REVISTA TÓPICOS
ISSN 2965-6672 | Qualis A2

AVALIAÇÃO DA EFETIVIDADE DA SUPLEMENTAÇÃO DE ZINCO NO DESENVOLVIMENTO E PRODUTIVIDADE DO MILHO

EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF ZINC SUPPLEMENTATION ON MAIZE DEVELOPMENT AND PRODUCTIVITY

Ciências Biológicas, Ciências Agrárias, Engenharias • 25/11/2026

REGISTRO DOI: 10.70773/revistatopicos/795603362

Rafael Francener[1]

João Edson Kaefer[2]

Natália Cardoso Winter[3]

RESUMO

O zinco (Zn) atua no metabolismo e pode influenciar o crescimento do milho. Objetivou-se avaliar os efeitos da suplementação foliar de Zn em diferentes estádios fenológicos sobre o desenvolvimento, a clorofila e os componentes de rendimento. O experimento foi conduzido na Fazenda Experimental Retiro das Araucárias, em Toledo (PR), em blocos casualizados, com cinco tratamentos e quatro repetições: T1, sem Zn; T2, aplicação em V4; T3, aplicações em V4 e V6; T4, aplicações em V4, V6 e V8; e T5, aplicações em V4, V6, V8 e VT. Forneceram-se 60 g de Zn ha^{-1} por aplicação, utilizando sulfato de zinco. Avaliaram-se altura de plantas, altura de inserção da espiga, diâmetro do colmo, índice de clorofila, componentes da espiga, peso de mil grãos e produtividade. Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e, quando significativo o teste F, ao teste de Tukey a 5%. Houve efeito significativo sobre altura de plantas, diâmetro do colmo, número de fileiras por espiga e peso de mil grãos. O T4 apresentou maior peso de mil grãos (336,39 g), 11,5% superior ao controle. Não houve efeito significativo sobre altura de inserção da espiga, número de grãos por fileira e produtividade, cuja média foi de 16.150,08 kg ha^{-1}. O índice de clorofila não diferiu em V4, V6 e V8; em VT, não indicou resposta positiva ao aumento das aplicações. Conclui-se que a suplementação foliar de Zn alterou características do milho, sem aumento significativo da produtividade ou definição de número de aplicações ou estádio fenológico ideal.

Palavras-chave: Zea mays l; adubação foliar; micronutriente; sulfato de zinco; produtividade.

ABSTRACT

Zinc (Zn) plays a role in plant metabolism and may influence maize growth. This study aimed to evaluate the effects of foliar Zn

supplementation at different phenological stages on plant development, chlorophyll index, and yield components. The experiment was conducted at the Retiro das Araucárias Experimental Farm in Toledo, Paraná, Brazil, using a randomized complete block design with five treatments and four replications: T1, without Zn application; T2, application at V4; T3, applications at V4 and V6; T4, applications at V4, V6, and V8; and T5, applications at V4, V6, V8, and VT. Each application supplied 60 g Zn ha^{-1} using zinc sulfate. Plant height, ear insertion height, stem diameter, chlorophyll index, ear components, thousand-grain weight, and grain yield were evaluated. Data were subjected to analysis of variance (ANOVA), followed by Tukey's test at the 5% significance level when the F-test was significant. Significant treatment effects were observed on plant height, stem diameter, number of kernel rows per ear, and thousand-grain weight. T4 had the highest thousand-grain weight (336.39 g), 11.5% higher than the control. No significant effects were observed on ear insertion height, number of kernels per row, or grain yield, which averaged 16,150.08 kg ha^{-1}. The chlorophyll index did not differ among treatments at V4, V6, or V8; at VT, the results showed no positive response to increasing applications. It was concluded that foliar Zn supplementation affected certain maize characteristics without significantly increasing grain yield or allowing the identification of an optimal number of applications or phenological stage.

Keywords: Zea mays L; foliar fertilization; micronutrient; zinc sulfate; grain yield.

1. INTRODUÇÃO

A cultura do milho apresenta elevada importância socioeconômica para o Brasil. Na safra 2024/2025, a produção foi estimada em 119,6

milhões de toneladas (Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB, 2025), representando um aumento de 3,3% em relação ao ciclo anterior. Essa expressiva representatividade é impulsionada pela versatilidade da cultura, cujas aplicações abrangem desde a alimentação humana e animal até a cadeia de biocombustíveis (Silva *et al.*, 2020).

Apesar disso, o setor enfrenta desafios contínuos, como a limitação de novas áreas para expansão e a necessidade imperativa de adotar práticas agrícolas mais sustentáveis e eficientes (Miranda *et al.*, 2021). Nesse cenário, para maximizar o rendimento em áreas já consolidadas, o manejo nutricional adequado, com ênfase na suplementação com micronutrientes como o zinco (Zn), tem se destacado como uma estratégia viável.

Fisiologicamente, o Zn é fundamental para o funcionamento de sistemas enzimáticos, síntese de proteínas e produção de reguladores de crescimento vegetal (Costa Júnior, 2021). Sua carência reduz o porte das plantas, o desenvolvimento radicular e a taxa fotossintética, comprometendo diretamente a produtividade, enquanto níveis excessivos podem ser fitotóxicos e induzir desequilíbrios nutricionais (Kume *et al.,* 2022).

A interpretação do teor de Zn no solo é importante para avaliar a disponibilidade do micronutriente e a probabilidade de resposta da cultura à adubação. De maneira geral, teores classificados como baixos indicam maior possibilidade de deficiência e de resposta ao fornecimento de Zn, enquanto teores elevados representam disponibilidade adequada e menor probabilidade de resposta à adubação (Pauletti; Motta, 2017).

Nesse contexto, cabe ressaltar que a disponibilidade de Zn no solo é altamente influenciada por práticas de manejo, como a calagem. Embora a elevação do pH seja essencial para neutralizar o alumínio tóxico, a correção do solo reduz a solubilidade do Zn e aumenta sua adsorção aos coloides, tornando-o menos disponível para as raízes (Malavolta *et al.*, 1997). Por conseguinte, a aplicação foliar surge como uma alternativa eficiente para fornecer o micronutriente diretamente ao tecido vegetal, contornando as limitações de absorção via solo.

Entretanto, a eficiência da aplicação foliar depende da absorção do micronutriente pelas folhas e de sua posterior redistribuição na planta. O Zn apresenta mobilidade no floema, podendo ser transportado para órgãos em desenvolvimento, embora essa redistribuição dependa das condições fisiológicas e dos mecanismos de transporte do elemento. Segundo Olsen e Palmgren (2014), a movimentação do Zn nos tecidos vegetais envolve proteínas transportadoras e compostos orgânicos, como a nicotianamina, que contribuem para seu transporte e distribuição na planta.

Apesar dessa capacidade de redistribuição, o Zn aplicado via foliar pode apresentar limitações de transporte para outras partes da planta. Nesse sentido, o parcelamento das aplicações em diferentes estádios fenológicos pode representar uma estratégia para disponibilizar o micronutriente em momentos distintos do desenvolvimento da cultura. Stewart *et al.* (2021), ao avaliarem aplicações foliares de micronutrientes no milho, demonstraram que a absorção e a distribuição desses nutrientes podem variar, sendo necessário considerar a dinâmica nutricional da cultura ao estabelecer estratégias de aplicação.

Ao avaliarem diferentes formas de aplicação de Zn na cultura do milho, Ahmed, Patra e Debnath (2025) verificaram que a aplicação favoreceu a absorção de nitrogênio (N) e potássio (K). Em comparação ao tratamento controle, as aplicações de 0,5% de Zn nos estádios de pendoamento e embonecamento e de 1% no embonecamento promoveram incrementos de 15,45% e 13,62% no rendimento de grãos, respectivamente.

Ademais, Shah *et al.* (2023) observaram que a aplicação foliar de sulfato de Zn (ZnSO4) foi mais eficaz do que a via solo para aumentar a absorção do elemento, resultando no incremento do teor do micronutriente nos grãos com a dose de 1,5% de ZnSO4. Contudo, a eficiência da adubação com este micronutriente depende de fatores como o genótipo do milho e as características físico-químicas do solo (Ohse; Santos, 2020; Schwertner; Ecco, 2025).

A escolha desses estádios para a suplementação foliar de Zn está relacionada às mudanças nas demandas fisiológicas da planta ao longo do ciclo. As aplicações realizadas em V4 e V6 permitem avaliar o fornecimento do micronutriente durante o crescimento vegetativo inicial, enquanto a aplicação em V8 ocorre em uma fase de desenvolvimento mais acelerado. Por sua vez, a aplicação em VT possibilita avaliar a suplementação próxima ao período reprodutivo. Dessa forma, aplicações sucessivas podem contribuir para compreender a resposta da cultura ao fornecimento de Zn em diferentes fases do desenvolvimento, considerando a importância do micronutriente nos processos metabólicos e na formação das estruturas vegetativas e reprodutivas.

Embora diferentes estudos tenham investigado fontes, doses e métodos de aplicação de Zn na cultura do milho, ainda existem

questionamentos quanto à resposta da cultura ao fornecimento foliar sucessivo em diferentes estádios fenológicos. Essa questão torna-se especialmente relevante em solos com disponibilidade adequada do micronutriente, nos quais a resposta produtiva à suplementação pode ser limitada. Assim, a avaliação de esquemas de aplicação com doses cumulativas pode contribuir para compreender os efeitos do fornecimento adicional de Zn sobre o desenvolvimento vegetativo, os componentes de rendimento e a produtividade.

Com base nisso, este trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos de diferentes esquemas de suplementação foliar de Zn na cultura do milho, considerando aplicações sucessivas de 60 g de Zn ha^{-1} nos estádios V4, V6, V8 e VT, com doses totais acumuladas de 0, 60, 120, 180 e 240 g ha^{-1}. Especificamente, buscou-se avaliar a resposta da cultura ao aumento conjunto do número de aplicações e da dose total de Zn, considerando seus efeitos sobre as características vegetativas, o índice de clorofila, os componentes de rendimento e a produtividade de grãos.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Fazenda Experimental Retiro das Araucárias (FERA), pertencente à Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR), localizada no *campus* Toledo, sob as coordenadas geográficas 24°43’14” S e 53°43’56” W, a uma altitude média de 557 m. O solo da área experimental apresenta textura argilosa e é classificado como Latossolo Vermelho distroférrico típico (Santos *et al.*, 2025). O clima da região é do tipo Cfa (subtropical úmido), com temperatura média anual de 22°C (Caviglione *et al.*, 2000).

Antes da instalação do experimento, realizou-se a dessecação pré-plantio com os herbicidas glifosato (1.488 g i.a. ha^{-1}), atrazina (1.033 g i.a. ha^{-1}) e mesotriona (59,5 g i.a. ha^{-1}), seguidos de aplicação sequencial de cletodim (148,8 g i.a. ha^{-1}) e glufosinato de amônio (545 g i.a. ha^{-1}). Realizou-se também a amostragem de solo na camada de 0-20 cm para caracterização química da área (Tabela 1), a partir da qual se efetuou a adubação fosfatada anteriormente à semeadura, utilizando superfosfato simples (200 kg ha^{-1}). Na adubação de plantio, aplicou-se 350 kg ha^{-1} do formulado 14-14-12 + 12% de S. Posteriormente, no estádio fenológico V3, caracterizado por três folhas totalmente desenvolvidas, realizou-se a adubação de cobertura com 324 kg ha^{-1} de sulfato de amônio, conforme as recomendações de Pauletti e Motta (2017).

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados (DBC), com cinco tratamentos correspondentes a estratégias de aplicações foliares sucessivas de Zn (T1: controle, sem aplicação de Zn; T2: 60 g ha^{-1} em V4; T3: 60 + 60 g ha^{-1} em V4 e V6; T4: 60 + 60 + 60 g ha^{-1} em V4, V6 e V8; e T5: 60 + 60 + 60 + 60 g ha^{-1} em V4, V6, V8 e VT) e quatro repetições, totalizando 20 unidades experimentais de 15 m^2 (3 × 5 m). A área útil de cada parcela correspondeu às quatro linhas centrais (10 m^2), desconsiderando-se as bordaduras. Utilizou-se o híbrido P3016VYHR (Pioneer®), na população de 64.000 plantas ha^{-1} e espaçamento de 0,50 m entre linhas, semeado a 4 cm de profundidade. O potencial germinativo das sementes foi testado previamente com base nas Regras para Análise de Sementes (Brasil, 2009).

Tabela 1. Caracterização química da área anteriormente à instalação do experimento.

pH	P	K	Al^{3+}	Ca^{2+}	Mg^{2}
	$mg\ dm^{-3}$	---------- $cmolc\ dm^{-3}$ ---			
4,8	27,23	0,72	0,12	4,68	1,58
t	T	V	B	Cu	Fe
$cmolc\ dm^{-3}$		%	----------		
7,10	13,19	52,92	0,21	3,70	27,9

⚠ Esta tabela possui muitas colunas e foi cortada para impressão. Para visualizá-la completa, acesse o artigo original em: https://revistatopicos.com.br/artigos/avaliacao-da-efetividade-da-suplementacao-de-zinco-no-desenvolvimento-e-produtividade-do-milho?noblockage

Fonte: o autor, 2026.

Nota: Análise química do solo realizada pelo Laboratório SoloAnálise, Cascavel, PR.

Os tratamentos consistiram na aplicação foliar de fertilizante à base de sulfato de zinco, de formulação líquida e solúvel em água, contendo 6% de Zn, equivalente a 60 g L^{-1} do micronutriente. Foram comparadas estratégias de aplicações foliares sucessivas, com o fornecimento de 60 g ha^{-1} de Zn por aplicação nos estádios fenológicos indicados na Tabela 2 (Ritchie; Hanway; Benson, 1993). Como a dose acumulada, o número de aplicações e os estádios fenológicos contemplados variaram conjuntamente entre as estratégias, o delineamento permite comparar os tratamentos como um conjunto de manejo, sem identificar o efeito isolado de cada um desses fatores. As aplicações foram efetuadas com pulverizador costal elétrico (vazão de 150 L ha^{-1}, pontas de jato leque simples 02) nos períodos de menor temperatura do dia.

Tabela 2. Tratamentos utilizados no experimento para avaliar o efeito de diferentes estratégias de aplicações foliares sucessivas de zinco

Tratamentos	Doses (g ha^{-1})	Estádios fenológicos de aplicação
T1	-	-
T2	60	V4
T3	60 + 60	V4 + V6
T4	60 + 60 + 60	V4 + V6 + V8
T5	60 + 60 + 60 + 60	V4 + V6 + V8 + VT

Fonte: o autor, 2026.

Em pós-emergência, aplicou-se glifosato (1190 g i.a. ha^{-1}) + atrazina (1800 g i.a. ha^{-1}). O controle fúngico incluiu duas aplicações preventivas: a primeira em V4, utilizando mefentrifluconazol (100 g i.a. ha^{-1}) + piraclostrobina (100 g i.a. ha^{-1}), e segunda em V8, por meio da aplicação de mefentrifluconazol (80 g i.a. ha^{-1})+ piraclostrobina (107 g i.a. ha^{-1}) + fluxapiroxade (53,3 g i.a. ha^{-1}).

Para o controle de pragas, especialmente de cigarrinha-do-milho (*Dalbulus maidis*), percevejo barriga-verde (*Dichelops melacanthus*) e lepidópteros, realizou-se as seguintes aplicações: imidacloprido (96 g i.a. ha^{-1}) + acefato (970 g i.a. ha^{-1}) + bifentrina (35 g i.a. ha^{-1}) em 14 de novembro; acetamiprido (75 g i.a. ha^{-1}) + bifentrina (75 g i.a. ha^{-1}) em 21 de novembro; teflubenzurom (15 g i.a. ha^{-1}) em 25 de novembro; e espinetoram (12 g i.a. ha^{-1}) + acetamiprido (75 g i.a. ha^{-1}) + bifentrina (75 g i.a. ha^{-1}) em 28 de novembro.

As avaliações foram realizadas em dez plantas coletadas aleatoriamente na área útil de cada parcela, sendo mensurados os seguintes parâmetros:

a. Índice de clorofila: determinado nos estádios V4, V6, V8 e VT com clorofilômetro ClorofiLOG CFL 2050 (Falker), registrando-se a média de três leituras (basal, mediana e apical) na folha completamente expandida;

b. Parâmetros biométricos: avaliaram-se a altura de plantas e a altura de inserção da primeira espiga (mensuradas com trena graduada, a partir da superfície do solo até a extremidade da folha bandeira ou inserção da espiga, respectivamente) e o diâmetro do colmo (com paquímetro digital, em posição padronizada no primeiro entrenó acima do solo);

c. Componentes de produção: determinaram-se o número de fileiras por espiga (NFE), o número de grãos por fileira (NGF), o peso de mil grãos (PMG) e a produtividade (kg ha^{-1}) com a umidade dos grãos padronizada e corrigida para 13%.

Os dados obtidos foram submetidos à verificação dos pressupostos de normalidade dos resíduos, pelo teste de Shapiro-Wilk, e de homogeneidade das variâncias, pelo teste de O'Neill e Mathews, ambos ao nível de 5% de significância. Posteriormente, realizou-se a análise de variância (ANOVA) e, quando observada significância estatística pelo teste F, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância, utilizando-se o software estatístico GExpDes 2.0 (Kormann *et al.,* 2019).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados referentes aos parâmetros biométricos e aos componentes estruturais de espiga da cultura do milho, submetida a diferentes estratégias de aplicação foliar de Zn, estão sumarizados na Tabela 3. Com exceção da altura de inserção da espiga (AIE) e do número de grãos por fileira (NGF), as demais variáveis apresentaram diferença estatística ($p < 0,05$).

Ressalta-se que os tratamentos constituem estratégias sucessivas de aplicação de Zn, nas quais variaram conjuntamente a quantidade acumulada, o número de aplicações e os estádios fenológicos contemplados. Assim, as diferenças entre tratamentos não permitem identificar o efeito isolado de cada componente do manejo.

Verifica-se que, para a altura de plantas, a testemunha (T1) foi estatisticamente semelhante ao T4 e inferior aos tratamentos T2, T3 e T5.

Tabela 3. Parâmetros biométricos e componentes de rendimento da cultura do milho submetida a diferentes estratégias de aplicações foliares sucessivas de zinco

Tratamentos	ALT (m)	AIE (m)	DC (mm)	NFE (nº)	NGF (
T1	3,068 b	1,470^{ns}	23,45 b	17,90 a	34,60
T2	3,145 a	1,490	24,78 ab	18,45 a	36,8
T3	3,138 a	1,510	25,02 ab	17,90 a	37,5
T4	3,083 ab	1,458	25,42 ab	17,15 b	37,7
T5	3,140 a	1,488	26,31 a	18,25 a	36,4

⚠ Esta tabela possui muitas colunas e foi cortada para impressão. Para visualizá-la completa, acesse o artigo original em: https://revistatopicos.com.br/artigos/avaliacao-da-efetividade-da-suplementacao-de-zinco-no-desenvolvimento-e-produtividade-do-milho?noblockage

Fonte: o autor, 2026.

Nota: ^{ns}, *, ** Não significativo, significativo a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F. ALT = altura de plantas (m); AIE = altura de inserção da espiga (m); DC = diâmetro de colmo (mm); NFE = número de fileiras por espiga; NGF = número de grãos por fileira; *p* = nível de significância estatística; C.V. (%): coeficiente de variação. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Além disso, a resposta observada para a altura de plantas demonstra que os tratamentos com Zn promoveram alterações no crescimento da cultura. Esse comportamento pode estar relacionado à importância deste micronutriente em processos metabólicos e fisiológicos envolvidos no desenvolvimento vegetal. O Zn participa de diferentes processos metabólicos das plantas, estando relacionado ao funcionamento de sistemas enzimáticos e a mecanismos associados ao crescimento e desenvolvimento vegetal, de modo que sua deficiência ou seu fornecimento inadequado pode comprometer o desenvolvimento das plantas (Kume *et al.*, 2022). Além disso, o Zn está associado à síntese de triptofano, aminoácido precursor do ácido indolacético (AIA), uma das principais auxinas vegetais. Esse hormônio atua no alongamento celular e no crescimento das plantas, podendo contribuir para explicar as diferenças de altura observadas entre os tratamentos (Mattiello *et al.*, 2015).

Os resultados obtidos apresentam concordância com os observados por Lora (2025). Diferentemente do presente estudo, que avaliou estratégias sucessivas de aplicação foliar de Zn, ela investigou o efeito de diferentes doses do micronutriente na cultura do milho e verificou resposta da altura de plantas às doses aplicadas. Contudo, a autora observou que a resposta não ocorreu de maneira linear, indicando a existência de uma faixa de fornecimento do micronutriente associada ao maior desenvolvimento das plantas. Dessa forma, os resultados de Lora (2025) reforçam a possibilidade de que o crescimento vegetativo do milho seja sensível à disponibilidade de Zn, embora a magnitude e o padrão de resposta possam variar em função das condições experimentais, da dose utilizada e do manejo adotado.

Para a altura de inserção da espiga (AIE), não foi verificado efeito significativo dos tratamentos, com médias variando entre 1,46 e 1,51 m. Esse resultado indica que, nas condições do estudo, não houve diferenças estatisticamente detectáveis entre as estratégias de suplementação foliar de Zn para essa característica morfológica do milho. Moldovan, V. e Moldovan, Zh. (2023) apontam que essa variável é fortemente influenciada por características genéticas do híbrido e pela nutrição mineral geral, envolvendo também a interação com outros elementos.

Resultado semelhante foi obtido por Pereira, Nascimento e Carline (2021), que avaliaram diferentes fontes e épocas de aplicação foliar de Zn em milho-verde e não verificaram efeito significativo dos tratamentos sobre a altura de inserção de espiga. Diante disso, a ausência de diferença observada está de acordo com os resultados encontrados na literatura, indicando que este componente pode

apresentar menor sensibilidade à aplicação de Zn quando comparado a outras características da planta.

Por outro lado, o diâmetro do colmo (DC) apresentou efeito significativo dos tratamentos com Zn, com a maior média observada em T5, diferindo estatisticamente do tratamento controle (T1). Ademais, os tratamentos T2, T3 e T4 apresentaram valores intermediários. Considerando os extremos observados, verificou-se diferença aproximada de 12,2% entre os tratamentos de maior e menor média, evidenciando que o manejo com o micronutriente influenciou essa característica morfológica nas condições do experimento. Esse resultado pode estar relacionado à participação do Zn em processos enzimáticos envolvidos na fotossíntese, especialmente na atividade da anidrase carbônica, que contribui para a disponibilidade de CO_2 utilizado nos processos de fixação de carbono associados à Rubisco, favorecendo a produção de assimilados (Mallikarjuna *et al.*, 2020). Resultados semelhantes foram observados por Fernandes e Dalchiavon (2019), que verificaram maior diâmetro do colmo em plantas de milho submetidas ao fornecimento foliar de Zn, em comparação à aplicação via solo. Os autores observaram incremento de 6,2% nessa característica, evidenciando que a forma de fornecimento do micronutriente pode influenciar o desenvolvimento vegetativo da cultura.

Em contraste, Nascimento *et al.* (2020), avaliando a aplicação foliar de sulfato de Zn em milho, não verificaram efeito significativo do número de aplicações sobre o diâmetro do colmo. Os autores observaram ausência de significância estatística naquele estudo, em que a realização de uma aplicação proporcionou numericamente o maior diâmetro, enquanto duas aplicações não resultaram em nenhum benefício adicional.

Para os componentes de rendimento da espiga, os tratamentos apresentaram respostas diferentes. O número de fileiras por espiga (NFE) foi influenciado significativamente pelos tratamentos (p = 0,000173), sendo que apenas o T4 apresentou valor inferior, enquanto os demais tratamentos foram estatisticamente equivalentes entre si. Já para o número de grãos por fileira (NGF) não houve diferença significativa, com médias entre 34,60 e 37,73 grãos por fileira.

Corroborando este resultado, Ohse e Santos (2020) observaram que a resposta desses componentes pode variar conforme o manejo de Zn e o genótipo de milho utilizado. Os autores não verificaram efeito dos tratamentos sobre o número de fileiras por espiga, enquanto o número de grãos por fileira apresentou resposta diferente entre os genótipos avaliados. Dessa forma, os resultados indicam que o aumento do fornecimento deste elemento nem sempre resulta em maior formação dos componentes da espiga, podendo a resposta depender da dose, da época de aplicação e das características do material genético e, principalmente, das condições do solo.

Os resultados referentes à produtividade de grãos e ao peso de mil grãos da cultura do milho, em resposta aos diferentes tratamentos com aplicação foliar de Zn, estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4. Peso de mil grãos (PMG) e produtividade da cultura do milho submetida a diferentes estratégias de aplicações foliares sucessivas de zinco

Tratamentos	**Peso de mil grãos (PMG) (g)**	**Produtividade (kg ha^{-1})**	
T1	301,65 b	14.958,77^{ns}	

T2	325,30 ab	16.288,13	
T3	327,74 ab	18.089,18	
T4	336,39 a	15.657,41	
T5	330,03 ab	15.756,92	
Média geral	324,22	16.150,08	
C.V. (%)	4,47	13,19	
$F_{calculado}$	3,362**	$1,233^{ns}$	
Valor de *p*	0,04586	0,34807	

Fonte: o autor, 2026.

Nota: ^{ns} *, ** Não significativo, significativo a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F . Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Para a produtividade de grãos, não foi observado efeito significativo dos tratamentos. As médias variaram de 14.958,77 a 18.089,18 kg ha^{-1}, indicando que, nas condições em que o experimento foi conduzido, a aplicação de Zn não promoveu alteração estatisticamente comprovada nesta variável. Entretanto, as produtividades obtidas podem ser consideradas elevadas quando comparadas às médias observadas na região. De acordo com o Departamento de Economia Rural (DERAL), na safra 2025/2026, a produtividade média do milho de primeira safra no Núcleo Regional de Toledo foi de 9.500 kg ha^{-1}. No presente estudo, mesmo o tratamento de menor produtividade apresentou 14.958,77 kg ha^{-1}, valor aproximadamente 57,5% superior à média regional, enquanto a média geral do experimento, de 16.150,08 kg ha^{-1}, foi cerca de 70% superior. Esses resultados

demonstram que a cultura apresentou elevado desempenho produtivo nas condições experimentais.

Os resultados obtidos apresentam comportamento semelhante ao observado por Schwertner e Ecco (2025), que avaliaram a produtividade de grãos do milho submetido a aplicações foliares de micronutrientes em diferentes doses e estádios fenológicos e tampouco verificaram diferença significativa entre os tratamentos.

Embora no estudo dos autores o Zn tenha sido aplicado em associação com cobre (Cu) e manganês (Mn), o que impede atribuir os resultados exclusivamente ao Zn, a ausência de resposta para a produtividade em ambos os trabalhos demonstra que a suplementação foliar desses micronutrientes não resultou em incremento estatisticamente comprovado na produção de grãos. A semelhança entre os achados torna-se ainda mais relevante por ambos os experimentos terem sido conduzidos sob condições edafoclimáticas da mesma região.

Para o peso de mil grãos (PMG), foi observado efeito significativo dos tratamentos (p = 0,04587), onde o T4 apresentou a maior média, com 336,39 g, diferindo significativamente do tratamento T1, que apresentou a menor média, de 301,65 g. Os tratamentos T2, T3 e T5 apresentaram valores, não diferindo estatisticamente de T1 nem de T4. Considerando os tratamentos de maior e menor média, T4 apresentou PMG aproximadamente 11,5% superior ao T1, indicando que o manejo com Zn influenciou essa característica produtiva nas condições do experimento.

Resultado semelhante foi observado por Jarecki *et al.* (2025), os quais avaliaram a aplicação foliar de micronutrientes na cultura do

milho e verificaram aumento significativo no peso de mil grãos com a aplicação de Zn em comparação à testemunha. Esse resultado demonstra que o fornecimento deste elemento pode influenciar a formação e o enchimento dos grãos. No presente estudo, entretanto, a resposta não ocorreu de forma uniforme entre os tratamentos, sendo observada diferença significativa apenas entre T4 (maior média) e T1 (menor média), enquanto os demais tratamentos apresentaram comportamento intermediário.

Por fim, os resultados referentes aos teores do índice relativo de clorofila (SPAD), mensurados nos estádios fenológicos V4, V6, V8 e VT na cultura do milho submetida a diferentes manejos de adubação foliar com Zn, estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5. Índice relativo de clorofila (SPAD) em diferentes estádios fenológicos da cultura do milho submetida a diferentes estratégias de aplicações foliares sucessivas de zinco

Tratamentos	**V4**	**V6**	**V8**	**VT**
T1	$70{,}22^{ns}$	$70{,}28^{ns}$	$60{,}25^{ns}$	68,30 a
T2	68,53	70,97	56,38	64,42 ab
T3	74,50	71,88	58,75	66,95 a
T4	69,95	70,05	63,92	66,40 ab
T5	67,92	68,55	61,62	61,05 b
Média geral	70,22	70,34	60,19	65,42
C.V. (%)	5,44	3,30	7,38	3,73
$F_{calculado}$	$1{,}818^{ns}$	$1{,}123^{ns}$	$1{,}656^{ns}$	$5{,}328^{**}$
Valor de *p*	0,19016	0,39078	0,22435	0,01058

Fonte: o autor, 2026.

Nota: ^{ns} *, ** Não significativo, significativo a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F. *p* = nível de significância estatística; C.V. (%): coeficiente de variação. ^{ns} = não significativo. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Para o teor relativo de clorofila, não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos nos estádios V4 (p = 0,19016), V6 (p = 0,39078) e V8 (p = 0,22435). Apesar das variações numéricas observadas entre as médias, os tratamentos apresentaram comportamento estatisticamente semelhante nesses três estádios, indicando que as aplicações não promoveram alterações detectáveis no teor relativo de clorofila durante a maior parte do período vegetativo avaliado.

Entretanto, no estádio VT, verificou-se diferença significativa entre os tratamentos (p = 0,010576). Observou-se que T1 e T3 apresentaram médias de 68,30 e 66,95, respectivamente, superiores ao T5, que apresentou a menor média (61,05). Os tratamentos T2 e T4 apresentaram médias intermediárias e não diferiram estatisticamente dos demais grupos.

Apesar dessa diferença, os valores observados em todos os tratamentos podem ser considerados elevados quando comparados aos relatados na literatura. Vargas *et al.* (2012), utilizando clorofilômetro ClorofiLOG na cultura do milho, verificaram que, no estádio de pendoamento, valores do índice relativo de clorofila superiores a 40 unidades mostraram-se mais adequados e relacionados a maiores rendimentos de grãos. Dessa forma, considerando que no presente estudo as médias em VT variaram de

61,05 a 68,30, todos os tratamentos apresentaram índices superiores a essa referência, inclusive o T5, que apresentou a menor média entre os tratamentos.

Um aspecto importante desse resultado é que T1, correspondente à testemunha, apresentou a maior média numérica de clorofila. Dessa forma, embora tenha sido constatada diferença estatística em VT, esse resultado não pode ser interpretado como um aumento da clorofila provocado pelo fornecimento de Zn, uma vez que o tratamento sem aplicação do micronutriente esteve entre aqueles de maior valor.

Esse comportamento é reforçado pelo resultado de T5, que, apesar de ter recebido o maior número de aplicações e a dose mais tardia, apresentou a menor média em VT. Como o Zn atua no aparato fotossintético, era esperada uma resposta superior nesse tratamento caso a via foliar fosse o fator determinante para a clorofila. Contudo, essa tendência não se confirmou, indicando que o incremento nas aplicações de Zn não eleva proporcionalmente o índice foliar e que outros fatores fisiológicos, nutricionais ou ambientais, condicionaram a resposta.

Outro aspecto a ser considerado é o comportamento do elemento após sua absorção pelas folhas. O Zn não é considerado completamente imóvel na planta, porém apresenta mobilidade limitada após a aplicação foliar (Marschner, 2012).

Doolette *et al.* (2018) corroboram essa afirmação: ao utilizarem sulfato de Zn aplicado em folhas de trigo e acompanharem o micronutriente por meio de técnicas de imagem por raios X, os autores verificaram que o metal apresentou deslocamento e

mobilidade limitados a partir do local de aplicação, apesar de ter ocorrido alguma translocação. Dessa forma, mesmo aplicações realizadas em estádios mais avançados não garantem uma redistribuição ampla do Zn para todos os tecidos da planta, o que pode contribuir para explicar por que o maior número de aplicações não resultou, necessariamente, em maiores valores de clorofila.

Por outro lado, a mobilidade limitada do Zn não explica a elevada média da testemunha, indicando a influência de outros fatores. Cessa, Lima e Melo (2017) observaram que o índice de coloração verde em milho se relaciona simultaneamente aos teores foliares de Zn e N, destacando que o N atua diretamente na síntese de clorofila, enquanto o Zn atua de forma indireta. Além disso, os autores ressaltam que a resposta à adubação foliar varia conforme as características do solo, clima, fonte, dose e época de aplicação. Assim, variações no estado nutricional e fisiológico das plantas podem alterar os valores do clorofilômetro, independentemente da dose de Zn fornecida.

A inexistência de uma resposta linear ao Zn também foi observada por Kume *et al.* (2022). Em milho submetido a concentrações crescentes de sulfato de Zn, os autores constataram que o aumento deste nutriente alterou os teores de Mn, Fe e B, evidenciando interações nutricionais. Além disso, doses elevadas não promoveram ganhos adicionais e provocaram reduções em certas variáveis. Embora não se possa afirmar a ocorrência de toxicidade no presente estudo sem análise foliar, esses achados confirmam que o incremento de Zn não garante maior resposta fisiológica.

Divergindo desses resultados, Schwertner e Ecco (2025) observaram maior índice SPAD com aplicações em V4, V8 e VT, e menor valor na

testemunha. Contudo, a aplicação conjunta de Zn, Cu e Mn impede isolar o efeito do Zn. A comparação reforça que, mesmo sob condições edafoclimáticas locais semelhantes, a resposta da clorofila varia conforme o manejo nutricional.

Portanto, os dados não evidenciam resposta positiva do índice de clorofila ao fornecimento de Zn. O fato de a testemunha (T1) figurar entre as maiores médias e o T5 (maior número de aplicações) apresentar o menor valor confirma a ausência de relação direta com o micronutriente. Fatores como a mobilidade limitada do Zn, interações iônicas, estado nutricional da cultura e variações ambientais justificam o comportamento observado.

4. CONCLUSÃO

A aplicação foliar de Zn influenciou o desenvolvimento e os componentes de rendimento do milho de maneira distinta entre as variáveis avaliadas. Foram observados efeitos significativos sobre altura de plantas, diâmetro do colmo, número de fileiras por espiga e peso de mil grãos, enquanto a altura de inserção da espiga, o número de grãos por fileira e a produtividade não foram alterados significativamente pelos tratamentos.

Quanto ao índice relativo de clorofila, o fornecimento de Zn não promoveu alterações significativas nos estádios V4, V6 e V8, enquanto a diferença observada em VT não apresentou resposta positiva ou proporcional ao aumento do número de aplicações e da dose cumulativa do micronutriente.

Entre os componentes de rendimento, o peso de mil grãos apresentou maior média no tratamento T4, com 336,39 g, valor aproximadamente 11,5% superior ao observado na testemunha, com

301,65 g. Entretanto, esse incremento não resultou em aumento estatisticamente significativo da produtividade de grãos.

Dessa forma, conclui-se que a adubação foliar com Zn pode promover alterações em características morfológicas específicas e no peso de mil grãos do milho, porém, nas condições em que o experimento foi conduzido, não proporcionou aumento significativo da produtividade. Assim, não foi possível definir um número de aplicações ou estádio fenológico ideal para o fornecimento foliar de Zn, uma vez que as diferentes estratégias de aplicação sucessiva, envolvendo o aumento conjunto do número de aplicações, da dose acumulada de Zn e a inclusão de estádios fenológicos mais avançados, não resultaram em incrementos agronômicos consistentes na cultura.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHMED, A. S.; PATRA, P. S.; DEBNATH, M. K. Phenology and productivity of maize (*Zea mays* L.) as influenced by different methods of zinc application. **Agricultural Science Digest,** Haryana, India, n.1, 2025. DOI: https://doi.org/10.18805/ag.D-6246. Disponível em: https://arccjournals.com/journal/agricultural-science-digest/D-624. Acesso em: 17 set. 2026.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. **Regras para análise de sementes.** Brasília, DF: MAPA/ACS, 2009. 399 p. Disponível em: https://repositorio-dspace.agricultura.gov.br/bitstream/1/423/1/regras-para-analise-de-sementes.pdf. Acesso em: 6 nov. 2025.

CAVIGLIONE, J. H.; *et al*. Cartas climáticas do Estado do Paraná. *In*: CONGRESSO E MOSTRA DE AGROINFORMÁTICA, 2000, Ponta

Grossa, PR. **Anais [...].** Ponta Grossa: UEPG; Fundação ABC, 2000. Disponível em: https://infoagro.deinfo.uepg.br/artigos/pdf/info_102.pdf. Acesso em: 22 out. 2025.

CESSA, R. M. A.; LIMA, L. S. F.; MELO, E. P. de. Pulverização foliar com nitrogênio e zinco em milho (*Zea mayz* L.) "safrinha" em Confresa (MT). **Revista Agrogeoambiental,** Pouso Alegre, v. 9, n. 1, p. 55–64, jan./mar. 2017. DOI: https://doi.org/10.18406/2316-1817v9n12017869. Disponível em: https://agrogeoambiental.ifsuldeminas.edu.br/index.php/Agrogeoambiental/article/view/869. Acesso em: 16 ago. 2026.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Safra de grãos está estimada em 322,3 milhões de toneladas em 2024/25, aponta Conab.** Brasília, DF: Conab, 14 jan. 2025. 1 áudio (6 min 30 s). Disponível em: https://cast.conab.gov.br/post/2025-01-14_4_lev_graos/. Acesso em: 19 set. 2026.

COSTA JÚNIOR, J. R. da. **Doses de boro e zinco na adubação de milho em neossolo quartizarênico.** 2021. 46f. Dissertação (Mestrado em Bioenergia e Grãos) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Campus Rio Verde, Rio Verde, GO, 2021. Disponível em: https://repositorio.ifgoiano.edu.br/bitstream/prefix/1758/1/Dissertac%CC%A7a%CC%83o%20Jo%CC%81se%20Roberto%20Repositorio.pdf. Acesso em: 5 out. 2025.

DOOLETTE, C. L.; READ, T. L.; LI, C.; SCHECKEL, K. G.; DONNER, E.; KOPITTKE, P. M.; SCHJOERRING, J. K.; LOMBI, E. Foliar application of zinc sulphate and zinc EDTA to wheat leaves: differences in mobility,

distribution, and speciation. **Journal of Experimental Botany,** Oxford, v. 69, n. 18, p. 4469–4481, 2018. DOI: https://doi.org/10.1093/jxb/ery236. Disponível em: https://academic.oup.com/jxb/article/69/18/4469/5042078. Acesso em: 16 ago. 2026.

FERNANDES, C. F.; DALCHIAVON, F. C. Métodos de fornecimento e doses de Zinco para o milho. **Revista de Ciências Agrárias,** v. 42, n. 1, p. 248–255, 2019. DOI: https://doi.org/10.19084/RCA18106. Disponível em: https://scielo.pt/pdf/rca/v42n1/v42n1a25.pdf. Acesso em: 17 nov. 2026.

GEXPDES. **GExpDes:** interface gráfica para análises estatísticas experimentais. Ondina, Salvador: Universidade Federal da Bahia, [2026]. Disponível em: http://www.gexpdes.ufba.br:3838/gexpdes/. Acesso em: 20 ago. 2026.

JARECKI, W.; *et al.* The effect of foliar micronutrient fertilization on yield and nutritional quality of maize grain. **Agronomy,** Basel, Suíça, v. 15, n. 8, art. 1859, 2025. DOI: https://doi.org/10.3390/agronomy15081859. Disponível em: https://www.mdpi.com/2073-4395/15/8/1859. Acesso em: 16 ago. 2026.

KORMANN, R.; ROSA, E. N.; PAIXÃO, C. A.; FERREIRA, E. B.; NOGUEIRA, D. A. GExpDes: interface gráfica para o ExpDes. **Sigmae,** Alfenas, v. 8, n. 2, p. 170–179, 2019. DOI: https://doi.org/10.29327/2520355.8.2-19. Acesso em: 6 nov. 2025.

KUME, W. T.; CAMPOS, L. M.; RIBEIRO, R.; CAIONE, G. Desordens nutricionais provocadas por deficiência e excesso de zinco em plantas de milho. **Científica,** Dracena, SP, v. 49, n. 4, p. 165–173, 2022. DOI: 10.15361/1984-5529.2021v49n4p165-173. Disponível em:

https://cientifica.dracena.unesp.br/index.php/cientifica/article/view/1377/872. Acesso em: 16 ago. 2026.

LORA, J. **Estudo avaliativo sobre a aplicação de bioestimulantes na cultura do milho.** 2025. 87f. Tese (Doutorado em Ciências Agrárias – Agronomia) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Campus Rio Verde, Rio Verde, GO, 2025. Disponível em: https://repositorio.ifgoiano.edu.br/riserver/api/core/bitstreams/26ab712a-42d1-4dce-bd2f-cb7b7e887006/content. Acesso em: 10 ago. 2026.

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

MALLIKARJUNA, M. G. *et al.* Comparative transcriptome analysis of iron and zinc deficiency in maize (*Zea mays* L.). **Plants,** v. 9, n. 12, art. 1812, 2020. DOI: https://doi.org/10.3390/plants9121812.

MARSCHNER, P. (ed.). **Marschner's mineral nutrition of higher plants.** 3. ed. London: Academic Press, 2012. 651 p.

MATTIELLO, E. M.; RUIZ, H. A.; NEVES, J. C. L.; VENTRELLA, M. C.; ARAÚJO, W. L. Zinc deficiency affects physiological and anatomical characteristics in maize leaves. *Journal of Plant Physiology*, v. 183, p. 138–143, 2015. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jplph.2015.05.014.

MIRANDA, R. A. de; DUARTE, J. O.; GARCIA, J. C.; DURÃES, F. O. M. **Sustentabilidade da cadeia produtiva do milho.** Sete Lagoas, MG: Embrapa Milho e Sorgo, 2021. 27 p. (Documentos, 261). Disponível em:

https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1132079. Acesso em: 5 out. 2025.

MOLDOVAN, V. H.; MOLDOVAN, Zh. A. Effectiveness of zinc in foliar feeding maize in the Western Forest Steppe of Ukraine. **The Scientific Journal Grain Crops,** Ucrânia, v. 7, n.1, p. 146–152, July 2023. DOI: https://doi.org/10.31867/2523-4544/0270.

NASCIMENTO, J. S.; PINTO, L. A.; TAVARES, M. S.; CAMARA, F. T. da. Análise do desenvolvimento e produtividade do milho em função da adubação via foliar de zinco e inoculação com bactérias condicionadoras. **Revista Agrária Acadêmica,** Imperatriz, MA, v.3, n. 3, p. 138-148, 2020. DOI: 10.32406/v3n32020/138-148/agrariacad. Disponível em: https://agrariacad.com/wp-content/uploads/2020/06/Rev-Agr-Acad-v3-n3-2020-p138-148-Analise-do-desenvolvimento-e-produtividade-do-milho-em-funcao-da-adubacao-via-foliar-de-zinco-e-inoculacao-com-bacterias-condicionadoras.pdf. Acesso em: 11 ago. 2026.

OHSE, S.; SANTOS, L. L. P. dos. Modos de aplicação de zinco em genótipos de milho. **Revista Campo Digital,** Campo Mourão, PR, v. 15, n. 1, p. 35-49, 2020. Disponível em: https://revista2.grupointegrado.br/revista/index.php/campodigital/article/view/2262. Acesso em: 11 ago. 2026.

OLSEN, L. I.; PALMGREN, M. G. Many rivers to cross: the journey of zinc from soil to seed. **Frontiers in Plant Science,** v. 5, art. 30, 2014. DOI: https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00030. Disponível em: https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2014.00030/full. Acesso em: 17 nov. 2026.

PARANÁ. Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento. Departamento de Economia Rural. Divisão de Estatísticas Básicas. **Sistema de Acompanhamento de Safra Subjetiva – PSS: relatório PSS mensal:** cultura por núcleo regional. Safra 2025/2026. Curitiba: SEAB/DERAL/DEB, 28 abr. 2026.

PAULETTI, V.; MOTTA, A. C. V. (ed.). **Manual de adubação e calagem para o Estado do Paraná.** Curitiba: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo – Núcleo Estadual Paraná, 2017. 482 p.

PEREIRA, F. F.; NASCIMENTO, I. R. do; CARLINE, J. V. G. Biofortificação agronômica com zinco em cultivar de milho-verde. *In*: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UFT, 17., 2021, Palmas, TO. **Anais [...].** Palmas, TO: UFT, 2021. Disponível em: https://static.even3.com/anais/417410.pdf?v=638939532108766741. Acesso em: 10 ago. 2026.

PIONEER SEMENTES. **Milho P3016VYHR.** 2024. Disponível em: https://www.pioneer.com/br/portfolio-de-produtos/milho-todos/P3016VYHR. Acesso em: 06 nov. 2025.

RITCHIE, S. W.; HANWAY, J. J.; BENSON, G. O. **How a corn plant develops.** Ames: Iowa State University of Science and Technology, Cooperative Extension Service, 1993. (Special Report, 48).

SANTOS, H. G. dos; *et al.* **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** 6. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2025. 393 p.

SCHWERTNER, C.; ECCO, M. Aplicações foliares de zinco, cobre e manganês em diferentes combinações de doses e estádios na cultura do milho. **Cientific@ - Multidisciplinary Journal,** Goianésia, GO, v. 13, n. 1, p. 1–14, 2025. Disponível em:

https://periodicos.unievangelica.edu.br/index.php/cientifica/article/view/7697/5825. Acesso em: 10 ago. 2026.

SHAH, Z. K.; SALAM, M. B. U.; SHAMSA; ALI, S. Enhancing maize yield and zinc uptake through foliar application of zinc sulfate in calcareous soil of Peshawar, Pakistan. **World Journal of Advanced Research and Reviews,** Maharashtra, India, v. 20, n. 3, p. 680–686, 2023. DOI: https://doi.org/10.30574/wjarr.2023.20.3.2448.

SILVA, H. J. T. da; SANTOS, P. F. A.; NOGUEIRA JUNIOR, E. C.; VIAN, C. E. F. Aspectos técnicos e econômicos da produção de etanol de milho no Brasil. **Revista de Política Agrícola,** Brasília, DF, v. 29, n. 4, p. 142–159, out./dez. 2020. Disponível em: https://repositorio.usp.br/directbitstream/1491c37e-5d88-44f7-8b93-9f969887c982/3065179Aspectos+T%C3%A9cnicos+e+Econ%C3%B4micos+da+produ%C3%A7%C3%A3o+de+etanol+de+milho+no+Brasil.pdf. Acesso em: 5 out. 2025.

STEWART, Z. P.; PAPAROZZI, E. T.; WORTMANN, C. S.; JHA, P. K.; SHAPIRO, C. A. Effect of foliar micronutrients (B, Mn, Fe, Zn) on maize grain yield, micronutrient recovery, uptake, and partitioning. **Plants,** v. 10, n. 3, art. 528, 2021. DOI: https://doi.org/10.3390/plants10030528. Disponível em: https://www.mdpi.com/2223-7747/10/3/528. Acesso em: 18 nov. 2026.

VARGAS, V. P.; SANGOI, L.; ERNANI, P. R.; SIEGA, E.; CARNIEL, G.; FERREIRA, M. A. Os atributos nas folhas são mais eficientes que o N mineral no solo para avaliar a disponibilidade desse nutriente para o milho. **Bragantia,** Campinas, v. 71, n. 2, p. 245–255, 2012. DOI: 10.1590/S0006-87052012000200014.

[1] Graduando em Agronomia pela Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR), Campus Toledo. E-mail: acesse o artigo original para visualizar o e-mail. ORCID: https://orcid.org/0009-0000-0993-9602.

[2] Doutor em Produção Vegetal pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE). Professor do curso de Agronomia da Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR), Campus Toledo. E-mail: acesse o artigo original para visualizar o e-mail. Lattes: http://lattes.cnpq.br/3397269934489112.

[3] Mestra em Agronomia pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE) e doutoranda em Desenvolvimento Rural Sustentável pela mesma instituição. Professora da Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR), Campus Toledo. E-mail: acesse o artigo original para visualizar o e-mail. Lattes: http://lattes.cnpq.br/8253980454193212. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1421-4221.