução do projeto.

Referências Bibliográficas

ABDALLAH, A. M.; MASHAHEET, A. M.; BURKEY, K. O. Super absorbent polymers mitigate drought stress in corn (*Zea mays* L.) grown under rainfed conditions. **Agricultural Water Management**, v. 254, p. 106946, 2021.

AHMAD, P.; SARWAT, M.; BHAT, N.A.; WANI, M.R.; KAZI, A.G.; TRAN, L.P. Alleviation of cadmium toxicity in *Brassica juncea* L. (Czern & Coss.) by calcium application involves various physiological and biochemical strategies. **PLoS One**, v.10, e0114571, 2015.

BAHAMONDE, H. A.; PIMENTEL, C.; LARA, L.A.; BAHAMONDE-FERNANDES, V.; FÉRNANDEZ, V. Foliar application of potassium salts to olive, with focus on accompanying anions. **Plants**, v.12, n.472, 2023.

CHATTHA, M.U.; HASSAN, M.U.; KHAN, I.; CHATTHA, M.B.; MAHMOOD, A.; CHATTHA, M.U.; NAWAZ, M.; SUBHANI, M.N.; KHARAL, M.; KHAN, S. Biofortification of Wheat Cultivars to Combat Zinc Deficiency. **Front. Plant Sci.**, v.8, 281, 2017.

DIAS, R. DE C. et al. Curvas de resposta do milho à adubação potássica obtidas através de experimento fatorial. **Revista Agraria Academica**, v. 5, n. 2, p. 35–49, 2022.

HASSAN, M.U.; AEMER, M.; CHATTHA, M.U.; HAIYNG, T.; SHAZAD, B.; BARBANTI, L.; NAWAZ, M.; RASHEED, A.; AFZAL, A.; LIU, Y.; GUOQIN, H. The critical role of zinc in plants facing the drought stress. **Agriculture**, v.10, n.9, 2020.

NAEEM, M.; NAEEM, M.S.; AHMAD, R.; IHSAN, M.Z.; ASHRAF, M.Y.; HUSSAIN, Y.; FAHAD, S. Foliar calcium spray confers drought stress tolerance in maize via modulation of plant growth, water relations, proline content and hydrogen peroxide activity. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 64, n. 1, p. 116–131, 2018.

PARVIN, K.; NAHAR, K.; HASANUZZAMAN, M.; BHUYAN, M.H.M.; FUJITA, M. Calcium mediated growth regulation and abiotic stress tolerance in plants. *In*: HASANUZZAMAN, M. et al. (eds.). **Plant Abiotic Stress Tolerance**, Springer Nature, Switzerland, 2019.

SHABALA, S.; POTTOSIN, I. Regulation of potassium transport in plants under hostile conditions: Implications for abiotic and biotic stress tolerance. **Physiologia Plantarum**, v. 151, n. 3, p. 257–279, 2014.

SHEN, J.; SONG, L.; MÜLLER, K.; HU, Y.; SONG, Y.; YU, W. Magnesium alleviates adverse effects of lead on growth, photosynthesis, and ultrastructural alterations of *Torreya grandis* seedlings. **Front Plant Sci**. 2016; 7: 1819. doi: 10.3389/fpls.2016.01819

SIDDIQUI, M.H.; ALAMRI, S.; AL-KHAISHANY, M.Y.; AL-QUTAMI, M.A.; ALI, H.M.; AL-WHAIBI, M.H.; et al. Mitigation of adverse effects of heat stress on *Vicia faba* by exogenous application of magnesium. **Saudi J Biol Sci.**; v.25: p.1393–1401. 2018. doi: 10.1016/j.sjbs.2016.09.022

STAFANATO, J.B. **Aplicação de misturas granuladas NK e NS em cultivar de arroz (Oriza sativa)**. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2009. 67p.

TAN, W.; WEI MENG, Q.; BRESTIC, M.; OLSOVSKA, K.; YANG, X.; Photosynthesis is improved by exogenous calcium in heat-stressed tobacco plants. **Journal of Plant Physiology**, v.168, p.2063-2071, 2011.

TEDESCO, M. J. et al. **ANÁLISES DE SOLO, PLANTAS E OUTROS MATERIAIS**. 2. ed. Porto Alegre - RS: Departamento de Solos, UFRGS, 1995.

TEIXEIRA, P. C. et al. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 3. ed. Brasília: Embrapa, 2017.