Aplicação foliar de zinco e seus efeitos na fluorescência da clorofila em cultivares de feijão

Pedro Hermenegildo Carlos Andrade[1], Emerson Zanardi dos Santos[2], Murilo Assis Marques[1], Eduardo Dias Neves[3], Veridiana Cardozo Gonçalves Cantão[4], Marcio Rosa[5]

[1] Estudante de Agronomia, UniRV – PIBIC - UniRV
[2] Estudante de Agronomia, UniRV – PIVIC.
[3] Estudante de Agronomia, UniRV – PIBIC - UniRV.
[4] Coorientadora, Profa. Dra, Faculdade de agronomia e PPGPV, UnirV. veridiana@unirv.edu.br
[5] Orientador, Profa. Dr, Faculdade de agronomia e PPGPV, UnirV. marciorosa@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. Hidelberto 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

Resumo: Biofortificar grãos de feijão ajudará na redução de problemas relacionados à desnutrição e a fome. Os fertilizantes que contém zinco (Zn) têm mostrado resultados interessantes na biofortificação. Entretanto, pouco se sabe sobre os impactos da técnica de biofortifição agronômica com Zn sob as rotas fisiológicas de síntese das clorofilas no feijão. Desse modo, objetivou-se avaliar o fornecimento de zinco foliar para o feijão e seus efeitos em parâmetros fisiológicos dos cultivares. O experimento foi conduzido em blocos casualizados, esquema fatorial 10x2, sendo 10 cultivares de feijão (BRS FP403; BRS Campeiro; BRS Esplendor; BRS Esteio; BRS FC310; BRS FC402; BRS FC415; BRS FC409; BRS Estilo e BRS Pérola) adubadas via foliar ou não com Zn, com quatro repetições. as características fisiológicas nos cultivares de feijão por meio da fluorescência da clorofila após 10 dias da aplicação do Zn no estádio fenológico R7. As características avaliadas não apresentaram diferença significativa com exceção do fluxo específico de energia dissipada das clorofilas (D_{I0}/RC). Conclui-se que a adubação foliar com zinco aumentou o D_{I0}/RC nos cultivares BRS Campeiro, BRS FC 402, BRS Estilo e BRS Esplendor.

Palavras-Chave: Adubação. Micronutriente. Processo fisiológico. *Phaseolus vulgaris*.

Foliar application of zinc and its effects on chlorophyll fluorescence in bean cultivars

Abstract: *Biofortifying bean grains will help reduce problems related to malnutrition and hunger. Fertilizers containing zinc (Zn) have shown interesting results in biofortification. However, little is known about the impacts of the agronomic biofortification technique with Zn on the physiological pathways of chlorophyll synthesis in beans. Thus, the objective of this study was to evaluate the supply of foliar zinc to*

beans and its effects on the physiological parameters of the cultivars. The experiment was conducted in randomized blocks, in a 10x2 factorial scheme, with 10 bean cultivars (BRS FP403; BRS Campeiro; BRS Esplendor; BRS Esteio; BRS FC310; BRS FC402; BRS FC415; BRS FC409; BRS Estilo and BRS Pérola) fertilized via foliar application with Zn or not, with four replicates. the physiological characteristics in bean cultivars through chlorophyll fluorescence after 10 days of Zn application at the R7 phenological stage. The evaluated characteristics did not show significant differences, except for the specific flow of dissipated energy of chlorophylls (DI0/RC). It was concluded that foliar fertilization with zinc increased the DI_0/RC in the cultivars BRS Campeiro, BRS FC 402, BRS Estilo and BRS Esplendor.

Keywords: *Fertilization. Micronutrient. Physiological process. Phaseolus vulgaris.*

Introdução

O feijão é um dos grãos mais consumidos pela população brasileira, devido a seu diverso potencial nutricional. Os grãos apresentam alto valor proteico e de carboidratos, alta concentrações de lisina e fibras alimentares e a presença de vitaminas do complexo B (Rios; Abreu; Corrêa, 2003). Isto torna o feijão um alimento interessante no combate à fome e desnutrição, pois sabe-se que a ingestão de alimentos nutricionalmente equilibrados proporcionam benefícios para a saúde.

A necessidade de aumentar a produção de alimentos é uma ação mundialmente urgente, pois o aumento da populacional ocorre de forma exponencial (Godfray et al., 2010). Desta forma, a inserção do feijão em programas de biofortificação de alimentos é relevante, visto que é um produto agrícola com grande quantidade de nutrientes e outros compostos de importância para saúde humana.

A desnutrição tem atingindo boa parte da população mundial. Neste contexto, o zinco (Zn) é um elemento químico de importância para humanos e vegetais e está diretamente relacionado à desnutrição. Os programas de melhoramento genético focam seus esforços para o aumento de produtividade das culturas (Graham et al., 2007; Cakmak, 2002). Isto minimiza, em parte, os problemas relacionados à saúde humana, pois o aumento de produtividade minimiza a fome, mas não combate à desnutrição. Desta forma, o conceito de segurança alimentar não é atendido.

A deficiência de Zn em humanos está associada a diversos problemas relacionados a atividade enzimática que resultam em distúrbios metabólicos, retardando o crescimento e a capacidade de aprendizagem. Este elemento também é possivelmente causador de morte de fetos e crianças, dentre outros problemas de saúde (Gibson, 2006; Prasad, 2007). Assim, a comunidade científica tem buscado alternativas que possam combater a desnutrição traçando estratégias que visam melhorar os grãos, por meio de melhoramento convencional de plantas e biotecnologia, favorecendo o fornecimento de alimentos de maior qualidade nutricional (Graham, 2003).

O sucesso da biofortificação com zinco está associado a escolha da cultura que será fonte alimentar da população e a forma de fornecimento do micronutriente para as plantas (Laurett, 2015). Tendo em vista a relevância do tema para minimizar a fome e os problemas de desnutrição, o presente trabalho objetivou-se avaliar o fornecimento de zinco foliar para o feijão e seus efeitos em parâmetros fisiológicos dos cultivares, tendo-se em vista a inserção de materiais genéticos de feijão em programas de biofortificação de grãos

Material e Métodos

O experimento foi conduzido em condições de campo no município de Rio Verde, Goiás, de dezembro de 2022 a março de 2023. A área experimental está localizada nas coordenadas 17°47’18” S e 50°57’31” W, apresentando altitude de 739 m acima do nível do mar.

O clima em Rio Verde é classificado pela escala de Köppen como Aw Tropical. Esta classificação se caracteriza pela presença de duas estações climáticas bem definidas, onde dos meses de abril a setembro, a região encontra-se com tempo seco e ameno e de outubro a março quente e chuvoso (Lopes Sobrinho et al., 2020). A temperatura do ar diária média do município é de 23±6,0°C, a umidade relativa de 66,3±13,6%, a velocidade do vento de 1,4±0,8 m s^{-1}, o brilho solar de 6,1±3,0h, a radiação solar de 17,3±3,8 MJ m^{-2} e a evapotranspiração de referência de 3,8±0,4 mm (Castro; Santos, 2021). A precipitação média anual é de 1.621 mm, sendo concentrada no período de outubro a março, correspondendo a 86,8% da precipitação total, o que acarreta em um excedente de água no solo de

607 mm. A deficiência hídrica nos solos da região é de 217 mm, sendo os meses de agosto e setembro os mais críticos.

O experimento foi conduzido em blocos casualizados, no esquema fatorial 10x2, correspondendo a 10 cultivares (BRS FP403; BRS Campeiro; BRS Esplendor; BRS Esteio; BRS FC310; BRS FC402; BRS FC415; BRS FC409; BRS Estilo e BRS Pérola) adubadas ou não via foliar com Zn, com quatro blocos. As parcelas experimentais foram compostas por 5 linhas de semeadura contendo 4 metros de comprimento e espaçadas entre si a 0,5 m, totalizando a área de 10 m^2 e a área útil de 4,5 m^2, considerando-se as três linhas centrais e excluindo-se 0,5 m em cada extremidade das parcelas. Antes da semeadura, foi realizada a calagem, na dose de 5,0 t ha^{-1} (calcário: 42,29% CaO, 7,01% MgO, 99,81% PN, 97,89% ER e 90,96% PRNT) e a gessagem com 1,9 t ha^{-1} de gesso agrícola. O corretivo e o gesso foram incorporados a 0,15 m por grade.

Após três meses da realização da calagem e gessagem foi feita a adubação de semeadura utilizando-se 450 kg ha^{-1} do formulado 02:20:18 e a semeadura das cultivares. A densidade de plantio foi de 12 sementes de feijão por metro. A adubação nitrogenada de cobertura foi realizada duas vezes, durante o ciclo da cultura, usando-se ureia na dose de 80 kg ha^{-1}.

O Zn foi aplicado via foliar, na dose de 1 kg ha^{-1} (0,5% $ZnSO_4.7H_2O$) no estádio fenológico R_7. A aplicação ocorreu com pulverizador costal à base de CO_2, munido de pontas XR110.015, mantendo-se à pressão de trabalho de 35 lb pol^{-2}, resultando em volume de calda equivalente a 150 L ha^{-1}.

Aos 10 dias após a aplicação do Zn foram realizadas as avaliações fisiológicas de fluorescência da clorofila. Esta foi determinada em folhas adaptadas ao escuro por 30 minutos, utilizando a função O-J-I-P para avaliação da fluorescência transiente rápida por meio de um fluorômetro portátil (FluorPen FP 100, Photon System Instruments, Czech Republic), com pulso de luz saturante de 3000 µmol (fótons) m^{-2} s^{-1} e luz actínica de 1000 µmol (fótons) m^{-2} s^{-1} (Strasser et al., 2000). As medições ocorreram no terço superior das plantas de feijão. As quantificações de fluorescência foram: F_0: fluorescência inicial; F_m: fluorescência máxima; F_v/F_m: atividade potencial do fotossistema II; ψ_{E0}: probabilidade de um éxciton capturado mover um elétron para além de quinona A; φ_{E0}: rendimento quântico de transporte de elétrons (em t = 0); φ_{Do}: rendimento quântico de dissipação de energia; φ_{Po}: rendimento quântico máximo da fotoquímica primária; PI_{ABS}: índice de desempenho em base de absorção; ABS/RC: fluxo de absorção específico para centro de reação; T_{R0}/RC: taxa máxima de captura de excitação do PSII; E_{T0}/RC: fluxo de transporte de elétrons por centro de reação t=0 e D_{I0}/RC: fluxo específico de energia dissipada das clorofilas.

Os resultados foram submetidos à análise de variância pelo programa estatístico Sisvar (Ferreira, 2019). Quando se observou significância, as médias das características foram comparadas pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Resultados e Discussão

O resumo da análise de variância (ANAVA) mostra que não houve efeito significativo dos tratamentos para as características avaliadas (Tabela 1). A exceção observada foi para a característica DI0/RC na fonte de variação cultivares. Observa-se que o efeito estatístico ocorreu ao nível de 5% de probabilidade.

O feijão apresentou fluxo específico de energia dissipada das clorofilas diferenciado, em função dos cultivares e aplicação ou não do micronutriente nas folhas (Figura 1). Os cultivares BRS Esplendor, BRS Estilo, BRS FC 402 e BRS Campeiro foram os que apresentaram maiores valores de DI0/RC diferindo dos demais cultivares, mas não diferiram entre si. Os demais cultivares obtiveram menores DI0/RC (Figura 1).

Apesar de não ser objetivo deste trabalho, ressalta-se que os cultivares não apresentaram ganhos em produtividade com a aplicação de Zn. Entretanto, a produtividade alcançada pela média dos tratamentos foi de 2.659 kg ha^{-1}. O desempenho médio dos cultivares de feijão alcançado foi superior do que média nacional de 1.116 kg ha^{-1} e a do estado de Goiás, 2.343 kg ha^{-1}, (Conab, 2023).

Tabela 1 – Resumo da ANAVA com valor de FC calculado para dados médios da fluorescência da clorofila em cultivares de feijão com adubação foliar com zinco.

FV	GL	F calculado				
		F0	Fm	FvFm	φP0	ψE0
Cultivar (C)	9	1,497^{ns}	1,333^{ns}	1,466^{ns}	1,466^{ns}	1,696^{ns}
Zn	1	0,061^{ns}	0,051^{ns}	0,090^{ns}	0,090^{ns}	0,002^{ns}
C x Zn	9	0,901^{ns}	0,660^{ns}	1,306^{ns}	1,306^{ns}	1,056^{ns}
Bloco	3	1,541^{ns}	0,441^{ns}	6,135^{ns}	6,135^{ns}	5,074^{ns}
Erro	-	-	-	-	-	-
CV (%)		19,60	17,64	3,28	3,28	14,63
		φE0	φD0	φABS	ABS/RC	DI0/RC
Cultivar (C)	9	1.538^{ns}	1.551^{ns}	1.675^{ns}	1.699^{ns}	1.979*
Zn	1	0.001^{ns}	0.119^{ns}	0.241^{ns}	0.236^{ns}	0.619^{ns}
C x Zn	9	1.060^{ns}	1.405^{ns}	1.451^{ns}	0.774^{ns}	0.922^{ns}
Bloco	3	5.690^{ns}	6.140^{ns}	5.631^{ns}	2.769^{ns}	3.952^{ns}
Erro	-	-	-	-	-	-
CV (%)		16,32	12,64	36,39	10,09	17,32

FV: Fonte de variação; GL: Grau de liberdade; CV: Coeficiente de variação; Zn: Zinco; ^{ns}: não significativo; *: significativo a 5% de probabilidade. F_0: fluorescência inicial; F_m: fluorescência máxima; F_vF_m: atividade potencial do fotossistema II; ψ_{E0}: probabilidade de um éxciton capturado mover um elétron para além de quinona A; φ_{E0}: rendimento quântico de transporte de elétrons (em t = 0); φ_{Do}: rendimento quântico de dissipação de energia; φ_{Po}: rendimento quântico máximo da fotoquímica primária; PI_{ABS}: índice de desempenho em base de absorção; ABS/RC: fluxo de absorção específico para centro de reação; T_{R0}/RC: taxa máxima de captura de excitação do PSII; E_{T0}/RC: fluxo de transporte de elétrons por centro de reação t=0 e D_{I0}/RC: fluxo específico de energia dissipada das clorofilas. Fonte: autoria própria.

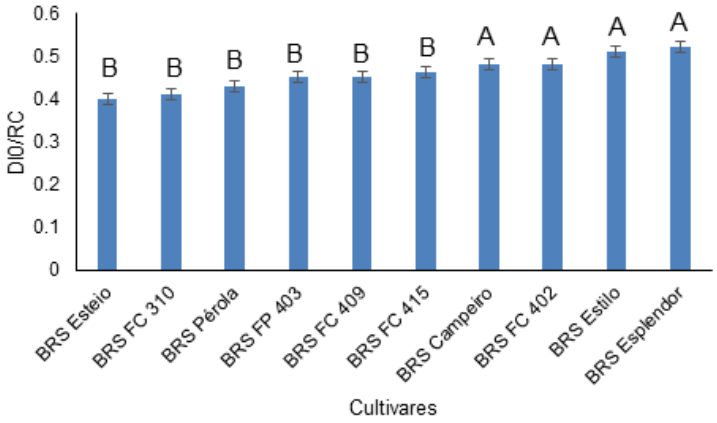

Figura 1 – Fluxo específico de energia dissipada das clorofilas em cultivares de feijão com ou sem aplicação de do micronutriente via folha.
Fonte: autoria própria

A deficiência de micronutrientes é um problema que está relacionado a saúde humana. Nesse contexto, a agricultura necessita buscar melhorias que vão além dos ganhos em produtividade, adotando métodos como a biofortificação, importante para combater a fome oculta em humanos (Loureiro et al., 2018), assim, são necessárias melhorias do perfil nutricional dos cultivares (Cakmak; Pfeiffer; Mcclafferty, 2010). Nesse contexto, Santos et al., (2024) evidenciaram que aplicar Zn em

cultivares de feijão, mesmo não evidenciando alterações na fluorescência da clorofila, obtiveram enriquecimento do micronutrientes nos grãos do feijão.

Conclusão

A adubação foliar com zinco aumentou o fluxo específico de energia dissipada das clorofilas nos cultivares BRS Campeiro, BRS FC 402, BRS Estilo e BRS Esplendor.

Agradecimentos

A Embrapa pelo apoio técnico e a UniRV pela concessão da bolsa PIBIC - UniRV.

Referências Bibliográficas

CAKMAK, I. Plant nutrition research: priorities to meet human needs for food in sustainable ways. **Plant and Soil**, v. 247, p. 3-24, 2002.

CAKMAK, I.; PFEIFFER, W. H.; MCCLAFFERTY, B. Biofortification of durum wheat with zinc and iron. **Cereal Chemistry Journal**, San Diego, v. 87, n. 1, p. 10-20, 2010.

CASTRO, P.A.L. DE, SANTOS, G.O. Condições climáticas como ferramenta de planejamento agrícola e urbano, o caso do município de rio verde, goiás. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 14, n. 3, 2021.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos**, Brasília, DF, v. 10, safra 2022/23, n. 12, décimo segundo levantamento, setembro. 2023. Disponível em: www.conab.gov.br.

FERREIRA, D.F. Sisvar: a computer analysis system to fixed effects split plot type designs. **Revista Brasileira de Biometria**, v. 37, n. 4, p. 529-535, 2019.

GIBSON, R.S. Zinc: the missing link in combating micronutrient malnutrition in developing countries. **Proceedings of the Nutrition Society**, v. 65, n. 01, p. 51-60, 2006.

GODFRAY, H.C.J.; BEDDINGTON, J.R.; CRUTE, I.R.; HADDAD, L.; LAWRENCE, D.; MUIR, J.F.; PRETTY, J.; ROBINSON, S.; THOMAS, S.M.; TOULMIN, C. Food security: the challenge of feeding 9 billion people. **Science**, v. 327, n. 5967, p. 812- 818, 2010.

GRAHAM, R.D. Biofortification: a global challenge program. **International Rice Research Notes**, v. 28, n. 1, p. 1-1, 2003.

GRAHAM, R.D.; WELCH, R.M.; SAUNDERS, D.A.; ORTIZ-MONASTERIO, I.; BOUIS, H.E.; BONIERBALE, M.; HAAN, S.; BURGOS, G.; THIELE, G.; LIRIA, R.; MEISNER, C.A.; BEEBE, S.E.; POTTS, M.J.; KADIAN, M.; HOBBS, P.R.; GUPTA, R. K.; TWOMLOW, S. Nutritious subsistence food systems. **Advances in Agronomy**, v.92, p. 1-74, 2007.

LAURETT, L. Cultivo hidropônico de alface e rúcula com diferentes concentrações de ferro visando a biofortificação. 2015. 59f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical) – Faculdade de Ciências Agrarias, Universidade Federal de Espírito Santo, São Mateus, 2015.

LOPES SOBRINHO, O. P., SANTOS, L. N. S. DOS, SANTOS, G. O., CUNHA, F. N., SOARES, F. A. L., TEIXEIRA, M. B. Balanço hídrico climatológico mensal e classificação climática de Köppen e Thornthwaite para o município de Rio Verde, goiás. **Revista Brasileira de Climatologia**, 27, 19-33, 2020.

LOUREIRO, M.P. et al. Biofortificação de alimentos: problema ou solução? **Segurança Alimentar e Nutricional**, v. 25, n. 2, p. 66-84, 2018.

PRASAD, A.S. Zinc: Mechanisms of host defense. **The Journal of nutrition**, v. 137, n. 5, p. 1345-1349, 2007.

RIOS, A. O.; ABREU, C. M. P.; CORRÊA, A. D. Efeito da estocagem e das condições de colheita sobre algumas propriedades físicas, químicas e nutricionais de três cultivares de feijão (Phaseolus vulgaris, L.). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 23 (Supl), p. 39-45, 2003.

SANTOS, E.Z.; NEVES, E.D.; CANTÃO, V.C.G.; BRAZ, A.J.B.P; OLIVEIRA, A.M.; ROSA, M.; SANTOS, G.O.; NETA, R.S.; DUARTE, W.T.F.; SILVA, R.M.; BOLDRIN, P.F.; DIAS, R.C.; SILVA, J.A.G.F. Does foliar fertilization with zinc enhance physiological pro-cesses and biofortify grains in bean cultivars? **Caderno Pedagógico**, 2024.

STRASSER, R.J.; A. SRIVASTADA AND M. TSIMILLI-MICHAEL. The fluorescence transiente as a tool to characterize and screen photosynthetic samples, pp. 445-483. In: YUNUS, M.; PATHRE, U.; MOHANTY, P (eds.). Probing photosynthesis: mechanism, regulation and adaptation. Taylor and francis. New york, 2000.