Produtividade e biofortificação de grãos de feijão com zinco

Emerson Zanardi dos Santos[1], Murilo Assis Marques[2], Eduardo Dias Neves[3], Wanessa Thais Ferreira Duarte[3], Veridiana Cardozo Gonçalves Cantão[4], Paulo Fernandes Boldrin[5]

[1] Estudante de Agronomia, UniRV – PIVIC.
[2] Estudante de Agronomia, UniRV – PIBIC - UniRV.
[3] Estudante de Agronomia, 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, pboldrin@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: O feijão é um dos grãos básicos na alimentação dos brasileiros, sendo estratégico no combate à desnutrição, pois seus grãos são ricos em ferro. Entretanto, o zinco (Zn) é outro micronutriente relacionado à desnutrição e pouco se sabe a seu respeito nos grãos de feijão. Assim, objetivou-se avaliar os efeitos da adubação foliar com Zn na produtividade e biofortificação de grãos em cultivares de feijão. 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. Avaliou-se a produtividade e o teor de Zn em folhas e nos grãos. As características avaliadas apresentaram diferença significativa. A adubação foliar com zinco biofortificou grãos em cultivares de feijão, especialmente nos materiais BRS FC409, BRS FC402 e BRS Esplendor.

Palavras-Chave: Adubação. Grãos enriquecidos. Micronutriente. *Phaseolus vulgaris*.

Productivity and biofortification of beans with zinc

Abstract: *Beans are one of the staple grains in the Brazilian diet and are strategic in combating malnutrition, since their grains are rich in iron. However, zinc (Zn) is another micronutrient related to malnutrition and little is known about it in bean grains. Thus, the objective of this study was to evaluate the effects of foliar fertilization with Zn on grain productivity and biofortification in bean 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 or not with Zn, with four replicates. Productivity and Zn content in leaves and grains were evaluated. The evaluated characteristics showed significant differences. Foliar fertilization with zinc biofortified grains in bean cultivars, especially in the materials BRS FC409, BRS FC402 e BRS Esplendor.

Keywords: *Fertilization. Enriched grains. Micronutrient. Phaseolus vulgaris.*

Introdução

O feijão é uma leguminosa de grande importância para a alimentação humana, pois desempenha papel relevante na cultura alimentar brasileira. É reconhecidamente fonte de proteínas, carboidratos, vitaminas e minerais, com destaque para o ferro (Fe) e zinco (Zn).

No entanto, o aumento da produtividade em culturas agrícolas para atender à demanda da crescente população mundial resultou em perdas da qualidade nutricional dos alimentos, especialmente após a Revolução Verde (Kachinski et al., 2022). Embora a produção mundial de alimentos tenha acompanhado o crescimento populacional, deficiências nutricionais na população em todo o mundo são comuns, especialmente nas de baixa renda (Kachinski et al., 2022). Com esse cenário, é necessário atacar o problema retomando a qualidade nutricional dos alimentos produzidos no campo.

A biofortificação é uma estratégia que visa aumentar o teor de nutrientes nos alimentos por meio de técnicas de melhoramento genético convencional ou de biotecnologia. No feijão, a biofortificação é uma importante ferramenta para combater a desnutrição e a deficiência de micronutrientes, como ferro e zinco (Cakmak, 2009).

Uma das técnicas utilizadas para a biofortificação de feijão é a seleção de variedades que apresentem naturalmente um teor mais elevado de nutrientes. Outra abordagem é a utilização de técnicas de melhoramento genético para introduzir genes que estejam relacionados com o acúmulo de zinco nas sementes. Entretanto, a biofortificação agronômica é uma estratégia viável, pois trata do manejo dos fertilizantes e de técnicas de cultivo que favoreçam a absorção de nutrientes pelas plantas, que podem ser utilizadas para aumentar o teor de nutrientes no feijão (Lovato et al., 2018).

A biofortificação de feijão preto e carioca com zinco pode ser feita utilizando fertilizantes com esse micronutriente. A aplicação de fertilizantes a base de zinco no solo pode aumentar a concentração desse mineral nos grãos de feijão, melhorando a qualidade nutricional do alimento (Silva et al., 2021).

O uso de fertilizantes com zinco na biofortificação de feijão é uma técnica que vem sendo estudada por pesquisadores e já apresenta resultados positivos. Além disso, o zinco é um micronutriente essencial para a saúde humana, sendo importante para o desenvolvimento e funcionamento do sistema imunológico e para o crescimento e desenvolvimento das crianças (Coelho et al., 2021).

Tendo-se em vista os problemas relacionados à carência de Zn em humanos e sabendo-se que o feijão é um grão básico na alimentação dos brasileiros, é importante consolidar resultados sobre biofortificação de grãos com o micronutriente nesta cultura. Assim, objetivou-se avaliar os efeitos da adubação foliar com Zn na produtividade e biofortificação de grãos em cultivares de feijão.

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 da região é classificado na escala de Köppen como Aw Tropical, apresentando duas estações climáticas bem definidas: de abril a setembro, seco e ameno e de outubro a março quente e chuvoso (Lopes Sobrinho et al., 2020). O município se caracteriza com temperatura do ar diária média de 23±6,0°C, umidade relativa de 66,3±13,6%, velocidade do vento de 1,4±0,8 m s^{-1}, brilho solar de 6,1±3,0 h, radiação solar de 17,3±3,8 MJ m^{-2} e evapotranspiração de referência de 3,8±0,4 mm (Castro; Santos, 2021). A precipitação média é de 1.621 mm ano^{-1}, concentrada entre outubro a março (86,8%). Durante este período, há excedente hídrico no solo de 607 mm, sendo a maior intensidade registrada nos meses de fevereiro e março. A deficiência hídrica é de 217 mm, sendo crítica nos meses de agosto e setembro.

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}.

As avaliações foram compostas pelo teor de Zn foliar, nos grãos por digestão via úmida nitroperclórica (Silva, 2009) e produtividade.

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 houve efeito significativo dos tratamentos para as características avaliadas (Tabela 1). A fonte de variação cultivar foi significante a p≤0,01 para as variáveis teor de zinco (Zn) foliar e nos grãos. Resultado semelhante foi observado para fonte de variação Zn, isoladamente.

A interação entre cultivares e Zn foi significativa (p≤0,05) para o teor de Zn foliar. No entanto, a produtividade não foi influenciada pelas fontes de variação testadas neste trabalho (Tabela 1).

Tabela 1 – Resumo da ANAVA com valor do quadrado médio (QM) para dados médios do teor de Zn foliar e nos grãos e produtividade de cultivares de feijão com adubação foliar do micronutriente.

FV	GL	QM		
		Zn foliar	Zn Grão	PROD
Cultivar (C)	9	40.59444**	1.206181**	857667.327378^{ns}
Zn	1	1747.702080**	11.175125**	2727280.512500^{ns}
C x Zn	9	21.071344*	0.481861^{ns}	654317.361078^{ns}
Bloco	3	1.677630^{ns}	3.296333^{ns}	2954633.427293^{ns}
Erro	-	-	-	-
CV (%)		23,45	10,87	40,03

FV: Fonte de variação; GL: Grau de liberdade; CV: Coeficiente de variação; Zn: Zinco; ns: não significativo; *: significativo a 5% de probabilidade; **significativo a 1% de probabilidade. Fonte: autoria própria.

Comparando o teor de Zn foliar nos cultivares com aplicação de Zn (+Zn), observa-se que houve uma divisão de quatro grupos (Tabela 2). O cultivar BRS FC409 foi o que apresentou maior teor de Zn, destacando-se dos demais e seguido dos cultivares BRS FC310, BRS Pérola, BRS Esteio, BRS FC415, BRS FC402 e BRS Estilo que não diferiram entre si. O terceiro grupo foi composto pelos materiais genéticos BRS Esplendor e BRS FP403. O cultivar BRS Campeiro foi o que apresentou menor teor de Zn foliar (Tabela 2).

Quando o feijão não recebeu Zn foliar, o teor do micronutriente nos grãos foi maior no material BRS Pérola, com 11,54 mg kg^{-1}. Os demais cultivares obtiveram menores teores de Zn, não diferindo

entre eles. A aplicação foliar proporcionou aumentos significativos no teor de Zn nas folhas do feijoeiro, indicando resposta positiva destes materiais a biofotificação (Tabela 2).

Tabela 2 – Teor de Zn foliar em cultivares de feijão com adubação foliar do micronutriente.

Cultivar	+ Zn	- Zn	Média
		mg kg^{-1}	
BRS FC409	22,50 Aa	6,88 Bb	14,69 A
BRS FC310	17,74 Ba	6,98 Bb	12,36 A
BRS Pérola	16,83 Ba	11,54 Ab	14,18 A
BRS Esteio	16,76 Ba	5,33 Bb	11,05 B
BRS FC415	16,45 Ba	7,45 Bb	11,95 A
BRS FC402	16,34 Ba	5,73 Bb	11,31 B
BRS Estilo	16,24 Ba	5,35 Bb	10,79 B
BRS Esplendor	14,20 Ca	6,26 Bb	10,23 B
BRS FP403	13,49 Ca	6,16 Bb	9,83 B
BRS Campeiro	9,06 Da	4,45 Bb	6,76 C
Média	15,96 a	6,61 b	

Médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de Scott-Knott (p≤0,05). Letras maiúsculas compara cultivares e minúsculas o zinco. Fonte: autoria própria

O feijão apresentou teor de Zn nos grãos diferenciado, em função dos cultivares e aplicação ou não do micronutriente nas folhas (Figura 1). Os cultivares BRS FC 409, BRS FC 402 e BRS Esplendor, foram os mais biofortificados, devido ao teor de Zn nos grãos maior do que 5,15 mg kg^{-1} (Figura 1 A). Os demais cultivares apesar de menor teor de Zn nos grãos, também sofreram biofortificação (Figura 1.B).

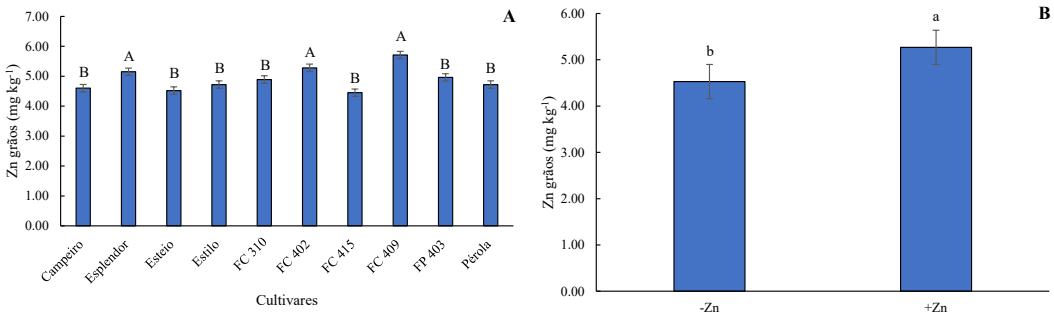

Figura 1 – Teor de zinco em grãos de cultivares de feijão (A) com ou sem aplicação de do micronutriente via folha (B).
Fonte: autoria própria

Apesar dos cultivares não apresentaram ganhos em produtividade com a aplicação de Zn, como já mencionado, ressalta-se que a produtividade média dos tratamentos foi de 2.659 kg ha^{-1}. A produtividade alcançada neste estudo foi superior à média nacional de 1.116 kg ha^{-1} e a do estado de Goiás que foi de 2.343 kg ha^{-1} GO (Conab, 2023).

Como visto, a deficiência de micronutrientes é um problema de saúde e está relacionado a deficiência imunológica e anemia. Assim, a agricultura necessita ir além de melhorias quantitativas na produção, adotando métodos qualitativos, como a biofortificação, necessários para o combate da fome oculta (LOUREIRO et al., 2018). Não obstante, o aumento de produtividade não é suficiente para nutrir adequadamente a população, pois quantidade nem sempre significa qualidade. Assim, são necessárias

melhorias do perfil nutricional dos cultivares (CAKMAK, 2008; CAKMAK; PFEIFFER; MCCLAFFERTY, 2010).

Conclusão

A adubação foliar com zinco biofortificou grãos em cultivares de feijão, especialmente nos materiais BRS FC409, BRS FC402 e BRS Esplendor.

Agradecimentos

A Embrapa pelo apoio técnico e ao Programa de Iniciação Científica que chancelou a execução do projeto (PIVIC).

Referências Bibliográficas

CAKMAK, I. Enrichment of fertilizers with zinc: an excelente investment for humanity and crop production in India. **J Trace Elem Med Biol**, 23, 281–289, 2009.

CAKMAK, I. Enrichment of cereal grains with zinc: agronomic or genetic biofortification? **Plant and Soil**, Oklahoma, v. 302, n. 1, p. 1-17, 2008

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.

COELHO, R.C., BARSOTTI, R.C.F., MALTEZ, H.F., LOPES-JÚNIOR, C.A., BARBOSA, H.S. Expanding information on the bioaccessibility and bioavailability of iron and zinc in biofortified cowpea seeds. **Food Chemistry**. 347, 129027, 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.

KACHINSKI, Wagner Deckij et al. Agronomic biofortification increases concentrations of zinc and storage proteins in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) grains. **Food Research International**, v. 155, p. 111105, 2022.

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.

LOVATO, F. et al. Composição centesimal e conteúdo mineral de diferentes cutivares de feijão biofortificados (Phaseolus vulgares L.). **Brazilian Journal of Food Technology**, 21, e2017068, 2018.

SILVA, F.C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes.** 2. ed. Brasília, DF: Embrapa informação tecnológica, 2009, 627 p.

SILVA, V.M., NARDELI, A.J., MENDES, N.A.C., ROCHA, M.M., WILSON, L., YOUNG, S.D., BROADLEY, M.R., WHITE, P.J. REIS, A.R. Agronomic Biofortification of Cowpea with Zinc: Variation in Primary Metabolism Responses and Grain Nutritional Quality Among 29 Diverse Genotypes. **Plant Physiology and Biochemistry.** Volume 162, 378-387 p, 2021.