



**ANA STELLA FREIRE GONÇALVES**

**AVALIAÇÃO DE HÍBRIDOS DE MILHO VISANDO À  
BIOFORTIFICAÇÃO COM ZINCO**

**LAVRAS-MG**

**2017**

**ANA STELLA FREIRE GONÇALVES**

**AVALIAÇÃO DE HÍBRIDOS DE MILHO VISANDO À BIOFORTIFICAÇÃO  
COM ZINCO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, área de concentração em Produção Vegetal, para a obtenção do título de Mestre.

Orientador

Prof. Dr. Renzo Garcia Von Pinho

Coorientador

Prof. Dr. Luiz Roberto Guimarães Guilherme

**LAVRAS-MG**

**2017**

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Gonçalves, Ana Stella Freire.

Avaliação de híbridos de milho visando à biofortificação com zinco / Ana Stella Freire Gonçalves. - 2017.

57 p. : il.

Orientador(a): Renzo Garcia Von Pinho.

Coorientador(a): Luiz Roberto Guimarães Guilherme.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de Lavras, 2017.

Bibliografia.

1. Micronutrientes. 2. Adubação foliar. 3. Alimentos biofortificados. I. Von Pinho, Renzo Garcia. II. Guilherme, Luiz Roberto Guimarães. III. Título.

**ANA STELLA FREIRE GONÇALVES**

**AVALIAÇÃO DE HÍBRIDOS DE MILHO VISANDO À BIOFORTIFICAÇÃO  
COM ZINCO**

**EVALUATION OF CORN HYBRIDS FOR ZINC BIOFORTIFICATION**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, área de concentração em Produção Vegetal, para a obtenção do título de Mestre.

Aprovada em 03 de março de 2017.

Prof. Dr. Luiz Roberto Guimarães Guilherme	UFLA
Prof <sup>a</sup> . Dra. Maria Aparecida Pereira Pierangeli	UNEMAT
Prof. Dr. Silvino Guimarães Moreira	UFLA

Prof. Dr. Renzo Garcia Von Pinho  
Orientador

**LAVRAS-MG**  
**2017**

*A Deus e à Nossa Senhora Aparecida, pelo dom da vida, pelas graças concedidas, bem como pela sabedoria e discernimento que me trouxeram até aqui.*

*À minha família, exemplo de pessoas de caráter e respeito, por sempre acreditarem na minha capacidade e me apoiarem nos momentos de fraqueza.*

*A vocês dedico esta conquista, com a mais profunda gratidão!*

## **DEDICO**

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus familiares, pelo amor e apoio incondicional, em especial aos meus pais, pelo incentivo diário.

À Universidade Federal de Lavras e ao Departamento de Agricultura, pela oportunidade de realização do curso.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de bolsa de estudo.

Aos professores Renzo Garcia Von Pinho e Luiz Roberto Guimarães Guilherme, pela orientação e confiança na realização do presente trabalho. Exemplo de profissionais, pelos quais tenho grande admiração e gratidão.

Aos demais professores dos Programas de Pós-Graduação da Universidade Federal de Lavras, pelos conhecimentos transmitidos ao longo desta jornada.

Aos funcionários do Setor de Grandes Culturas, pela colaboração nos trabalhos de campo.

Aos colegas de orientação e integrantes do Grupo do Milho, em especial ao Marco Túlio, Karen, Renato, Pato, Renatão e Luiz Paulo, pela disposição e por serem sempre tão solícitos.

Aos demais colegas do Departamento de Agricultura e de Ciências do Solo, em especial à Geila, à Marcele e ao João, pelos bons momentos, pela amizade e prestatividade, durante toda a minha trajetória.

**MUITO OBRIGADA!**

## RESUMO

A desnutrição humana por zinco (Zn) é uma preocupação crescente no cenário contemporâneo. Classificada entre as mais graves deficiências de micronutrientes, sobretudo em países em desenvolvimento, ela é considerada uma das principais causas da mortalidade infantil. Cereais como o milho (*Zea mays* L.), se destacam como fonte de alimento nesses países, contudo, apresenta baixa concentração de Zn, o que não contribui para minimizar o quadro de deficiência em humanos. Diante dessa situação, a biofortificação pode se tornar uma técnica promissora, a fim de aumentar o teor de micronutrientes selecionados, em alimentos básicos, melhorando a qualidade nutricional destes. Nesse contexto, este estudo selecionou híbridos de milho que estão no mercado, visando à biofortificação com o micronutriente Zn, por meio do manejo da adubação foliar. Foi quantificada a concentração de Zn nos grãos, em experimentos de campo, durante duas estações de cultivo, por meio da digestão ácida, seguida de análise via espectrofotômetro de absorção atômica. Os resultados forneceram informações para seleção de genótipos com maior potencial de absorção de Zn, visando à segurança alimentar da população, sobretudo naquela de baixa renda. De maneira geral, para as diferentes doses aplicadas, dentro de uma mesma época de cultivo, os híbridos apresentaram as maiores concentrações de Zn em grãos quando aplicada a maior dose do sulfato ( $10\text{g L}^{-1}$ ), atingindo concentrações médias de até  $24,48\text{mg kg}^{-1}$ , exceto o híbrido RB9077, que atingiu  $27,62\text{mg kg}^{-1}$ , quando aplicados  $5\text{g L}^{-1}$  do sulfato, na segunda época de cultivo. Embora as médias apresentadas pelos híbridos para a concentração de Zn nos grãos estejam abaixo do valor alvo ( $40\text{mg kg}^{-1}$ ) estabelecido pelo programa Harvest Plus, estudos relatam que a aplicação do Zn em estádios mais tardios da cultura, pode ser uma alternativa responsiva, resultando em uma maior translocação do nutriente para os grãos, posto a maior demanda durante a fase de enchimento dos mesmos.

**Palavras-chave:** Micronutrientes. *Zea mays* L. Alimentos biofortificados. Qualidade nutricional. Adubação foliar.

## ABSTRACT

Human malnutrition by zinc (Zn) is a growing concern in the contemporary setting. Classified among the most serious micronutrient deficiencies, especially in developing countries, it is considered a major cause of child mortality. Cereals such as maize (*Zea mays* L.) stand out as a source of food in these countries, however it presents a low Zn concentration, which it does not contribute to minimize the deficiency in humans. In view of this situation, biofortification may become a promising technique, in order to increase the selected micronutrient content in basic foods, improving their nutritional quality. In this context, this study selected hybrids of maize that are on the market, aiming biofortification with the micronutrient Zn, by means the management of foliar fertilization. The concentration of Zn in the grains was quantified in field experiments during two growing seasons by means of acid digestion followed by atomic absorption spectrophotometer analysis. The results provided information for the genotypes selection with higher Zn uptake potential, aiming the food security of the population, especially in the low income population. In general, for the different doses applied, within the same growing season, hybrids presented the highest Zn concentrations in grains when the highest dose of sulfate ( $10\text{g L}^{-1}$ ) was applied, reaching average concentrations up to  $24.48\text{mg Kg}^{-1}$ , except for the hybrid RB9077, which reached  $27.62\text{mg kg}^{-1}$ , when  $5\text{g L}^{-1}$  of sulfate was applied in the second growing season. Although the averages presented by the hybrids for the Zn concentration in the grains are below the target value ( $40\text{mg kg}^{-1}$ ) established by the Harvest Plus program, studies report that the Zn application at later stages of the crop can be a responsive alternative, resulting in a greater translocation of the nutrient to the grains, placing the greater demand during the filling phase of the grains.

**Keywords:** Micronutrients. *Zea mays* L. Biofortified foods. Nutritional quality. Foliar fertilization.



## LISTA DE TABELAS

### PRIMEIRA PARTE

<b>Tabela 1</b>	<b>Fontes, doses e métodos de aplicação de Zn na cultura do milho em Latossolo Vermelho Escuro. Planaltina - DF.....</b>	<b>18</b>
<b>Tabela 2</b>	<b>Ingestão diária de nutrientes, recomendada para homens e mulheres com idade entre 20 e 50 anos.....</b>	<b>20</b>

## SUMÁRIO

<b>PRIMEIRA PARTE</b> .....	10
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	10
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	13
<b>2.1 A cultura do milho: antecedentes e utilização</b> .....	13
<b>2.1.2 Mercado mundial: produção e consumo</b> .....	13
<b>2.2 Zinco no sistema solo-planta</b> .....	14
<b>2.3 Zinco e a nutrição humana</b> .....	19
<b>2.4 Uso potencial da biofortificação na agricultura</b> .....	21
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	24
<b>SEGUNDA PARTE – ARTIGO</b> .....	30
<b>ARTIGO – ADUBAÇÃO FOLIAR COMO ESTRATÉGIA DE BIOFORTIFICAÇÃO EM MILHO</b> .....	30
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	33
<b>2 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	34
<b>3 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	40
<b>3.1 Produtividade de grãos</b> .....	41
<b>3.2 Concentração foliar de Zn</b> .....	43
<b>3.3 Concentração de Zn no grão</b> .....	47
<b>4 CONCLUSÕES</b> .....	53
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	54

## **PRIMEIRA PARTE**

### **1 INTRODUÇÃO**

Estima-se que a população mundial continuará a crescer em ritmo acelerado por muitos anos, atingindo em 2050, aproximadamente, nove bilhões de pessoas (GODFRAY et al., 2010). As populações de países em desenvolvimento, como o Brasil, geralmente sofrem de desnutrição e a chamada fome oculta, que pode causar doenças devido à deficiência de micronutrientes, chegando a afetar mais de dois bilhões de pessoas em todo o mundo (BOUIS; WELCH, 2010).

O ser humano requer, pelo menos, 22 nutrientes para satisfazer suas necessidades metabólicas. A deficiência ou o consumo inadequado de um desses nutrientes pode gerar distúrbios fisiológicos, aumento das taxas de mortalidade, baixo rendimento produtivo, retardo mental, crescimento inadequado, entre outros (LONG; BANZIGER; SMITH, 2004; OIKEH et al., 2003; WELCH; GRAHAM, 2004). É necessária a ingestão diária de uma quantidade suficiente de sais minerais, tais como ferro (Fe) e Zn, a fim de manter as funções metabólicas do organismo humano adequadas (RIBEIRO et al., 2008). Logo, a introdução de produtos agrícolas biofortificados, com valor nutricional superior, pode ser uma importante estratégia de baixo custo para aumentar a segurança alimentar.

A biofortificação pode ser alcançada através do manejo agrônômico, melhoramento convencional, ou por biotecnologia vegetal. No Brasil, o programa BIOFort, desenvolvido pela EMBRAPA (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA), estuda oito diferentes culturas (abóbora, arroz, batata-doce, feijão, feijão-frade, mandioca, milho e trigo), visando à biofortificação. Entre os primeiros produtos agrícolas biofortificados desenvolvidos pela EMBRAPA, destaca-se a mandioca amarela de mesa, BRS Jari, fonte natural de energia, pouco fibrosa e com mais vitamina A do que a tradicional, além de deter a característica de conservar boa parte das suas propriedades nutritivas após o cozimento. Outro destaque é a cultivar de feijão caupi, conhecida como Xiquexique, cujos grãos possuem maior teor de Fe comparado às cultivares mais consumidas no país (DE FREITAS et al., 2011).

A biofortificação do milho tem como principais objetivos aumentar os teores de carotenoides, principalmente os precursores de vitamina A (ex:  $\beta$ -caroteno), de minerais, aminoácidos e proteínas (lisina e triptofano), de vitaminas e flavonoides, bem como aumentar a fitase e ferritina (BORÉM; RIOS, 2011).

Experimentos de longa duração realizados no Brasil e no exterior, demonstraram que os fertilizantes minerais contribuem com 30 a 50% no aumento de produtividade de grãos, além de melhorar a qualidade nutricional dos mesmos (STEWART et al., 2005; MALAVOLTA; MORAES, 2009). Com o intuito de aumentar a produtividade, o consumo de micronutrientes na agricultura brasileira vem crescendo ao longo do tempo, permitindo um balanço positivo entre a entrada por meio dos fertilizantes e corretivos e a saída via colheitas, melhorando a fertilidade do solo e aumentando a produção agrícola, com ganhos de produtividade (ABREU; LOPES; SANTOS, 2007). Além disso, a maior utilização de fertilizantes contendo micronutrientes vem ocorrendo devido ao desenvolvimento de variedades com alto potencial produtivo, que apresentam maior demanda nutricional, às perdas anuais de solo por erosão e à geração de tecnologias de cultivo voltadas para regiões onde os solos são naturalmente pobres em micronutrientes, como é o caso do Cerrado (LOPES; SOUSA, 2001).

Os micronutrientes podem ser aplicados no solo, na parte aérea das plantas, nas sementes e por meio da fertirrigação. Quando aplicado via foliar, a probabilidade desses micronutrientes, em sua maioria, serem transportados até os frutos e outras regiões em crescimento é maior que a aplicação via solo ou via tratamento de sementes, porém, em quantidades nem sempre suficientes (WELCH, 1995).

Um estudo sobre o efeito da adubação foliar com Zn, Fe e selênio (Se), realizado na China, com a cultura do arroz, demonstrou que em ótimas condições de cultivo, os teores desses nutrientes podem ser incrementados em até 36,7%, 194% e 37,1%, respectivamente, nos grãos (FANG et al., 2008). Outras práticas de manejo, como a rotação de culturas e o uso de biofertilizantes, também podem elevar o teor de micronutrientes nos vegetais, como relatado por Zuo e Zhang (2009) em cultivos consorciados de gramíneas com leguminosas, em que houve aumento nos teores de Fe e Zn nas sementes, quando comparados ao monocultivo.

Por outro lado, a existência da variabilidade genética torna possível a obtenção de linhagens promissoras para o uso da biofortificação, permitindo aos melhoristas explorar efeitos genéticos aditivos, segregação transgressiva e a heterose. Outros parâmetros que também devem ser considerados é a influência de fatores ambientais, de fatores antinutricionais presentes nos grãos e o efeito do processamento na disponibilidade dos nutrientes nos grãos (ORTIZ-MONASTERIO et al., 2007).

No Brasil, já foram realizados diversos estudos sobre a nutrição mineral da cultura do milho com macro e micronutrientes, porém pouca atenção tem sido dada à aplicação destes quando o objetivo é o aumento dos seus teores nos grãos visando à segurança alimentar.

Saúde humana e nutrição vegetal são temas que devem ser analisados em conjunto, posto que a maioria dos nutrientes que são essenciais ao homem, também desempenham funções importantes no metabolismo vegetal (SOUZA, 2013).

Nesse contexto, este estudo foi conduzido com o objetivo de avaliar o acúmulo de Zn e a produtividade de grãos em diferentes híbridos de milho, em função de doses de sulfato de Zn aplicadas via foliar, em diferentes épocas de cultivo.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 A cultura do milho: antecedentes e utilização

O milho (*Zea mays* L.) é uma espécie diploide e alógama, pertencente à família Poacea (*Gramineae*). Originado aproximadamente de sete a dez mil anos atrás no México e na América Central, é considerado uma das plantas cultivadas mais antigas e um dos vegetais superiores mais estudados. Sua origem tem sido bastante discutida e várias hipóteses foram propostas, sendo as mais consistentes aquelas que demonstram que o milho descende do teosinte (gramínea com várias espigas sem sabugo), que pode cruzar naturalmente com o milho e produzir descendentes férteis (GALINAT, 1995).

De acordo com Borém e Giúdice (2004), devido à separação das inflorescências masculina e feminina (monoícia), do número de sementes produzidas, da facilidade de manipulação, da natureza dos cromossomos e do baixo número dos mesmos ( $n = 10$ ), o milho presta-se muito bem a estudos genéticos. A cultura é plantada em praticamente todos os países, sendo, portanto, considerada uma espécie polítípica (FORNASIERI FILHO, 2007). É encontrada nas mais variadas condições de clima e manejo, do nível do mar até as áreas acima de três mil metros de altitude; em regiões com menos de 600 milímetros de precipitação, até áreas com mais de 2.500 milímetros ao ano.

Considerado uma rica fonte energética, a sua principal utilização é como constituinte de rações para animais monogástricos, além de ser usualmente consumido na forma de seus derivados para a nutrição humana, sendo a farinha, a canjica e o fubá os mais consumidos no Brasil (PONCIANO; SOUZA; REZENDE, 2003). Base alimentar em muitos países, é utilizado na produção de centenas de produtos; é rico em compostos com potenciais benefícios para a saúde, como os carotenoides, compostos fenólicos, vitamina E e minerais, que atuam como cofatores para as enzimas antioxidantes.

#### 2.1.2 Mercado mundial: produção e consumo

No atual cenário mundial, os Estados Unidos (EUA), China e Brasil concentram as maiores produções de milho, representando 65% da produção mundial do cereal (INSTITUTO MATO-GROSSENSE DE ECONOMIA AGROPECUÁRIA - IMEA, 2017). Para a safra 2016/17, o Departamento de Agricultura dos EUA prevê, uma produção global recorde de 1049,2 milhões de toneladas, sendo esse resultado fortemente influenciado pelo incremento da oferta

na América do Sul, em especial o Brasil (UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE - USDA, 2017).

Em relação ao consumo global do cereal, estima-se um aumento de aproximadamente 6,4 milhões de toneladas, totalizando 1039,4 milhões de toneladas consumidas. Já em relação à importação, o Japão é o maior importador do cereal, seguido pela União Europeia e México (USDA, 2017). Apesar do grande avanço, os grandes compradores mundiais estão reduzindo os volumes adquiridos, abrindo espaço para outros no mercado, como o México, Irã, Indonésia, Arábia Saudita e o bloco econômico da União Europeia.

Paralelamente, o mercado de exportação também cresceu em ritmo acelerado nas últimas safras, sendo atualmente dominado pelos EUA, Brasil (ambos se caracterizam por serem grandes produtores e consumidores de boa parte da sua produção), Ucrânia e Argentina (estes, destinam mais de 60% de sua produção para o mercado externo) (IMEA, 2017). As estimativas de exportações mundiais do cereal chegam a aproximadamente 152,9 milhões de toneladas, resultando em um volume 27,2% a mais do que em 2015/16 (USDA, 2017).

Apesar de os EUA ainda deterem a hegemonia nas exportações, ele já sofre com a competição de países como a Argentina e o Brasil que estão em ascensão no mercado. De forma geral, o clima favorável, o aumento na produtividade e da área cultivada foram as principais razões pelo excelente desenvolvimento das lavouras nesses países (USDA, 2017).

Contudo, o grande entrave da logística brasileira está nas distâncias dos centros produtores de milho, dos portos, além das precárias condições rodoviárias. Segundo a Confederação Nacional de Transportes (CNT), dos 1,56 milhões de quilômetros de rodovias no Brasil, apenas 210 mil quilômetros são pavimentados, classificando a densidade rodoviária brasileira como uma das mais baixas se comparada à dos grandes produtores de soja e milho do mundo (CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES - CNT, 2015).

## **2.2 Zinco no sistema solo-planta**

Os micronutrientes desempenham funções vitais no metabolismo das plantas, quer como parte de compostos responsáveis por processos metabólicos e fisiológicos, quer como ativadores enzimáticos (VITTI; QUEIROZ; QUINTINO, 2011). Componente estrutural, funcional e ativador enzimático (MALAVOLTA, 2006), o Zn está presente em enzimas (desidrogenases, proteinases, peptidases e fosfohidrolases); atua no metabolismo de carboidratos, proteínas e fosfatos; na formação de estruturas das auxinas, RNA e ribossomos (BORKERT, 1989); no metabolismo de fenóis; no aumento do tamanho e multiplicação

celular; e na fertilidade do grão de pólen (MALAVOLTA; BOARETTO; PAULINO, 1991). A sua essencialidade para as plantas foi estabelecida cientificamente por Chandler, Hoagland e Hibbard, em 1932.

Dentro da planta, o Zn possui mobilidade intermediária entre os elementos altamente móveis, como potássio ou fósforo, e imóvel, como cálcio e manganês. A sua maior ou menor translocação depende da sua disponibilidade na parte vegetativa (MARSCHNER, 1995). Estudos realizados por Cakmak (2010) e Pfeiffer e McClafferty (2007) mostram que plantas de trigo, cultivadas em solos com baixos teores de Zn disponíveis, apresentaram menores concentrações do nutriente que plantas cultivadas em locais onde a disponibilidade desse nutriente era maior.

O Zn é o 23º elemento mais abundante na crosta terrestre, podendo existir no solo na forma de minerais primários ou íons na forma  $Zn^{+2}$  (ALLOWAY, 2009; MALAVOLTA, 2006). Conforme relatado por Lopes (1999), ele movimenta-se por difusão no solo, ou seja, dos pontos de maior para os pontos de menor concentração.

Seus teores totais no solo variam entre 60 e 89  $mg\ kg^{-1}$  (BROADLEY et al., 2007; KABATA-PENDIAS, 2011), dependendo da rocha de origem e das fontes de deposição, sendo a blenda (sulfeto de Zn), a esmitsonita (carbonato de Zn), a franklinita (espinélio\* de Zn e Fe), a calamina (silicato básico de Zn) e a zincita (óxido de Zn), os principais minerais; enquanto nas plantas, a concentração varia de 20 a 120  $mg\ kg^{-1}$  na matéria seca (MALAVOLTA, 2006).

Segundo Camargo (1991), a adsorção e a precipitação constituem os principais mecanismos que controlam a disponibilidade do Zn na solução do solo. Essa disponibilidade é afetada por práticas de manejo, como a supercalagem e a sua não incorporação em sistemas de plantio direto (NOGUEIRA, 2016), que reduzem a sua disponibilidade devido ao aumento da retenção no complexo coloidal ou à redução da solubilidade de suas fontes (QUAGGIO, 2000); pela adubação fosfatada, além das características químicas do solo (pH, CTC, teor de matéria orgânica, cátions e ânions solúveis) e mineralógicas (tipo e teor de argila e hidróxidos de Al e Fe) (ROSOLEM; FRANCO, 2000), bem como condições de baixas temperaturas e excesso de umidade (ALLOWAY, 2009; KABATA-PENDIAS, 2011; MALAVOLTA, 2006). Além de possuir um alto efeito residual em solos muito intemperizados, ligando-se a fração argila, o Zn tem uma alta afinidade pela matéria orgânica (SILVEIRA, 2002). Diante disso, quando comparadas as práticas de semeadura convencional (SSC) e plantio direto (SPD), vários autores atribuem as maiores quantidades de Zn “trocáveis” no SPD aos teores mais elevados de matéria orgânica existentes nos solos submetidos a esse sistema de cultivo



(MOREIRA, 2003). Em áreas de SPD, a rotação de culturas diminui a utilização de nitrogenados, além de disponibilizar maiores teores de micronutrientes na superfície do solo, devido à alta quantidade de resíduos culturais, que aumentam o conteúdo de MO (EDWARDS et al., 1992; RHOTON, 2000).

Contudo, devido aos altos valores de pH na camada superficial dos solos brasileiros (CAIRES; BANZATTO; FONSECA, 2000), há uma complexação desses metais pela MO e redução das formas trocáveis de Zn (NASCIMENTO et al., 2002). Sims e Patrick (1978) observaram altos teores de Zn na forma trocável, em solos com pH (água) de 4,5, e baixos teores em pH 6,0. Em solos arenosos, a maior parte do Zn estava na fração trocável até pH (água) 5,2, mas acima deste valor, estava complexado organicamente e ligado aos óxidos de Fe (SIMS, 1986).

A deficiência de Zn vem agravando-se com o cultivo intensivo ao longo do tempo, sobretudo em solos arenosos e na região do Cerrado, sendo a mais comum entre os micronutrientes (GONÇALVES JUNIOR, 2010), aliada ao boro (B), causando deficiências nutricionais, sobretudo, na cultura do milho, no Brasil.

É importante lembrar que as exigências nutricionais do milho diferem quanto à extração de nutrientes e à remobilização destes, dos diferentes órgãos da planta para os grãos (VANCONCELLOS et al., 1998). Portanto, conhecer a dinâmica de absorção dos nutrientes nos diferentes estádios fenológicos da cultura, permite determinar o potencial de resposta à adubação e as épocas de maior exigência nutricional (CIAMPITTI; VYN, 2013), possibilitando a aplicação na quantidade, forma e época adequada garantindo o equilíbrio nutricional da planta e a máxima expressão do seu potencial genético. A recomendação de Zn para a cultura do milho é muito variável, e as curvas de absorção ao longo do ciclo refletem as quantidades de nutrientes que a planta necessita. Contudo, elas variam conforme as condições climáticas, manejo agrônomico e ambientes de cultivo (CASTOLDI et al., 2009).

Com o intuito de aumentar a produtividade, a aplicação de micronutrientes tornou-se uma prática importante para a produção agrícola. O Zn pode ser aplicado no solo, na parte aérea das plantas, principalmente por meio da adubação foliar, nas sementes e através da fertirrigação. Quando aplicado via foliar, a probabilidade do Zn ser transportado até os frutos e outras regiões em crescimento é maior que a aplicação via solo ou via tratamento de sementes, porém, em quantidades nem sempre suficientes (WELCH, 1995). A resposta a esse tipo de aplicação depende dos processos de penetração do elemento através da cutícula, da absorção pelas células foliares e do transporte via floema para drenos preferenciais, sendo, portanto, afetada por condições ambientais, características das folhas, natureza e forma química do elemento, e o estado iônico interno da planta (PEARSON; RENGEL, 1995).

Segundo Ferradom e Chamel (1988), o Zn quelatado (Zn-EDTA) apresenta maior mobilidade do que na forma de sulfato, sugerindo que no floema, o EDTA funcione de maneira semelhante a um carregador natural. Para Welch (1995), no floema, a atividade iônica livre de todos os micronutrientes metais catiônicos, incluindo o Zn, deve ser excessivamente baixa, devido ao alto pH (>8) e alto teor de fosfato (cerca de 14 mmol L<sup>-1</sup>). Logo, esses nutrientes na forma livre seriam precipitados como óxidos, hidróxidos e fosfatos, apresentando-se como complexos de metais na seiva do floema.

Contudo, embora haja aumento de produtividade em função da adubação, há variação do teor de micronutrientes no vegetal, bem como a sua desigual distribuição entre os diferentes tecidos dentro de uma mesma planta. Tal fato pode ser ocasionado por diversos fatores, tais como: densidade do mineral nos tecidos vegetais (WELCH, 2002); características da planta (idade, maturação, espécie, variedade e cultivar); características do meio ambiente em que os cultivos foram realizados (clima, tipo de solo, épocas de cultivo) (RIBEIRO, 2010); práticas de manejo (adubação mineral, cultivo consorciado) (ZUO; ZANG, 2009); interações de genótipos por ambientes; fatores de processamento do alimento (tempo de armazenamento, temperatura, método de preservação e preparação do alimento), entre outros. Porém, como a absorção, o transporte e a redistribuição de nutrientes apresentam controle genético, existe a possibilidade de melhorar e/ou selecionar cultivares mais eficientes quanto à utilização dos nutrientes (GABELMAN; GERLOFF, 1983), proporcionando uma dieta nutricionalmente mais rica para o organismo humano.

No Brasil, a recomendação para aplicação do micronutriente varia de 2,0 a 4,0 kg ha<sup>-1</sup>. Comparando métodos de aplicação na cultura, Galvão (1994) verificou maior eficiência da aplicação do sulfato de Zn a lanço incorporado ao solo e da pulverização foliar. Entretanto, a aplicação nas sementes, em doses menores, também mostrou-se eficiente na produção de grãos.

**Tabela 1 - Fontes, doses e métodos de aplicação de Zn na cultura do milho em Latossolo Vermelho Escuro. Planaltina - DF.**

Fontes de Zn	Doses de Zn (kg ha <sup>-1</sup> )	Método de aplicação	Zn no solo (ppm)	Produção de grãos (kg ha <sup>-1</sup> )
Sulfato de Zn	0,4	a lanço	0,9	5.478
Sulfato de Zn	0,4	no sulco	0,4	4.913
Sulfato de Zn	1,2	a lanço	1,2	7.365
Sulfato de Zn	1,2	no sulco	1,0	5.898
Sulfato de Zn	3,6	a lanço	1,6	7.408
Óxido de Zn <sup>1</sup>	0,8	nas sementes	0,4	6.156
Sulfato de Zn <sup>2</sup>	1%	via foliar - 2	0,4	7.187
Sulfato de Zn <sup>3</sup>	1%	via foliar - 3	0,4	7.187
Testemunha			0,3	3.880

<sup>1</sup> Óxido de Zn (80% de Zn): 1 kg de ZnO para 20 kg de sementes.

<sup>2</sup> Solução a 1% de sulfato de Zn (23% de Zn): 3<sup>a</sup> e 5<sup>a</sup> semanas após emergência.

<sup>3</sup> Solução a 1% de sulfato de Zn (23% de Zn): 3<sup>a</sup>, 5<sup>a</sup> e 7<sup>a</sup> semanas após emergência.

Fonte: adaptada de Galvão (1994).

O seu teor nas plantas varia bastante dependendo das espécies e de fatores do solo. Normalmente, o teor adequado situa-se na faixa de 20 a 50 mg dm<sup>-3</sup>, sendo os sintomas de deficiência frequentes e perceptíveis para teores menores que 20 mg dm<sup>-3</sup> (BUZZETTI, 1991).

Sintomas como a redução na altura de plantas, o amarelecimento e a necrose das folhas, redução da produtividade e o encurtamento dos internódios (FAQUIN, 2005) são tipicamente notados, e, em casos de deficiência severa, as folhas ficam esbranquiçadas, o sistema radicular superficial e não há formação de espiga (FORNASIERI FILHO, 2007). Eles são observados primeiramente nas partes mais novas da planta, devido à baixa mobilidade do nutriente. Além de afetar a qualidade nutricional dos grãos, a deficiência contribui para problemas de saúde em humanos, principalmente em países em que os cereais são a principal fonte de alimentos.

Assim como a deficiência, o excesso de Zn em áreas agrícolas também torna-se prejudicial às plantas, induzindo a efeitos negativos no transporte de íons e processos metabólicos, tais como fotossíntese, transpiração e atividades enzimáticas, podendo inibir o seu crescimento (VAILLANT et al., 2005). Além disso, altos níveis de Zn podem também contribuir para a formação de espécies reativas de oxigênio (EROS), que afetam diretamente a atividade fotossintética, provocando decréscimo no acúmulo de biomassa (CUYPERS; VANGRONSVELD; CLIJSTERS, 2001) e atraso no crescimento (MALAVOLTA, 2006).

Diversos trabalhos demonstram haver diferenças genéticas na absorção de nutrientes e na eficiência de conversão de assimilados em produção de grãos de milho. Logo, informações

atualizadas sobre aspectos nutricionais são fundamentais para o aumento da eficiência no manejo e qualidade nutricional dos grãos, proporcionando ganhos em produtividade, melhorando a segurança alimentar e otimizando os custos da lavoura, pela utilização racional e eficiente dos fertilizantes.

### **2.3 Zinco e a nutrição humana**

No cenário contemporâneo, mesmo com a produção de alimentos acompanhando o crescimento populacional, boa parte da população apresenta deficiências nutricionais, principalmente em países em desenvolvimento, ocasionadas pela falta de Zn, Fe, iodo (I), selênio (Se) e vitamina A. Estimativas apontam que, em relação à deficiência de Zn, um terço da população mundial vive em condições de alto risco (HOTZ; BROWN, 2004). Há, aproximadamente, 800 mil óbitos de crianças por ano que estão relacionados à carência desse mineral, posto que a sua necessidade passa a ser maior devido ao rápido crescimento, sobretudo naquelas crianças com baixo peso ao nascer (BLACK, 2003).

O Zn é um micronutriente essencial à homeostase humana, utilizado como constituinte integral e cofator em mais de 300 metaloenzimas. Está envolvido em inúmeros pontos do metabolismo (síntese proteica, replicação de ácidos nucleicos, divisão celular, metabolismo da somatomedina, modulação da prolactina, ação da insulina e de hormônios tireoidianos, da suprarrenal e testículos), além de exercer importante função na cicatrização e atuar no sistema imunológico humano.

Em adição, o Zn, participa da estrutura da enzima SOD (superóxido dismutase), junto ao cobre, sendo sua atividade reduzida pela deficiência desse mineral. Embora com funções orgânicas vitais, apresenta-se em quantidades diminutas no organismo humano, estando alocado principalmente no fígado e nos ossos. Logo, são recomendadas doses diárias de Zn, em função da idade, gênero, tipo de dieta e outros fatores, variando de 3 a 17 mg dia<sup>-1</sup> (HOTZ; BROWN, 2004). As doses diárias recomendadas para Zn, bem como para outros nutrientes como Fe, I, Se, e vitamina A, considerados essenciais para o bom funcionamento do metabolismo humano, e no combate à desnutrição, são listadas na Tabela 1, segundo recomendações da Food and Agriculture Organization of the United Nations - FAO; WORLD HEALTH ORGANIZATION – WHO, 2000.

**Tabela 2 - Ingestão diária de nutrientes, recomendada para homens e mulheres com idade entre 20 e 50 anos.**

<b>Nutrientes</b>	<b>Homens</b>	<b>Mulheres</b>
Vitamina A ( $\mu\text{g}$ retinol equivalente)	100	800
Ferro (mg)	10	15
Zinco (mg)	15	12
Se ( $\mu\text{g}$ )	70	55
I ( $\mu\text{g}$ )	150	150

Fonte: FAO/WHO (2000).

No homem, a deficiência não sistemática de Zn pode provocar distúrbios comportamentais, gastrointestinais, perda de cabelo, irritações cutâneas, anemia e inapetência. Segundo Cakmak et al. (2010), as maiores consequências da deficiência de Zn ao organismo humano são danos às funções do cérebro, ao sistema imunológico e ao crescimento físico. Por outro lado, a sua deficiência evita a formação de aflotoxina, que é a possível causa de câncer no fígado. As ingestões de Zn e o estado nutricional humano podem ser medidos diretamente através da análise de compostos dietéticos ou concentração de Zn em plasma sanguíneo, ou, amostras de soro (JOY et al., 2015).

Uma alimentação pobre em proteínas e calorias, e, rica em cereais, os quais contêm fatores antinutricionais que inibem a absorção de Zn, potencializam os efeitos deletérios de sua carência. Esta é comumente relatada, sobretudo, em países em desenvolvimento, devido à dieta da população ser baseada em produtos vegetais, os quais apresentam baixa biodisponibilidade do nutriente (CAKMAK et al., 2010). Tal biodisponibilidade pode estar relacionada não apenas à baixa ingestão do nutriente, mas também pode ser causada pela presença de inibidores (LÖNNERL, 2000), como o fitato, que formam fortes complexos com o Zn, provocando um efeito negativo na sua absorção (ZHAO; SHEWRY, 2011).

Estima-se que a razão molar PA (ácido fítico): Zn > 15 é comumente classificada em dietas com baixos níveis de Zn biodisponível (JOY et al., 2015). Existe ainda, evidência de que o cálcio (Ca) pode acentuar o efeito do PA sobre a biodisponibilidade de Zn, sendo a razão molar de (Ca  $\times$  PA): Zn > 200, também sugerida como um indicador da baixa biodisponibilidade de Zn em seres humanos (ELLIS et al., 1987).

Anderson et al. (2008) observaram que, dentre 187 crianças desnutridas com seis meses a três anos, 73% apresentaram deficiência de Zn ( $<9,9 \mu\text{mol L}^{-1}$ ). Amesty-Valbuena et al. (2006) e Thakur, Gupta e Kakkar (2004) verificaram que as concentrações desse nutriente, em crianças de zero a cinco anos com desnutrição grave, mostraram redução significativa de níveis plasmáticos em comparação ao grupo controle.

O micronutriente é encontrado em diversos alimentos, principalmente em carnes, fígado, moluscos, ovos, farinhas integrais e leite, que muitas vezes não são acessíveis para as pessoas de baixa renda, ressaltando, portanto, a importância da biofortificação dos vegetais. A adição artificial de Zn a um solo pobre, aumenta muito a produção das culturas e melhora a saúde dos animais, devido à íntima relação espacial entre o solo, a forragem dos animais e os teores do nutriente (GEOSAÚDE, 2015).

#### **2.4 Uso potencial da biofortificação na agricultura**

Perante os índices mundiais de desnutrição humana, diversas intervenções são realizadas para minimizar essa situação, como a suplementação, fortificação e a diversificação da dieta. No entanto, essas abordagens têm como entrave a sua restrita acessibilidade a populações carentes, além dos custos envolvidos na sua implantação (WHITE; BROADLEY, 2009) e a biodisponibilidade dos nutrientes. Os suplementos alimentares, por exemplo, visam complementar e fornecer nutrientes à dieta e são geralmente utilizados por atletas; ao passo que a fortificação se baseia na adição de nutrientes aos alimentos, prática comumente adotada pela indústria de produtos alimentícios. Por outro lado, a biofortificação é uma técnica que visa aumentar o teor de nutrientes nas partes comestíveis dos vegetais, podendo ser uma alternativa sustentável, capaz de fornecer os macro e micronutrientes necessários às populações menos favorecidas.

As plantas provêm à dieta humana, todos os nutrientes necessários para uma vida saudável, quando disponíveis no solo em quantidades suficientes, para suprir a demanda vegetal. Entretanto, os micronutrientes são distribuídos desigualmente, não somente entre as distintas espécies mas também em diferentes tecidos dentro da mesma planta. Normalmente, as folhas contêm todos os micronutrientes necessários para uma dieta balanceada, enquanto os tecidos de reserva, como grãos, raízes e tubérculos, apresentam níveis insuficientes desses nutrientes para atender às necessidades humanas (BEYER, 2010). Em grãos de arroz, trigo, milho e outros cereais, os minerais estão concentrados na camada de aleurona, a qual é removida por polimento ou moagem, resultando na diminuição da concentração de micronutrientes. Além disso, a concentração do mineral diminui acentuadamente em direção ao centro do grão, sendo muito mais baixa no endosperma (WALTER; MARCHEZAN; ÁVILA, 2008).

Perante tais fatos, algumas estratégias podem ser utilizadas visando melhorar o conteúdo nutricional de vegetais e, conseqüentemente, da nutrição humana. São elas: i) reduzir a concentração de antinutrientes, que inibem a biodisponibilidade de minerais e vitaminas; ii)

aumentar as concentrações de nutrientes e de compostos que promovam a biodisponibilidade e iii) aumentar a concentração de minerais e vitaminas (BOUIS et al., 2003).

Os programas de biofortificação baseiam-se na premissa de que os alimentos mais consumidos pelas populações de risco nutricional, a exemplo do milho, do arroz e da mandioca, contêm níveis insuficientes de micronutrientes que satisfaçam as necessidades diárias dessas populações. Por exemplo, os teores de Fe no arroz, são altos nas folhas e muito baixos em grãos polidos. Da mesma forma, os carotenoides provitamina A só são encontrados nas folhas desta cultura (TANG, 2010). Com isso, os esforços da biofortificação são direcionados para o aumento dos níveis de micronutrientes específicos em partes comestíveis das plantas, por meio do manejo agrônomico, melhoramento genético convencional e transgenia.

Os fertilizantes têm viabilizado a segurança alimentar, apontando uma correlação linear positiva entre crescimento populacional e consumo de fertilizantes (ZHANG; ZHANG, 2007). Embora frequentemente utilizados na biofortificação de grãos, às vezes, a aplicação dos fertilizantes pode estar associada a efeitos tóxicos para os organismos do solo e aumentar a lixiviação de nutrientes para as águas subterrâneas.

O alcance da biofortificação por meio do manejo agrônomico, dá-se pela aplicação de fertilizantes nas áreas agrícolas. Os mesmos podem ser aplicados via foliar, no solo, ou no tratamento de sementes. Estudos realizados por Cakmak et al. (2010) e Yilmaz et al. (1997) demonstraram que aplicações de Zn no solo associadas à aplicação foliar, podem aumentar a concentração do nutriente no grão de trigo de três a quatro vezes quando comparado ao tratamento sem aplicação. Adicionalmente, fatores como cultivar, época fenológica de aplicação e dose, podem influenciar diretamente a eficiência de enriquecimento do grão, quando a aplicação do nutriente é realizada via foliar.

Os trabalhos de biofortificação agrônômica são recentes. Contudo, grãos de trigo e arroz, por serem amplamente cultivados e consumidos diariamente pela população de regiões pobres da Ásia, têm recebido maior atenção (HUSSAIN et al., 2012).

Na ausência de variabilidade genética para os nutrientes em questão, a biotecnologia é uma alternativa à biofortificação, devido à sua capacidade de identificar e caracterizar os genes, bem como suas funções – devido às novas tecnologias utilizadas no sequenciamento do genoma, mapeamento físico, estudo de expressão gênica e perfil metabólico em diversos organismos. Com essa técnica, alelos responsáveis pela maior eficiência na absorção e translocação de nutrientes podem ser inseridos em culturas agrícolas de importância econômica e permitir a acumulação de um composto para o tecido alvo desejado, tal como o endosperma de cereais.

Algumas cultivares biofortificadas transgênicas e não transgênicas já estão no mercado com impacto positivo no sentido de prevenir e reverter quadros de deficiências nutricionais, e, devido aos bons resultados já obtidos, essa linha de pesquisa tem se destacado como a técnica com maior potencial para beneficiar a saúde humana (LUCCA; HURRELL; POTRYKUS, 2001).

Quando se comparam a técnica de transgenia com o melhoramento genético convencional, observa-se que naquela, os pesquisadores buscam genes que determinam altos teores de Zn e Fe nos grãos, por exemplo, como os cromossomos 6A e 6B identificados nas plantas de trigo (CAKMAK et al., 2000); ao passo que o melhoramento convencional se baseia na herdabilidade das características de maior acúmulo de nutrientes pelos vegetais.

A mutagênese é também uma alternativa à introdução de novas características nas cultivares, tendo sido utilizada para reduzir níveis de fitato (que limitam a absorção de Fe e Zn ao nível intestinal), por exemplo, em alguns cereais e leguminosas (RABOY, 2002; WELCH, 2002). Por outro lado, prebióticos como a inulina, aumentam a absorção de minerais, e a possibilidade de manipulá-los dentro dos programas de melhoramento tem sido estudada para culturas como mandioca, arroz, milho e trigo (GENC et al., 2005).

A redução de fatores antinutricionais requer mudanças na composição química das sementes, uma vez que estão presentes, na maioria das vezes, em sementes e desempenham papel benéfico no crescimento vegetal. As fitinas, por exemplo, são compostos primários de fósforo, importantes durante a germinação e desenvolvimento vegetal, contribuindo para o vigor e a viabilidade das sementes (BOUIS et al., 2003), porém reduzem a biodisponibilidade de Fe e Zn. Em contrapartida, Hallberg (1981) relata a existência de aminoácidos que contribuem para o aumento desses nutrientes. No entanto, somente a variabilidade genética não garante o sucesso de programas de biofortificação, uma vez que o teor de nutrientes em plantas está relacionado a outros fatores, em especial à disponibilidade de nutrientes no solo (CAKMAK, 2008).

Os programas Harvest Plus, AgroSalud e BIOFort são exemplos de sucesso na linha de pesquisa voltada à biofortificação dos alimentos. Trabalhando para atender às necessidades de populações consideradas de risco, os programas visam à biofortificação de culturas básicas para a alimentação humana, com objetivos específicos para cada cultura, conforme potencial genético e impacto na alimentação daquelas populações. Além disso, buscam desenvolver cultivares que, além de biofortificadas, apresentem alto valor agrônomico e sejam mais eficientes no uso da água e insumos agrícolas (AGROSALUD, 2015). Tais programas são de grande relevância, haja vista que variedades biofortificadas apresentam o potencial de fornecer benefícios contínuos, ano após ano, nos países em desenvolvimento, a um custo recorrente inferior ao da suplementação e da fortificação pós-colheita (GRAHAM et al., 2007).



## REFERÊNCIAS

- ABREU, C. A.; LOPES, A. S.; SANTOS, G. Micronutrientes. In: NOVAIS, R. F. et al. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de ciência do solo, 2007. p. 645-736.
- AGROSALUD. Disponível em: <<http://www.agrosalud.org/>>. Acesso em: 9 mar. 2015.
- ALLOWAY, B. J. Soil factors associated with zinc deficiency in crops and humans. **Environmental Geochemistry and Health**, Oxford, v. 31, n. 5, p. 537-548, Oct. 2009.
- AMESTY-VALBUENA, A. et al. Concentraciones séricas de zinc en niños con diferentes grados de déficit nutricional. **Investigación Clínica**, Maracaibo, v. 47, p. 349-359, 2006.
- ANDERSON, V. P. et al. Co-existing micronutrient deficiencies among stunted Cambodian infants and toddlers. **Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition**, London, v. 17, p. 72-79, 2008.
- BEYER, P. Golden rice and 'Golden' crops for human nutrition. **New Biotechnology**, Oxford, v. 27, n. 5, p. 478-481, 2010. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1871678410004450>>. Acesso em: 15 dez. 2016.
- BLACK, R. Micronutrient deficiency: an underlying cause of morbidity and mortality. **Bulletin of the World Health Organization**, Geneve, v. 81, n. 2, p. 79, 2003.
- BORÉM, A.; GIÚDICE, M. P. Cultivares transgênicos. In: GALVÃO, J. C. C.; MIRANDA, G. V. (Ed.). **Tecnologia de produção do milho**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2004. v. 1, p. 13-53.
- BORÉM, A.; RIOS, S. A. **Milho biofortificado**. Visconde de Rio Branco: Suprema, 2011.
- BORKERT, C. M. Micronutrientes na planta. In: BULL, L. T.; ROSOLEM, C. A. (Ed.). **Interpretação de análise química de solo e planta para fins de adubação**. Botucatu: Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais, 1989. p. 309-329.
- BOUIS, H. E. Micronutrient fortification of plants through plant breeding: can it improve nutrition in man at low cost? **Proceedings of the Nutrition Society**, London, v. 62, p. 403-411, 2003.
- BOUIS, H. E.; WELCH, R. M. Biofortification-A sustainable agricultural strategy for reducing micronutrient malnutrition in the global South. **Crop Science**, Madison, v. 50, p. S20-S32, 2010.
- BROADLEY, M. R. et al. Zinc in plants. **The New Phytologist**, Cambridge, v. 173, p. 677-702, 2007.
- BUZETTI, S. Estudo da eficiência de extratores químicos de zinco, no solo, para milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 16, p. 367-372, 1991.
- CAIRES, E. F.; BANZATTO, D. A.; FONSECA, A. F. Calagem na superfície em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 24, p. 161-170, 2000.

CAKMAK, I. Enrichment of cereal grains with zinc: agronomic or genetic biofortification? **Plant and Soil**, The Hague, v. 302, n. 1/2, p. 1-17, 2008.

CAKMAK, I. et al. Biofortification and localization of zinc in wheat grain. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 58, n.16, p. 9092-9102, July 2010.

CAKMAK, I. et al. Zinc and iron concentrations in seeds of wild, primitive and modern wheat. **Food and Nutrition Bulletin**, Tokyo, v. 21, n. 4, Dec. 2000. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/262963212\\_Zinc\\_and\\_Iron\\_Concentrations\\_in\\_Seeds\\_of\\_Wild\\_Primitive\\_and\\_Modern\\_Wheats](https://www.researchgate.net/publication/262963212_Zinc_and_Iron_Concentrations_in_Seeds_of_Wild_Primitive_and_Modern_Wheats)>. Acesso em: 21 dez. 2016.

CAMARGO, O. A. **Micronutrientes na agricultura**. Piracicaba: POTAFOS, 1991. 244 p.

CASTOLDI, R. et al. Crescimento, acúmulo de nutrientes e produtividade da couve-flor. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 27, n. 4, p. 438-446, 2009.

CIAMPITTI, I. A.; VYN T. J. Maize nutrient accumulation and partitioning in response to plant density and nitrogen rate: calcium, magnesium, and micronutrients. **Agronomy Journal**, Madison, v. 105, p. 1645-1657, 2013.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES. **Entraves logísticos ao escoamento de soja e milho**. Brasília, 2015.

CUYPERS, A.; VANGRONSVELD, J.; CLIJSTERS, H. The redox status of plant cells (AsA and GSH) is sensitive to zinc imposed oxidative stress in roots and primary leaves of *Phaseolus vulgaris*. **Plant Physiology and Biochemistry**, Paris, v. 39, n. 8, p. 657-664, July/Aug. 2001.

DE FREITAS, S. C. et al. Atuação do laboratório de físico-química e minerais da embrapa agroindústria de alimentos no projeto biofortificação. In: REUNIÃO DE BIOFORTIFICAÇÃO NO BRASIL, 4., 2011, Teresina. **Palestras e resumos...** Rio de Janeiro: EMBRAPA Agroindústria de Alimentos; Teresina: EMBRAPA Meio-Norte, 2011. 1 CD-ROM.

EDWARDS, J. H. et al. Tillage and crop rotation on fertility status of a Hapludult soil. **Soil Science Society American Journal**, Washington, v. 56, n. 5, p. 1577-1582, 1992.

ELLIS, R. et al. Phytate: zinc and phytate x calcium : zinc millimolar ratios in self-selected diets of Americans, Asian Indians and Nepalese. **Journal of the American Dietetic Association**, Chicago, v. 87, p. 1043-1047, 1987.

FANG, Y. et al. Effect of foliar application of zinc, selenium, and iron fertilizers on nutrients concentration and yield of rice grain in china. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 56, n. 6, p. 2079-2084, Mar. 2008.

FAQUIN, V. **Nutrição mineral de plantas**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2005.

FERRADON, M.; CHAMEL, R. Cuticular retention foliar absorption and translocation of Fe, Mn and Zn supplied in organic and inorganic form. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 11, n. 3, p. 247-263, 1988.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS; WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Preliminary report on recommended nutrient intakes.** Rome, 2000. 215 p.

FORNASIERI FILHO, D. **Manual da cultura do milho.** Jaboticabal: Funep, 2007. 576 p.

GABELMAN, W. H.; GERLOFF, G. C. The search for and interpretation of genetic controls that enhance plant growth under deficiency levels of a macronutrient. **Plant and Soil**, The Hague, v. 72, p. 335-350, 1983.

GALINAT, W. C. The origin of maize: grain of humanity. **New York Botanical Garden Journal**, New York, v. 44, p. 3-12, 1995.

GALRÃO, E. Z. Métodos de correção da deficiência de zinco para o cultivo do milho num latossolo vermelho-escuro argiloso sob cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 18, p. 229-233, 1994.

GENC, Y. et al. Exploiting genotypic variation in plant nutrient accumulation to alleviate micronutrient deficiency in populations. **Journal of Trace Elements in Medicine and Biology**, Stuttgart, v. 18, p. 319-324, 2005.

GEOSAÚDE. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/pgagem/puerto/geosaude.pdf>>. Acesso em: 15 dez. 2015.

GODFRAY, H. C. J. et al. Food security: the challenge of feeding 9 billion people. **Science**, Washington, v. 327, p. 812-818, 2010.

GONÇALVES JÚNIOR, A. C. et al. 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. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1413-70542010000300019&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-70542010000300019&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: 10 ago. 2015.

GRAHAM, R. D. et al. Nutritious subsistence food systems. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 92, p. 1-74, 2007.

HALBERG, L. Bioavailability of dietary iron in man. **Annual Review of Nutrition**, Palo Alto, v. 1, p. 123-127, 1981.

HOTZ, C.; BROWN, K. N. Assessment of the risk of zinc deficiency in populations and options for its control. **Food and Nutrition Bulletin**, Tokyo, v. 25, p. 94-203, 2004.

HUSSAIN, S. et al. Biofortification and estimated human bioavailability of zinc in wheat grains as influenced by methods of zinc application. **Plant and Soil**, The Hague, v. 361, n. 1/2, p. 279-290, 2012.

INSTITUTO MATO-GROSSENSE DE ECONOMIA AGROPECUÁRIA. **Entendendo o mercado do milho.** Cuiabá, 2017. (Workshop Jornalismo Agropecuário – Uma oportunidade para sua carreira).

JOY, E. J. et al. Zinc-enriched fertilisers as a potential public health intervention in Africa. **Plant and Soil**, The Hague, v. 389, n. 1/2, p. 1-24, 2015.

KABATA-PENDIAS, A. **Trace elements in soils and plants**. 4th ed. New York: CRC, 2011. 505 p.

LONG, J. K.; BANZIGER, M.; SMITH, M. E. Diallel analysis of grain iron and zinc density in southern African-adapted maize inbreds. **Crop Science**, Madison, v. 44, p. 2019-2026, 2004.

LÖNNERL, B. Dietary factors influencing zinc absorption. **The Journal of Nutrition**, Rockville, v. 130, n. 5, 1378S-1383S, May 2000.

LOPES, A. S. **Micronutrientes: filosofia de aplicação e eficiência agrônômica**. São Paulo: Associação Nacional para Difusão de Adubos, 1999. 70 p.

LOPES, A. S.; SOUZA, E. C. A. Filosofias e eficiência de aplicação. In: FERREIRA, M. E. et al. (Ed.). **Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura**. Jaboticabal: CNPq, 2001. p. 255-282.

LUCCA, P.; HURRELL, R.; POTRYKUS, I. Genetic engineering approaches to improve the bioavailability and the level of iron in rice grains. **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v. 102, p. 392-397, 2001.

MALAVOLTA, E.; BOARETTO, A. E.; PAULINO, V. T. Micronutrientes: uma visão geral. In: FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P. **Micronutrientes na agricultura**. Piracicaba: POTAFOS, 1991. p. 1-34.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição de plantas**. São Paulo: Agrônômica Ceres, 2006. 638 p.

MALAVOLTA, E.; MORAES, M. F. Nutrição de plantas, fertilidade do solo, adubação e economia brasileira. In: LAPIDO LOUREIRO, F. E.; MELAMED, R.; FIGUEIREDO NETO, J. (Ed.). **Fertilizantes: agroindústria e sustentabilidade**. Rio de Janeiro: Centro de Tecnologia Mineral, 2009. p. 631-642.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2nd ed. London: Academic, 1995. 889 p.

MOREIRA, S. G. **Formas químicas no solo e disponibilidade de micronutrientes à soja em sistema de semeadura direta**. 2003. 149 p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

NASCIMENTO, C. W. A. et al. Fracionamento, dessorção e extração química de zinco em latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 26, n. 3, p. 599-606, 2002.

NOGUEIRA, L. M. **Doses e modos de aplicação de boro e adubação com zinco na cultura do milho**. 2016. 67 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista – Ilha Solteira, 2016.

OIKEH, S. O. et al. Assessment of concentrations of iron and zinc and bioavailable iron in grains of early-maturing tropical maize varieties. **Journal of Agricultural Food and Chemistry**, Washington, v. 51, p. 3688-3694, 2003.

- ORTIZ-MONASTERIO, J. I. et al. Enhancing the mineral and vitamin content of wheat and maize through plant breeding. **Journal of Cereal Science**, London, v. 46, n. 3, p. 293-307, 2007.
- PEARSON, J. N.; RENGEL, Z. Uptake and distribution of Zn and Mn in wheat grown at sufficient and deficient levels of Zn and Mn. II- During grain development. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 46, n. 288, p. 841-845, 1995.
- PFEIFFER, W. H.; McCLAFFERTY, B. Harvest plus: breeding crops for better nutrition. **Crop Science**, Madison, v. 47, n. 2, p. 88-105, 2007. Suppl.
- PONCIANO, N. J.; SOUZA, P. M.; REZENDE, A. M. Entraves da comercialização à competitividade do milho brasileiro. **Revista Paranaense de Desenvolvimento**, Curitiba, n. 104, p. 23-40, 2003.
- QUAGGIO, J. A. **Acidez e calagem em solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 2000. 111 p.
- RABOY, V. Progress in breeding low phytate crops. **The Journal of Nutrition**, Rockville, v. 132, n. 3, p. 503S-505S, 2002.
- RIBEIRO, N. D. et al. Micromineral composition of common bean cultivars and its application in crop breeding. **Bragantia**, Campinas, v. 67, p. 267-273, 2008.
- RIBEIRO, N. D. Potencial de aumento da qualidade nutricional do feijão por melhoramento genético. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 31, n. 1, p. 1367-1376, 2010.
- RHOTON, F. E. Influence of time on soil response to no-till practices. **Soil Science Society American Journal**, Washington, v. 64, p. 700-709, 2000.
- ROSOLEM, C. A.; FRANCO, G. R. Translocação de zinco e crescimento radicular em milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 24, n. 4, p. 807-814, 2000.
- SILVEIRA, M. L. A. **Extração sequencial e especiação iônica de zinco, cobre e cádmio em Latossolos tratados com bio sólido**. 2002.166 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- SIMS, J. L.; PATRICK, J. W. H. The distribution of micronutrient cations in soil under conditions of varying redox potential and pH. **Soil Science Society American Journal**, Washington, v. 42, p. 258-262, 1978.
- SIMS, J. T. Soil pH effects on the distribution and plant availability of manganese, copper, and zinc organic matter in soil fractions. **Soil Science Society American Journal**, Washington, v. 50, p. 367-373, 1986.
- SOUZA, G. A. **Biofortificação da cultura do trigo com zinco, selênio e ferro: explorando o germoplasma brasileiro**. Lavras: UFLA, 2013.
- STEWART, W. M. et al. The contribution of commercial fertilizer nutrients to food production. **Agronomy Journal**, Madison, v. 97, p. 1-6, 2005.

TANG, G. Bioconversion of dietary provitamin A carotenoids to vitamin A in humans. **American Journal of Clinical Nutrition**, Bethesda, v. 91, p. 1468S-1473S, 2010.

THAKUR, S.; GUPTA, N.; KAKKAR, P. Serum copper and zinc concentrations and their relation to superoxide dismutase in severe malnutrition. **European Journal of Pediatrics**, Heidelberg, v. 163, p. 742-744, 2004.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. Disponível em: <<http://www.usda.gov>>. Acesso em: 25 jan. 2017.

VAILLANT, N. et al. Comparative study of responses in four *Datura* species to a zinc stress. **Chemosphere**, Oxford, v. 59, n. 7, p. 1005–1013, May 2005.

VITTI, G. C.; QUEIROZ, F. E. C.; QUINTINO, T. A. **Micronutrientes na cana-de-açúcar-mitos e realidades**. 2011. Disponível em: <[http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Anais\\_Godofredo\\_Cesar\\_Vitti\\_000fizug9hp02wyiv802hvm3j0am3m2k.pdf](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Anais_Godofredo_Cesar_Vitti_000fizug9hp02wyiv802hvm3j0am3m2k.pdf)>. Acesso em: 22 jan. 2017.

WALTER, M.; MARCHEZAN, E.; ÁVILA, M. A. Rice: composition and nutritional characteristics. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 4, p. 1184-1192, 2008.

WELCH, R. M. Breeding strategies for biofortified staple plant foods to reduce micronutrient malnutrition globally. **The Journal of Nutrition**, Rockville, v. 132, p. 495-499, 2002.

WELCH, R. M.; GRAHAM, R. D. Breeding for micronutrients in staple food crops from a human nutrition perspective. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 55, p. 353-364, 2004.

WELCH, R. M. Micronutrient nutrition of plants. **Critical Reviews in Plant Sciences**, Boca Raton, v. 14, n. 1, p. 48-87, 1995.

WHITE, P. J. et al. Relationships between yield and mineral concentrations in potato tubers. **HortScience**, Alexandria, v. 44, p. 6-11, 2009.

YILMAZ, A. et al. Effect of different zinc application methods on grain yield and zinc concentration in wheat cultivars grown on zinc-deficient calcareous soils. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 20, n. 4/5, p. 461-471, 1997.

ZHANG, W. J.; ZHANG, X. Y. A forecast analysis on fertilizers consumption worldwide. **Environmental Monitoring and Assessment**, Dordrecht, v. 133, p. 427-434, 2007.

ZHAO, F. J.; SHEWRY, P. R. Recent developments in modifying crops and agronomic practice to improve human health. **Food Policy**, Guildford, v. 36, n. 1, p. S94-S101, Jan. 2011.

ZUO, Y.; ZHANG, E. Iron and zinc biofortification strategies in dicot plants by intercropping with gramineous species: a review. **Agronomy for Sustainable Development**, Paris, v. 29, n. 1, p. 63-71, 2009.

**SEGUNDA PARTE – ARTIGO**

**ARTIGO – ADUBAÇÃO FOLIAR COM ZINCO COMO ESTRATÉGIA DE  
BIOFORTIFICAÇÃO EM MILHO**

## RESUMO

A desnutrição humana por Zn é uma preocupação crescente no cenário contemporâneo. Classificada entre as mais graves deficiências de micronutrientes, especialmente em países em desenvolvimento, é considerada uma das principais causas da mortalidade infantil. Cereais como o milho, se destacam como fonte de alimento nesses países, contudo, apresentam baixa concentração de Zn, o que não contribui para minimizar o quadro de deficiência em humanos. Nesse sentido, a biofortificação, que busca aumentar o teor de nutrientes selecionados em alimentos básicos, se torna uma técnica promissora. Nesse contexto, este estudo foi conduzido com o objetivo de avaliar o potencial de genótipos de milho (*Zea mays* L.) para o acúmulo de Zn em grãos, visando à segurança alimentar, por meio da biofortificação agrônômica. O experimento foi realizado em campo experimental da Universidade Federal de Lavras-MG, utilizando-se 17 híbridos de milho, semeados em duas épocas e com doses de 0; 5 (aplicação no estádio V5) e 10g L<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup> (aplicação em V5 e R1) de sulfato de Zn, aplicadas via foliar. Foram avaliadas as concentrações de Zn nas folhas e grãos, e a produtividade de grãos da cultura. Os resultados obtidos demonstraram que a aplicação foliar com o sulfato proporcionou o aumento nas concentrações foliares de Zn com o aumento das doses, sobretudo no segundo cultivo, atingindo um máximo de 165,47 mg kg<sup>-1</sup>, não ocasionando, porém, sintomas de fitotoxidez ou interferência no rendimento de grãos. Foi observado um baixo coeficiente de correlação para concentração de Zn foliar e a produtividade, sendo os teores iniciais de Zn presentes no solo, suficientes para a produtividade máxima atingida (10768 kg ha<sup>-1</sup>). Para as diferentes doses aplicadas dentro de uma mesma época de cultivo, os híbridos, de maneira geral, apresentaram as maiores concentrações de Zn em grãos quando aplicadas 10g L<sup>-1</sup> do sulfato, atingindo concentrações médias de até 24,48 mg kg<sup>-1</sup>, exceto o híbrido RB9077, que atingiu 27,62 mg kg<sup>-1</sup>, quando aplicadas 5g L<sup>-1</sup> do sulfato, na segunda época de cultivo. Embora as médias apresentadas pelos híbridos para a concentração de Zn nos grãos estejam abaixo do valor-alvo (40 mg kg<sup>-1</sup>) estabelecido pelo programa Harvest Plus, estudos relatam que a aplicação do Zn em estádios mais tardios da cultura, pode ser uma alternativa responsiva, resultando em uma maior translocação do nutriente para os grãos, posto a maior demanda durante a fase de enchimento dos mesmos.

**Palavras-chave:** *Zea mays* L. Teor mineral. Adubação foliar. Micronutrientes. Segurança alimentar. Nutrição vegetal. Demanda nutricional.



## ABSTRACT

Human malnutrition by zinc (Zn) is a growing concern in the contemporary setting. Classified among the most serious micronutrient deficiencies, especially in developing countries, it is considered a major cause of child mortality. Cereals such as maize stand out as a source of food in these countries, however it presents a low Zn concentration, which it does not contribute to minimize the deficiency in humans. In this sense, biofortification which seeks to increase the content of selected nutrients in basic foods becomes a promising technique. In this context, this study was conducted with the objective to evaluate the potential of maize (*Zea mays* L.) genotypes for the Zn accumulation in grains, aiming food safety, by means agronomic biofortification. The experiment was carried out in an experimental field of the Federal University of Lavras -MG, using 17 maize hybrids, sown in two seasons and with doses of 0; 5 (application in V5 stage) and 10g L<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup> (application in V5 and R1) of Zn sulfate applied via foliar. The Zn concentrations in the leaves and grains, and the grain yield of the crop were evaluated. The results showed that the foliar application with the sulfate provided the increase in Zn foliar concentrations with increase of the doses, especially in the second crop, reaching a maximum of 165.47 mg kg<sup>-1</sup>, but did not cause symptoms of phytotoxicity or grain yield interference. A low coefficient of correlation was observed for leaf Zn concentration and yield, with initial Zn content present in the soil, sufficient for the maximum productivity reached (10768 kg ha<sup>-1</sup>). For the different doses applied, within the same growing season, the hybrids in general presented the highest Zn concentrations in grains when applied 10g L<sup>-1</sup> of the sulfate, reaching average concentrations up to 24.48 mg kg<sup>-1</sup>, except for the hybrid RB9077, which reached 27.62 mg kg<sup>-1</sup>, when 5 g L<sup>-1</sup> of sulfate was applied in the second growing season. Although the averages presented by the hybrids for the Zn concentration in the grains are below the target value (40 mg kg<sup>-1</sup>) established by the Harvest Plus program, studies report that the Zn application at later stages of the crop can be a responsive alternative, resulting in a greater translocation of the nutrient to the grains, placing the greater demand during the filling phase of the grains.

**Keywords:** *Zea mays* L.. Mineral content. Foliar fertilization. Micronutrients. Food safety. Plant nutrition. Nutritional demand.

## 1 INTRODUÇÃO

Estudos apontam que para atender à demanda alimentar para uma população estimada em 9,1 bilhões de pessoas em 2050, a produção mundial de alimentos terá que crescer cerca de 70% (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO, 2009). Porém, o ganho em produtividade de grãos ao longo dos anos, por meio do melhoramento vegetal, tem apresentado relação inversa ao teor de micronutrientes encontrados nos mesmos, como no caso do trigo, por exemplo (GARVIN; WELCH; FINLEY, 2006). Isso pode contribuir para problemas de desnutrição, principalmente em países em desenvolvimento, que têm esses cereais como uma das principais fontes de alimentação.

A desnutrição por Zn em humanos, considerada uma das principais causas da mortalidade infantil, é uma preocupação crescente no cenário contemporâneo, sendo classificada entre as mais graves deficiências de micronutrientes. Segundo Dantas et al. (2007), a deficiência do micronutriente afeta aproximadamente um terço da população mundial. O Zn desempenha papel em mais de 300 enzimas, age como cofactor em milhares de proteínas, incluindo fatores de transcrição (BROADLEY et al., 2007; HANSCH; MENDEL, 2009). Segundo Cakmak et al. (2010), as maiores consequências de sua deficiência ao organismo humano são danos às funções do cérebro, ao sistema imunológico e ao crescimento físico.

Estima-se que pelo menos 50% das áreas de grãos no mundo estão sob solos deficientes em Zn, o que reduz a produtividade e a qualidade nutricional das culturas. No Brasil, tais condições são encontradas principalmente em áreas do Cerrado. Perante esse cenário, a biofortificação pode se tornar uma técnica viável, visando aumentar o teor de micronutrientes selecionados, em alimentos básicos. É essencial que haja uma produção de alimentos em quantidade e com qualidade suficientes, visando à segurança alimentar (MORAES, 2008).

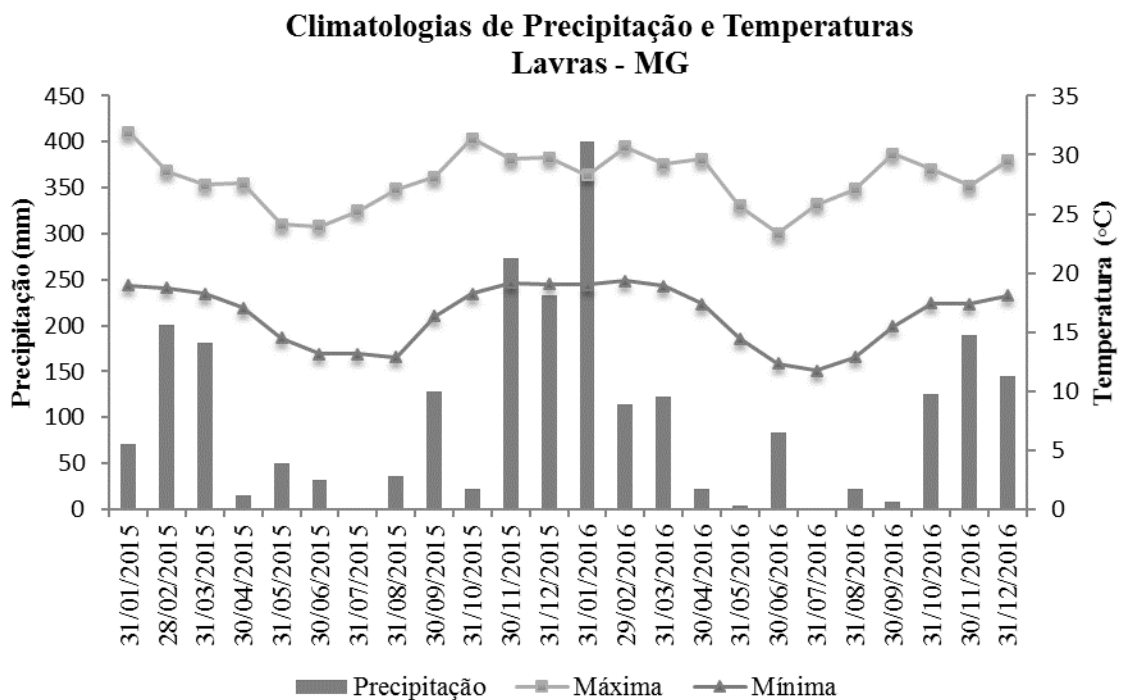
Os micronutrientes podem ser aplicados no solo, na parte aérea das plantas (adubação foliar), nas sementes e por meio da fertirrigação. Quando aplicado via foliar, a probabilidade desses micronutrientes, em sua maioria, serem transportados até os frutos e outras regiões em crescimento é maior que a aplicação via solo ou via tratamento de sementes, porém, em quantidades nem sempre suficientes (WELCH, 1995).

Nesse contexto, este estudo foi conduzido com o objetivo de avaliar o acúmulo de Zn e a produtividade de grãos em diferentes híbridos de milho, em função de doses de sulfato de Zn aplicadas via foliar, em diferentes épocas de cultivo.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na área experimental da Fazenda Vitorinha, situada no município de Lavras – MG, pertencente à Universidade Federal de Lavras (UFLA), em duas épocas de cultivo. No primeiro plantio (safra de verão 2015 / 2016), os híbridos foram semeados no mês de dezembro de 2015, e no segundo (segunda safra de 2016), a semeadura foi efetuada no mês de janeiro de 2016. O clima local é do tipo Cwa (subtropical, com verão chuvoso e inverno seco), segundo a classificação de Köppen; com precipitação e temperatura média anual de 1529,7 mm e 19,5 °C, respectivamente. As temperaturas máxima e mínima do período, bem como as precipitações pluviiais medias, estão representadas na Figura 1.

**Figura 1 - Representação da precipitação e temperaturas médias (mínima e máxima), do período referente à implantação dos experimentos, no município de Lavras – MG, safra 2015/2016.**



Fonte: INMET/BDMEP - Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa, estação de Lavras

Anteriormente à instalação do experimento, a área foi dessecada com herbicida glifosato (Roundup Transorb®), na dosagem de 960g ha<sup>-1</sup> de ingrediente ativo. Foram coletadas amostras de solo, na profundidade de 0-20 cm, para análise química e física. O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo, de textura argilosa, cujos atributos químicos estão representados na Tabela 3.

**Tabela 3 - Caracterização dos atributos químicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo típico (LVA)<sup>1</sup>, da camada de 0-20 cm.**

Características Químicas	LVA	
	0-20 cm	Classificação <sup>2</sup>
pH (H <sub>2</sub> O)	6,0	Bom
Al <sup>3+</sup> (cmc dm <sup>-3</sup> )	0,0	Muito baixo
Ca <sup>2+</sup> (cmc dm <sup>-3</sup> )	2,51	Bom
Mg <sup>2+</sup> (cmc dm <sup>-3</sup> )	0,68	Médio
K <sup>+</sup> (mg dm <sup>-3</sup> )	164,0	Muito bom
H <sup>+</sup> Al <sup>3+</sup> (cmc dm <sup>-3</sup> )	3,16	Médio
P (mg dm <sup>-3</sup> )	14,75	Bom
P rem (mg dm <sup>-3</sup> )	18,63	Muito bom
S (mg dm <sup>-3</sup> )	9,1	Bom
B (mg dm <sup>-3</sup> )	1,29	Alto
Cu <sup>2+</sup> (mg dm <sup>-3</sup> )	0,66	Baixo
Fe <sup>2+</sup> (mg dm <sup>-3</sup> )	31,4	Bom
Mn <sup>2+</sup> (mg dm <sup>-3</sup> )	7,9	Médio
Zn <sup>2+</sup> (mg dm <sup>-3</sup> )	4,5	Alto
SB (cmc dm <sup>-3</sup> )	3,6	Bom
CTC-t(cmc dm <sup>-3</sup> )	3,6	Médio
CTC-T(cmc dm <sup>-3</sup> )	6,8	Médio
V (%)	53,2	Médio
MO (dag kg <sup>-1</sup> )	2,5	Médio

<sup>1</sup> Amostragem realizada antes do cultivo. Fonte: Laboratório de Análise de Solos – UFLA.

<sup>2</sup> Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5ª Aproximação

Na semeadura, foi feita a abertura mecanizada dos sulcos de plantio, seguida da semeadura manual, em sistema de plantio direto. Na adubação de plantio, foram utilizados 350 kg ha<sup>-1</sup> do formulado 08-28-16 (N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O) + 0,5% Zn, e, na adubação de cobertura (estádio fenológico V5), 140 kg ha<sup>-1</sup> de N, utilizando-se a ureia.

O controle de pragas e plantas daninhas foi feito no decorrer do experimento, segundo as recomendações técnicas para a cultura, utilizando os inseticidas Match (300 mL ha<sup>-1</sup>) e Karate zeon (200 mL ha<sup>-1</sup>); e os herbicidas Soberan (240 mL ha<sup>-1</sup>) e Atrazina (4 L ha<sup>-1</sup>).

Para a aplicação dos tratamentos foliares com sulfato de zinco - ZnSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O (0, 5 e 10g L<sup>-1</sup> e volume de calda de 400 L ha<sup>-1</sup>) foi utilizada barra de quatro bicos (do tipo cone

cheio), acoplada a um pulverizador costal pressurizado com CO<sub>2</sub>. As aplicações foram realizadas no período matinal, devido a temperaturas mais amenas, evitando-se a perda do produto por evaporação.

Cada parcela foi constituída por quatro linhas, de cinco metros cada, espaçadas entre si 0,60 metros, com densidade de quatro plantas por metro linear e densidade populacional de aproximadamente 65.000 plantas ha<sup>-1</sup>. Foram consideradas úteis as duas linhas centrais, para efeito de coleta de dados e observações; excluindo-se, como bordadura, as linhas externas.

O experimento foi instalado utilizando-se o delineamento em blocos casualizados (DBC), em esquema fatorial. Foram avaliados 17 híbridos de milho (Tabela 4) e duas doses de sulfato de Zn + testemunha, em duas épocas de cultivo, obtendo-se um fatorial (3 × 17 × 2), com três repetições. O sulfato de Zn foi aplicado nas dosagens de 2 kg ha<sup>-1</sup> (5g L<sup>-1</sup>) e 4 kg ha<sup>-1</sup> (10g L<sup>-1</sup>) (parcelado em duas vezes), em volume de calda de 400 L ha<sup>-1</sup>, sendo: Tratamento 1 (T1) – parcelas que não receberam nenhuma aplicação foliar (Controle); T2 - aplicação foliar no estágio V5 (2 kg ha<sup>-1</sup> de sulfato de Zn); T3 - aplicação foliar nos estádios V5 (2 kg ha<sup>-1</sup>) e R1 (2 kg ha<sup>-1</sup>).

**Tabela 4 - Descrição dos híbridos de milho testados em Lavras - MG.**

<b>Identificação</b>	<b>Híbrido</b>	<b>Tipo</b>	<b>Textura do grão</b>	<b>Ciclo</b>	<b>Empresa</b>
H1	P2830H	HS	Semi Duro	SP	PIONEER/DUPONT
H2	2B610PW	HS	Semi Dentado	P	DOW AGROSCIENCES
H3	2B688PW	HT	Semi Duro	P	DOW AGROSCIENCES
H4	RB9005PRO	HS	Semi Dentado	P	RIBER KWS SEMENTES S.A
H5	DKB290PRO3	HS	Semi Dentado	P	DEKALB
H6	RB9110PRO	HS	Semi Dentado	SP	RIBER KWS SEMENTES S.A
H7	2A401PW	HS	Semi Duro	SP	DOW AGROSCIENCES
H8	30A91PW	HS m	Semi Duro	P	MORGAN SEMENTES
H9	RB9077PRO	HS	Semi Duro	P	RIBER KWS SEMENTES S.A
H10	RK3014PRO	HT	Duro	P	RIBER KWS SEMENTES S.A
H11	RB9006PRO	HS	Duro	P	RIBER KWS SEMENTES S.A
H12	RB9308PRO	HT	Duro	P	RIBER KWS SEMENTES S.A
H13	RB9004PRO	HS	Semi Dentado	SP	RIBER KWS SEMENTES S.A
H14	RB9210PRO	HS	Duro	SP	RIBER KWS SEMENTES S.A
H15	2B810PW	HS	Semi Duro	N	DOW AGROSCIENCES
H16	30A37PW	HS	Semi Duro	SP	MORGAN SEMENTES
H17	30F53H	HS	Semi Duro	SP	PIONEER/DUPONT

HS = híbrido simples; HT = híbrido triplo; HS<sub>m</sub> = híbrido simples modificado; P = precoce;  
SP = semiprecoce; N = normal.

Fonte: Cruz et al. (2015).

Aos 73 dias após a emergência (DAE), a fim de se evitar o efeito residual da aplicação foliar feita em R1, e quando 50% das plantas da parcela já apresentavam emissão do pendão e do estilo-estigma, cinco plantas foram selecionadas aleatoriamente na área útil de cada parcela para coleta da folha oposta e abaixo da espiga superior, considerando-se o terço médio e

excluindo a sua nervura central, conforme as recomendações de Martinez et al. (1999). As mesmas foram lavadas em água destilada, acondicionadas em sacos de papel Kraft e posteriormente colocadas em estufa, com circulação forçada de ar a 65°C durante três dias. O material foi triturado em moinho do tipo Willey e passado em peneira de malha de dois milímetros de abertura.

Em laboratório, foi feita a extração nitro-perclórica em bloco digestor e a determinação da concentração de Zn foi realizada mediante a técnica de Espectrofotometria de Absorção Atômica por atomização em chama de ar-acetileno (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997).

Quando as plantas atingiram a maturidade fisiológica, as espigas da área útil de cada parcela foram colhidas, debulhadas e foi avaliado a produtividade de grãos, e as respectivas concentrações de Zn nos mesmos, segundo a metodologia proposta por Malavolta et al. (1997). As amostras de grãos foram corrigidas para umidade padrão de 13% e posteriormente, transformadas para quilos de grãos por hectare ( $\text{kg ha}^{-1}$ ), utilizando-se a seguinte expressão:

$$P_{13\%} = PC \times \left( \frac{1 - \frac{U}{100}}{0,87} \right)$$

em que:

$P_{13\%}$  = produtividade de grãos ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) corrigida para a umidade padrão de 13%;

PC = produtividade de grãos sem correção (em  $\text{kg ha}^{-1}$ );

U = umidade dos grãos observada logo após a colheita, em percentagem.

O material seco foi processado em moinho tipo Willey e passado em peneira de 20 mesh. Para a determinação da concentração de Zn no grão, o material vegetal foi submetido à digestão nitro-perclórica em bloco digestor, conforme descrito por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997). Após a digestão, foram determinadas as concentrações de Zn, por Espectrofotometria de Absorção Atômica em Chama (FAAS). As amostras foram analisadas em triplicata, utilizando-se, em cada bateria, uma amostra do padrão NIST SRM 1573a - Tomato leaves como referência das concentrações dos elementos em plantas. Além disso, foi utilizada uma amostra em branco para fins de controle de qualidade analítica.

Inicialmente, foram realizadas análises individuais das características concentração de Zn foliar, nos grãos e produtividade de grãos, para cada época de implantação do experimento. Numa segunda etapa, procedeu-se à análise conjunta envolvendo os dois experimentos, utilizando-se o seguinte modelo estatístico, conforme critérios indicados por Banzatto e Kronka (1995):

$Y_{kmji} = \mu + b_{(k)i} + h_m + a_j + p_i + (ha)_{mj} + (hp)_{mi} + (ap)_{ji} + (hap)_{mji} + e_{mji}$ ; em que:

$Y_{kmji}$  : observação do k-ésimo bloco, do m-ésimo híbrido; da j-ésima aplicação; na i-ésima época;

$\mu$  : média geral;

$b_{(k)i}$  : efeito do k-ésimo bloco, dentro da i-ésima época, para  $k = 1, 2, 3$ ;

$h_m$  : efeito do m-ésimo híbrido, para  $m = 1, 2, \dots, 17$ ;

$a_j$  : efeito da j-ésima aplicação foliar, para  $j = 0, 1, 2$ ;

$p_i$  : efeito da i-ésima época de cultivo, para  $i = 1, 2$ ;

$(ha)_{mj}$  : efeito da interação entre o híbrido m com a aplicação j;

$(hp)_{mi}$  : efeito da interação entre o híbrido m com a época i;

$(ap)_{ji}$  : efeito da interação entre a aplicação j com a época i;

$(hap)_{mji}$  : efeito da interação entre o híbrido m, com a aplicação j, com a época i;

$e_{kmji}$  : efeito dos fatores não controlados (erros) no k-ésimo bloco, com o m-ésimo híbrido, com j-ésima(s) aplicação(ões) e na i-ésima época.

Para a característica Zn foliar, em cada um dos experimentos, realizou-se a transformação pela metodologia Box e Cox (1964), para estabilizar ou reduzir a variabilidade existente e normalizar os resíduos, conforme a fórmula descrita, utilizando  $\lambda = -0,5$ .

$$x_\lambda = (x^\lambda - 1) / \lambda$$

Contudo, quando foi necessário expressar médias dessas análises, estas foram expressas sem transformação, utilizando-se a operação inversa da expressão anterior (BANZATTO; KRONKA, 1995).

Os dados, para todas as características avaliadas, foram submetidos à Análise de Variância (ANOVA) por meio do programa estatístico SISVAR 5.1 (FERREIRA, 2011), e quando houve significância entre os tratamentos, estes foram submetidos ao teste de médias (Scott Knott, com nível de significância de 5%) ou análise de regressão.



#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resumo da análise de variância conjunta envolvendo os dois experimentos, para as características avaliadas, está representado na Tabela 5, onde foram caracterizados os 102 tratamentos, obtidos pelas combinações das duas épocas de cultivo ( $E_1$  e  $E_2$ ), com as três doses utilizadas (0, 2 e 4 kg ha<sup>-1</sup> de sulfato de Zn) e os 17 genótipos de milho.

**Tabela 5 - Resumo das análises de variância conjunta dos experimentos para quantificação das concentrações de Zn foliar e no grão, e, produtividade de híbridos de milho, envolvendo as duas épocas experimentais no município de Lavras – MG.**

FV	GL	QM		
		Zn Foliar	Produtividade	Zn Grão
Épocas (E)	1	0,636914*	$1,37 \times 10^9$ *	28,86 <sup>NS</sup>
Blocos (Época)	4	0,032289*	34112133,51*	33,32*
Híbridos (H)	16	0,006958 <sup>NS</sup>	5754631,59*	44,50*
Doses (D)	2	1,459450*	12385649,78*	307,67*
H × E	16	0,003883 <sup>NS</sup>	4232281,44 <sup>NS</sup>	6,08 <sup>NS</sup>
D × E	2	0,078169*	4151037,39 <sup>NS</sup>	31,34*
H × D	32	0,008065 <sup>NS</sup>	2108838,61 <sup>NS</sup>	10,24 <sup>NS</sup>
H × D × E	32	0,009304 <sup>NS</sup>	2627265,64 <sup>NS</sup>	13,98*
Erro	200	0,010737	2502142,22	7,82
CV(%)		6,30	18,29	15,59
Média		1,64	8650,10	17,94

\*Significativos pelo teste de F ( $p \leq 0,05$ ); <sup>NS</sup> Não Significativo.

Fonte: Do Autor (2017).

A época de cultivo dos híbridos de milho influenciou a concentração de Zn foliar, bem como a produtividade de grãos, não interferindo, porém, na concentração de Zn encontrado nos grãos. Isoladamente, os híbridos influenciaram a produtividade e a concentração de Zn nos grãos. Por outro lado, a dose influenciou todas as características avaliadas. A concentração de Zn foliar foi estatisticamente influenciada pelas diferentes combinações de doses e épocas, ao passo que a concentração de Zn nos grãos, foi afetada pelas combinações de híbridos, doses e épocas de cultivo. Os coeficientes de variação situaram-se entre 6,3% a 18,3%, índices considerados baixos, sugerindo boa precisão experimental (PIMENTEL-GOMES, 1987). Cada variável será discutida separadamente.

#### 4.1 Produtividade de grãos

A produtividade de grãos foi modificada isoladamente pela época de cultivo, pelos híbridos (Tabela 6) e pelas doses de sulfato de Zn (Tabela 7).

Foi constatado um aumento de 39,3%, comparando o plantio de dezembro (com produtividade média de 10768 kg ha<sup>-1</sup>), com o cultivo de janeiro (6532 kg ha<sup>-1</sup>). Tal diferença já era esperada, devido às melhores condições climáticas do período, com distribuição regular de chuvas (precipitação média de 177,85 e 84,20 mm, para os ciclos do primeiro e segundo cultivos, respectivamente), principalmente no período crítico da cultura, que ocorre desde o pendoamento até o início do enchimento de grãos (BERGAMASCHI et al., 2004), posto que déficits de água nesse período são os responsáveis pelas maiores perdas em produtividade.

Comparando os diferentes genótipos, os híbridos simples P2830H, 2B688PW, RB9005PRO, DKB290PRO3, 2A401PW, RB9077PRO, RB9006PRO, RB9004PRO e 30A37PW apresentaram as maiores médias de produtividade, não diferindo, entretanto, estatisticamente entre si (Tabela 6). Tais resultados são decorrentes da superioridade genética de cada híbrido, que apresentam maior adaptabilidade e estabilidade, bem como maior resistência a estresses bióticos e abióticos, diferentemente daqueles que apresentaram média inferior, se caracterizando com maior susceptibilidade a doenças, como *Phaeosphaeria maydis* e *Cercospora zae-maydis*, observadas em ambos os experimentos (dados não apresentados).

**Tabela 6 - Médias de produtividade de grãos (kg ha<sup>-1</sup>) dos híbridos utilizados, considerando-se as duas épocas de cultivo e três tratamentos de adubação foliar.**

**Lavras – MG.**

<b>Híbrido</b>	<b>Médias<sup>1</sup> (kg ha<sup>-1</sup>)</b>
P2830H	8714 a
2B610PW	8534 b
2B688PW	8776 a
RB9005PRO	9290 a
DKB290PRO3	9207 a
RB9110PRO	8274 b
2A401PW	9125 a
30A91PW	8369 b
RB9077PRO	8691 a
RK3014PRO	7235 b
RB9006PRO	9194 a
RB9308PRO	8186 b
RB9004PRO	9540 a
RB9210PRO	7937 b
2B810PW	8477 b
30A37PW	8909 a
30F53H	8593 b

<sup>1</sup>Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna, pertencem ao mesmo agrupamento, pelo teste de Scott knott ( $p \leq 0,05$ ).

Fonte: Do Autor (2017).

Na média dos híbridos, apesar de a produtividade apresentar diferença estatística com media inferior, quando aplicados 5g L<sup>-1</sup> do sulfato, os híbridos mantiveram o mesmo desempenho quando comparados o tratamento controle com a maior dose utilizada (10g L<sup>-1</sup>) (Tabela 7), demonstrando pouca influência do sulfato para a produtividade de grãos atingida.

Contudo, devido à atuação do Zn no desenvolvimento da planta, como na produção de triptofano, precursor do ácido indol acético, fitohormônio promotor do crescimento (DECHEN, 1991; THORNE, 1957), alguns trabalhos têm mostrado respostas positivas à aplicação de Zn na cultura do milho (GALRÃO, 1994; RITCHEY et al., 1986).

**Tabela 7 - Produtividade média de grãos de milho, em função das doses de sulfato de Zn, considerando as duas épocas de cultivo e híbridos. Lavras – MG.**

<b>Dose (g L<sup>-1</sup>)</b>	<b>Produtividade (t ha<sup>-1</sup>)</b>
0	8,87a
5	8,25b
10	8,83a

<sup>1</sup>Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas, pertencem ao mesmo agrupamento, pelo teste de Scott knott ( $p \leq 0,05$ ).

Fonte: Do Autor (2017).

Galvão (1996) e Rastija, Bukvic e Josipovic (2002), utilizando a aplicação foliar, com  $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ , obtiveram resposta positiva na produtividade de grãos, com a aplicação de 1% da solução de sulfato de Zn (23% de Zn) e 0,75% da mesma solução, respectivamente, em solos com teores de Zn que variaram de baixo a médio, de acordo com Martinez et al. (1999).

No presente trabalho, devido ao teor de Zn presente no solo estar dentro dos teores considerados relativamente altos (SOUZA; LOBATO, 2004) para o suprimento da cultura, entende-se que o mesmo foi suficiente para atender à demanda da planta, o que justifica a ausência de resposta na aplicação de Zn foliar.

Além disso, Galvão (1996) relatou que a aplicação de Zn via foliar na cultura, nem sempre tem resultados positivos em produtividade, sendo necessária, muitas vezes, a aplicação do referido micronutriente via solo, especialmente a longo prazo. Isso ocorre devido à baixa mobilidade de redistribuição do Zn no floema. Segundo Marschner (1995), a sua maior ou menor translocação depende de sua disponibilidade na parte vegetativa.

Resultados semelhantes foram obtidos por Jamami et al. (2006), que também não encontraram resposta positiva à aplicação de Zn em solos que apresentavam altos teores do mesmo, havendo possível redução dos efeitos de sua aplicação para a produtividade. Acredita-se que solos com menos de  $1,0 \text{ mg kg}^{-1}$  de Zn, extraído por Mehlich-1, seja deficiente em Zn disponível para plantas.

Por outro lado, a falta de resposta às pulverizações foliares pode ser devido à preferência pelas aplicações pós-floração, uma vez que aplicações tardias têm um maior impacto na concentração de Zn no grão, com menor impacto no rendimento (CAKMAK et al., 2010). Segundo Joy et al. (2015), as respostas elevadas no rendimento (> 150% superiores ao controle), ocorrem em solos com deficiência grave de Zn. Nesse caso, ocorreria também uma grande resposta na concentração de Zn no grão. Logo, as respostas em produtividade são altamente dependentes do teor de Zn no solo.

Ultimamente, há uma associação entre o ganho em produtividade de grãos em milho e o aumento da capacidade de produção de massa seca (LORENZ et al., 2010), resultando em exigências cada vez maiores no que diz respeito à absorção e remobilização de nutrientes nos híbridos atuais (BENDER et al., 2013).

## **4.2 Concentração foliar de Zn**

Houve interação da época de semeadura e doses de sulfato, na concentração foliar de Zn (Tabela 4).

Independentemente da dose de sulfato utilizada, as concentrações foliares de Zn foram menores nos híbridos cultivados na primeira época (Tabela 8). Para a mesma, ressalta-se que, na média, com a aplicação de 5g L<sup>-1</sup> de sulfato de Zn e no tratamento Controle, as concentrações foliares estavam abaixo dos valores considerados adequados por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997) e Martinez et al. (1999).

Em algumas ocasiões, a baixa fitodisponibilidade de Zn pode resultar de baixas concentrações de Zn no solo ou da influência de características do solo que limitam a solubilidade do nutriente, tais como valores elevados de pH, ou grandes concentrações de fosfato ou carbonato disponíveis (ALLOWAY, 2008; BRÜMMER et al., 1983; ÇAKMAK, 2002, 2004; LU et al., 2011; WHITE; ZASOSKI, 1999).

No presente estudo, o teor encontrado no solo, segundo Souza e Lobato (2004), é considerado alto. Por essa razão, não eram esperadas baixas concentrações foliares de Zn, como relatado (Tabela 8), embora tenham sido encontradas concentrações abaixo do nível crítico, como já mencionado, que, segundo Malavolta, Vitti e Oliveira (1997) e Martinez et al. (1999), devem estar entre 20-70 mg kg<sup>-1</sup> de Zn.

**Tabela 8 - Médias das concentrações foliares de Zn (mg kg<sup>-1</sup>), em função das épocas de cultivo (E<sub>1</sub> – dezembro/2015 e E<sub>2</sub> – janeiro/2016) e doses de sulfato de Zn.**

**Lavras – MG.**

Doses (g L <sup>-1</sup> )	Época <sup>1</sup>	
	E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>
<b>0</b>	18,14 b	67,66 a
<b>5</b>	18,25 b	47,59 a
<b>10</b>	88,50 b	165,47 a

<sup>1</sup> Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha, pertencem ao mesmo agrupamento, pelo teste de Scott knott ( $p \leq 0,05$ ).

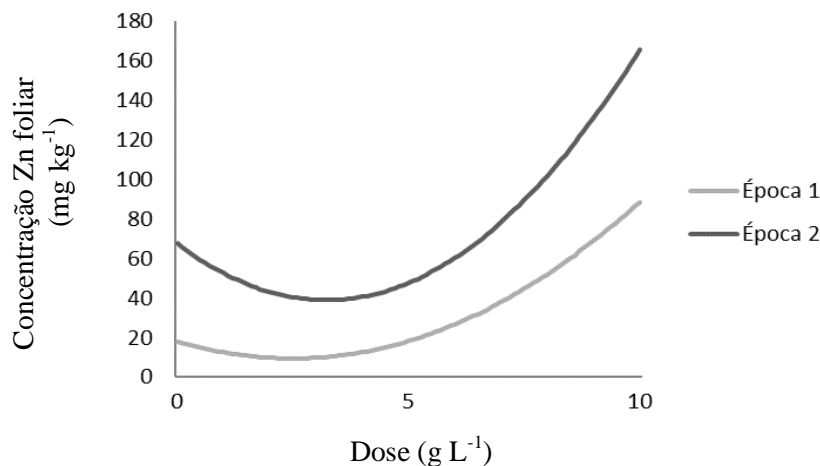
Fonte: Do Autor (2017).

Os dados experimentais relatam que houve diferença estatística para cada dose aplicada, em função das diferentes épocas de cultivo, sendo o cultivo de janeiro (E<sub>2</sub>) responsável pelas maiores concentrações foliares de Zn, para todas as doses utilizadas (Tabela 8). Tal fato pode ser causa do efeito de diluição nos híbridos cultivados em dezembro (E<sub>1</sub>), devido a um aumento de translocação dos nutrientes para os grãos, resultando em ganhos de produtividade, como constatado neste estudo.

De forma geral, a concentração de Zn foliar aumentou significativamente com as doses aplicadas (Figura 1). Os dados ajustaram-se ao modelo quadrático de regressão,

representado pela equação Concentração  $E_1$  ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) =  $18,136667 - 6,996608x + 1,403259x^2$  ( $R^2 = 1,0$ ), sendo as concentrações mínima ( $18,14 \text{ mg kg}^{-1}$ ) e máxima ( $88,50 \text{ mg kg}^{-1}$ ) encontradas em  $D_0$  (Controle) e  $D_{10}$  (dose  $10 \text{ g L}^{-1}$ ), respectivamente; e pela equação Concentração  $E_2$  ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) =  $67,663725 - 17,809078x + 2,758953x^2$  ( $R^2 = 1,0$ ), sendo as concentrações mínima ( $47,59 \text{ mg kg}^{-1}$ ) e máxima ( $165,47 \text{ mg kg}^{-1}$ ) encontradas nos tratamentos  $D_5$  (dose  $5 \text{ g L}^{-1}$ ) e  $D_{10}$ , respectivamente.

**Figura 1 - Representação gráfica da equação de regressão para a característica concentração foliar de Zn ( $\text{mg kg}^{-1}$ ), em função do desdobramento de doses dentro do cultivo realizado em dezembro/2016 ( $Y_1$  – Época 1) e do cultivo realizado em janeiro/2016 ( $Y_2$  – Época 2).**



$$Y_1 = 18,136667 - 6,996608x + 1,403259x^2; R^2 = 1,0$$

$$Y_2 = 67,663725 - 17,809078x + 2,758953x^2; R^2 = 1,0$$

Fonte: Do Autor (2017).

Na Figura 1 pode ser verificado que os híbridos utilizados apresentaram em  $D_0$ , concentrações foliares de Zn abaixo da faixa de suficiência estabelecida para a cultura do milho. Contudo, os híbridos continuaram absorvendo o micronutriente com a aplicação do sulfato, obtendo valores de até  $165,47 \text{ mg kg}^{-1}$  de Zn, na maior dose ( $D_{10}$ ). Resultados semelhantes foram obtidos por Abreu (2012), trabalhando com os híbridos AG1051 e Saracura, em que estes apresentaram maior concentração foliar, para a maior dose aplicada do sulfato ( $5 \text{ mg dm}^{-3}$ ). Decaro et al. (1983), estudando o efeito de doses (0, 5, 10 e  $15 \text{ kg ha}^{-1}$ ) e fontes de Zn (sulfato e óxido), aplicados via solo, verificaram aumentos nas concentrações foliares, sendo a dose de  $5 \text{ kg ha}^{-1}$ , suficiente para promover uma concentração adequada do micronutriente na cultura.

A utilização de aplicações foliares com sulfato de Zn, na dosagem de  $10\text{ g L}^{-1}$  ( $T_3$ ), realizada de forma parcelada na cultura do milho, nos estádios V5 e R1, condicionou as maiores concentrações do referido micronutriente nas folhas, para ambas as épocas estudadas, diferindo-se estatisticamente dos tratamentos Controle ( $T_0$ ) e  $T_1$  ( $5\text{ g L}^{-1}$ ), os quais não diferiram estatisticamente entre si e mantiveram as concentrações dentro da faixa de suficiência ( $20\text{-}70\text{ mg kg}^{-1}$ ), (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997; MARTINEZ et al., 1999).

Não houve nenhuma anomalia visível nas plantas ou prejuízo na produção de grãos no tratamento que recebeu a maior dose ( $10\text{ g L}^{-1}$ ), embora a concentração mais elevada de Zn nas folhas ( $165,47\text{ mg kg}^{-1}$ ) seja considerada suficiente para promover o surgimento dos sintomas visuais de toxicidade (JONES et al., 1991). Resultados semelhantes aos encontrados neste estudo foram obtidos por Amaral et al. (1996), onde concentrações de até  $322,0\text{ mg kg}^{-1}$  de Zn foliar não causaram sintomas de toxidez.

A alta concentração de Zn foliar, dos híbridos submetidos a duas aplicações de sulfato ( $T_3$ ), além da alta dose aplicada, podem ter recebido contribuição residual do micronutriente presente no solo e nas folhas que receberam o sulfato, embora tenha sido feita a lavagem dessas folhas. Segundo Couto et al. (1992), o nível crítico de Zn na parte aérea da planta de milho varia de acordo com o tipo de solo, levando-se em consideração suas características físicas e a constituição química. Pode-se inferir, contudo, que a sua absorção pelo milho, depende, em maior grau, da disponibilidade do nutriente na zona de absorção do que da taxa de crescimento da planta, o que se justifica pela demanda relativamente baixa do nutriente pelas plantas (LEITE et al., 2003).

Concentrações foliares semelhantes ( $24,5\text{ mg kg}^{-1}$ ) foram encontrados por Ferreira et al. (2001) aos 63 DAE (dias após emergência). Este autor constatou que houve incremento nas concentrações foliares de Zn na cultura, à medida que se aproximavam dos estádios reprodutivos. Entretanto, tal fato não resultou em ganho de produtividade, provavelmente devido ao alto teor de Zn no solo ( $0,713\text{ mmol}\cdot\text{dm}^{-3}$  de  $\text{Zn}^{2+}$ ).

As concentrações foliares de Zn quantificados aos 73 DAE apresentaram coeficientes de correlação não significativos com a produção de grãos, como relatado, não sendo, portanto, uma variável com promissora capacidade preditiva do nível de colheita.

A concentração foliar de determinado nutriente, pode indicar o estado nutricional da planta, posto que existe relação básica entre esta concentração e o crescimento ou produtividade da cultura (BATAGLIA, 1991). Entretanto, a maioria dos produtores não tem dado as devidas atenções para a diagnose foliar na avaliação direta do estado nutricional da cultura do milho.

### 4.3 Concentração de Zn no grão

Houve interação dos híbridos versus doses de sulfato e época de semeadura na concentração de Zn, nos grãos de milho (Tabelas 9 e 10). Segundo Joy et al. (2015), a eficácia do Zn aplicado no aumento da concentração do mesmo no grão, depende, em parte, da espécie cultivada e da cultivar.

Analisando os híbridos dentro das diferentes épocas de cultivo, para uma mesma dose utilizada, os híbridos 2B610PW e RB9077 apresentaram as maiores concentrações de Zn no grão, quando aplicados  $5\text{g L}^{-1}$  de sulfato, na segunda época de cultivo. Para a dose de  $10\text{g L}^{-1}$ , o híbrido 2A401PW apresentou maior concentração de Zn no segundo cultivo, ao passo que o híbrido 30F53 apresentou maior média no cultivo de dezembro, para a mesma dose (Tabela 9). Os híbridos submetidos ao tratamento Controle, não apresentaram diferenças significativas entre as épocas analisadas.



**Tabela 9 - Média das concentrações de Zn em grãos de milho ( $\text{mg kg}^{-1}$ ), em função do desdobramento de híbridos dentro das diferentes épocas cultivadas, para uma mesma dose. Lavras – MG.**

Híbrido	Dose 0		Dose 5		Dose 10	
	E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>	E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>	E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>
<b>P2830H</b>	15,57 bA	14,96 aA	14,38 bA	15,04 cA	19,57 bA	20,02 aA
<b>2B610PW</b>	18,20 aA	17,13 aA	11,49 bB	18,73 bA	19,25 bA	22,24 aA
<b>2B688PW</b>	17,27 aA	16,50 aA	14,05 bA	17,83 bA	18,47 bA	22,46 aA
<b>RB9005</b>	17,84 aA	16,69 aA	14,73 bA	15,18 cA	18,46 bA	17,54 aA
<b>DKB290</b>	21,46 aA	20,69 aA	17,60 aA	21,35 bA	20,81 bA	23,23 aA
<b>RB9110</b>	17,87 aA	16,90 aA	18,45 aA	19,81 bA	19,32 bA	21,09 aA
<b>2A401PW</b>	16,79 aA	14,40 aA	17,72 aA	15,11 cA	15,13 bB	21,26 aA
<b>30A91PW</b>	17,08 aA	14,52 aA	19,00 aA	16,55 cA	16,40 bA	18,53 aA
<b>RB9077</b>	19,34 aA	16,35 aA	17,29 aB	27,62 aA	23,52 aA	21,27 aA
<b>RK3014</b>	19,24 aA	15,84 aA	15,30 bA	19,11 bA	18,54 bA	20,48 aA
<b>RB9006PRO</b>	17,19 aA	15,59 aA	17,13 aA	20,73 bA	19,21 bA	19,48 aA
<b>RB9308PRO</b>	16,72 aA	18,14 aA	19,02 aA	18,51 bA	22,70 aA	20,89 aA
<b>RB9004PRO</b>	12,99 bA	15,66 aA	15,36 bA	16,92 cA	18,94 bA	17,50 aA
<b>RB9210</b>	16,45 aA	15,84 aA	19,96 aA	18,92 bA	19,52 bA	21,26 aA
<b>2B810PW</b>	12,64 bA	13,49 aA	14,97 bA	15,35 cA	16,59 bA	16,85 aA
<b>30A37PW</b>	13,67 bA	15,68 aA	16,72 aA	16,36 cA	20,21 bA	20,53 aA
<b>30F53</b>	13,85 bA	16,47 aA	20,76 aA	19,02 bA	24,48 aA	18,93 aB

<sup>1</sup> Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas, pertencem ao mesmo agrupamento, pelo teste de Scott knott ( $p \leq 0,05$ ).

<sup>2</sup> Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha entre épocas, dentro de cada híbrido e uma mesma dose, pertencem ao mesmo agrupamento, pelo teste de Scott knott ( $p \leq 0,05$ ).

Fonte: Do Autor (2017).

No entanto, Joy et al. (2015), fazendo uma revisão sistemática da literatura para estudos do impacto da adubação com Zn e suas concentrações nos grãos de milho, relataram que, em uma meta-análise simplificada, os efeitos médios do micronutriente aplicado via foliar sobre a concentração do Zn nos grãos foram 30% acima do controle. Esse valor está bem acima do resultado deste trabalho, onde foram relatados acréscimos de, aproximadamente, 17% acima do controle, embora essa diferença seja significativa pelo teste F a 5%, quando comparado à aplicação com a maior e menor dose do produto.

Foi observado um baixo coeficiente de correlação entre as concentrações de Zn nos tecidos foliares e suas respectivas concentrações nos grãos ( $r = 0,28$ ;  $\alpha = 0,05$ ), sugerindo que a translocação do nutriente armazenado nos tecidos vegetativos até os 73 DAE não foi determinante para elevação dos seus teores nos grãos. Provavelmente, esse efeito foi proporcionado, principalmente, pela maior absorção desses nutrientes e a mobilização para os grãos durante o estágio reprodutivo. Tais resultados concordam com o relatado por Cakmak et al. (2010), onde pulverizações foliares, realizadas em pós-floração, causaram maior impacto na concentração de Zn nos grãos.

Vale ressaltar que a extração de Zn pelo milho ocorre até o final do ciclo, sendo que um terço ou mais da absorção total ocorre tardiamente, a partir do início do enchimento de grãos até a maturação (DUARTE et al., 2003).

Para as diferentes doses aplicadas, dentro de uma mesma época de cultivo, os híbridos P2830H, RB9077, RB9308PRO, RB9004PRO e 30A37PW, apresentaram as maiores concentrações de Zn em grãos para o primeiro cultivo, quando aplicados  $10\text{g L}^{-1}$  do sulfato. Para a segunda época, os híbridos P2830H, 2B688PW e 2A401PW apresentaram as maiores concentrações quando aplicados  $10\text{g L}^{-1}$ , exceto o híbrido RB9077 que apresentou maior concentração quando aplicados  $5\text{g L}^{-1}$  do sulfato, na mesma época de cultivo (Tabela 10).

De maneira geral, as concentrações encontradas devem estar relacionadas à sua maior absorção quando aplicado em maior dosagem, sendo armazenado nas partes vegetativas e posteriormente translocado para os grãos.

**Tabela 10 - Média das concentrações de Zn em grãos de milho ( $\text{mg kg}^{-1}$ ), em função do desdobramento de híbridos dentro das diferentes doses utilizadas, para uma mesma época de cultivo. Lavras – MG.**

Híbrido	E <sub>1</sub>			E <sub>2</sub>		
	D <sub>0</sub>	D <sub>5</sub>	D <sub>10</sub>	D <sub>0</sub>	D <sub>5</sub>	D <sub>10</sub>
<b>P2830H</b>	15,57 b	14,38 b	19,57 a	14,96 b	15,04 b	20,02 a
<b>2B610PW</b>	18,20 a	11,49 b	19,25 a	17,13 a	18,73 a	22,24 a
<b>2B688PW</b>	17,27 a	14,05 a	18,47 a	16,50 b	17,83 b	22,46 a
<b>RB9005</b>	17,84 a	14,73 a	18,46 a	16,69 a	15,18 a	17,54 a
<b>DKB290</b>	21,46 a	17,60 a	20,81 a	20,69 a	21,35 a	23,23 a
<b>RB9110</b>	17,87 a	18,45 a	19,32 a	16,90 a	19,81 a	21,09 a
<b>2A401PW</b>	16,79 a	17,72 a	15,13 a	14,40 b	15,11 b	21,26 a
<b>30A91PW</b>	17,08 a	19,00 a	16,40 a	14,52 a	16,55 a	18,53 a
<b>RB9077</b>	19,34 b	17,29 b	23,52 a	16,35 c	27,62 a	21,27 b
<b>RK3014</b>	19,24 a	15,30 a	18,54 a	15,84 a	19,11 a	20,48 a
<b>RB9006PRO</b>	17,19 a	17,13 a	19,21 a	15,59 a	20,73 a	19,48 a
<b>RB9308PRO</b>	16,72 b	19,02 b	22,70 a	18,14 a	18,51 a	20,89 a
<b>RB9004PRO</b>	12,99 b	15,36 b	18,94 a	15,66 a	16,92 a	17,50 a
<b>RB9210</b>	16,45 a	19,96 a	19,52 a	15,84 a	18,92 a	21,26 a
<b>2B810PW</b>	12,64 a	14,97 a	16,59 a	13,49 a	15,35 a	16,85 a
<b>30A37PW</b>	13,67 b	16,72 b	20,21 a	15,68 a	16,36 a	20,53 a
<b>30F53</b>	13,85 b	20,76 a	24,48 a	16,47 a	19,02 a	18,93 a

<sup>1</sup>Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas linhas, entre as doses (0, 5 e 10g L<sup>-1</sup>), dentro de cada híbrido e mesma época, pertencem ao mesmo agrupamento, pelo teste de Scott knott ( $p \leq 0,05$ ).

Fonte: Do Autor (2017).

Devido à sua mobilidade intermediária no floema, a maior ou menor translocação do Zn no mesmo depende de sua disponibilidade na parte vegetativa, posto que, quando em maiores concentrações, pode apresentar-se complexado a compostos orgânicos de baixo peso molecular (MARSCHNER, 1995). Por outro lado, segundo Jurkowska et al. (1990), quanto maior a concentração do micronutriente no tecido vegetativo, maior será a sua translocação e acúmulo nos grãos.

Em geral, observa-se que houve uma variação expressiva das concentrações de Zn nos grãos do híbrido RB9077, que se diferenciou estatisticamente dos demais, quando utilizado 5g L<sup>-1</sup> do sulfato, na segunda época de cultivo (Tabelas 9 e 10).

As médias apresentadas pelos híbridos para Zn nos grãos, ficaram abaixo do valor-alvo ( $40 \text{ mg kg}^{-1}$ ) estabelecido pelo programa de biofortificação, Harvest Plus. No entanto, acredita-se que a aplicação do Zn em estádios mais tardios da cultura, pode mostrar-se responsiva, com uma maior translocação do nutriente para os grãos, posto a maior demanda durante a fase de enchimento dos mesmos.

Segundo Fernández e Eichert (2009), as aplicações via foliar, se tornam uma estratégia mais eficaz para aumentar as concentrações de Zn no grão, posto que o Zn é absorvido pela epiderme da folha, remobilizado e transferido para o grão através do floema, evitando a sua fixação no solo. Fahad et al. (2015) obtiveram resultados significativos em rendimento e concentração de Zn em grãos, utilizando a aplicação foliar com  $\text{ZnSO}_4$  ( $0,5 \text{ kg Zn ha}^{-1}$ ) na fase de pendoamento, obtendo uma concentração de  $51,5 \text{ mg kg}^{-1}$  de Zn em grãos de milho. Borges (2006) destaca que a acumulação dos micronutrientes como o Zn na parte aérea de cultivares de milho, em experimento conduzido em Lavras – MG foi praticamente nula até os 29 dias após a emergência, sendo o acúmulo máximo obtido sempre após os 100 dias, coincidindo com a segunda metade do período de enchimento de grãos.

A absorção de Zn aplicado via solo, pelas plantas, é limitada, pela baixa disponibilidade ou difusão do nutriente em certos solos, particularmente naqueles com altos valores de pH, de matéria orgânica, carbonatos e fosfatos (LU et al., 2011). Por outro lado, práticas de manejo, como a rotação com leguminosas (MANZEKE et al., 2012) e a aplicação de nitrogênio (N), podem aumentar a absorção de Zn, o transporte do xilema e a remobilização através do floema e, conseqüentemente, a sua concentração no grão (KUTMAN et al., 2010).

Conforme relatado por Cakmak (2009), a aplicação de fertilizantes com Zn, via solo e/ou foliar, são capazes de aumentar a concentração do micronutriente no grão, entre duas a três vezes. Os melhores resultados são obtidos com a aplicação de  $\text{ZnSO}_4$ , quando comparado com ZnO e ZnEDTA, devido à sua alta solubilidade. O autor relata ainda que duas aplicações foliares separadas, com  $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  a 0,5% (p/v), antes ou após o pendoamento, são eficazes no aumento da concentração no grão, sendo a aplicação realizada nos estádios de crescimento tardio responsáveis pelas maiores concentrações acumuladas, conforme também relatado neste estudo.

Solemani (2012) encontrou concentrações de  $34 \text{ mg kg}^{-1}$  de Zn em grãos de milho, com a aplicação de sulfato de Zn combinada via solo e foliar, garantindo um aumento de 54% das concentrações nos grãos, quando comparado com o tratamento via solo. Imran e Rehim (2016), aplicaram sulfato de Zn no sulco ( $16 \text{ kg Zn ha}^{-1}$  à profundidade de 15 cm)

combinada com pulverizações foliares (Zn a 0,5%, 25 dias após a semeadura e 0,25% no pendoamento) e relataram altas taxas de rendimento no milho, com concentrações de Zn variando de 22,3 a 41,9 mg kg<sup>-1</sup>, mostrando-se viável para uma produção ótima de milho e biofortificação agronômica de Zn em grãos.

De acordo com Eichert e Fernández (2012), os dados referentes à produtividade são importantes para excluir o "efeito de concentração", posto que, rendimentos de grãos mais baixos podem levar a concentrações maiores de Zn no grão, à medida que o Zn absorvido pela planta é distribuído para grãos menores ou para menores quantidades de grãos, como constatado neste estudo.

## 5 CONCLUSÕES

O cultivo realizado em Janeiro condiciona as maiores concentrações foliares de Zn em híbridos de milho, e estas, aumentam conforme o aumento das doses.

A produtividade de grãos foi afetada pelos híbridos de milho, doses de sulfato de Zn e épocas de cultivo.

A concentração de Zn nos grãos difere em função dos híbridos de milho utilizados, das doses de sulfato de Zn aplicadas e da época de cultivo.

## REFERÊNCIAS

- ABREU, J. A. A. **Doses de zinco em genótipos de milho em gleissolo háplico no município de Iranduba-AM**. 2012. 82 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia Tropical) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2012.
- ALLOWAY, B. J. **Zinc in soils and crop nutrition**. 2nd ed. Brussels: International Zinc Association, 2008.
- AMARAL, R. D. et al. Efeito de um resíduo da indústria de zinco sobre a química de amostras de solo e plantas de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 20, n. 3, p. 433-440, 1996.
- BANZATTO, D. A.; KRONKA, S. N. **Experimentação agrícola**. 3. ed. Jaboticabal: FUNEP, 1995.
- BATAGLIA, O. C. Análise química de plantas. In: FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P. (Ed.). **Micronutrientes na agricultura**. Piracicaba: Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1991. p. 289-308.
- BENDER, R. R. et al. Nutrient uptake, partitioning, and remobilization in modern, transgenic insect - protected maize hybrids. **Agronomy Journal**, Madison, v. 105, p. 161-170, 2013.
- BERGAMASCHI, H. et al. Distribuição hídrica no período crítico do milho e produção de grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, p. 831-839, 2004.
- BORGES, I. D. **Marcha de absorção de nutrientes e acúmulo de matéria em cultivares de milho**. Lavras: UFLA, 2006. 115 p.
- BOX, G. E. P.; COX, D. R. An analysis of transformations. **Journal of the Royal Society. Series B (Methodological)**, London, v. 26, n. 2, p. 211-252, 1964.
- BROADLEY, M. R. et al. Zinc in plants. **New Phytologist**, Cambridge, v. 173, p. 677-702, 2007.
- BRÜMMER, G. et al. Adsorption-desorption and/or precipitation-dissolution processes of zinc in soils. **Geoderma**, Amsterdam, v. 31, p. 337-354, 1983.
- CAKMAK, I. Enrichment of fertilizers with zinc: An excellent investment for humanity and crop production in India. **Journal of Trace Elements in Medicine and Biology**, Stuttgart, v. 23, n. 4, p. 281-289, 2009.
- CAKMAK, I. et al. Biofortification and localization of zinc in wheat grain. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 58, p. 9092-9102, 2010.
- CAKMAK, I. **Identification and correction of widespread zinc deficiency in Turkey: a success story (a NATO-Science for Stability Project)**. New York: International Fertiliser Society, 2004. (Proceedings of the International Fertiliser Society, 552).

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

COUTO, C. et al. Níveis críticos de zinco no solo e na planta para o crescimento de milho em amostras de solos com diferentes valores do fator capacidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 16, p. 79-87, 1992.

CRUZ, J. C. et al. **Quatrocentos e setenta e sete cultivares de milho estão disponíveis no mercado de sementes do Brasil para a safra 2015/2016**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2015. 28 p. (Documentos / Embrapa Milho e Sorgo, 184).

DANTAS, B. C. et al. Associação entre concentrações séricas de minerais, índices antropométricos e ocorrência de diarreia entre crianças de baixa renda da região metropolitana do Rio de Janeiro. **Revista de Nutrição**, Campinas, v. 20, p. 159-169, 2007.

DECARO, S. T. et al. Efeitos de doses e fontes de zinco na cultura do milho (*Zea mays* L.). **Revista de Agricultura**, Piracicaba, v. 58, p. 25-36, 1983.

DECHEN, A. R. et al. Funções dos micronutrientes nas plantas. In: FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P. (Coord.). **Micronutrientes na agricultura**. Piracicaba: Instituto de Potassa e Fosfato, 1991. p. 6578.

DUARTE, A. P. et al. Acúmulo de matéria seca e nutrientes em cultivares de milho originárias de clima tropical e introduzidas de clima temperado. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 2, n. 3, p. 1-20, 2003.

EICHERT, T.; FERNÁNDEZ, V. Uptake and release of mineral elements by leaves and other aerial plant parts. In: MARSCHNER, P. (Ed.). **Marschner's mineral nutrition of higher plants**. 3rd ed. Oxford: Academic, 2012. , p. 71-84.

FAHAD, S. et al. Grain cadmium and zinc concentrations in maize influenced by genotypic variations and zinc fertilization. **CLEAN–Soil, Air, Water**, Chichester, v. 43, n. 10, p. 1433-1440, 2015.

FERNANDEZ, V.; EICHERT, T. Uptake of hydrophilic solutes through plant leaves: Current state of knowledge and perspectives of foliar fertilization. **Critical Reviews in Plant Sciences**, Boca Raton, v. 28, p. 36-68, 2009.

FERREIRA, A. C. B. et al. Características agronômicas e nutricionais do milho adubado com nitrogênio, molibdênio e zinco. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 58, p. 131–138, 2001.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **How to feed the world in 2050**. Rome, 2009. 35 p.

GALRÃO, E. Z. Métodos de aplicação de zinco e avaliação de sua disponibilidade para o milho num Latossolo Vermelho-Escuro, argiloso, fase cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 20, p. 283-289, 1996.



GALRÃO, E. Z. Métodos de correção da deficiência de zinco para o cultivo do milho num latossolo vermelho-escuro argiloso sob cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 18, p. 229-233, 1994.

GARVIN, D. F.; WELCH, R. M.; FINLEY, J. W. Historical shifts in the seed mineral micronutrient concentration of US hard red winter wheat germplasm. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v. 86, n. 13, p. 2213-2220, Oct. 2006.

HANSCH, R.; MENDEL, R. R. Physiological functions of mineral micronutrients (Cu, Zn, Mn, Fe, Ni, Mo, B,Cl). **Current Opinion in Plant Biology**, Oxford, v. 12, p. 259-266, 2009.

IMRAM, M.; REHIM, A. Zinc fertilization approaches for agronomic biofortification and estimated human bioavailability of zinc in maize grain. **Archives of Agronomy and Soil Science**, Berlin, v. 63, n. 1/2, p. 106-116, Jan. 2016.

JAMAMI, N. et al. Resposta da cultura do milho (*Zea mays* L.) à aplicação de boro e de zinco no solo, **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 28, n. 1, p. 99-105, 2006.

JONES, J. B.; WOLF, B.; MILLS, H. A. **Plant analysis handbook**: a practical sampling preparation, analysis and interpretation guide. Athens: Micro-Macro, 1991. 213 p.

JOY, E. J. et al. Zinc-enriched fertilisers as a potential public health intervention in Africa. **Plant and Soil**, The Hague, v. 389, n. 1/2, p. 1-24, 2015.

JURKOWSKA, H. et al. The effect of N-fertilization rate on the levels of mineral components in various plant species: Part II. Microelements. **Rolnictwo Z**, [S. l.], v. 29, p. 51-64, 1990.

KUTMAN, U. B. et al. Biofortification of durum wheat with zinc through soil and foliar applications of nitrogen. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 87, p. 1-9, 2010.

LEITE, U. T. et al. Níveis críticos foliares de boro, cobre, manganês e zinco em milho. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 19, n. 2, p. 115-125, 2003.

LORENZ, A. J. et al. Breeding maize for a bioeconomy: A literature survey examining harvest index and stover yield and their relationship to grain yield. **Crop Science**, Madison, v. 50, p. 1-12, 2010.

LU, X. C. et al. Effects of combined phosphorus-zinc fertilization on grain zinc nutritional quality of wheat grown on potentially zinc-deficient calcareous soil. **Soil Science**, Baltimore, v. 176, p. 684-690, 2011.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas**: princípios e aplicações. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319 p.

MANZEKE, G. M. et al. Soil fertility management effects on maize productivity and grain zinc content in smallholder farming systems of Zimbabwe. **Plant and Soil**, The Hague, v. 361, n. 1/2, p. 57-69, 2012.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. London: Academic, 1995. 889 p.

MARTINEZ, H. E. P. et al. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**: 5a aproximação. Viçosa, MG: CFSEMG, 1999.

MORAES, M. F. Relação entre nutrição de plantas, qualidade de produtos agrícolas e saúde humana. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, v. 123, n. 1, p. 21-23, 2008.

PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 12. ed. São Paulo: Nobel, 1987. 466 p.

RASTIJA, M.; BUKVIC, G.; JOSIPOVIC, M. Response of corn to zinc fertilization. In: INTERNATIONAL SCIENCE CONFERENCE "ENERGY EFFICIENCY AND AGRICULTURAL ENGINEERING", 1., 2002, Rousse. **Proceedings...** Rousse: Union of Scientists-Rousse, 2002. v. 1, p. 131–136.

RITCHEY, K. D. M. et al. Disponibilidade de zinco para as culturas do milho, sorgo e soja em latossolo vermelhoescuro argiloso. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 21, p. 21525, 1986.

SOLEIMANI, R. Cumulative and residual effects of zinc sulfate on grain yield, zinc, iron, and copper concentration in corn and wheat. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 35, n. 1, p. 85-92, 2012.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. (Ed.). **Cerrado**: correção do solo e adubação. 2nd. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 416 p.

THORNE, N. Zinc deficiency and its control. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 9, p. 3161, 1957.

WELCH, R. M. Micronutrient nutrition of plants. **Critical Reviews in Plant Sciences**, Boca Raton, v. 14, n. 1, p. 48-87, 1995.

WHITE, J. G.; ZASOSKI, R. J. Mapping soil micronutrients. **Field Crop Research**, Amsterdam, v. 60, p. 11–26, 1999.