

**Teores de zinco e ferro em grãos de cultivares de trigo sob pulverização foliar de zinco**  
**Zinc and iron concentration in grains of wheat cultivars under foliar zinc spraying**  
**Concentración de zinc y hierro en granos de cultivares de trigo bajo la pulverización de**  
**zinc foliar**

Recebido: 03/04/2020 | Revisado: 14/04/2020 | Aceito: 16/04/2020 | Publicado: 19/04/2020

**Wagner Deckij Kachinski**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5834-2351>

Universidade Estadual de Maringá, Brasil

E-mail: [wdkachinski@hotmail.com](mailto:wdkachinski@hotmail.com)

**Luís Henrique Kapp Titski**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0767-2841>

Universidade Estadual do Centro-Oeste, Brasil

E-mail: [luishkt@hotmail.com](mailto:luishkt@hotmail.com)

**Poliana Horst Petranski**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4203-1951>

Universidade Estadual do Centro-Oeste, Brasil

E-mail: [polianahorstp@hotmail.com](mailto:polianahorstp@hotmail.com)

**Karin Kamila Brick Lopes de Matos**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7795-2814>

Universidade Estadual do Centro-Oeste, Brasil

E-mail: [Karin\\_kamila@hotmail.com](mailto:Karin_kamila@hotmail.com)

**Marcelo Marques Lopes Muller**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5466-2398>

Universidade Estadual do Centro-Oeste, Brasil

E-mail: [mmuller@unicentro.br](mailto:mmuller@unicentro.br)

**Fabício William Ávila**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0301-2720>

Universidade Estadual do Centro-Oeste, Brasil

E-mail: [fwavila@unicentro.br](mailto:fwavila@unicentro.br)

## Resumo

O zinco (Zn) e o ferro (Fe) são os micronutrientes mais deficientes na população mundial. A biofortificação agronômica de Zn visa aumentar a concentração do micronutriente nos grãos sem negativamente afetar a produtividade. Entretanto, o aumento do acúmulo de Zn nos grãos pode afetar o acúmulo e a biodisponibilidade de Fe. Visando estudar esses micronutrientes em grãos de trigo, a presente pesquisa teve como objetivo investigar os teores de Zn e Fe em grãos de cultivares de trigo e verificar o efeito da pulverização foliar de Zn para melhorar a qualidade nutricional dos grãos sem afetar negativamente a produtividade. O experimento de campo foi conduzido em DBC com quatro repetições, em esquema de parcelas subdivididas, sendo as parcelas compostas por cinco cultivares de trigo amplamente cultivadas na região Sul do Brasil (ORS 1403, ORS Vintecinco, BRS Gralha Azul, BRS Sabiá e TBIO Sintonia) e as subparcelas compostas por quatro doses de Zn (0, 250, 500 e 1000 g ha<sup>-1</sup>) aplicadas via foliar no estágio fenológico de maturação de grãos. A produtividade de grãos variou entre as cultivares, apresentando valores entre 1328 a 4333 kg ha<sup>-1</sup>, mas não houve efeito significativo da pulverização foliar de Zn. Houve variação genotípica quanto à capacidade do trigo em acumular Zn nos grãos. As cultivares tiveram diferentes respostas quanto à capacidade de acumular Zn nos grãos em função da pulverização foliar desse micronutriente. Verificou-se uma relação inversa entre acúmulo de Zn e Fe nos grãos em quatro cultivares de trigo.

**Palavras-chave:** *Triticum aestivum* L.; Adubação foliar; Micronutriente; Biofortificação; Segurança alimentar.

## Abstract

Zinc (Zn) and iron (Fe) are the most deficient nutrients in the world population. Agronomic biofortification of Zn aims to increase concentration of the micronutrient in edible parts of staple crops without negatively affecting yield. However, the increase in grain Zn accumulation may affect grain Fe accumulation and bioavailability. In order to study these micronutrients in wheat grains, the objective of this study was to evaluate the concentrations of Zn and Fe in grains of wheat cultivars and to verify the effect of foliar Zn spraying to improve grain nutritional quality without negatively affecting yield. The field experiment was carried out in a randomized block design with four replicates, in a split-plot scheme, with plots being composed of five wheat cultivars widely cultivated in Southern Brazil (ORS 1403, ORS Vintecinco, BRS Gralha Azul, BRS Sabiá e TBIO Sintonia) and subplots composed of four Zn doses (0, 250, 500 e 1000 g ha<sup>-1</sup>) applied via foliar spraying at the maturation

phenological stage. Grain yield varied between cultivars from 1328 to 4333 kg ha<sup>-1</sup>, but there was no significant effect of leaf Zn spraying. There was genotypic variation as to ability of the wheat cultivars to accumulate Zn in grains. The cultivars had different responses in grain Zn accumulation due to the foliar Zn spraying. There was an inverse relationship between Zn and Fe accumulation in the grains in four wheat cultivars.

**Keywords:** *Triticum aestivum* L.; Foliar fertilization; Micronutrient; Biofortification; Food security.

### Resumen

El zinc (Zn) y el hierro (Fe) son los nutrientes más deficientes en la población mundial. La biofortificación agronómica de Zn tiene como objetivo aumentar la concentración del micronutriente en los granos sin afectar negativamente la productividad. Sin embargo, el aumento de la acumulación de Zn en los granos puede afectar la acumulación y la biodisponibilidad de Fe. Para estudiar estos micronutrientes en granos de trigo, el objetivo de este estudio fue evaluar los contenidos de Zn y Fe en granos de los cultivares de trigo y verificar el efecto de la pulverización foliar de Zn para mejorar la calidad nutricional de los granos sin afectar negativamente la productividad. El experimento de campo se llevó a cabo en un diseño de bloques al azar con cuatro repeticiones, en un esquema de parcelas subdivididas, siendo las parcelas compuestas por cinco cultivares de trigo ampliamente cultivados en la región sur de Brasil (ORS 1403, ORS Vintecinco, BRS Gralha Azul, BRS Sabiá y TBIO Sintonia ) y las subparcelas compuestas por cuatro dosis de Zn (0, 250, 500 y 1000 g ha<sup>-1</sup>) aplicadas vía foliar en la etapa fenológica de la maduración del grano. La productividad de los granos varió entre los cultivares, presentando valores entre 1328 y 4333 kg ha<sup>-1</sup>, pero no hubo un efecto significativo de la pulverización foliar de Zn. Hubo variación genotípica en cuanto a la capacidad del trigo para acumular Zn en los granos. Los cultivares tuvieron diferentes respuestas con respecto a la capacidad de acumular Zn en los granos en función de la pulverización foliar de este micronutriente. Se verificó una relación inversa entre la acumulación de Zn y Fe en los granos de los cultivares de trigo.

**Palabras clave:** *Triticum aestivum* L.; Fertilización foliar; Micronutrientes; Biofortificación; Seguridad alimentaria.

## 1. Introdução

Os problemas de saúde causados pela deficiência de micronutrientes e vitaminas afetam mais de 2 bilhões de pessoas em todo o mundo, especialmente por zinco (Zn) e ferro (Fe) (Velu, Ortiz-Monasterio, Cakmak, Hao, & Singh, 2014). Cerca de 60% da população mundial é afetada pela deficiência de Fe, enquanto que a deficiência de Zn afeta um terço da população mundial (Moreira, Moraes, & dos Reis, 2018; Shahzad, Rouached, Rakha, & 2014). Estudos apontam que a ingestão diária adequada de Zn por humanos reduz a incidência de câncer, distúrbios neurológicos e doenças autoimunes (Black et al., 2008; Chasapis, Loutsidou, Spiliopoulou, & Stefanidou, 2012).

Além da nutrição humana, o Zn e o Fe também são elementos essenciais para as plantas e a deficiência desses micronutrientes nas lavouras afeta diretamente a produtividade final e a qualidade do produto colhido (Taiz & Zeiger, 2009). Em adição, estima-se que cerca de metade dos solos cultivados com grãos no mundo são deficientes em Zn (Alloway, 2009; Ram et al., 2016).

No Brasil, o Zn é o micronutriente de planta mais deficiente nos solos sob condições naturais (Lopes & Guimarães Guilherme, 2016), especialmente nos Latossolos que é a classe de solo predominante no país (Dos Santos et al., 2018). Em geral, a quantidade de Zn adicionada nas adubações para atender a demanda das culturas agrícolas não tem sido suficiente para proporcionar um teor adequado do elemento nos alimentos, visando a nutrição humana e/ou animal.

A técnica da biofortificação de culturas agrícolas com Zn consiste no aumento da concentração desse elemento nos alimentos básicos através da sua introdução nos programas de adubação e por melhoramento genético de cultivares, visando atender à necessidade humana e/ou animal (Alloway, 2009; Broadley, White, Hammond, Zelko, & Lux, 2007; Cakmak et al., 2010).

A biofortificação agrônômica tem sido uma importante estratégia atualmente utilizada para incrementar o Zn na dieta da população, ou seja, enriquecer os alimentos com Zn por meio do fornecimento do elemento durante o cultivo da cultura, sem causar toxidez e, conseqüentemente, perda de produtividade.

Os micronutrientes catiônicos, como  $Zn^{2+}$  e  $Fe^{2+}$ , possuem forte interação no solo e no sistema de absorção, metabolismo e acúmulo nos vegetais (Marschner, 2012; Moreira et al.,

2018). Assim, o aumento do acúmulo de Zn nos grãos pode afetar o acúmulo e a biodisponibilidade de Fe dos grãos.

O trigo (*Triticum aestivum* L.) é o segundo cereal mais produzido no mundo, sendo uma importante fonte de energia para a nutrição humana. Na safra de 2019, a área plantada de trigo no Brasil foi em média 2,04 milhões de hectares, obtendo-se uma produção de 5,15 milhões de toneladas de grãos, com produtividade de 2,53 kg ha<sup>-1</sup> (CONAB, 2020). Só no estado do Paraná, em 2019 foi plantado em média 1,02 milhões de hectares de trigo (cerca de 50% da média nacional), obtendo-se 2,13 milhões de toneladas de grãos (41% da produção nacional), com produtividade de 2,08 kg ha<sup>-1</sup> (CONAB, 2020).

Diversos trabalhos demonstram a eficiência da biofortificação agrônômica com Zn na cultura do trigo e outras culturas produtoras de grãos (Cakmak et al., 2010; Tunes et al., 2012; Zou et al., 2012; Abdoli, Esfandiari, Mousavi & Sadeghzadeh, 2014; Mao et al., 2014; Ram et al., 2016). Cakmak et al. (2010) ainda enfatizam que aplicações foliares de Zn elevam de maneira considerável a concentração de Zn nos grãos. Nesse sentido, o estudo do acúmulo de Zn em grãos de cultivares de trigo e sua interação com o acúmulo de Fe pode resultar em importantes informações para os programas de biofortificação.

Este estudo teve como objetivo avaliar os teores de Zn e Fe em grãos de cinco cultivares de trigo, amplamente cultivadas na região Sul do Brasil, e verificar o efeito da pulverização foliar de Zn para biofortificar os grãos com o micronutriente sem afetar negativamente a produtividade.

## 2. Metodologia

O presente estudo trata-se de uma pesquisa experimental qualitativa e quantitativa (Pereira, Shitsuka, Parreira, & Shitsuka, 2018), realizado na área experimental e no laboratório de Solos e Nutrição de Plantas do *Campus* CEDETEG da Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO), em Guarapuava, estado do Paraná, Brasil (25°23'2" S, 51°29'43" W e 1026 m de altitude).

A região de Guarapuava está situada na zona subtropical do estado do Paraná (Maack, 2002), onde o tipo climático predominante é temperado de altitude – Cfb, segundo a Classificação Climática de Köppen-Geiger, apresentando temperatura média menor que 18 °C no mês mais frio (mesotérmico), verões amenos, temperatura média no mês mais quente inferior a 22 °C, sem estação seca definida e com geadas severas. A altitude média da área

experimental é 1026 m. O solo da área experimental é um Latossolo Bruno Distrófico de textura muito argilosa, conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solo (Dos Santos et al., 2018).

O resultado da análise química do solo (camada de 0-20 cm de profundidade) da área experimental, amostrado previamente à instalação do experimento, mostrou que o teor de Zn disponível do solo sob condições naturais era “alto”, conforme o Manual de Adubação e Calagem para o Estado do Paraná (NEPAR-SBCS, 2017). A calagem foi realizada visando a elevação da percentagem de saturação de bases (V%) para 70 e ajuste da relação entre os teores de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  para 4 (relação  $\text{Ca/Mg} = 4$ ).

A semeadura das cultivares de trigo (*Triticum aestivum* L.) foi realizada no dia 26 de julho de 2017 na área experimental supracitada. Usou-se o espaçamento entre linhas de 17 cm, e uma densidade de 300 sementes viáveis/m<sup>2</sup>. As características das cultivares de trigo utilizadas estão apresentadas na Tabela 1.

**Tabela 1.** Características das cultivares de trigo utilizadas no experimento.

<b>Cultivar</b>	<b>Ciclo médio (dias)</b>	<b>Classificação quanto à qualidade para utilização industrial</b>
ORS 1403	132	Trigo da classe pão
ORS Vintecinco	127	Trigo da classe biscoito
BRS Gralha Azul	124	Trigo da classe pão/melhorador
BRS Sabiá	110	Trigo da classe pão
TBIO Sintonia	135	Trigo da classe melhorador

Fonte: Autores (Guarapuava-PR, 2020).

Observa-se na Tabela 1 que o ciclo médio das cultivares de trigo estudadas variam de 110 a 135 dias. Quanto à qualidade para utilização industrial, as cultivares utilizadas são classificadas em “trigo da classe pão”, “trigo da classe biscoito” e “trigo da classe melhorador”.

O manejo da adubação de plantio e de cobertura para a cultura do trigo foi baseado na interpretação dos resultados da análise química do solo e recomendações que constam no Manual de Adubação e Calagem para o Estado do Paraná (NEPAR-SBCS, 2017). Os tratamentos culturais, incluindo as aplicações de herbicida, fungicida e inseticida, foram feitas conforme recomendações técnicas para a cultura do trigo na região de Guarapuava, estado do Paraná. A Figura 1 mostra algumas imagens das plantas de trigo ao longo do período experimental.

**Figura 1.** Imagens das plantas de trigo em diferentes estádios de desenvolvimento.

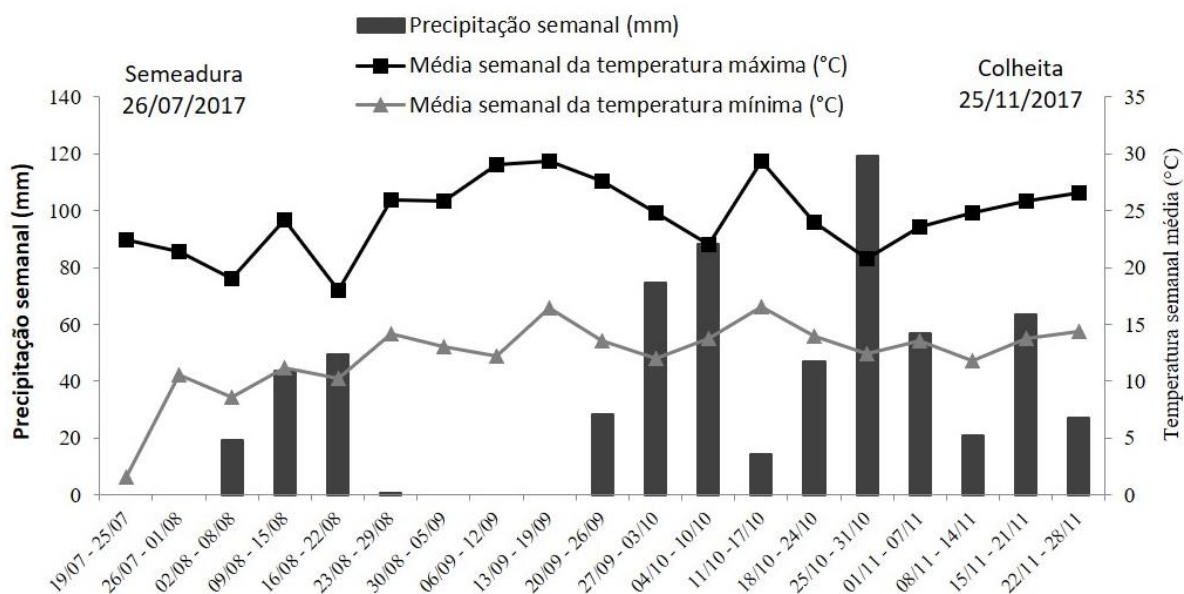


Fonte: Autores (Guarapuava-PR, 2017).

Observa-se na Figura 1 a área experimental preparada para a semeadura e as imagens das plantas de trigo em diferentes estádios fenológicos.

Os valores de precipitação pluviométrica acumulada e temperaturas mínimas e máximas médias foram obtidos a partir de uma estação meteorológica pertencente à rede de Estações Meteorológicas do Instituto Agrônômico do Paraná (IAPAR), localizada a 50 m da área experimental (Figura 2).

**Figura 2.** Dados de precipitação acumulada semanal e médias semanais de temperatura mínima e máxima na área experimental durante o período de condução do experimento.



Fonte: Autores (Guarapuava-PR, 2017).

A Figura 2 mostra que houve ausência de precipitação pluviométrica nas semanas anterior (19/07/2017 a 25/07/2017) e posterior (26/07/2017 a 02/08/2017) a instalação do experimento. No entanto, o principal aspecto negativo das condições climáticas foi a ausência de precipitação entre 25/08/2017 (30 dias após sementeira) a 23/09/2017 (59 dias após sementeira), ou seja, praticamente um mês sem ocorrência de chuva.

O delineamento foi de blocos ao acaso (DBC) com quatro repetições, em esquema de parcelas subdivididas, sendo as parcelas compostas por cinco tratamentos de cultivares de trigo (ORS 1403, ORS Vintecincinco, BRS Gralha Azul, BRS Sabiá e TBIO Sintonia) e as subparcelas compostas por quatro tratamentos de doses de Zn (0, 250, 500 e 1000 g ha<sup>-1</sup>) aplicados via foliar no início do estágio maturação dos grãos. Cada subparcela experimental foi constituída por 8 linhas de plantas com 5 m de comprimento.

O experimento foi colhido a partir da segunda quinzena de novembro de 2017. Na área útil de cada subparcela foi determinada a produtividade de grãos em kg ha<sup>-1</sup>, com a umidade dos grãos corrigida para 13%.

Amostras de grãos foram secas em estufa de circulação forçada de ar (58-60 °C) até peso constante e moídas em moinho tipo Wiley para posterior análises químicas. A determinação dos teores de Zn e Fe nos grãos foram realizadas no laboratório de Solos e Nutrição de Plantas do *Campus* CEDETEG da UNICENTRO, baseando-se na metodologia



proposta por EMBRAPA (2009). Após digestão nítrica-perclórica do material vegetal, os teores de Zn e Fe foram quantificados por espectrofotometria de absorção atômica.

Os dados obtidos foram submetidos ao teste de normalidade (teste de Shapiro-Wilk,  $P \leq 0,05$ ) e à análise de variância (ANOVA,  $P \leq 0,05$ ), usando o software SISVAR (Ferreira, 2011). As médias foram comparadas por meio do teste de LSD de Fisher ( $P \leq 0,05$ ).

### 3. Resultados e Discussão

A Tabela 2 apresenta os valores de quadrados médios da análise de variância para a produtividade de grãos de trigo em função dos tratamentos.

**Tabela 2.** Quadrados médios da análise de variância para produtividade de grãos, em função de cultivares de trigo (compondo as parcelas) e de aplicação de doses de Zn via foliar no estágio de maturação de grãos (compondo as subparcelas). \*\*\* e <sup>ns</sup> representam:  $P \leq 0,001$  e  $P > 0,05$ , respectivamente, pelo teste de F.

Fontes de variação	Grau de liberdade	Quadrado médio
Bloco	4	1059433,3532 <sup>ns</sup> .
Cultivares (C)	3	21295465,4482 ***
Resíduo 1	12	880197,5309
Zn via foliar (Zn)	3	1133825,3456 <sup>ns</sup> .
C × Zn	12	576064,5693 <sup>ns</sup> .
Resíduo 2	45	530541,5917
CV 1 (%)		29,33
CV 2 (%)		22,77

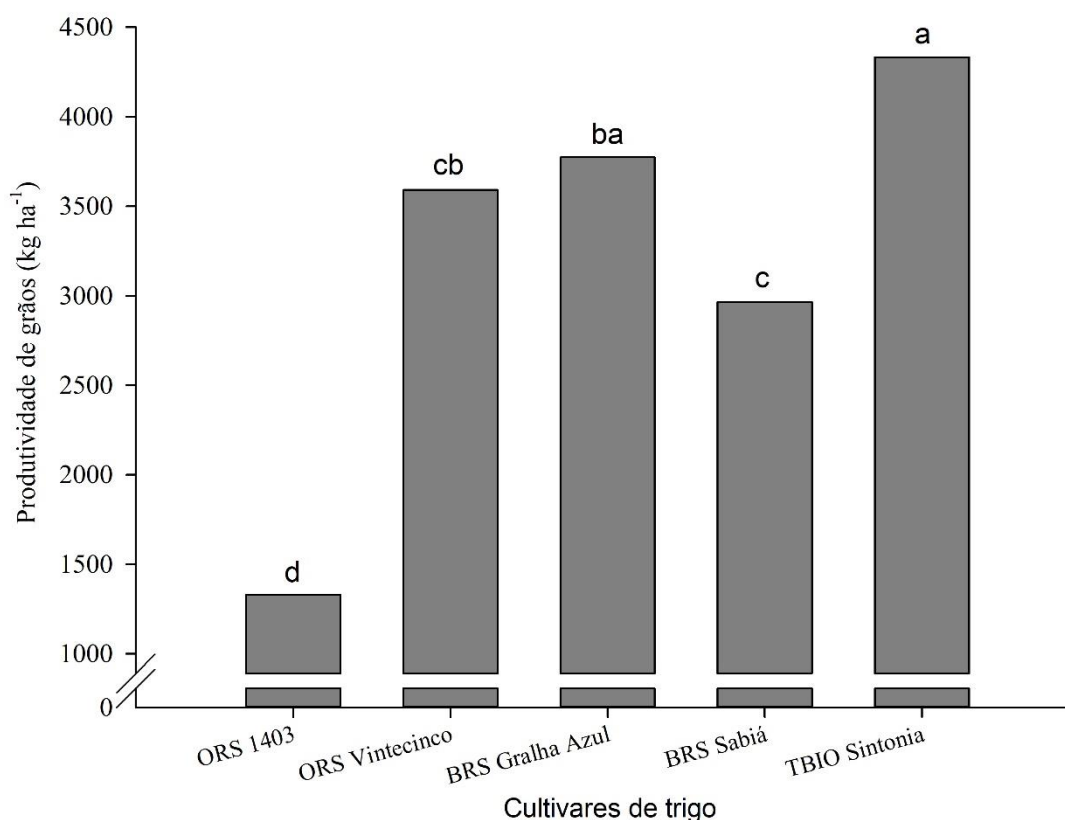
Fonte: Autores (Guarapuava-PR, 2020).

Verifica-se na Tabela 2 que a produtividade de grãos do trigo foi influenciada apenas pelas diferentes cultivares, não sendo significativamente afetada pelos tratamentos de doses de zinco (Zn) via pulverização foliar no estágio de maturação dos grãos.

A figura 3 apresenta os resultados de produtividade de grãos das cultivares de trigo. Observa-se na figura 3 que a produtividade de grãos de trigo variou de 1328 kg ha<sup>-1</sup> (cultivar ORS 1403) a 4333 kg ha<sup>-1</sup> (cultivar TBIO Sintonia). A ampla variação de produtividade de grãos de trigo entre as cultivares verificada neste trabalho foi, em parte, devido ao déficit hídrico ocorrido durante o período experimental, especialmente entre 30 a 59 dias após semeadura (Figura 2), quando as plantas de trigo se encontravam em fase de alongação e

frutificação. Neste caso, houve diferente tolerância entre os genótipos quanto ao estresse hídrico.

**Figura 3.** Produtividade de grãos em função de cultivares de trigo. Médias seguidas da mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste de LSD de Fisher a 5% de probabilidade.



Fonte: Autores (Guarapuava-PR, 2020).

Em 2017 (mesmo ano de condução desse experimento), a produtividade média de trigo no Estado do Paraná e no Brasil foi 2,308 e 2,225 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente (CONAB, 2018). Assim, das cinco cultivares estudadas, apenas uma (ORS 1403) teve produtividade de grãos menor que a média nacional. Neste caso, verifica-se que mesmo tendo um forte déficit hídrico, as cultivares apresentaram elevada produtividade de grãos, sendo que três das cinco cultivares estudadas tiveram produtividade acima de 3500 kg ha<sup>-1</sup>, destacando-se a TBIO Sintonia com produtividade de 4333 kg ha<sup>-1</sup>. Enfatiza-se que o solo da área experimental é um Latossolo Bruno Distrífico de textura muito argilosa (Dos Santos et al., 2018) e com 41 g kg<sup>-1</sup> de matéria orgânica, que propicia uma boa retenção e, conseqüentemente, armazenamento de

água no solo. Esse fato explica a elevada produtividade de grãos obtida, mesmo com o período de um mês sem precipitação durante o estágio de desenvolvimento das cultivares de trigo.

Neste trabalho, a aplicação foliar de Zn no estágio de maturação de grãos não afetou a produtividade de grãos, que foi um resultado positivo do ponto de vista da biofortificação. Pois, o Zn é um micronutriente de planta, ou seja, exigido em pequenas concentrações, e o excesso no tecido pode levar a toxicidade (Marschner, 2012).

No Brasil, um país de dimensão continental, encontra-se solos com Zn disponível variando entre baixo a alto, sob condições naturais. Assim, a resposta em produtividade das culturas agrícolas devido à aplicação foliar de Zn depende de vários fatores que atuam em conjunto, tais como localização, tipo de solo, genótipo, disponibilidade de água e de nutrientes no solo e concentração de Zn na calda, volume de aplicação da calda (em L ha<sup>-1</sup>) e época (estádio fenológico da cultura) de pulverização foliar de Zn (Zou et al., 2012).

Zhao et al. (2009) relataram que para a cultura do trigo há certa correlação negativa entre produtividade de grãos e teor de Zn nos grãos. Kachinski et al. (2020), em experimento de campo com duas cultivares de feijoeiro-comum, encontraram que a aplicação foliar de Zn no estágio fenológico de florescimento resultou em diminuição e aumento de produtividade de grãos de acordo com a cultivar; entretanto, quando a aplicação foliar foi feita no estágio fenológico de enchimento de grãos, não houve variação significativa de produtividade de grãos.

Em experimentos de campo com a cultura do trigo conduzidos em vários países, visando a biofortificação de grãos, Zou et al. (2012) verificaram que, na maioria dos casos, o Zn fornecido via foliar não alterou a produtividade de grãos. Gomez-Coronado, Poblaciones, Almeida e Cakmak (2016), em experimento conduzido por dois anos consecutivos na região Sudeste de Portugal, onde os solos são deficientes em Zn, também não verificaram efeito significativo da pulverização foliar de Zn sobre a produtividade de grãos de cultivares de trigo, em comparação ao tratamento controle.

Por outro lado, em cultivo de trigo 'CD 104' sob condições de campo no município de Maripá, Estado do Paraná, Brasil (24°22' S, 53°44' W e altitude de 380 m), Zoz, Steiner, Fey, Castagnara e Seidel (2012) encontraram aumento de 14% de produtividade de grãos com aplicação foliar de Zn aos 18 e 65 dias após emergência. Abdoli, Esfandiari, Mousavi e Sadeghzadeh (2014) também encontraram aumento de produtividade de grãos de trigo

'Kohdasht' com a aplicação foliar de Zn nos estádios de alongação e enchimento de grãos no Estado de Maragheh, Iran (37°22' N, 46°16' E e altitude de 1542 m).

A Tabela 3 apresenta os valores de quadrados médios da análise de variância para teores de Zn e Fe nos grãos de trigo em função dos tratamentos.

**Tabela 3.** Quadrados médios da análise de variância para teores de Zn e Fe nos grãos, em função de cultivares de trigo (compondo as parcelas) e de aplicação de doses de Zn via foliar no estágio de maturação de grãos (compondo as subparcelas). \*\*\*, \*\* e <sup>ns</sup> representam:  $P < 0,001$ ,  $P < 0,01$  e  $P > 0,05$ , respectivamente, pelo teste de F.

Fontes de variação	Grau de liberdade	Quadrado médio	
		Zn nos grãos	Fe nos grãos
Bloco	4	15,2056 <sup>n.s.</sup>	15.6130 <sup>n.s.</sup>
Cultivares (C)	3	2169,7084 ***	2852.6303 ***
Resíduo 1	12	36,7128	23.2476
Zn via foliar (Zn)	3	489,2978 ***	80.6168 **
C × Zn	12	281,6563 ***	89.2782 ***
Resíduo 2	45	47,0725	19.2924
CV 1 (%)		18,82	11,98
CV 2 (%)		21,31	10,92

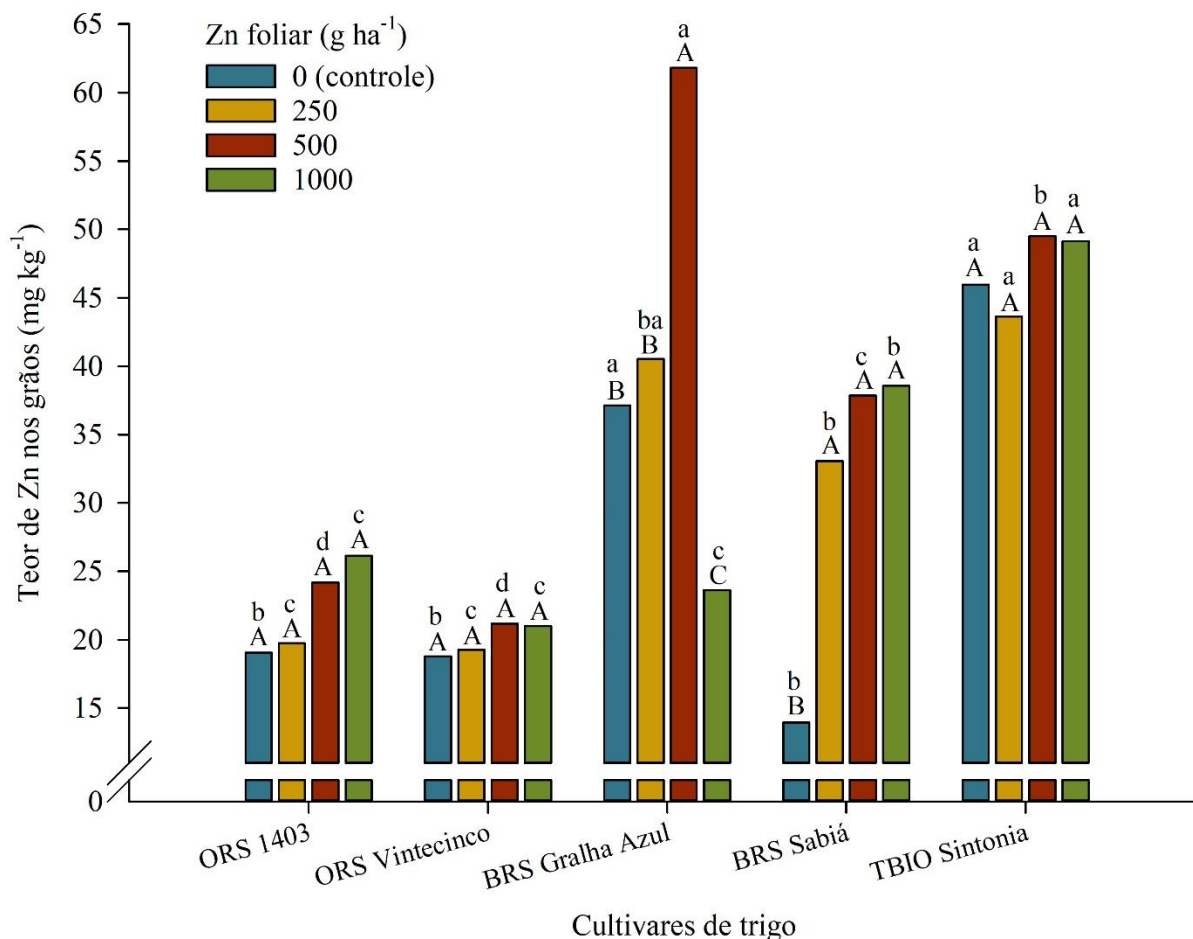
Fonte: Autores (Guarapuava-PR, 2020).

Observa-se na Tabela 3 que os teores de Zn e Fe nos grãos de trigo foram afetados pelas cultivares, pelas doses de Zn e pela interação entre cultivares e doses de Zn.

A Figura 4 apresenta os valores de teor de Zn nos grãos das cultivares de trigo em função dos tratamentos de Zn aplicados via foliar. Verifica-se na Figura 4 que as cultivares ORS 1403 e ORS Vintecinco apresentaram, em geral, os menores teores de Zn nos grãos, e as doses de Zn aplicadas via foliar não afetaram o teor de Zn nos grãos dessas cultivares. Essas cultivares tiveram média de 22 mg kg<sup>-1</sup> (ORS 1403) e 20 mg kg<sup>-1</sup> (ORS Vintecinco) de Zn nos grãos, respectivamente.

No tratamento controle (sem aplicação foliar de Zn) a cultivar BRS Gralha Azul teve 37 mg kg<sup>-1</sup> de Zn nos grãos. Porém, aplicação foliar de 500 g ha<sup>-1</sup> de Zn no estágio de maturação dos grãos resultou em 62 mg kg<sup>-1</sup> de Zn nos grãos dessa cultivar (aumento de 68%). Entretanto, a aplicação foliar de 1000 g ha<sup>-1</sup> de Zn (maior dose) reduziu o teor de Zn nos grãos para 24 mg kg<sup>-1</sup> (valor menor que o verificado no controle). Provavelmente, o excesso de Zn pode ter causado alterações no transporte e redistribuição de Zn nos tecidos dessa cultivar (Moreira et al., 2018).

**Figura 4.** Teor de Zn nos grãos de cultivares de trigo, em função de aplicação de doses de Zn via foliar no estágio de maturação de grãos. Médias seguidas da mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste de LSD de Fisher a 5% de probabilidade. Letra minúscula compara os tratamentos de doses de Zn via foliar dentro de cada cultivar, e letra maiúscula compara as cultivares dentro de cada tratamento de doses de Zn.



Fonte: Autores (Guarapuava-PR, 2020).

A cultivar BRS Sabiá apresentou o menor teor de Zn nos grãos ( $14 \text{ mg kg}^{-1}$ ) sob tratamento controle. No entanto, a aplicação foliar de Zn no estágio de maturação de grãos elevou o teor médio para  $37 \text{ mg kg}^{-1}$  (aumento de 2,6 vezes), não sendo verificada diferença significativa entre as doses 250, 500 e  $1000 \text{ g ha}^{-1}$  de Zn.

A cultivar TBIO Sintonia apresentou em média  $47 \text{ mg kg}^{-1}$  de Zn nos grãos. O teor de Zn nos grãos dessa cultivar não foi afetado pela aplicação de Zn via foliar.

Devido ao efeito antagônico da maior dose ( $1000 \text{ g ha}^{-1}$ ) de Zn via foliar sobre o teor de Zn nos grãos da cultivar BRS Gralha Azul, a dose  $500 \text{ g ha}^{-1}$  de Zn foi considerada a que

resultou em melhor acúmulo de Zn nos grãos de trigo sem causar decréscimo de produtividade, considerando todas as cultivares estudadas ao mesmo tempo.

Sem aplicação de Zn via foliar (controle), o teor de Zn nos grãos foi menor nas cultivares ORS 1403, ORS Vintecinco, e BRS Sabiá, e maior nas cultivares BRS Gralha Azul e TBIO Sintonia. Porém, com a aplicação foliar de 500 g ha<sup>-1</sup> de Zn no estágio de maturação de grãos, a ordem de teor de Zn nos grãos das cultivares foi BRS Gralha Azul > TBIO Sintonia > BRS Sabiá > ORS 1403 ≈ ORS Vintecinco. Neste caso, verificou-se que existe variação genotípica quanto ao teor de Zn nos grãos de trigo e, também, quanto à resposta em teor de Zn nos grãos em função da aplicação foliar desse micronutriente durante o estágio de maturação de grãos. Ressalta-se que o solo da área experimental apresentou alto teor de Zn disponível (9 mg dm<sup>-3</sup> de Zn extraído pelo Mehlich-1) conforme interpretação pelo Manual de Adubação e Calagem para o Estado do Paraná (NEPAR-SBCS, 2017).

Khoshgoftarmanesh, SanaeiOstovar, Sadrarhami e Chaney (2013), em trabalho de campo por dois anos consecutivos usando dez cultivares de trigo no Iran (32°30' N, 52°90' E e altitude de 1500 m), também verificaram que o efeito da aplicação foliar de Zn (como ZnSO<sub>4</sub>) sobre o teor de Zn nos grãos de trigo foi dependente de cultivar e da época da pulverização foliar.

Quando o objetivo da aplicação de Zn via foliar é a biofortificação, a pulverização foliar em estágio fenológico mais avançado pode diminuir o risco de uma eventual perda de produção por toxidez, trazendo maior segurança ao produtor (especialmente os menos tecnificados). Entretanto, a aplicação foliar de Zn já no estágio de maturação de grãos pode ser um dos motivos para a ausência de resposta de três cultivares de trigo para o teor de Zn nos grãos, embora Yang et al. (2011), avaliando diferentes épocas de aplicação foliar de Zn em trigo durante dois anos consecutivos de experimento de campo, não encontraram variação significativa de teor de Zn nos grãos para a aplicação foliar durante o florescimento, início de enchimento de grãos e final de enchimento de grãos.

O fato de o solo da área experimental apresentar alto teor de Zn disponível sob condições naturais pode também resultar em menor resposta de algumas cultivares para a elevação de teor de Zn. Contudo, mesmo o solo da área experimental tendo alta disponibilidade de Zn, e a pulverização foliar ter sido em estágio fenológico mais avançado, as cultivares BRS Gralha Azul e BRS Sabiá (ambas do grupo BRS) responderam de forma positiva ao acréscimo de teor de Zn nos grãos, mostrando que a variação genotípica é um fator importante nos programas de biofortificação de grãos de trigo com Zn.

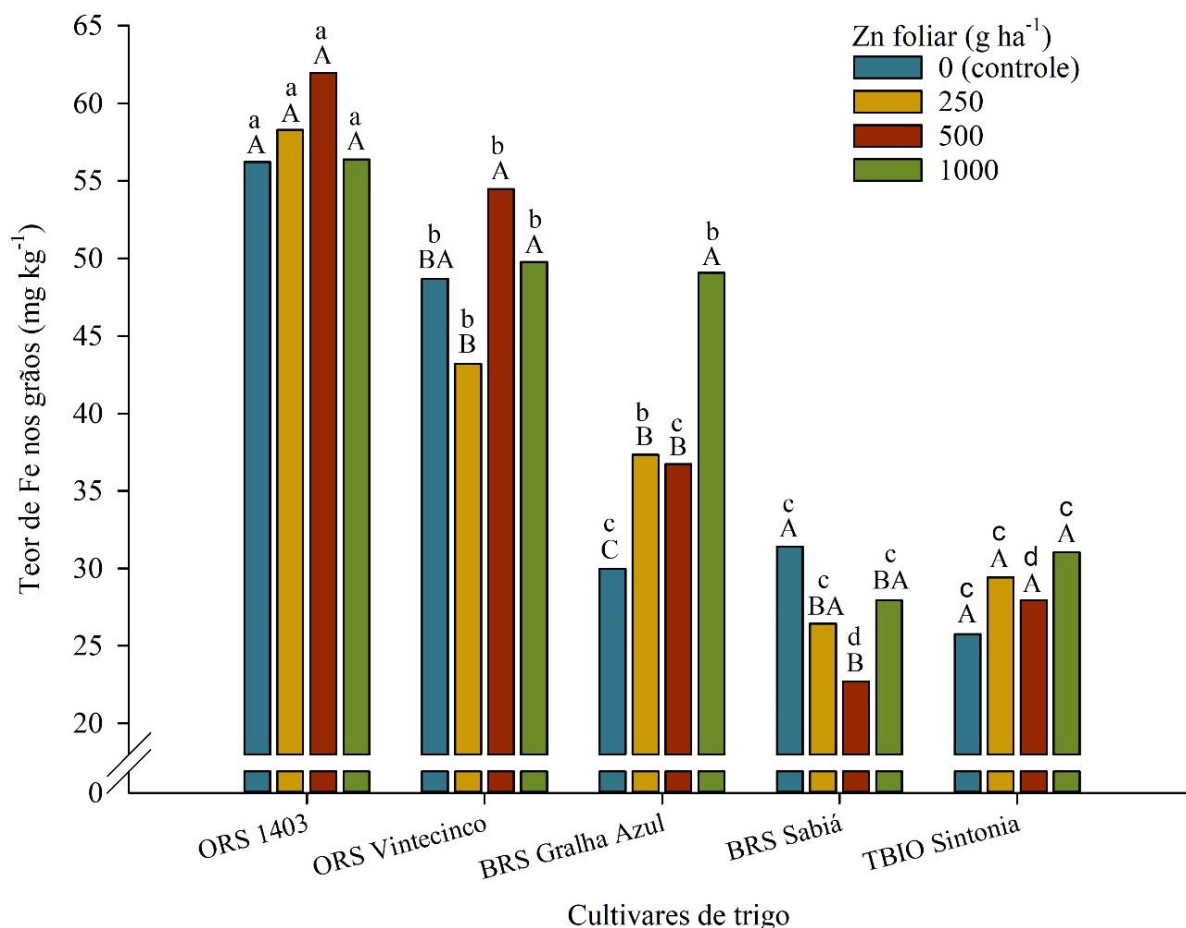
O requerimento diário de Zn na alimentação humana é de difícil determinação, devido a biodisponibilidade de Zn variar conforme a ingestão de outras substâncias e elementos na alimentação. No Reino Unido os valores de RDI (Reference Nutrient Intake) de Zn estabelecidos são 7,0 e 9,5 mg dia<sup>-1</sup> para mulheres e homens adultos, respectivamente. Nos Estados Unidos, a FDA (Food and Drug Administration) cita o valor de 40 mg dia<sup>-1</sup> de Zn como sendo a máxima dose recomendada de ingestão diária em adultos, sendo que a superdosagem pode resultar em efeitos tóxicos (Livingstone, 2015).

O consumo mundial de trigo por habitante foi estimado em 2017 de 65,62 kg/per capita/ano (FAOSTAT, 2020). Assim, considerando os valores de RDI de Zn (7,0 e 9,5 mg dia<sup>-1</sup> para mulheres e homens adultos, respectivamente) e o teor de Zn encontrado nos grãos de trigo sob condições naturais (tratamento controle), as cultivares ORS 1403, ORS Vintecinco, BRS Galha Azul, TBIO Sintonia, BRS Sabiá podem fornecer em média 57, 51, 95, 36 e 121% da exigência diária de Zn para mulheres adultas, respectivamente, e 42, 38, 70, 26 e 89% da exigência diária de Zn para homens adultos, respectivamente. Com a aplicação foliar de 500 g ha<sup>-1</sup> de Zn no estágio de maturação de grãos, as cultivares BRS Galha Azul e BRS Sabiá passam a suprir em média 159 e 95% da exigência diária de Zn para mulheres adultas, respectivamente, e 117 e 70% da exigência diária de Zn para homens adultos, respectivamente. Ressalta-se que o limite máximo recomendado de ingestão de Zn é mais que quatro vezes a RDI. No Brasil, o consumo de trigo por habitante é menor que a média mundial, sendo que em 2017 foi estimado em média 49,21 kg/per capita/ano (FAOSTAT, 2020), ou seja, 25% menor que a média mundial.

A Figura 5 apresenta os valores de teor de Fe nos grãos das cultivares de trigo em função dos tratamentos de Zn aplicados via foliar.

A Figura 5 mostra que, analisando apenas o tratamento controle, verificou-se que a ordem decrescente em teor de Fe nos grãos das cultivares de trigo foi ORS 1403 (56 mg kg<sup>-1</sup>) > ORS Vintecinco (49 mg kg<sup>-1</sup>) > BRS Galha Azul (30 mg kg<sup>-1</sup>) ≈ BRS Sabiá (31 mg kg<sup>-1</sup>) ≈ TBIO Sintonia (26 mg kg<sup>-1</sup>). Assim, das cinco cultivares de trigo estudadas, em quatro cultivares foi verificado correlação negativa entre teores de Fe e Zn nos grãos. Por exemplo, no tratamento controle, as cultivares ORS 1403 e ORS Vintecinco apresentaram menor e maior teores de Zn e Fe nos grãos, respectivamente, enquanto que as cultivares BRS Galha Azul e TBIO Sintonia tiveram o maior e menor teores de Zn e Fe nos grãos, respectivamente.

**Figura 5.** Teor de Fe nos grãos de cultivares de trigo, em função de aplicação de doses de Zn via foliar no estágio de maturação de grãos. Médias seguidas da mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste de LSD de Fisher a 5% de probabilidade. Letra minúscula compara os tratamentos de doses de Zn via foliar dentro de cada cultivar, e letra maiúscula compara as cultivares dentro de cada tratamento de doses de Zn.

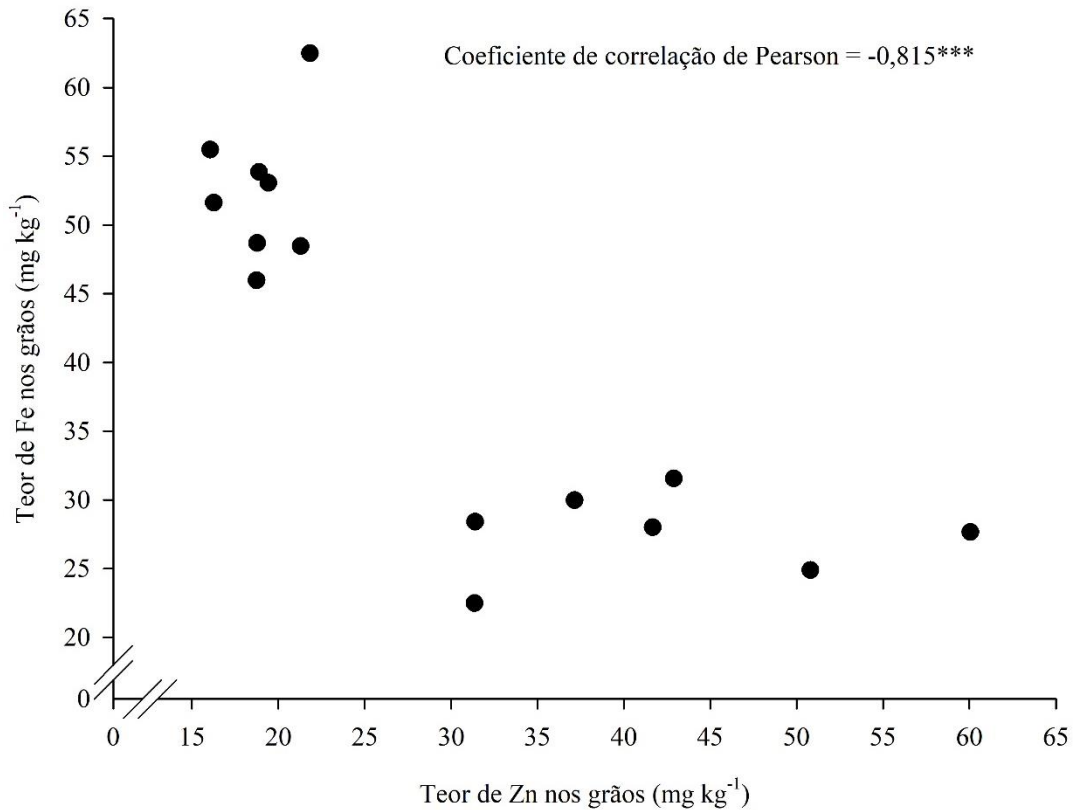


Fonte: Autores (Guarapuava-PR, 2020).

A Figura 6 mostra a dispersão dos dados de teores de Zn e Fe nos grãos, considerando apenas o tratamento controle e as quatro cultivares em questão (ORS 1403, ORS Vintecinco, BRS Gralha Azul e TBIO Sintonia). Assim, a figura 6 confirma a relação inversa entre teores de Zn e Fe nas cultivares ORS 1403, ORS Vintecinco, BRS Gralha Azul e TBIO Sintonia sob tratamento controle (sem aplicação foliar de Zn), conforme foi comentando anteriormente. Entretanto, enfatiza-se que essa tendência foi dependente do genótipo visto que na cultivar BRS Sabiá não houve correlação negativa entre os teores de Zn e Fe nos grãos.



**Figura 6.** Dispersão dos dados obtidos para teores de Zn e Fe nos grãos de trigo para as cultivares ORS 1403, ORS Vintecinco, BRS Galha Azul e TBIO Sintonia sob tratamento controle (sem aplicação foliar de Zn), com quatro repetições. \*\*\* significa  $P \leq 0,0001$ .



Fonte: Autores (Guarapuava-PR, 2020).

Yaseen e Hussain (2020) verificaram que aplicação de doses de Zn no solo elevou o teor de Zn nos grãos de duas cultivares de trigo, mas, ao mesmo tempo, reduziu o teor de Fe nos grãos dessas cultivares. Por outro lado, Velu et al. (2019) relataram que é possível selecionar genótipos de trigo com alto potencial para acumular, ao mesmo tempo, Zn e Fe nos grãos.

A correlação inversa entre teores de Zn e Fe verificado no tratamento controle parece ser característica dos genótipos, sendo que as respostas das cultivares para o teor de Fe nos grãos em função da pulverização foliar de Zn foi de pequena magnitude, com exceção para a cultivar BRS Galha Azul. Esta cultivar apresentou acréscimos de 22 e 64% de teor de Fe nos grãos para as doses 500 e 1000 g ha<sup>-1</sup> de Zn, respectivamente.

A variação genotípica existente para o acúmulo de Fe nos grãos em função da aplicação foliar de Zn foi também relatada em outros estudos. Wang, Mao, Zhao, Huang e

Wang (2012), em experimento de campo com trigo e milho por dois anos consecutivos na Província de Shaanxi, China (34°49' N, 108°11' E e altitude de 1128 m), encontraram que a pulverização foliar de Zn não afetou significativamente o teor de Fe nos grãos de trigo, mas elevou o teor de Fe nos grãos de milho. Por outro lado, a aplicação de Zn via foliar aumentou significativamente o teor de Fe nos grãos de trigo, em experimento de campo por dois anos consecutivos no sudeste do Iran (30°54' N, 61°41' E) (Pahlavan-Rad & Pessarakli, 2009).

Em geral, maior concentração de Zn e Fe na alimentação básica é desejável. Estudos apontam que mais de 2 bilhões de pessoas no mundo apresentam sérios problemas de saúde devido à deficiência de micronutrientes, especialmente de Zn e Fe (Velu et al., 2014).

Por fim, neste trabalho destaca-se que as cultivares de trigo possuem ampla variação na capacidade de acumular Zn nos grãos. O efeito da pulverização foliar de Zn durante o estágio de maturação de grãos do trigo, visando o aumento do teor deste micronutriente nos grãos, é influenciado pelo genótipo. Assim, os resultados deste trabalho mostram que, além da produtividade de grãos, nos estudos de seleção de novas cultivares de trigo é necessário também visar o maior acúmulo de micronutrientes nos grãos, para melhorar a qualidade nutricional.

#### **4. Considerações Finais**

A produtividade de grãos de trigo variou entre as cultivares, apresentando valores entre 1328 a 4333 kg ha<sup>-1</sup>, mas não houve efeito significativo da pulverização foliar de Zn.

Houve variação genotípica quanto à capacidade da cultura do trigo em acumular Zn nos grãos. As cultivares tiveram diferentes respostas quanto à capacidade de acumular Zn nos grãos em função da pulverização foliar desse micronutriente.

Verificou-se uma relação inversa entre acúmulo de Zn e Fe nos grãos de quatro das cinco cultivares de trigo estudadas.

#### **Agradecimentos**

Ao CNPq, concessão # 461553/2014-7.

À CAPES, código de financiamento 001.

## Referências

Abdoli, M., Esfandiari, E., Mousavi, S. B., & Sadeghzadeh, B. (2014). Effects of foliar application of zinc sulfate at different phenological stages on yield formation and grain zinc content of bread wheat (cv. Kohdasht). *Azarian Journal of Agriculture*, 1(1), 11-16. Acesso em 16 de abril de 2020, em <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=IR2015300008>

Alloway, B. J. (2009). Soil factors associated with zinc deficiency in crops and humans. *Environmental Geochemistry and Health*, 31(5), 537-548. Acesso em 16 de abril de 2020, em DOI <https://doi.org/10.1007/s10653-009-9255-4>

Black, R. E., Allen, L. H., Bhutta, Z. A., Caulfield, L. E., Onis, M. de, Ezzati, M., Mathers, C., & Rivera, J. (2008). Maternal and child undernutrition: global and regional exposures and health consequences. *Lancet*, 371, 243-260. Acesso em 16 de abril de 2020, em DOI [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(07\)61690-0](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(07)61690-0)

Broadley, M. R., White, P. J., Hammond, J. P., Zelko, I., & Lux, A. (2007). Zinc in plants. *New phytologist*, 173(4), 677-702. Acesso em 16 de abril de 2020, em DOI <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2007.01996.x>

Cakmak, I., Kalayci, M., Kaya, Y., Torun, A. A., Aydin, N., Wang, Y., Arisoy, Z., Erdem, H., Yazici, A., Gokmen, O., Ozturk, L., & Horst, W. J. (2010). Biofortification and localization of zinc in wheat grain. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(16), 9092-9102. Acesso em 16 de abril de 2020, em DOI <https://doi.org/10.1021/jf101197h>

Chasapis, C. T., Loutsidou, A. C., Spiliopoulou, C. A., & Stefanidou, M. E. (2012). Zinc and human health: an update. *Archives of toxicology*, 86(4), 521-534. Acesso em 16 de abril de 2020, em DOI <https://doi.org/10.1007/s00204-011-0775-1>

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento (2018). *Acompanhamento da safra brasileira de grãos - Safra 2017/18*, 5(4). Acesso em 16 de abril de 2020, em

[https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos/item/download/12568\\_90833562417b6fb0225db3d1a5fc19a1](https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos/item/download/12568_90833562417b6fb0225db3d1a5fc19a1)

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento (2020). *Acompanhamento da safra brasileira de grãos - Safra 2019/20*, 7(4). Acesso em 16 de abril de 2020, em [https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos/item/download/30348\\_aa345b3df6694e420f12eedc8ffb970d](https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos/item/download/30348_aa345b3df6694e420f12eedc8ffb970d)

Dos Santos, H. G., Jacomine, P. K. T., Dos Anjos, L. H. C., De Oliveira, V. A., Lumbreras, J. F., Coelho, M. R., Almeida, J. A. de, Araújo Filho, J. C. de, Oliveira, J. B. de, & Cunha, T. J. F. (2018). *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. 5ªed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. Acesso em 16 de abril de 2020, em <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1094003/sistema-brasileiro-de-classificacao-de-solos>

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2009). *Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes*. Brasília, Embrapa.

FAOSTAT – Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database (2020). *Statistic division*. Download Data, Food Balance. Food Supply - Crops Primary Equivalent. Acesso em 16 de abril de 2020, em <http://www.fao.org/faostat/en/#data/CC>

Ferreira, D. F. (2011). Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ciência e Agrotecnologia*, 35(6), 1039-1042. Acesso em 16 de abril de 2020, em DOI <https://doi.org/10.1590/S1413-70542011000600001>

Gomez-Coronado, F., Poblaciones, M. J., Almeida, A. S., & Cakmak, I. (2016). Zinc (Zn) concentration of bread wheat grown under Mediterranean conditions as affected by genotype and soil/foliar Zn application. *Plant and Soil*, 401(1-2), 331-346. Acesso em 16 de abril de 2020, em DOI <https://doi.org/10.1007/s11104-015-2758-0>

Kachinski, W. D., Ávila, F. W., Muller, M. M. L., Reis, A. R., Rampim, L., & Vidigal, J. C. B. (2020) Nutrition, yield and nutrient export in common bean under zinc fertilization in no-

till system. *Ciência e Agrotecnologia*, 44. Acesso em 16 de abril de 2020, em DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1413-7054202044029019>

Khoshgoftarmanesh, A. H., SanaeiOstovar, A., Sadrarhami, A., & Chaney, R. (2013). Effect of tire rubber ash and zinc sulfate on yield and grain zinc and cadmium concentrations of different zinc-deficiency tolerance wheat cultivars under field conditions. *European Journal of Agronomy*, 49, 42-49. Acesso em 16 de abril de 2020, em DOI <https://doi.org/10.1016/j.eja.2013.02.013>

Livingstone, C. (2015). Zinc: Physiology, Deficiency, and Parenteral Nutrition. *Nutrition in Clinical Practice*, 30(3) 371-382. Acesso em 16 de abril de 2020, em DOI <https://doi.org/10.1177/0884533615570376>

Lopes, A. S., Guimarães Guilherme, L. R. (2016). A career perspective on soil management in the Cerrado Region of Brazil. *Advances in Agronomy*, 137, 1-72. Acesso em 16 de abril de 2020, em DOI <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2015.12.004>

Maack, R. (2002). *Geografia física do Estado do Paraná*. 3ed. Curitiba: Imprensa Oficial.

Mao, H., Wang, J., Wang, Z., Zan, Y., Lyons, G., & Zou, C. (2014). Using agronomic biofortification to boost zinc, selenium, and iodine concentrations of food crops grown on the loess plateau in China. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 14(2), 459–470. Acesso em 16 de abril de 2020, em DOI <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162014005000036>

Marschner, H. (2012). *Mineral nutrition of higher plants*. 3ªed. London: Academic Press.

Moreira, A., Moraes, L. A., & dos Reis, A. R. (2018). The molecular genetics of zinc uptake and utilization efficiency in crop plants. In *Plant micronutrient use efficiency* (pp. 87-108). Academic Press. Acesso em 16 de abril de 2020, em DOI <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812104-7.00006-X>

NEPAR-SBCS – Sociedade Brasileira de Ciência do Solo-Núcleo Estadual Paraná (2017). *Manual de Adubação e Calagem para o Estado do Paraná*. Curitiba: NEPAR-SBCS.

Pahlavan-Rad, M. R., & Pessaraki, M. (2009). Response of wheat plants to zinc, iron, and manganese applications and uptake and concentration of zinc, iron, and manganese in wheat grains. *Communications in soil science and plant analysis*, 40(7-8), 1322-1332. Acesso em 16 de abril de 2020, em DOI <https://doi.org/10.1080/00103620902761262>

Pereira, A. S., Shitsuka, D. M., Parreira, F. J., & Shitsuka, R. (2018). *Metodologia da pesquisa científica* (1º ed, Vol. 1). Santa Maria, RS: UFSM, NTE. Acesso em 16 de abril de 2020, em <http://repositorio.ufsm.br/handle/1/15824>

Ram, H., Rashid, A., Zhang, W., Duarte, A.P., Phattarakul, N., Simunji, S., Kalayci, M., Freitas, R., Rerkasem, B., Bal, R.S., Mahmood, K., Savasli, E., Lungu, O., Wang, Z.H., Barros, V.L.N.P. de, Malik, S.S., Arisoy, R.Z., Guo, V., Sohu, V.S., Zou, C.Q., & Cakmak, I. (2016). Biofortification of wheat, rice and common bean by applying foliar zinc fertilizer along with pesticides in seven countries. *Plant and soil*, 403(1-2), 389-401. Acesso em 16 de abril de 2020, em DOI <https://doi.org/10.1007/s11104-016-2815-3>

Shahzad, Z., Rouached, H., & Rakha, A. (2014). Combating mineral malnutrition through iron and zinc biofortification of cereals. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 13(3), 329-346. Acesso em 16 de abril de 2020, em DOI <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12063>

Taiz, L., & Zeiger, E. (2009). *Fisiologia vegetal*. 3ed. Porto Alegre: Artmed.

Tunes, L. M. de, Pedroso, D. C., Tavares, L. C., Barbieri, A. P. P., Barros, A. C. S. A., & Muniz, M. F. B. (2012). Tratamento de sementes de trigo com zinco: armazenabilidade, componentes do rendimento e teor do elemento nas sementes. *Ciência Rural*, 42(7), 1141–1146. Acesso em 16 de abril de 2020, em DOI <https://doi.org/10.1590/S0103-84782012000700001>

Velu, G., Crespo Herrera, L., Guzman, C., Huerta, J., Payne, T., & Singh, R. P. (2019). Assessing genetic diversity to breed competitive biofortified wheat with enhanced grain Zn

and Fe concentrations. *Frontiers in Plant Science*, 9. Acesso em 16 de abril de 2020, em DOI <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01971>

Velu, G., Ortiz-Monasterio, I., Cakmak, I., Hao, Y., & Singh, R. P. (2014). Biofortification strategies to increase grain zinc and iron concentrations in wheat. *Journal of Cereal Science*, 59(3), 365-372. Acesso em 16 de abril de 2020, em DOI <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2013.09.001>

Wang, J., Mao, H., Zhao, H., Huang, D., & Wang, Z. (2012). Different increases in maize and wheat grain zinc concentrations caused by soil and foliar applications of zinc in Loess Plateau, China. *Field crops research*, 135, 89-96. Acesso em 16 de abril de 2020, em DOI <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2012.07.010>

Yang, X. W., Tian, X. H., Gale, W. J., Cao, Y. X., Lu, X. C., & Zhao, A. Q. (2011). Effect of soil and foliar zinc application on zinc concentration and bioavailability in wheat grain grown on potentially zinc-deficient soil. *Cereal Research Communications*, 39(4), 535-543. Acesso em 16 de abril de 2020, em DOI <https://doi.org/10.1556/CRC.39.2011.4.8>

Yaseen, M. K., & Hussain, S. (2020). Zinc-biofortified wheat required only a medium rate of soil zinc application to attain the targets of zinc biofortification. *Archives of Agronomy and Soil Science*. Acesso em 16 de abril de 2020, em DOI <https://doi.org/10.1080/03650340.2020.1739659>

Zhao, F. J., Su, Y. H., Dunham, S. J., Rakszegi, M., Bedo, Z., McGrath, S. P., & Shewry, P. R. (2009). Variation in mineral micronutrient concentrations in grain of wheat lines of diverse origin. *Journal of Cereal Science*, 49(2), 290-295. Acesso em 16 de abril de 2020, em DOI <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2008.11.007>

Zou, C. Q., Zhang, Y. Q., Rashid, A., Ram, H., Savasli, E., Arisoy, R. Z., Ortiz-Monasterio, I., Simunji, S., Wang, Z. H., Sohu, V., Hassan, M., Kaya, Y., Onder, O., Lungu, O., Yaqub Mujahid, M., Joshi, A. K., Zelenskiy, Y., Zhang, F. S., & Cakmak, I. (2012). Biofortification of wheat with zinc through zinc fertilization in seven countries. *Plant and Soil*, 361(1-2), 119-130. Acesso em 16 de abril de 2020, em DOI <https://doi.org/10.1007/s11104-012-1369-2>

Zoz, T., Steiner, F., Fey, R., Castagnara, D. D., & Seidel, E. P. (2012). Response of wheat to foliar application of zinc. *Ciência Rural*, 42(5), 784-787. Acesso em 16 de abril de 2020, em DOI <https://doi.org/10.1590/S0103-84782012005000015>

**Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito**

Wagner Deckij Kachinski – 30%

Luís Henrique Kapp Titski – 15%

Poliana Horst Petranski – 5%

Karin Kamila Brick Lopes de Matos – 5%

Marcelo Marques Lopes Muller – 15%

Fabício William Ávila – 30%