



Revista Agrária Acadêmica

[*Agrarian Academic Journal*](#)

Volume 2 – Número 6 – Nov/Dez (2019)



doi: 10.32406/v2n6/2019/17-26/agrariacad

Grãos de soja são biofortificados com zinco pela adubação. Soybeans are biofortified with zinc by fertilization

Geovani do Carmo Copati da Silva¹, Thaís Lopes Leal Cambraia², Guilherme Filgueiras Bahia³, Vinício Mitre de Castro⁴, Leonardus Vergütz⁵

¹ Mestre em Solos e Nutrição de Plantas, Departamento de Solos, Universidade Federal de Viçosa – UFV/VIÇOSA - BRASIL. + 55 (31) 94857159. geovani.copati@gmail.com

² Doutora em Solos e Nutrição de Plantas, Departamento de Solos, Universidade Federal de Viçosa – UFV/VIÇOSA - BRASIL. thaislopesleal6@gmail.com

^{3,4} Estudantes de graduação e estagiários do Departamento de Solos, Universidade Federal de Viçosa – UFV/VIÇOSA - BRASIL.

⁵ Professor Departamento de Solos, Universidade Federal de Viçosa – UFV/VIÇOSA - BRASIL. leonardusvergutz@gmail.com

Resumo

A biofortificação agrônômica da soja com Zn pode ser promissora no combate à deficiência de Zn em humanos. A adubação com Zn apesar de não influenciar a produção de grãos, pode aumentar a concentração do mineral nos grãos em até 68,4 mg kg⁻¹, ao aplicar 4 mg dm⁻³ de Zn no solo e 22,97 kg ha⁻¹ de Zn foliar. Esse enriquecimento não reduz o acúmulo de outros minerais nos grãos e o Zn concentra-se no eixo embrionário. Grãos de soja que concentram mais Zn não apresentam melhoria na qualidade fisiológica. Analogamente, o cultivo da soja enriquecida com Zn não influencia na produção de grãos.

Palavras-chaves: adubação no solo e foliar, localização do zinco nos grãos, qualidade fisiológica da semente, produção de grãos.

Abstract

Agronomic biofortification of soybeans with Zn may be promising in combating Zn deficiency in humans. Fertilization with Zn, although not influencing grain yield, can increase grain concentration by up to 68.4 mg kg⁻¹ by applying 4 mg dm⁻³ Zn to soil and 22.97 kg ha⁻¹ from leaf Zn. This enrichment does not reduce the accumulation of other minerals in the grains and Zn concentrates in the embryonic axis. Soybeans that concentrate more Zn show no improvement in physiological quality. Similarly, cultivation of Zn enriched soybean does not influence grain yield.

Keywords: soil and leaf fertilization, grain zinc location, seed physiological quality, grain yield.

Introdução

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é uma das leguminosas mais importante para a sociedade e economia de vários países do mundo, inclusive o Brasil. A produção brasileira alcançou 95,5 milhões de toneladas, em uma área plantada de 33,3 milhões de hectares, a segunda maior produção mundial (CONAB, 2016, p. 106). Essa leguminosa representa 11 % das receitas provenientes das exportações brasileiras, o que contribui para a geração de emprego e renda no país, para assim melhorar a qualidade de vida de muitas pessoas.

O centro de origem da soja é o continente asiático, onde está presente no cardápio das pessoas há milhares de anos. No mundo ocidental, o uso do grão está mais associado à alimentação animal, por meio da sua utilização na fabricação de rações (QUI; CHANG, 2010, p. 2). No entanto, a utilização na alimentação humana está em crescente expansão, por ser um alimento rico em energia, proteínas, lipídeos, entre outras substâncias fundamentais na dieta (CARRAO-PANIZZI et al., 1998, p. 6). Por isso, a soja pode ser um alimento interessante quando se deseja suprir as deficiências nutricionais (em vitaminas e minerais) que afligem pessoas em todo mundo.

A deficiência de minerais em humanos é um problema que atinge um terço da população mundial, especialmente as pessoas que vivem em países subdesenvolvidos (IFPRI, 2016, p. 3). Tal problema de saúde pública pode estar associado ao cultivo de alimentos em solos pobres em minerais essenciais a planta e humanos, como Zn e Fe, condição que resulta em alimentos com baixas concentrações dos nutrientes (ALLOWAY, 2004, p. 10). No cerrado brasileiro, onde a soja é largamente cultivada, os solos apresentam, em sua maioria, baixa fertilidade natural e disponibilidade de vários nutrientes, como o Zn, o que pode comprometer a produtividade dos cultivos, bem como a qualidade nutricional do alimento produzido, especialmente quanto ao teor de minerais, como Zn (LOPES, 1984, p. 98).

Para aumentar a qualidade nutricional dos alimentos em Zn, a biofortificação de alimentos é umas das alternativas mais promissoras (MAO, et al, 2014, p. 460). A biofortificação de culturas busca melhorar a qualidade nutricional dos alimentos pelo melhoramento genético (conhecida como biofortificação genética) ou pelo manejo, principalmente, da adubação (conhecido como biofortificação agrônômica). A biofortificação agrônômica é uma técnica que leva ao enriquecimento de grãos amplamente consumidos no mundo, como trigo, milho, arroz e feijão, com aumentos expressivos na concentração de Zn nos grãos desses alimentos quando se faz adubações no solo e/ou foliar com o nutriente (YILMAZ et al., 1998, p. 469; WISSUWA et al., 2008, p. 42; CAKMAK et al, 2010, p. 9098; HUSSAIN et al., 2012, p. 283, CAMBRAIA, 2019, p. 54). Até o momento, poucos trabalhos de biofortificação agrônômica com Zn foram realizados com soja, por isso, muitas questões ainda não foram investigadas.

O enriquecimento da soja com Zn pode aumentar a qualidade nutricional do alimento que faz parte da dieta tanto de humanos quanto de animais. Assim como os seres humanos, os animais também demandam Zn para o seu crescimento, desenvolvimento e fortalecimento do sistema imunológico. Inclusive, é comum a o fornecimento de suplementação com minerais para rebanhos, principalmente quando utiliza sistemas de produção em confinamento (MILLER, 1970, p. 1128; GOSELINK; JONGBLOED, 2012, p. 14), o que poderia ser desnecessário caso a soja utilizada para a fabricação da ração fosse rica em Zn biodisponível para os animais.

INOCENCIO (2014, p 49) mostrou que grãos de soja podem ser biofortificados com Zn pelo manejo da adubação no solo com o micronutriente. No entanto, avaliações como o potencial da adubação foliar e efeitos deste enriquecimento na qualidade fisiológica dos grãos e na produtividade

da cultura ainda são incipientes. Este estudo teve como objetivo avaliar o efeito da combinação da aplicação do Zn no solo e foliar na biofortificação dos grãos de soja com Zn, o efeito do enriquecimento dos grãos de soja com Zn na qualidade fisiológica dos grãos e na produtividade da cultura quando grãos enriquecidos com Zn são cultivados.

Material e métodos

Foram realizados três experimentos na casa de vegetação do Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa – UFV, com a cultivar de soja TMG 1175 RR. O primeiro experimento foi de biofortificação agrônômica para enriquecer grãos de soja com Zn; o segundo para avaliar a qualidade fisiológica dos grãos enriquecidos; e o terceiro para avaliar a produtividade das plantas oriundas das sementes enriquecidas com Zn.

O solo utilizado no primeiro e terceiro experimentos foi o Latossolo Vermelho-Amarelo, o qual foi seco ao ar e passado em peneira de 2 mm de diâmetro. O solo foi analisado quimicamente e determinados os teores disponíveis de macro e micronutrientes, assim como os componentes da acidez do solo e (Tabela 1). A necessidade de calagem foi determinada pelo método de neutralização do alumínio e elevação dos teores de cálcio e magnésio, segundo ALVAREZ et al. (1999, p.68). O calcário utilizado foi CaCO_3 e MgCO_3 , com relação molar Ca:Mg de 4:1. A aplicação do calcário e da água até à capacidade de campo foi realizada por unidade experimental. O solo foi incubado por 15 d.

Tabela 1. Características químicas e físicas do solo

pH ⁽¹⁾	P ⁽²⁾	K ⁽²⁾	Ca ²⁺ ⁽³⁾	Mg ²⁺ ⁽³⁾	Al ³⁺ ⁽³⁾	(H+Al) ⁽⁴⁾	SB ⁽⁵⁾	P-Rem ⁽⁶⁾	Zn ⁽²⁾	MO ⁽⁷⁾	Arg ⁽⁸⁾	E.U. ⁽⁹⁾
	-mg dm ⁻³ -		----- cmolc dm ⁻³ -----				mg L ⁻¹	mg dm ⁻³	g kg ⁻¹	%	g kg ⁻¹	
5,58	1,7	8,0	0,54	0,15	0,00	2,30	0,71	9,80	0,67	10,4	57	330

⁽¹⁾ pH em H₂O; ⁽²⁾ P, K e Zn: extrator Mehlich-1; ⁽³⁾ Ca²⁺, Mg²⁺ e AL³⁺: extrator KCl 1 mol L⁻¹; ⁽⁴⁾ (H+Al): extrator acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹; ⁽⁵⁾ Soma de Bases Trocáveis; ⁽⁶⁾ P-rem: fósforo remanescente; ⁽⁷⁾ Matéria orgânica: C. org. x 1,724 (Walkley-Black); ⁽⁸⁾ Teor de argila; ⁽⁹⁾ E.U.: Equivalente de Umidade.

As adubações de plantio dos experimentos foram realizadas de acordo com NOVAIS et al. (1991, p. 211). As doses de macro e micronutrientes aplicadas ao longo do experimento foram: 300 mg dm⁻³ de P, 150 mg dm⁻³ de K, 0,81 mg dm⁻³ de B, 1,33 mg dm⁻³ de Cu, 1,55 mg dm⁻³ de Fe, 3,66 mg dm⁻³ de Mn e 0,15 mg dm⁻³ de Mo. A quantidade recomendada de S foi aumentada de 40 mg dm⁻³ para 80 mg dm⁻³. As doses de Zn foram aplicadas de acordo com cada tratamento e no volume total do solo de cada vaso no dia do plantio. Os demais nutrientes foram parcelados em 4 aplicações (10, 20, 30 e 40 d após o plantio). O solo foi irrigado periodicamente com água destilada a fim de manter a umidade próxima à capacidade de campo.

Biofortificação agrônômica da soja com Zn

Foram testados nove tratamentos, três doses de Zn aplicadas no solo (0, 4 e 8 mg dm⁻³) e seis doses de Zn aplicadas na folhagem (0, 4, 8, 12, 16 e 24 kg ha⁻¹), no estágio de desenvolvimento R3 da soja (caracterizado pelo momento de enchimento dos grãos nas vagens). As doses de Zn aplicadas na folhagem foram combinadas apenas com a dose de 4 mg dm⁻³ de Zn no solo. A fonte de Zn utilizada foi ZnSO₄.5H₂O. Para a aplicação do Zn foliar, foi utilizada 30 mL de solução por vaso, para molhar

completamente a planta sem escorrer solução no solo. A unidade experimental foi composta por um vaso com 4 dm³ de solo e quatro plantas. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com cinco repetições.

Após a senescência das plantas, as vagens foram coletadas e os grãos separados para as seguintes determinações e análises: massa de matéria seca de 100 grãos (*mCG*); massa de matéria seca de grãos por vaso (*mMS_V*); concentração e conteúdo de N, P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Mn e Zn; e localização do Zn nos grãos. A *mMS_V* foi obtida após a secagem dos grãos em estufa com circulação forçada de ar a 60 °C por 72 h. Após os grãos serem secos, foram triturados em moinho tipo Wiley, passados em peneira de 1 mm e posteriormente armazenando em recipientes de vidro vedados até a realização das análises. Posteriormente as concentrações de N, foi realizada por digestão sulfúrica e para os demais elementos digestão nitro-perclórica. O P foi dosado por colorimetria, o K por Espectrometria de Emissão de Chama e Ca, Mg, Fe, Cu, Mn e Zn, por Espectrometria de Absorção Atômica.

Para determinar a localização do Zn nos grãos que apresentam concentração de 26,89 mg kg⁻¹; 50,39 mg kg⁻¹; 58,04 mg kg⁻¹; 57,54 mg kg⁻¹; 65,29 mg kg⁻¹ ou 70,79 mg kg⁻¹ de Zn, foi realizado, inicialmente, o corte do grão com auxílio de lâmina metálica. A parte do grão que continha o cotilédone foi fixada em placa de vidro com cola, o mapeamento químico dos grãos foi realizado em Espectrometria de microfluorescência de raios X por dispersão de energia (μ EDXRF) no Departamento de Solos da UFV.

Os dados de *mCG*, *mMS_V*, concentração e conteúdo de Zn nos grãos (*tZn_S*) foram submetidos à análise de variância. O efeito da aplicação de Zn no solo foi analisado pelo teste de Tukey, a 5 % de probabilidade. Para avaliar os efeitos das aplicações de Zn foliar foi realizada análise de regressão. Para avaliar o efeito do enriquecimento em Zn sobre as concentrações dos demais macro e micronutrientes no grão, foi realizada correlação linear de Pearson a 5 % de probabilidade. O software estatístico utilizado foi o “R” (VENABLES; RIPLEY, 2002).

Qualidade fisiológica da soja biofortificada com Zn

Para avaliar a qualidade fisiológica da soja biofortificada com Zn, as sementes de soja foram semeadas em bandejas plásticas com areia lavada, esterilizada e umedecida com água destilada até 60 % da capacidade máxima de retenção e mantidas em casa de vegetação. Os tratamentos foram cinco concentrações de Zn na semente (35,10; 51,52; 56,78; 62,50 e 68,52 mg kg⁻¹). O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, com cinco repetições.

Foram distribuídas 50 sementes de soja por bandeja, em sulcos longitudinais de 2 cm de profundidade com distância de 5 cm, irrigadas diariamente para manter a umidade a 80 % da capacidade de campo. Realizaram-se contagens diárias das sementes, para registrar o número de plântulas com cotilédones expostos acima do nível do solo, para obter a informação da emergência de plântulas (EP). Adicionalmente, foram calculados o índice de velocidade de emergência de plântulas (IVE), expresso em número de plântulas germinadas por dia (plântulas d⁻¹); a velocidade de emergência de plântulas (VE) em número de dias necessários para a estabilização da germinação (d); e a massa de plântulas seca (*mMS_Pl*), a qual foi obtida após a estabilização da emergência das plântulas, elas foram colhidas, as raízes foram lavadas e secas em estufa de circulação forçada por 72 h, a 65 °C.

Os dados de EP, IVE, VE e *mMS_Pl*, foram submetidos à análise de variância. Para avaliar o efeito da *cZn_S* sobre as variáveis EP, IVE, VE e *mMS_Pl*, foi feita análise de regressão no software estatístico “R” (VENABLES; RIPLEY, 2002).

Produtividade da soja quando sementes biofortificadas com Zn são cultivadas

Para avaliar a produtividade da soja quando sementes biofortificadas com Zn são plantadas, foram utilizados 10 tratamentos em fatorial 2 x 5 (duas doses de Zn no solo - 0 e 4 mg dm⁻³ e cinco concentrações de Zn nos grãos - 35,10; 51,52; 56,78; 62,50 e 68,52 mg kg⁻¹). A unidade experimental foi composta por vasos com 5 dm³ de solo com quatro plantas de soja, dispostas em delineamento em blocos casualizados, com cinco repetições.

Foram determinados o número médio de grãos por vagem (nG_Vg), o número de vagens por vaso (nVg_V), massa de 100 grãos (mCG) e massa de matéria seca de grãos por vaso (mMS_V). Para avaliar o efeito do cZn_S sobre as variáveis, nG_V , nV_P , mCG , mMS_V nas doses de 0 e 4 mg dm³ aplicadas no solo, foi realizada análise de regressão de regressão a 5 % e probabilidade no software estatístico “R” (VENABLES; RIPLEY, 2002).

Resultados e discussão

Biofortificação agronômica da soja com Zn

As doses de Zn aplicadas no solo (0, 4 e 8 mg dm⁻³) não influenciaram na mCG e mMS_V , apresentaram média de 13,3 g e 44,5 g. Esperava-se resposta positiva da adubação com Zn no solo quanto a produção, pois a concentração de Zn no solo foi classificada como baixa, 0,67 mg dm⁻³ pelo extrator Mehlich-1 (ALVAREZ et al., 1999, p. 55). O nível crítico de Zn em solos argilosos é de 0,8 e 1,0 mg dm⁻³, para o extrator Mehlich-1, concentrações de Zn abaixo desses valores, a planta apresenta tendência em responder a adubação com aumento de produtividade (FAGERIA, 2000, p. 392; GALRÃO, 2004, p. 204). Em solos com concentração média de Zn também não verificou resposta da soja à adubação com a aplicação de 0,0; 2,0 e 4,0 kg ha⁻¹ de Zn (GONÇALVES JUNIOR et al. 2010, p. 663).

As doses de Zn aplicadas na folhagem (0, 4, 8, 12, 16 e 24 kg ha⁻¹) combinadas com a aplicação de 4 mg dm⁻³ no solo também não influenciaram na produção de grãos da soja. Esses resultados eram esperados devido à aplicação foliar ter sido realizada tardiamente, no estágio fenológico R3 (momento de enchimento dos grãos nas vagens). Esse manejo foi adotado porque sabe-se que para a biofortificação agronômica de grãos com Zn, a aplicação foliar do nutriente deve ser realizada quando as vagens estão enchendo, uma vez que é o momento de intensa translocação do Zn de órgãos fonte, como as folhas, para drenos, como os grãos (CARVALHO; NAKAGAWA, 1998, p. 315).

As doses de Zn aplicadas no solo aumentaram a concentração de Zn nos grãos de soja (Figura 1). A aplicação de 4 e 8 mg dm⁻³ aumentaram as concentrações de Zn nos grãos em 47 e 75 %, em relação à não aplicação de Zn, a qual a concentração de Zn nos grãos foi de 35,1 mg kg⁻¹ de Zn. A biofortificação agronômica dos grãos de feijão, leguminosa que também vem sendo estudada para melhorar a qualidade nutricional, a aplicação de 5 ou 10 kg ha⁻¹ de Zn no solo não diferirem com relação às concentrações de Zn nos grãos (CAMBRAIA, 2015, p. 35).

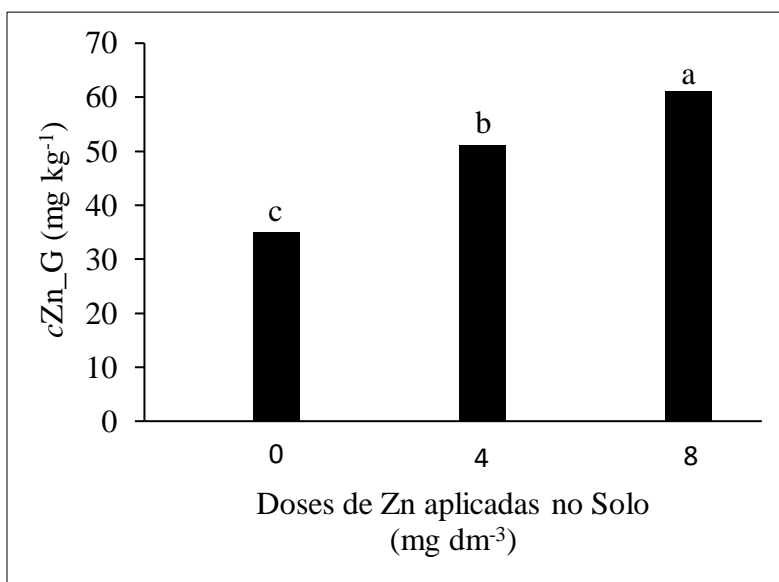


Figura 1. Concentração de Zn nos grãos de soja (cZn_G) em função das doses de Zn adicionados no solo. Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

A aplicação de Zn na folhagem, combinada com 4 mg dm⁻³ aplicado no solo aumentou a concentração de Zn nos grãos de soja (Figura 2). A concentração máxima de Zn nos grãos foi de 68,45 mg kg⁻¹, obtida com a aplicação de 23,0 kg ha⁻¹ na folhagem. Isso equivale ao aumento de 95 % na concentração de Zn nos grãos comparado não aplicação de Zn na folhagem (0,0 kg ha⁻¹ de Zn), onde a concentração de Zn nos grãos de soja foi 51,6 mg kg⁻¹ (Figura 2).

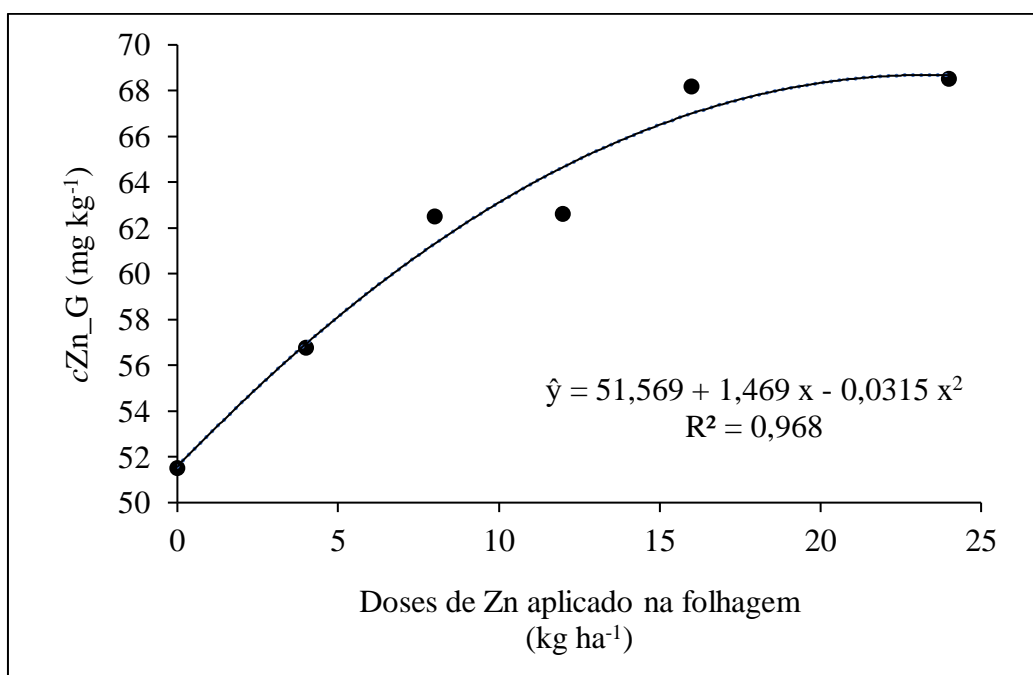


Figura 2. Concentração de Zn nos grãos de soja (cZn_G) em função de doses foliares de Zn em plantas cultivadas com a aplicação de 4 mg dm⁻³ de Zn no solo.

Maiores concentrações de Zn nos grãos de soja podem ser alcançadas a depender da cultivar ou das condições de cultivo. INOCENCIO (2014, p. 52) encontrou valores de concentração de Zn em soja próximos 80 mg kg⁻¹. Brotos de soja, que é um alimento muito consumido em países asiáticos,

podem ser biofortificados com Zn pela aplicação de 10 ou 20 $\mu\text{g Zn mL}^{-1}$ de ZnSO_4 para serem fonte de Zn e aumentar o consumo do mineral em populações deficientes (ZOU, 2014, p. 3056).

Aduações com Zn no solo e foliar também foram eficientes para aumentar a concentração de Zn nos grãos do trigo, arroz e feijão. A concentração máxima de Zn que os grãos de soja podem acumular ($68,45 \text{ mg kg}^{-1}$), é superior às concentrações máximas que culturas como arroz (35 mg kg^{-1}), trigo (38 mg kg^{-1}) e feijão ($67,50 \text{ mg kg}^{-1}$) (WISSUWA et al. 2008, p. 42; CAKMAK et al. 2010 p. 9099; CAMBRAIA, 2015, p. 39), respectivamente. O que é altamente relevante quando se deseja produzir soja com maior qualidade nutricional. Grãos de leguminosas geralmente acumulam maior quantidade de Zn que grãos de cereais. Uma das hipóteses é porque as leguminosas possuem maior concentração de proteínas, que são importantes drenos para o Zn (WHITE; BROADLEY, 2009, p. 67), no entanto mais estudos serão necessários para investigar os processos e mecanismos que estão envolvidos no acúmulo de minerais como o Zn em grãos de culturas alimentares.

A utilização de soja enriquecida com Zn, por técnicas de biofortificação agrônômica, para a alimentação humana e para a fabricação de rações para animais pode ser promissora para reduzir a deficiência de Zn em humanos e nutrir animais. Adicionalmente, o produtor de grãos de soja poderá se beneficiar economicamente, uma vez que irá agregar valor ao produto final. Informação relevante é que o aumento na concentração de Zn nos grãos da soja não influencia no acúmulo de N, P, K, Ca, Mg, Cu, Fe e Mn nos grãos, exceto para o Ca e Mg, que tiveram correlações positivas (Tabela 2).

Tabela 2. Coeficientes de correlação linear simples entre as concentrações de Zn e N, P, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn, Ca e Mg nos grãos de soja

Correlações	Cu	Fe	Mn	Ca	Mg	P	K	N
	-----mg kg ⁻¹ -----			-----g kg ⁻¹ -----				dag kg ⁻¹
Zn	0,52	-0,28	0,56	0,95**	0,87*	0,65	0,74	0,45

*, ** Significativo a 5 e 1%, pelo teste t. ^{ns} não significativo.

Geralmente, existe baixa correlação entre o aumento da concentração de Zn no grão e dos demais macro e micronutrientes na soja (INOCENCIO, 2014, p. 51; OLIVEIRA, 2016, p. 407). Isso é interessante porque para a produção de grãos de soja biofortificados com Zn, é satisfatório que não ocorra redução na concentração de outros minerais que são essenciais para o desenvolvimento da plântula e na dieta humana.

O aumento na concentração de Zn no grão não ter correlacionado com o aumento na concentração de P é interessante quando se deseja aumentar a biodisponibilidade do Zn no alimento que será consumido. Isso porque, grande parte do P acumulado na planta está na forma de fitato, um composto orgânico que reduz a biodisponibilidade do Zn e outros cátions no alimento, desta forma é considerado importante fator antinutricional (RABOY et al, 1984, p. 432; OLIVEIRA et al, 2016, p. 210). Em grãos de feijão, o aumento na concentração de Zn nos grãos não interferiu na concentração de P e o Zn apresentou biodisponível pela análise de relação molar fitato : Zn (CAMBRAIA, 2019, p. 55).

Os mapas microquímicos dos grãos de soja indicam acúmulo preferencial de Zn no eixo embrionário, comparado aos outros tecidos do grão (tegumento e cotilédone) (Figura 3). Observa-se aumento da intensidade da cor vermelha (indicação de maior concentração de Zn) nos grãos que tiveram maiores concentrações de Zn (Figura 3, D, E e F). Nas maiores concentrações de Zn nos grãos de soja ($57,54 \text{ mg kg}^{-1}$; $65,29 \text{ mg kg}^{-1}$; $70,79 \text{ mg kg}^{-1}$ de Zn), ocorreu acúmulo de Zn nos cotilédones, conforme sugere o aumento na coloração amarela no interior do grão (Figura 3, D, E e F).

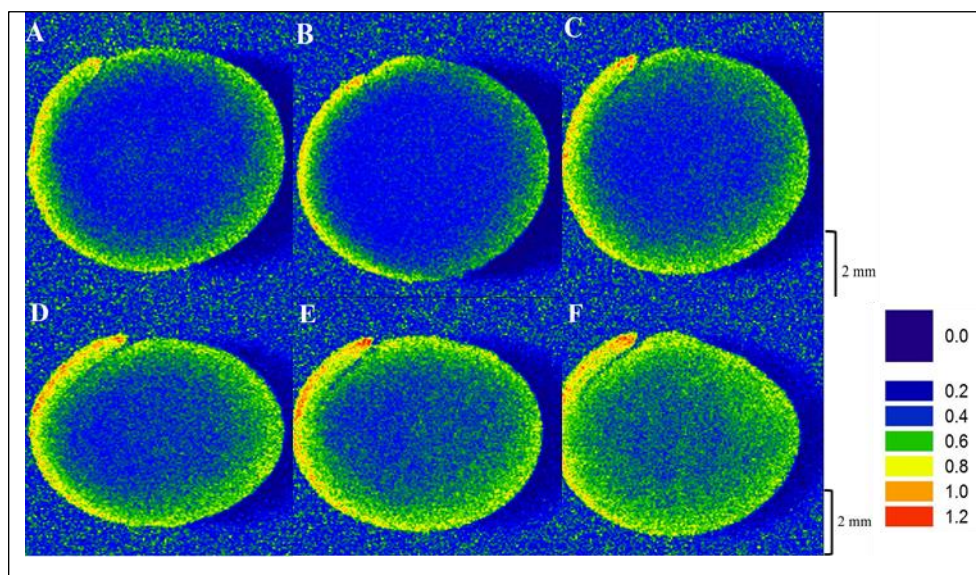


Figura 3. Localização do Zn no grão de soja analisada por espectrometria de microfluorescência de raios X por dispersão de energia (μ EDXRF). As figuras A, B, C, D e F apresentam, 26,89 mg kg⁻¹; 50,39 mg kg⁻¹; 58,04 mg kg⁻¹; 57,54 mg kg⁻¹; 65,29 mg kg⁻¹; 70,79 mg kg⁻¹ de Zn.

Em grãos de trigo e feijão o acúmulo de Zn também ocorre no eixo embrionário. Essa característica é fundamental para o desenvolvimento inicial da plântula, etapa em que o Zn exerce importante papel em funções como a síntese de proteínas e alongamento das células (CAKMAK, 2002, p. 15; OZTURK et al. 2006, p. 147). A maior concentração de Zn no eixo embrionário de grãos pode estar associada a maior germinação, melhor desenvolvimento inicial e maior vigor de plântulas oriundas de grãos enriquecidas com Zn (RENGEL; GRAHAM, 1995, p. 271; YILMAZ et al, 1998, p. 468). Por isso, realizamos o segundo experimento com o intuito de avaliarmos a qualidade fisiológica dos grãos de soja biofortificados com Zn.

Qualidade fisiológica da soja biofortificada com Zn

O aumento na concentração de Zn nos grãos de soja não influenciou na EP, VE, IVE e na *mMS_PI*, as médias para estas variáveis foram 94,1 %; 5,2 d; 9,1 plântulas d⁻¹ e 6,0 g. O que mostra que grãos de soja com altas concentrações de Zn possuem qualidade fisiológica semelhante aos grãos com baixa concentração de Zn e que para essa cultura, o aumento na concentração de Zn nos grãos, não necessariamente vai interferir na qualidade fisiológica dos grãos.

Na cultura do arroz, o aumento das concentrações de Zn nos grãos de 18 para 67 mg kg⁻¹ contribuiu para aumentar a produção de massa de matéria seca de raízes e coleóptilo e melhorou a qualidade fisiológica das sementes (BOONCHUAY et al, 2013, p. 185). Na cultura do trigo, o aumento no conteúdo de Zn de 0,25 para 0,70 μ g grão⁻¹ aumentou a massa de matéria seca da radícula e epicótilo das plântulas, em condições de deficiência de Zn no solo (RENGEL; GRAHAM, 1995, p. 270). Para esta mesma cultura, grãos com conteúdo de Zn de 1,5 μ g grão⁻¹ tiveram maior vigor e estabelecimento das plântulas no campo que grãos com conteúdo de 0,4 μ g grão⁻¹, em solo também deficiente em Zn (YILMAZ et al, 1998, p. 469).

Produção da soja quando sementes biofortificadas com Zn são cultivadas

As variáveis nG_Vg, nVg_V, mCG e mMS_V, utilizadas como medida da produtividade de grãos de soja, não variaram com o aumento da concentração de Zn nos grãos, foram em média de 83,1; 1,8; 18,2 g e 24,2 g. Contrariamente, a cultura do trigo apresentou aumento da produtividade de grãos, em duas vezes, quando plantas oriundas de grãos com conteúdo de Zn igual a 1,5 $\mu\text{g grão}^{-1}$ cultivada comparada ao plantio de grãos com apenas 0,4 $\mu\text{g grão}^{-1}$ YILMAZ et al (1998, p. 468).

Conclusões

As adubações com Zn no solo e foliar aumentam a concentração de Zn nos grãos de soja e não altera a produção de grãos e o acúmulo de outros minerais.

O Zn se acumula preferencialmente no eixo embrionário dos grãos.

O enriquecimento dos grãos, entre 35,1 e 68,5 mg kg^{-1} Zn não tem efeito na qualidade fisiológica dos grãos e na produção da cultura quando os grãos são cultivados.

Referências bibliográficas

ALLOWAY, B.J. Zinc in soils and crop nutrition. International Zinc Association, Brussels. **IZA Publications**, p. 1–116, 2004.

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. (Ed.). **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. 355p.

BOONCHUAY, P.; CAKMAK, I.; RERKASEM, B.; PROM-U-THAI, C. Effect of different foliar zinc application at different growth stages on seed zinc concentration and its impact on seedling vigor in rice. **Soil Science and Plant Nutrition**, v.59, n.2, p.180-188, 2013.

CAKMAK, I. Plant nutrition research: Priorities to meet human needs for food in sustainable ways. In: Progress in Plant Nutrition: Plenary Lectures of the XIV International Plant Nutrition Colloquium. **Springer Netherlands**, p.3-24, 2002.

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. **Journal Agricultural Food Chemistry**, v.58, p.9092–9102, 2010.

CAMBRAIA, T.L.L. Biofortificação agrônômica do feijão pelo manejo da adubação com Zn. (Dissertação de Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2015, p.49.

CAMBRAIA, T.L.L. Aspectos fisiológicos, nutricionais e morfológicos da biofortificação agrônômica de grãos de feijão com zinco (Tese doutorado) – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2019, p.92.

CARRÃO-PANIZZI, M. C.; MANDARINO, J. M. G. **Soja: Potencial de Uso na Dieta Brasileira**. EMBRAPA, Londrina – PR. Documentos, v.113, p.16, 1998.

INTERNATIONAL FOOD POLICY RESEARCH INSTITUTE - IFPRI. **Global nutrition report 2016: from promise to impact: ending malnutrition by 2030**. Washington: IFPRI, p. 182, 2016.

CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. Campinas: Fundação Cargill, 3ª ed., p.424, 1988.

FAGERIA, N.K. Níveis adequados e tóxicos de zinco na produção de arroz, feijão, milho, soja e trigo em solo de cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.4, n.3, p.390-395, 2000.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos: safra 2016/17: sétimo levantamento**. Brasília: Conab, p. 162, 2017.

GALRÃO, E.Z. Micronutrientes, p.185-226. In: SOUSA, D.M.G. de; LOBATO, E. (Ed.). Cerrado: correção do solo e adubação. **Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Planaltina: Embrapa Cerrados**, 2004.

GONÇALVES JUNIOR, A.C.; NACKE, H.; MARENGONI, N. G.; DE CARVALHO, E. A.; COELHO, G. F. Produtividade e componentes de produção da soja adubada com diferentes doses de fósforo, potássio e zinco. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.34, n.3, p.660-666, 2010.

GOSELINK, R. M. A.; JONGBLOED, A. W. Zinc and Copper in dairy cattle feeding. **Wageningen UR Livestock Research**, Report 519, Reference ISSN 1570 – 8616, 2012.

HUSSAIN, S. et al. Biofortification and estimated human bioavailability of zinc in wheat grains as influenced by methods of zinc application. **Plant and Soil**, v.361, p.279–290, 2012.

INOCENCIO, M. F. Frações de zinco no solo e Biofortificação Agronômica com selênio , ferro e zinco em soja e trigo. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Lavras, 2014, 89p.

LOPES, A.S. **Solos sob cerrado: características, propriedades e manejo**. Piracicaba: POTAFÓS, 1984. 162p.

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**, v.14, p.459-470, 2014.

MILLER, W. J. Zinc nutrition of cattle: a review. **Journal of Dairy Science**. v.53, p.1123–1135. 1970.

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

OZTURK, L.; YAZICI, M. A.; YUCEL, C.; TORUN, A.; CEKIC, C.; BAGCI, A.; OZKAN, H.; BRAUN, H.; SAYERS, Z.; CAKMAK, I. Concentration and localization of zinc during seed development and germination in wheat. **Physiologia Plantarum**, v.128, n.1, p.144-152, 2006.

QUI; CHANG. The origin and history of soybean, p.1-23. In: SINGH, G. **The soybean: Botany, Production and uses**. CABI, UK, 2010.

RENGEL, Z.; GRAHAM, R.D. Importance of seed Zn content for wheat growth on Zn-deficient soil – II grain yield. **Planta and Soil Dordrecht**, v.173, n.3, p.267-274, 1995.

OLIVEIRA, N. P. Genotypic variation of agronomic traits as well as concentrations of Fe, Zn, P and phytate in soybean cultivars. **Revista Ceres**, v.63, p. 403-411, 2016.

RABOY, V.; DICKINSON, D. B.; BELOW, F. E. Variation in seed total phosphorus, phytic acid, zinc, calcium, magnesium, and protein among lines of Glycine max and G. soja. **Crop Science**, v.24, n.3, p. 431–434, 1984.

VENABLES, W. N.; RIPLEY, B.D. Modern Applied statistics with S (4^a ed.) , **Springer, Heidelberg**, 2002.

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**, v.306, p.37-48, 2008.

WHITE, P.J.; BROADLEY, M.R. Biofortification of crops with seven mineral elements often lacking in human diets–iron, zinc, copper, calcium, magnesium, selenium and iodine. **New Phytologist**, v.182, n.1, p.49-84, 2009.

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. **Journal Plant Nutrition**, v.20, p.461-471, 1998.

ZOU, T.; XU, N.; HU, G.; PANG, J.; XU, H. Biofortification of zinc soybean sprouts and zinc bioaccessibility in sproutsZou. **Journal Science Food Agriculture**. v.94, p.3053-3060, 2014.

Recebido em 16 de agosto de 2019

Aceito em 3 de outubro de 2019

Registro no Identificador Digital ORCID

Após seu registro, você poderá adicionar suas publicações ao seu perfil ORCID

- [ORCID](#)

OBS: após criar seu perfil, você poderá sincronizá-lo ao seu Curriculum Lattes

Cadastro dos artigos em repositórios

Crie seu perfil e cadastre seus artigos em repositórios gratuitos

- [Google Scholar](#) (perfil oficial da Revista Agrária Acadêmica)
- [Mendeley](#)
- [Publons](#)
- [Zotero](#)

Divulgação científica na mídia social

Os artigos podem adquirir maior atenção e atividade relativa na mídia social

- [Facebook](#) (perfil oficial da Revista Agrária Acadêmica)
- [Instagram](#) (perfil oficial da Revista Agrária Acadêmica)
- [Linkedin](#) (perfil oficial da Revista Agrária Acadêmica)
- [Twitter](#) (perfil oficial da Revista Agrária Acadêmica)

Aplicativo da Revista Agrária Acadêmica

Acesse pelo celular ou computador

- [app/agrariacad](#)

Use um leitor de QR Code

