

**Biofortificação via zinco: respostas no crescimento e desenvolvimento inicial da mandioca (*Manihot esculenta* Crantz)**

**INCATE**<sup>1</sup>, Bribes; **DINIZ**<sup>2</sup>, Belísia Lúcia Moreira Toscano; **LOPES**<sup>3</sup>, Adriano Silviano; **MARTINS**<sup>4</sup>, Vinícius Alves; **SILVA**<sup>5</sup>, Andressia Alyce dos Anjos

<sup>1</sup>Universidade Federal da Paraíba, UFPB – Campus III – Bananeiras.

<sup>2</sup>Universidade Federal da Paraíba, UFPB – Campus III – Bananeiras.

<sup>3</sup>Universidade Federal da Paraíba, UFPB – Campus III – Bananeiras.

<sup>4</sup>Universidade Federal da Paraíba, UFPB – Campus III – Bananeiras.

<sup>5</sup>Universidade Federal da Paraíba, UFPB – Campus III – Bananeiras.

\*E-mail: [incatequeba@gmail.com](mailto:incatequeba@gmail.com)

**Resumo:** O estudo avaliou o efeito de cinco doses de zinco (0, 350, 450, 650 e 750 mg) em duas variedades de mandioca (Bujaninha e Landri), em delineamento em blocos casualizados 2 × 5 no CCHSA/UFPB. Foram analisadas altura de planta, diâmetro do caule, índices de clorofila e variáveis de trocas gasosas. A ACP identificou três grupos distintos, indicando diferentes padrões de resposta entre doses e variedades. A correlação de Pearson revelou forte associação entre altura e diâmetro do caule, e entre clorofila a e b. As doses intermediárias (450 e 600 mg) melhoraram o desempenho fisiológico e o crescimento, sugerindo potencial para biofortificação.

**Palavras-chave:** biofortificação; micronutrientes; segurança alimentar

**Abstract:** This study evaluated the effect of five zinc doses (0, 350, 450, 650, and 750 mg) on two cassava varieties (Bujaninha and Landri) in a 2 × 5 randomized block design at CCHSA/UFPB. Plant height, stem diameter, chlorophyll indices, and gas exchange variables were analyzed. Principal component analysis (PCA) identified three distinct groups, indicating different response patterns between doses and varieties. Pearson's correlation revealed a strong association between height and stem diameter, and between chlorophyll a and b. The intermediate doses (450 and 600 mg) improved physiological performance and growth, suggesting potential for biofortification.

**Key words:** biofortification; micronutrients; food safety

## Introdução

A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) é uma cultura de grande importância agrícola em regiões tropicais, destacando-se pela versatilidade, tolerância a condições adversas e contribuição para a segurança alimentar. No Brasil, sua relevância envolve aspectos econômicos, culturais, sociais e gastronômicos, sendo considerada patrimônio da culinária nacional. Sua adaptabilidade levou à indicação pela ONU como alimento estratégico para o século XXI, devido à capacidade de produção em ambientes limitantes e ao amplo uso agroindustrial. A nutrição mineral é essencial para o desenvolvimento da mandioca, e o zinco (Zn) se destaca por influenciar a integridade de membranas, o metabolismo de carboidratos e a atividade enzimática, cuja deficiência reduz crescimento, causa clorose e afeta trocas gasosas. A biofortificação com micronutrientes surge como estratégia de combate à desnutrição. No caso do Zn, pode melhorar processos fotossintéticos e fisiológicos, como assimilação líquida de carbono, condutância estomática e teores de clorofila. Assim, compreender as respostas morfofisiológicas da mandioca a diferentes doses desse micronutriente é fundamental. O objetivo do trabalho foi avaliar o efeito de doses de zinco sobre o crescimento e respostas fisiológicas de duas variedades cultivadas em campo.

## Material e Métodos

O experimento foi instalado em 20 de maio de 2025, com o plantio das mudas, na área experimental do Setor de Agricultura do CCHSA/UFPB, localizada em Bananeiras – PB (6°45'25" S, 35°39'00" O, 624 m de altitude). O clima da região é caracterizado como quente e úmido, com estação chuvosa entre abril a agosto e período seco de setembro a março, apresentando precipitação anual entre 1000 e 1300 mm.

O solo da área experimental é classificado como Latossolo, conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Foram realizadas coletas simples de solo para formar amostras compostas nas profundidades de 0-20 cm e 20-40 cm. As amostras foram encaminhadas ao Laboratório de Solos do CCHSA/UFPB para análises de fertilidade, seguindo metodologias descritas do manual da EMBRAPA (2017). A Tabela 1 apresenta a classificação química do solo, obtida antes da instalação do experimento.

Tabela 1 - Resultados das amostras de solo da área experimental antes do plantio

solo (cm)	H <sub>2</sub> O (1:2,5)		mg/dm <sup>3</sup>		Cmol <sub>e</sub> /dm <sup>3</sup>				C		O.		Org.		dSm H <sub>2</sub> O (1:2,5)
0 — 20 cm	2,	6,55	0,00	7,10	0,95	2,30	1,10	3,42	10,5	32,5	37,6	0,02	21,83	0,18	
	28	68						2	5	3					
20 — 40 cm	2,	4,77	0,01	8,91	1,50	1,30	0,90	2,22	11,1	19,9	32,1	0,01	18,64	0,12	
	06	05						3	7	4					

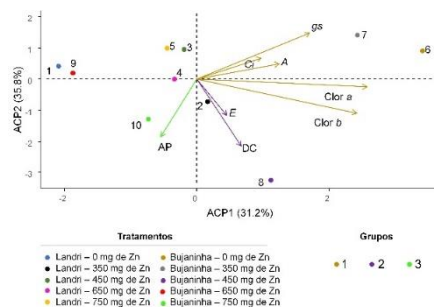
**Fonte:** Autor, (2025).

O estudo utilizou duas variedades de mandioca brava, Bajuninha e Landri, cujos caules foram divididos em mudas com 4–5 gemas e plantados a 10 cm de profundidade. O experimento foi conduzido em delineamento em blocos casualizados, com quatro blocos e cinco tratamentos: T1 (controle), T2 (350 mg de zinco), T3 (450 mg de zinco), T4 (600 mg de zinco) e T5 (750 mg de zinco), totalizando 800 plantas. O crescimento foi avaliado mensalmente por altura e diâmetro do caule durante cinco meses. Os teores de clorofila foram determinados com o ClorofiLOG® CFL1030 (FALKER, 2009) e as trocas gasosas avaliadas com IRGALCpro-SD (LI-COR, 2020) em folhas ativas (MACHADO et al., 2022). A respiração foliar foi mensurada sob baixa irradiância conforme Reich et al. (2016) e Santanoo et al. (2024).

### Resultados e Discussão

A ACP explicou 67% da variância nos dois primeiros eixos. A transpiração (E) e o diâmetro do caule (DC) relacionaram-se à variedade Bujaninha e à dose de 450 mg de Zn, enquanto a altura de planta (AP) associou-se a Bujaninha e 750 mg. Os resultados confirmam o papel do Zn na fotossíntese e no metabolismo de carboidratos (MALAVOLTA et al., 1997; PRADO, 2008) e seu efeito positivo na eficiência estomática (SANTANOO et al., 2024; MOURA et al., 2022). As doses de 450 e 600 mg agruparam-se próximas às variáveis fisiológicas, como observado por Machado et al. (2022). O tratamento sem Zn (T1) mostrou baixa eficiência fotossintética, típica da deficiência do elemento (REICH et al., 2016; FALKER, 2009).

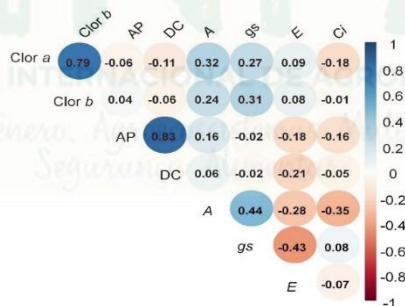
**Figura 1.** Análise de componentes principais de variáveis morfofisiológicas de diferentes variedades de mandioca biofortificadas com diferentes doses de zinco. Altura da planta (AP), diâmetro do caule (DC), transpiração (E), condutância estomática (gs), taxa de assimilação de carbono (A), concentração interna e externa de CO<sub>2</sub> (Ci), clorofila a (Clor a) e clorofila b (Clor b).



Fonte: Autor, (2025).

A matriz de correlação de Pearson indicou relação positiva de 0,83 entre altura da planta (AP) e diâmetro caular (DC), além de associação direta entre clorofila a (Clor a) e clorofila b (Clor b). Tais padrões são comuns em espécies agrícolas com nutrição mineral adequada, pois maior atividade fotossintética favorece o crescimento vegetativo (EL-SHARKAWY, 2012; TAIZ et al., 2017). As correlações entre gs, E e A confirmam coerência fisiológica, dado que condutância e transpiração regulam o fluxo de CO<sub>2</sub> ao mesófilo, influenciando a fotossíntese líquida (REICH et al., 2016).

**Figura 2.** Representação da correlação de Pearson entre variáveis morfofisiológicas de variedades de mandioca biofortificadas submetidas a diferentes doses de zinco, incluindo clorofila a (Clor a), clorofila b (Clor b), altura de plantas (AP), diâmetro do caule (DC), transpiração (E), condutância estomática (gs), taxa de assimilação de carbono (A) e concentrações interna e externa de CO<sub>2</sub> (Ci).



Fonte: Autor, (2025).

O aumento das leituras de clorofila indica que o Zn atua como ativador enzimático na formação de pigmentos, elevando a eficiência fotossintética, como observado por Santano et al. (2024) e descrito por Prado (2008). Dessa forma, doses intermediárias de Zn maximizam as respostas morfofisiológicas da mandioca, sem provocar saturação fisiológica,

o que está de acordo com padrões relatados em cultivos biofortificados (BOURGEOIS et al., 2020).

#### Conclusão

A aplicação de zinco promoveu melhorias expressivas nos parâmetros fisiológicos e de crescimento das plantas de mandioca, principalmente nas doses intermediárias de 450 e 600 mg. Essas doses favoreceram maior eficiência fotossintética, aumento da condutância estomática e teores mais elevados de clorofila, refletindo em melhor desenvolvimento vegetativo. Assim, o Zn demonstra elevado potencial como insumo para biofortificação e melhoria do desempenho agrônômico da mandioca, reforçando sua importância no manejo nutricional da cultura.

#### Referências

1. EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo. 3ª ed. Brasília (DF): EMBRAPA Solos; 2017.
2. Falker Automation. Manual do medidor de clorofila ClorofiLOG CFL 1030. Porto Alegre: Falker; 2009.
3. LI-COR Biosciences. LI-6400/LI-6800 Portable Photosynthesis System: Instruction Manual. Lincoln: LI-COR; 2020.
4. Machado DFM, et al. Gas exchange responses of tropical crops under nutrient supply. *Sci Agric*. 2022;79(2):101–9.
5. Reich PB, et al. Global patterns of leaf photosynthesis, stomatal conductance and respiration. *Proc Natl Acad Sci USA*. 2016;113:105–12.
6. Santano P, et al. Zinc supplementation improves gas exchange and biomass in tropical crops. *Plant Physiol Rep*. 2024;29:508–20.
7. Malavolta E, Vitti GC, Oliveira SA. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 2ª ed. Piracicaba: POTAFOS; 1997.
8. Prado RM. Nutrição de plantas. São Paulo: UNESP; 2008.
9. Moura DS, et al. Zinc application improves photosynthetic efficiency and growth in tropical crops. *J Plant Nutr*. 2022;45(7):1201–13.
10. El-Sharkawy MA. Cassava biology and physiology. *Plant Mol Biol*. 2012;29:77–89.
11. Taiz L, Zeiger E, Møller IM, Murphy A. Fisiologia e desenvolvimento vegetal. 6ª ed. Porto Alegre: Artmed; 2017.
12. Bourgeois B, et al. Biofortification of staple crops: current developments and future prospects. *J Agric Sci*. 2020;12(4).