

**Evento:** XV Seminário de Inovação e Tecnologia ▾**DESENVOLVIMENTO E VALIDAÇÃO DA TECNOLOGIA DE  
BIOFORTIFICAÇÃO AGRONÔMICA VIA FOLIAR DE ZINCO EM AVEIA  
CONSIDERANDO DIFERENTES ANOS AGRÍCOLAS<sup>1</sup>****Bethina Ceccato dos Santos<sup>2</sup>, Rubens Ricardo Pott Megier<sup>3</sup>, Fernando Krause Schmidt<sup>4</sup>,  
Júlia Sarturi Jung<sup>5</sup>, Igor Miguel Zardin<sup>6</sup>, Cristhian Milbradt Babeski<sup>7</sup>, Henrique  
Petroli<sup>8</sup>, José Antonio Gonzalez da Silva<sup>9</sup>**<sup>1</sup> Projeto de pesquisa desenvolvido na UNIJUÍ<sup>2</sup> Estudante do curso de Agronomia da UNIJUÍ. Bolsista PIBIT/CNPq<sup>3</sup> Estudante do curso de Agronomia da UNIJUÍ. Bolsista PIBIC/FAPERGS<sup>4</sup> Estudante do curso de Agronomia da UNIJUÍ. Bolsista PIBIC/CNPq<sup>5</sup> Estudante do curso de Agronomia da UNIJUÍ. Bolsista PIBIT/CNPq<sup>6</sup> Estudante do curso de Agronomia da UNIJUÍ. Bolsista PIBIC/CNPq<sup>7</sup> Estudante do curso de Doutorado da UFSM. Pesquisador Colaborador<sup>8</sup> Estudante do Ensino Médio vinculado a UNIJUÍ. Bolsista EM/CNPq<sup>9</sup> Professor Orientador, curso de Agronomia, PPGSAS, PPGMMC, UNIJUÍ.**INTRODUÇÃO**

A fome e a insegurança alimentar afetam bilhões de pessoas no mundo, especialmente em países da África e América Latina. Assim, uma alimentação balanceada e que forneça os nutrientes necessários, é essencial para atender às necessidades humanas. O zinco é elemento vital para as atividades enzimáticas e síntese de proteínas, possui propriedades antioxidantes e essencial para enzimas do sistema nervoso (ZHANG et al., 2022). Nos países em desenvolvimento, a deficiência de zinco na população tem se tornado uma preocupação devido à dificuldade de acesso a alimentos ricos nesses nutrientes, como carne vermelha e peixes (DUAN et al., 2023). Uma das medidas para reduzir a carência de zinco é a biofortificação agronômica, uma tecnologia de manejo agrícola que pode aumentar o conteúdo de minerais e vitaminas em espécies agrícolas. Essa abordagem pode oferecer uma maneira eficiente e de baixo custo para acesso a alimentos mais nutritivos e saudáveis (GUPTA et al., 2016; ZHOU et al., 2019). A aveia branca (*Avena sativa* L.), por sua reconhecida qualidade nutracêutica e desempenho agrônomo com adaptação a diferentes ambientes, representa uma cultura promissora para desenvolvimento e aplicação desta tecnologia, especialmente no contexto agrícola brasileiro. O objetivo desta pesquisa é



desenvolver e validar a tecnologia de biofortificação agrônômica de zinco via pulverização foliar considerando uma análise em diferentes anos de cultivo.

## **METODOLOGIA**

O estudo foi conduzido nos anos de 2021 a 2024, no município de Augusto Pestana, RS, Brasil. A semeadura foi realizada na primeira quinzena de junho com semeadora-adubadora, em unidades experimentais de 5 m<sup>2</sup> e com uso de 400 sementes viáveis m<sup>-2</sup>. O delineamento utilizado foi de blocos ao acaso com quatro repetições em cinco níveis do composto ZnSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O (0, 500, 1000, 2000 e 4000 g ha<sup>-1</sup>), aplicado na fase de início do enchimento de grãos da aveia. Foi utilizado pulverizador costal de 20 litros à pressão constante de 30 lb pol<sup>-2</sup>, com pontas de jato tipo cone. O volume dimensionado de água foi considerando a aplicação de 500 litros ha<sup>-1</sup>. Foi condicionado o tempo de 21 segundos neste volume e pressão de trabalho.

Na colheita de grãos foi realizado o corte de três linhas centrais de cada unidade experimental, após foram trilhadas e direcionadas para correção da umidade de grãos para 13%, para estimativa da produtividade de grãos (PG, kg ha<sup>-1</sup>), pesadas em balança de precisão. As concentrações de ferro no grão (FeG, mg kg<sup>-1</sup>), ferro na cariopse, (FeC, mg kg<sup>-1</sup>), Zinco no grão (ZnG, mg kg<sup>-1</sup>), Zinco na cariopse, (ZnC, mg kg<sup>-1</sup>) foram obtidas a partir de amostras 20 gramas de grãos com casca e sem casca (cariopse), pesados em balança de precisão. Após as amostras serem direcionadas ao forno, com temperatura entre 70 e 80 °C, para secagem e correção da variação de peso, elas foram moídas no moinho por cerca de 90 segundos. Após a moagem, as amostras foram peneiradas, com a peneira de malha 270, com tamanho de 53 micron, resultando numa massa de 5 a 6 gramas. As amostras foram devidamente identificadas e enviadas para análise da concentração de zinco e ferro em grãos e cariopses de aveia. Os procedimentos e materiais utilizados foram baseados em Tedesco et al. (1995). Foi realizada análise de variância, de médias e regressões para estimativa do comportamento das doses de biofortificação, realizadas com o auxílio do software GENES (CRUZ, 2013).

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**



Os resultados da análise de variância indicaram efeito significativo dos efeitos de ano, doses de sulfato de zinco via foliar e desta interação sobre o conteúdo de zinco e ferro em grãos e cariopses de aveia. Também foi observado, que os efeitos das doses de biofortificação pelo sulfato de zinco não modificaram os indicadores agrônômicos. Estes resultados são importantes a ponto de garantir a aplicação da tecnologia para enriquecimento de grãos de aveia.

Na Tabela 1 de comparação de médias, em todos os anos analisados, se evidencia o aumento da concentração zinco nos grãos e cariopses de aveia com a biofortificação foliar por sulfato de zinco.

**Tabela 1.** Média da concentração de zinco e ferro em grãos e cariopses de aveia biofortificados com diferentes doses de sulfato de zinco em anos agrícolas.

| Dose<br>(g ha <sup>-1</sup> ) | Biofortificação sulfato de zinco - (mg kg <sup>-1</sup> ) |        |         |         |        |        |         |         |
|-------------------------------|-----------------------------------------------------------|--------|---------|---------|--------|--------|---------|---------|
|                               | ZnG                                                       | ZnC    | FeG     | FeC     | ZnG    | ZnC    | FeG     | FeC     |
|                               | 2021                                                      |        |         |         | 2022   |        |         |         |
| 0                             | 37,3 c                                                    | 48,3 b | 239,7 a | 104,8 a | 29,1 c | 31,9 c | 601,9 a | 420,8 a |
| 1000                          | 43,2 b                                                    | 49,9 b | 232,1 b | 103,1 a | 34,3 b | 37,3 b | 589,6 b | 186,0 b |
| 2000                          | 43,2 b                                                    | 50,0 b | 199,3 c | 92,5 b  | 40,3 a | 41,4 a | 579,2 b | 144,5 c |
| 4000                          | 51,3 a                                                    | 54,2 a | 100,7 d | 69,2 c  | 43,9 a | 45,9 a | 323,3 c | 141,2 c |
|                               | 2023                                                      |        |         |         | 2024   |        |         |         |
| 0                             | 36,5 b                                                    | 57,5 c | 482,8 a | 184,8 a | 41,0 b | 28,8 c | 70,5 a  | 69,3 a  |
| 1000                          | 61,0 a                                                    | 65,4 b | 488,0 a | 140,8 c | 40,7 b | 30,6 c | 61,2 b  | 39,3 c  |
| 2000                          | 63,4 a                                                    | 64,4 b | 434,6 b | 170,4 b | 42,1 b | 49,2 a | 35,6 c  | 44,1 b  |
| 4000                          | 66,9 a                                                    | 72,6 a | 224,7 c | 126,8 d | 47,6 a | 40,1 b | 71,2 a  | 40,3 c  |

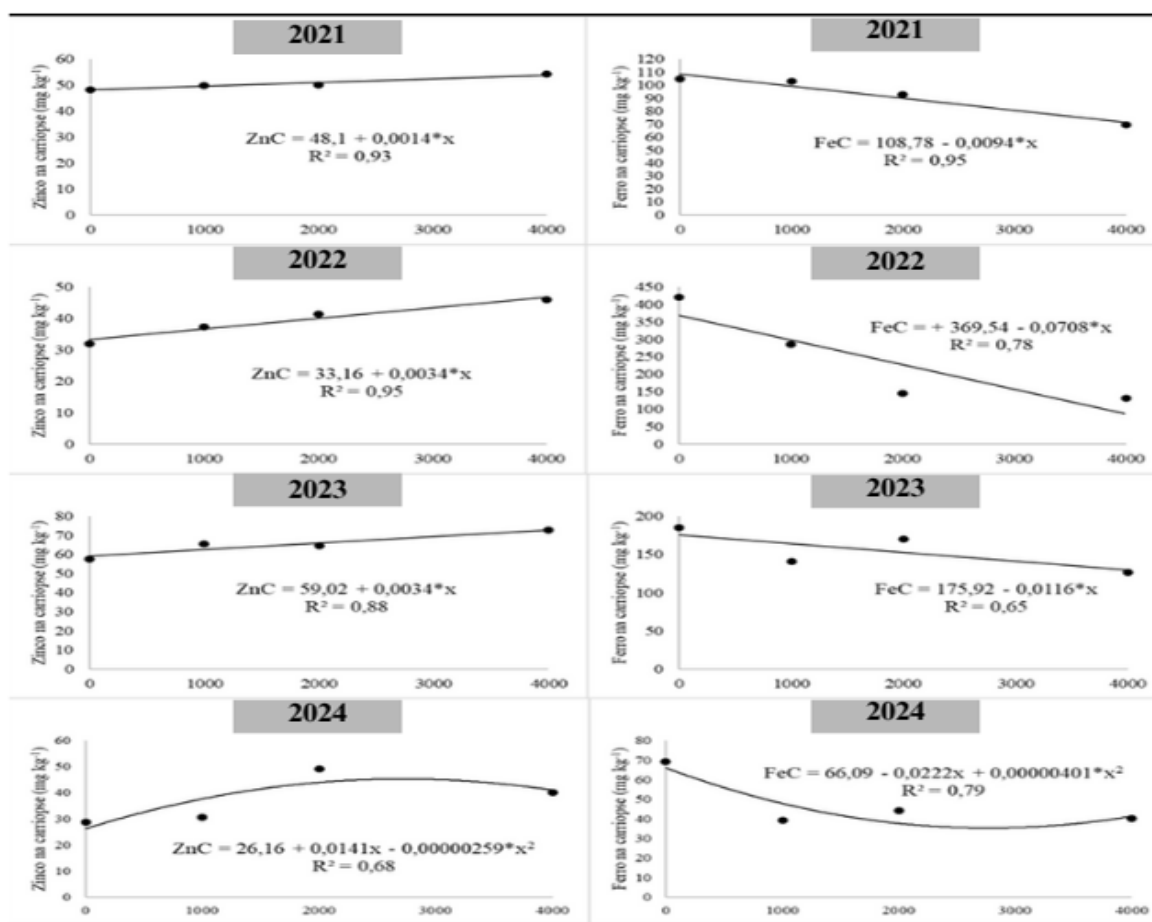
ZnG– Concentração de zinco no grão; ZnC– Concentração de zinco na cariopse; FeG– Concentração de ferro no grão; FeC– Concentração de ferro na cariopse. As médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si em nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste de Scott knott.

Os resultados da Tabela 1 e Figura 1 mostram uma dependência das condições de ano agrícola e do momento da aplicação sobre a eficiência da biofortificação via foliar. Neste contexto, se verifica por exemplo para em 2023, um aumento de mais de 67% de biofortificação nos grãos e 26% nas cariopses de aveia, em comparação a ano 2024 com menor efeito da tecnologia, possivelmente ligada as condições meteorológicas no período de

aplicação. Outro aspecto que mostra necessidade de compreensão é o efeito inverso observado sobre a concentração de ferro em grãos e cariopses de aveia pelo aumento das doses de sulfato de zinco, condição apresentada em todos os cenários (Tabela 1, Figura 1).

Na Figura 1, a grande maioria das funções evidenciam comportamento linear, sugerindo a aplicação em dose máxima para enriquecimento de zinco na cariopse. Por outro lado, no ano de maior déficit hídrico no final de ciclo, como o ano 04, mostra-se comportamento quadrático, oportunizando estimativa da dose ótima de sulfato de zinco ao redor de 2440 g ha<sup>-1</sup>. Estas doses incrementam em 57% de enriquecimento de zinco com redução de 49% de ferro na cariopse de aveia. Essa competição induz a necessidade de planejar doses de zinco que minimizem efeitos sobre o ferro.

**Figura 1.** Regressão da concentração de zinco e ferro em cariopses de aveia pelas doses de sulfato de zinco nos anos agrícolas.



ZnG – Zinco no grão; ZnC – Zinco na cariopse; FeG – Ferro no grão; FeC – Ferro na cariopse;  $R^2$  – Coeficiente de determinação; \* – Significância do parâmetro angular da equação de regressão em 5% de probabilidade de erro.



## CONSIDERAÇÕES FINAIS

As doses aplicadas de sulfato de zinco durante a fase de enchimento dos grãos da aveia ao longo dos anos mostram enriquecimento de zinco em grãos e cariopses de aveia. O estudo também comprova que a eficiência da biofortificação agrônômica em aveia é influenciada por condições meteorológicas no momento da aplicação. Também, foi confirmado efeito inverso das doses de sulfato de zinco com a redução da concentração de ferro em grãos e cariopses de aveia, indicando uma ação competitiva na absorção e translocação entre esses dois nutrientes. Contudo, biofortificação agrônômica de zinco na aveia se revela uma estratégia eficaz para enriquecer nutricionalmente os grãos, melhorando a qualidade dos alimentos e ajudando a prevenir deficiências nutricionais, especialmente em populações menos favorecidas

**Palavras-chave:** Avena sativa L. Segurança Alimentar. Nutrição. Agenda 2030.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CRUZ, C.D. GENES - a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum**. v.35, n.3, p.271-276, 2013.
- DUAN, M; LI, T. et al. Zinc nutrition and dietary zinc supplements. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v.63, n.9, p.1277-1292, 2023.
- GUPTA, N.; RAM, H.; KUMAR, B. Mechanism of Zinc absorption in plants: uptake, transport, translocation and accumulation. **Reviews in Environmental Science and Bio/Technology**, v.15, n.1, p.89-109, 2016.
- ZOU, C.; DU, Y.; RASHID, A.; RAM, H.; SAVASLI, E.; PIETERSE, P. J.; ORTIZMONASTERIO, I.; YAZICI, A.; KAUR, C.; MAHMOOD, K.; SINGH, S.; LE ROUX, M. R.; KUANG, W.; ONDER, W.; KAKAYCI, M.; CAKMAK, I. Simultaneous biofortification of wheat with zinc, iodine, selenium, and iron through foliar treatment of a micronutrient cocktail in six countries. **Journal of agricultural and food chemistry**, v.67, n.29, p.8096-8106, 2019.
- ZHANG, L. et al. Association between serum copper/zinc ratio and lung cancer: A systematic review with meta-analysis. **Journal of Trace Elements in Medicine and Biology**, v.74, p.127061, 2022.