



Biofortificação agrônômica do feijão com Zn⁽¹⁾

Leonardus Vergütz⁽²⁾; Thaís Lopes Leal Cambraia⁽³⁾; Renildes Lúcio Ferreira Fontes⁽²⁾

⁽¹⁾ Trabalho executado com recursos do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas da UFRV e da CAPES; ⁽²⁾ Professor do Departamento de Solos, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG; leonardus.vergutz@ufv.br; ⁽³⁾ Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, Universidade Federal de Viçosa.

RESUMO: A fome oculta é um problema que afeta milhões de pessoas em todo o mundo, especialmente em países menos desenvolvidos. Essa doença está ligada ao baixo consumo de Fe, Zn e vitamina A, principalmente. Uma das causas desse problema é a baixa qualidade nutricional dos alimentos ingeridos. Uma alternativa para solucionar esse grave problema é a biofortificação agrônômica de alimentos, em especial aqueles consumidos pela população mais carente. O feijão é um alimento básico muito consumido por populações carentes do continente Africano e América do Sul. Assim, o objetivo desse estudo foi aumentar o teor de Zn no grão de feijão pelo manejo da adubação com Zn. Foi montado um experimento em casa de vegetação com 18 tratamentos dispostos em blocos casualizados com quatro repetições. Os tratamentos formaram um fatorial 3 x 6: três doses de Zn aplicadas no solo e seis doses foliares de Zn, para um mesmo material genético de feijão e aplicação foliar sem parcelamento. As doses de Zn aplicadas no solo proporcionaram aumento na produtividade, enquanto as doses foliares não tiveram esse efeito. Isso porque a aplicação foliar foi realizada no momento de início de enchimento dos grãos, onde o potencial produtivo da cultura já havia sido estabelecido. A aplicação conjunta de doses de Zn no solo e foliar permitiram atingir o máximo potencial de enriquecimento dos grãos de feijão da cultivar estudada, que foi de 67,5 mg kg⁻¹ de Zn. Isso representou um aumento de 238 % no teor de Zn no grão de feijão em comparação com a não aplicação de Zn no solo. É interessante notar que a baixa disponibilidade de Zn no solo limita o potencial de enriquecimento dos grãos com Zn, mesmo esse sendo aplicado via foliar.

Termos de indexação: Fome oculta, qualidade nutricional, adubação foliar.

INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a deficiência humana em Zn tornou-se um problema de saúde pública mundial, afetando cerca de um terço da população, tanto em países desenvolvidos quanto naqueles em desenvolvimento (Thacher, et al., 2006). Estudos mostram que a faixa etária mais atingida pela deficiência em Zn são as crianças e adolescentes. Esses constituem um dos grupos mais vulneráveis

da população. Cerca de 800 mil crianças morrem a cada ano com doenças relacionadas à desnutrição por Zn (Black, et al 2003).

O cultivo agrícola em solos deficientes em Zn leva à produção de plantas com baixo teor desse mineral e com menor qualidade nutricional, o que resulta em carência humana em Zn. Por isso, a biofortificação de produtos agrícolas, com enfoque no manejo da adubação com Zn, pode ser prática adotada para reduzir a fome oculta desse nutriente em seres humanos.

No Brasil, a maioria dos solos é carente em Zn, seja por causa do material de origem, do intemperismo acentuado ou pelo uso intensivo sem a devida reposição desse mineral. Por isso, a adubação de culturas agrícolas com Zn em solos deficientes como os brasileiros se faz necessária. Para Teixeira et al. (2004a), apesar da alta tecnologia adotada pelos produtores de feijão irrigado, a nutrição mineral muitas vezes é negligenciada, principalmente em relação aos micronutrientes.

A eficiência da biofortificação agrônômica com Zn pelo manejo da adubação depende, principalmente: i) da forma de aplicação do Zn: via solo, foliar ou a combinação de ambos, ii) da época de aplicação; e iii) da dose de Zn aplicada (Cakmak, et al., 2009; Cakmak, et al., 2010; Zhanga, et al., 2012; Phattarakul, et al., 2012; Yanyan, 2012).

A forma de aplicação via foliar foi eficiente em enriquecer grãos de trigo e arroz (Yilmaz, et al., 1998; Wissuwa, et al., 2008; Hussain, et al., 2012). Já folhas de couve e grãos de canola tiveram seus teores de Zn aumentados com a aplicação de Zn ao solo (Mao et al., 2014). A aplicação de Zn via foliar realizada no estágio de grão leitoso foi eficiente no enriquecimento de grãos de trigo (Cakmak, et al., 2010). A melhor dose e forma de aplicação devem resultar na obtenção do ponto de máximo teor de Zn nos grãos, o que já foi conseguido para algumas culturas (Mao, et al., 2014). Com isso conseguimos atingir o potencial de enriquecimento das culturas.

Os trabalhos de biofortificação agrônômica com grãos de feijão são escassos e, na grande maioria das vezes, relacionados à biofortificação genética (Blair, et al. 2003). Por isso, o objetivo deste estudo foi melhorar a qualidade nutricional do grão de feijão por meio da biofortificação agrônômica, aumentando



o teor de Zn no grão a partir do manejo da adubação via solo e foliar.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em casa de vegetação do Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa. A unidade experimental foi composta por um vaso contendo 3 dm³ de solo, sem abertura na parte inferior, com duas plantas. O solo utilizado foi um Latossolo Vermelho-Amarelo, que foi seco ao ar, passado em peneira de 2 mm de diâmetro e caracterizado quimicamente.

Com base nos resultados da análise do solo foram feitos os cálculos para a recomendação de corretivos da acidez do solo e a recomendação de adubação. O método utilizado para recomendação de calagem foi o da neutralização do Al³⁺ e fornecimento de Ca e Mg (Alvarez, et al. 1999). A adubação foi realizada em todo o volume de solo, de acordo com recomendações para experimentos em casa de vegetação (Novais, et al., 1991).

O experimento teve 18 tratamentos no delineamento em blocos casualizados com quatro repetições. Os tratamentos constituíram fatorial 3 x 6, sendo três doses de Zn aplicadas no solo (0; 5 e 10 kg ha⁻¹) e seis doses de Zn aplicadas via foliar (0; 1; 1,5; 3; 6 e 10 kg ha⁻¹). A cultivar de feijão-comum utilizada foi a BRSMG Madre Pérola, uma cultivar comercial.

As plantas foram irrigadas diariamente com água destilada. A irrigação foi feita diretamente no solo, sem molhar as folhas. O experimento foi conduzido de agosto a novembro, com duração de 126 dias. A fonte de Zn aplicada no solo e foliar foi ZnSO₄.7H₂O. O ZnSO₄ aplicado no solo foi incorporado em todo o volume de solo por ocasião do plantio.

As doses de Zn foliares foram aplicadas no estágio fenológico de enchimento das vagens, R8. Para a aplicação foliar em cada vaso, o ZnSO₄.7H₂O foi diluído em 20 ml de água destilada. Esse volume de solução foi determinado por meio de testes, sendo esse o volume de solução necessária para cobrir as plantas sem que ocorresse o escorrimento para o solo.

Foram avaliadas a produção e o teor de Zn nos grãos. Os grãos foram secos em estufa de circulação forçada de ar com temperatura ajustada em 65°C até peso constante e depois pesados. O material seco foi moído em moinho tipo Willey e as amostras foram passadas em peneira de 20 mesh.

Para a determinação de Zn o material vegetal foi

submetido à digestão nitroperclórica (Malavolta et al., 1997). A dosagem do Zn foi determinada por espectrometria de emissão ótica acoplada ao plasma induzido (ICP - OES).

Os dados de produção de grãos e o teor de Zn no grão de feijão foram submetidos a análise de variância. Os efeitos das aplicações das doses sobre a produção e o teor de Zn no grão foram analisados por meio de regressão.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As doses de Zn no solo foram estudadas com o intuito de elevar o teor de Zn no grão. Todavia, elas também contribuíram para aumentar a produção de feijão. As doses de 5 e 10 kg ha⁻¹ de Zn aplicadas no solo levaram ao aumento da produção de grãos em relação ao tratamento controle (Figura 1), sendo a magnitude desse aumento semelhante entre essas doses.

A dose de 0 kg ha⁻¹ de Zn no solo comprometeu a produção do feijoeiro. As unidades experimentais que receberam essa dose produziram em média 1,06 g/planta de feijão, valores bem inferiores aos observados quando houve adubação com Zn no solo, uma média de 7,69 g/planta (Figura 1). Isso confirma a necessidade e a influência da adubação com Zn para o crescimento, desenvolvimento e produção de várias culturas agrícolas, inclusive o feijoeiro (Fageria e Baligar, 1997). Cabe ressaltar que a limitação do crescimento e desenvolvimento da cultura pela falta de Zn foi tamanha que, em várias repetições da dose 0 kg ha⁻¹ de Zn no solo, as plantas sequer chegaram à fase reprodutiva.

As doses de Zn aplicadas via foliar não influenciaram a produção de feijão (Figura 1). Isso porque, como o objetivo da aplicação foliar foi aumentar o teor de Zn no grão de feijão, as pulverizações foram realizadas no estágio fenológico R8 (enchimento dos grãos). Aplicações de fertilizantes realizadas nessa fase de desenvolvimento geralmente não aumentam a produtividade, uma vez que o potencial produtivo das culturas é definido em estádios iniciais. Este estágio foi escolhido porque esta é a fase em que as vagens já se formaram e os grãos estão em processo de enchimento. Dessa maneira, o dreno de nutrientes para o grão é intenso, incluindo o Zn (Carvalho e Nakagawa, 2000).

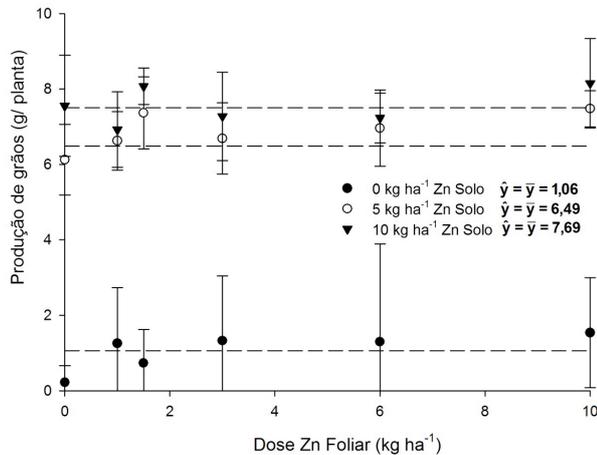


Figura 1. Produção de feijão em função das doses de Zn aplicadas no solo e foliar. As barras horizontais referem-se ao erro padrão da média.

Quanto ao aumento do teor de Zn no grão de feijão, a dose zero de Zn no solo combinada com as doses de Zn foliar não influenciaram no teor de Zn no grão (Figura 2). Já com a adição de 5 e 10 kg ha⁻¹ Zn ao solo, houve aumento no teor de Zn no grão com o aumento da dose aplicada via foliar concomitantemente à aplicação no solo (Figura 2). Assim, a aplicação foliar de Zn na cultura do feijão com o intuito de biofortificação apenas é eficiente em solos com boa disponibilidade de Zn. A limitação ao bom desenvolvimento da cultura pela deficiência de Zn nos estádios iniciais limita o potencial de enriquecimento dos grãos.

As doses de 5 e 10 kg ha⁻¹ de Zn aplicadas no solo, juntamente com as doses foliares, promoveram aumento no teor de Zn no grão (Figura 2). A adubação no solo, juntamente com a foliar, foi mais eficiente em aumentar o teor de Zn nos grãos de cereais, comparado a aplicação do Zn apenas no solo ou apenas foliar (Cakmak, et al, 2009; Hussain, et al, 2012). Para o feijão, a combinação dos métodos de aplicação de Zn também foi mais eficiente em aumentar o teor de Zn no grão.

Ao fixar as doses de 5 e 10 kg ha⁻¹ de Zn aplicadas no solo, obtém-se uma função que relaciona as doses de Zn aplicadas via foliar com a resposta da planta em termos de teor de Zn no grão (Figura 2). Para a dose de 5 kg ha⁻¹ de Zn no solo, o teor máximo de 67,5 mg kg⁻¹ no grão foi alcançado com a dose foliar de 7,83 kg ha⁻¹ de Zn. Já para a dose de 10 kg ha⁻¹ de Zn aplicado no solo, o teor máximo de Zn no grão foi de 65,0 mg kg⁻¹, em conjunto com a dose de 4,86 kg ha⁻¹ de Zn foliar. Cabe ressaltar que o potencial de enriquecimento do grão de feijão para a cultivar de feijão-comum BRSMG Madre Pérola parece ter sido atingido. Para

as doses de Zn no solo de 5 e 10 kg ha⁻¹, o teor máximo de Zn no grão foi semelhante, sendo esse atingido com doses diferentes de Zn foliar.

É interessante notar também que esse potencial de enriquecimento de Zn no grão de feijão é superior aos teores relatados em estudos realizados com trigo e arroz, culturas mais estudadas em termos de biofortificação de alimentos. Para essas culturas, o teor máximo de Zn no grão alcançado pelo manejo da adubação foi de 58 mg kg⁻¹ para o trigo e 35 mg kg⁻¹ para o arroz (Cakmak, et al., 2010; Wissuwa, et al., 2008).

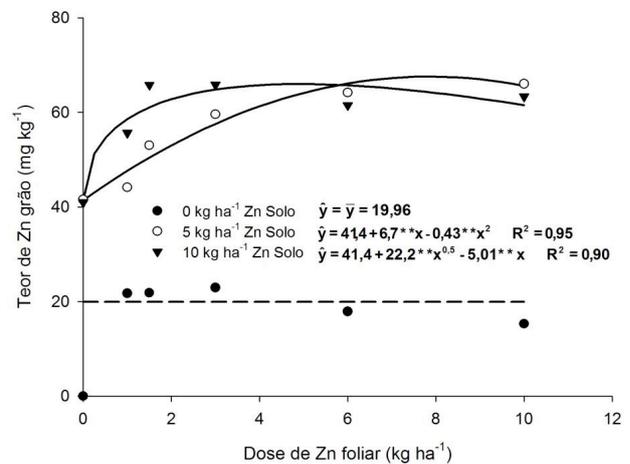


Figura 2. Teor de Zn no grão de feijão em função das doses de Zn aplicadas no solo e foliar.

CONCLUSÕES

A baixa disponibilidade de Zn nos solos intemperizados do Brasil limita o potencial produtivo do feijão. Da mesma maneira, limita também o enriquecimento do grão, mesmo com a aplicação foliar de Zn. Porém, quando a disponibilidade de Zn no solo é adequada, o potencial de enriquecimento do feijão é grande, girando em torno de 238 % do teor inicial quando não é aplicado Zn. O potencial de enriquecimento de Zn no grão de feijão da cultivar de feijão-comum BRSMG Madre Pérola foi atingida e gira em torno de 65,0 a 67,5 mg kg⁻¹.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Departamento de Solos, a Universidade Federal de Viçosa e a Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG) pela infraestrutura cedida e apoio financeiro. A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo apoio financeiro. Aos



professores, pesquisadores, funcionários e estagiários pelas colaborações intelectuais e operacionais.

REFERÊNCIAS

Alvarez V., V. H., Dias, L. E., Ribeiro, A. C., Souza, R. B. Uso de Gesso Agrícola. In: Ribeiro, A. C.; Guimarães, P. T. G.; Alvarez V., V. H. Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª Aproximação. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999, 67-78.

Blair, M. W. Mineral Biofortification Strategies for Food Staples: The Example of Common Bean. *J. Agric. Food Chem.* 2013, 61, 8287-8294.

Carvalho, N. M.; Nakagawa, J. Sementes: ciência, tecnologia e produção. 4. ed. Jaboticabal: Funep, 588 p.2000.

Cakmak I., Kalayci M., Kaya Y., Torun A. A., Aydin N., Wang Y., Arisoy Z., Erdem H., Yazici A., Gokmen O., Ozturk L., Horst W. J.. Biofortification and localization of zinc in wheat grain. *J. Agric. Food Chem.* 2010a, 58, 9092 - 9102.

Cakmak I., Pfeiffer W. H., McClafferty B. Biofortification of durum wheat with zinc and iron. *Cereal Chem.* 2010. 87, 10 - 2010.

Cakmak, I. Biofortification of cereals with zinc and iron through fertilization strategy. 19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World, 2010, 4, 1-6.

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

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

Fageria, N. Níveis adequados e tóxicos de zinco na Produção de arroz, feijão, milho, soja e trigo em solo de cerrado. R. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 2000, 3, v 4, 390 - 395.

Hussain, S.; Muhammad, A. M.; Zed, R.; Tariq, A. Biofortification and estimated human bioavailability of zinc in wheat grains as influenced by methods of zinc application. *Science Business*. 2012.

Malavolta, E.; Vitti, G. C.; Oliveira, S. A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319p.

Mao, H.; Wang, J.; Wang, Z.; Zan, Y.; Lyons, G.; Zou, C..Using agronomic biofortification to boost zinc,

selenium, and iodine concentrations of food crops grown on the loess plateau in China. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 2014, 14, 459-470.

Nancy, E.; Longnecker, A.; Robson, D.. Distribution and Transport of Zinc in Plants. 1993, 55, 9 – 79.

Novais, R. F.; Neves, J. C. L.; Barros, N. F. de. Ensaio em ambiente controlado. In: OLIVEIRA, A. J. et al. (Coords.). Métodos de pesquisa em fertilidade do solo. Brasília, DF: Embrapa-SEA, 1991, 189-253.

Phattarakul, N.; Rerkasem, B.; Li, L.; Wu, L.; Zou, C.; Ram, H.; Sohu, V.; Kang, B.; Surek, H.; Kalayci, M.; Yazici, A.; Zhang, F.; Cakmak, I., Biofortification of rice grain with zinc through zinc fertilization in different countries. *Plant & Soil*, 2012, 361, 131.

Rengel Z., Batten G. D., Crowley D. E.. Agronomic approaches for improving the micronutrient density in edible portions of field crops. *Field Crops Res.* 1999, 60, 27-4010.

Rodrigues, L. A., Souza, A. P., Martinez, H. E. P., Pereira, P. R.G., Fontes, P. C. R. Absorção e translocação de zinco em feijoeiro aplicado via foliar. *R. Bras. Fisiol. Veg.* 1997, 9, 111-115.

Teixeira, I. R. et al. Nutrição mineral do feijoeiro em função de doses de manganês e zinco. *Semina*, Londrina, v. 24, n. 2, p. 235-242, 2004.

Wissuwa, M.; Abdelbagi, M.; Cakmak, I.; Graham, R. D. Rice grain zinc concentrations as affected by genotype, native soil-zinc availability, and zinc fertilization. *Plant and Soil*, 2008, 306, 37-48.

Yanyan Wei., M. J. I. Shohag., Xiaoe Yang. Biofortification and Bioavailability of Rice Grain Zinc as Affected by Different Forms of Foliar Zinc Fertilization. *Plos one*, 2012, 7.

Yilmaz, A., Ekiz, H., Torun, B., Gultekin, I., Karanlik, S., Bagci, S. A.; Cakmak, I.. Effect of different zinc application methods on grain yield and zinc concentration in wheat cultivars grown on calcareous soils with zinc deficiency. *J. Planta Nutr.*, 1998, 20, 461-471.