IMPACTO CIENTÍFICO
EDITORA

DOSES FOLIARES DE ZINCO NA BIOFORTIFICAÇÃO O DO JAMBU (*Acmella Oleracea L.*)

FOLIAR DOSES OF ZINC IN THE BIOFORTIFICATION OF JAMBU (Acmella Oleracea L.)

DOSIS FOLIARES DE ZINC EN LA BIOFORTIFICACIÓN DEL JAMBÚ (Acmella Oleracea L.)

10.56238/edimpacto2025.015-010

Mayla dos Santos Chagas
Discente do curso de Licenciatura em Ciências Biológicas
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará
biomaysc22@gmail.com
https://orcid.org/0009-0008-1840-9329

Welliton de Lima Sena
Doutorado em Ciências Agrárias
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará
welliton.sena@ifpa.edu.br
https://orcid.org/0000-0002-3021-2499

Rayette Souza da Silva Lobão
Doutorado em Ciência Animal
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará
rayette.silva@ifpa.edu.br
https://orcid.org/0000-0001-6224-3815

Leidyane Barbosa dos Passos
Discente do curso de Licenciatura em Ciências Biológicas
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará
lidyanebarbosapassos@gmail.com
https://orcid.org/0009-0001-0034-4167
http://lattes.cnpq.br/9468034320642780

Vinicius Mendes Meireles
Engenheiro Agrônomo
Universidade Federal Rural da Amazônia
meirelesvinicius22@gmail.com
https://orcid.org/0009-0006-1143-8763

Raimundo Nonato Colares Camargo Júnior
Mestre em Ciência Animal
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará
camargo.jr@ifpa.edu.br
https://orcid.org/0000-0003-2362-3625
http://lattes.cnpq.br/1425146623370051

Rubens de Oliveira Meireles
Doutorado em Ciências Agrárias
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará
rubens.meireles@ifpa.edu.br
https://orcid.org/0000-0001-5484-9737
http://lattes.cnpq.br/7530334202601068

RESUMO
Este estudo visou avaliar qual dose de zinco foliar é a mais adequada para a biofortificação do jambu. Foi conduzido no IFPA, campus Belém, o experimento com cinco doses foliares de zinco (0, 10, 20, 30 e 40 mg mL-1, fonte de Zn (sulfato de zinco) num sistema de cultivo hidropônico. Após cinco dias das mudas serem transplantadas, foi dado início ao experimento de pulverização foliar de zinco, que se estendeu durante 21 dias. Os resultados obtidos após à análise de variância e o teste de Tukey mostraram que a aplicação de 10 mg/L-1 foi a mais adequada para a biofortificação do jambu, logo, as aplicações superiores a 10 mg/L-1 influenciaram negativamente as plantas de jambu, apresentando sintomas característicos de fitotoxidez. As desordens apresentadas na planta foram as raízes menores e escurecidas, clorose das folhas e folhas deformadas. Portanto, no presente trabalho 10mg/L-1 foi a dosagem ótima para a biofortificação do jambu.

Palavras-chave: Saúde. Hidroponia. Hortaliça. Fome oculta.

ABSTRACT
The aim of this study was to assess which dose of foliar zinc is most suitable for biofortifying jambu. The experiment was conducted at IFPA, Belém campus, with five foliar doses of zinc (0, 10, 20, 30 and 40 mg mL-1, Zn source (zinc sulphate) in a hydroponic cultivation system. Five days after the seedlings were transplanted, the foliar zinc spraying experiment began and lasted 21 days. The results obtained after the analysis of variance and Tukey's test showed that the application of 10 mg/L-1 was the most suitable for the biofortification of jambu; therefore, applications of more than 10 mg/L-1 negatively influenced the jambu plants, showing characteristic symptoms of phytotoxicity. The plant disorders were smaller and darkened roots, leaf chlorosis and deformed leaves. Therefore, in this study 10mg/L-1 was the optimum dosage for the biofortification of jambu.

Keywords: Health. Hydroponics. Vegetable. Hidden hunger.

RESUMEN
El objetivo de este estudio fue evaluar qué dosis de zinc foliar es la más adecuada para biofortificar el jambu. El experimento se realizó en el IFPA, campus de Belém, con cinco dosis foliares de zinc (0, 10, 20, 30 y 40 mg mL-1, fuente de Zn (sulfato de zinc) en un sistema de cultivo hidropónico. Cinco días después del trasplante de las plántulas, se inició el experimento de pulverización foliar de zinc, que duró 21 días. Los resultados obtenidos tras el análisis de la varianza y la prueba de Tukey mostraron que una aplicación de 10 mg/L-1 fue la más adecuada para la biofortificación del jambu, mientras que aplicaciones superiores a 10 mg/L-1 tuvieron un efecto negativo sobre las plantas de jambu, mostrando síntomas característicos de fitotoxicidad. Los trastornos de las plantas fueron raíces más pequeñas y ennegrecidas, clorosis foliar y hojas deformadas. Por lo tanto, en este estudio 10mg/L-1 fue la dosis óptima para la biofortificación del jambu.

Palabras clave: Salud. Hidroponía. Vegetal. Hambre oculta.

1 INTRODUÇÃO

A biofortificação agronômica consiste em enriquecer os alimentos com minerais, especialmente Fe e Zn, através de tratos culturais diferenciados (VERGÜTZ *et al*., 2016). Essa biofortificação pode ser feita por meio de algumas técnicas, tais como, adubação via solo, tratamento de sementes e aplicação foliar, que se caracterizam como técnicas de menor custo, mais acessíveis e de resultado rápido, pois influencia somente na adubação. A biofortificação apresenta-se como uma tática inovadora e eficiente para combater a desnutrição e a insegurança alimentar , particularmente em áreas onde a falta de micronutrientes é frequente (LOUREIRO *et al*., 2018). Os efeitos dessa estratégia ultrapassaram a saúde pessoal, pois fomentam a resiliência das comunidades rurais, estimulando a diversidade de culturas e a adaptação às mudanças climáticas. Além disso, a biofortificação tem o potencial de diminuir a necessidade de suplementos alimentares e medidas externas, reforçando a independência da população em situação de vulnerabilidade (DE CARVALHO; NUTTI, 2012).

O jambu (*Acmella oleracea L.*), pertencente à família Asteraceae, é uma planta nativa da Bacia Amazônica muito utilizada na culinária. No Pará, consomem-se muito as folhas em pratos típicos regionais como pato no tucupi, moqueca, caldeirada e tacacá, além de saladas (HOMMA et al., 2014). A maior produção de jambu ocorre na região norte do Brasil, o que resulta em uma lucratividade financeira para a população dessa área. No entanto, não existem estatísticas oficiais de mercado sobre os preços e o consumo do jambu, é conhecido que o valor de venda na região norte do Brasil oscila conforme a época do ano, próximo a eventos festivos, o preço atinge valores elevados no mercado, uma vez que é frequentemente usado em pratos típicos da região (BRASIL, 1997; HOMMA et al. 2014; MEDEIROS, 2014).

O consumo do jambu não apenas enriquece a alimentação, mas também promove a apreciação da biodiversidade e da cultura alimentar da Amazônia. Incorporá-lo em receitas tradicionais é uma maneira de aproveitar suas vantagens nutricionais e sabores singulares. No jambu, existem vários tipos de minerais, incluindo macrominerais como nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S), além de microminerais como boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe) e zinco (Zn). Os níveis desses minerais são encontrados nas folhas maiores do jambu (BORGES; GOTO; LIMA, 2013). Em relação aos benefícios para a saúde, o jambu apresenta uma extensa variedade de uso, como: atividade vasodilatadora e antioxidante (WONGSAWATKUL et al., 2008), efeito anestésico (FREITAS-BLANCO et al., 2016), ação anti inflamatória e antimicrobiana (GUPTA; PATEL; RAVINDRA et al., 2012), neuroprotetor (SUWANJANG et al., 2017), gastroprotetor e antinociceptivo (NASCIMENTO et al., 2013; NOMURA et al., 2013).

O espilantol, um metabólito muito pesquisado no jambu por suas propriedades biológicas, sua concentração é mais elevada nas flores do jambu, mas também é encontrado nas folhas e no caule, em menor quantidade (DIAS et al., 2012). A concentração de espilantol é mais elevada nos capítulos

florais do jambu. Além disso, também é encontrado nas folhas e no caule, embora em menor quantidade. O espilantol tem propriedades que combatem a inflamação, a dor e a ação antimicrobiana. Ele tem a capacidade de aliviar a dor, diminuir a febre e lutar contra infecções. Além disso, é reconhecido por promover a circulação do sangue e pode trazer benefícios para a digestão (MBEUNKUI et al., 2011; FAVORETO, R. GILBERT, B., 2010).

A medicina popular emprega o jambu, uma planta com alto teor de espilantol, reconhecida por suas propriedades anestésicas e anti-inflamatórias. O jambu é frequentemente utilizado em chás e refeições típicas, evidenciando a sua relevância cultural e terapêutica, particularmente no intervalo de dores e no reforço do sistema imunológico. O espilantol, encontrado nas folhas e flores do jambu, é o componente que causa a sensação de formigamento e dormência na boca, fazendo desta planta um remédio tradicional para dores de dente e garganta (BALIEIRO et al., 2020; SEKO et al., 2020).

O zinco é um nutriente essencial para a saúde humana, desempenhando diversas funções estruturais, bioquímicas e reguladoras. O zinco é, depois do ferro, o micromineral com maior distribuição no corpo humano, estando presente em grandes quantidades em todos os tecidos. Ele exerce funções envolvidas na divisão celular, metabolismo, desenvolvimento sexual, imunidade e capacidade cognitiva, realização de ações estruturais, catalíticas e regulatórias significativas (PEREIRA, 2009; MACÊDO, 2010; CHASAPIS, 2012; PEDRAZA, 2013).

A falta de zinco é vista como uma questão global, especialmente em nações subdesenvolvidas e em áreas de pobreza em grandes metrópoles. As consequências podem ser graves, resultando em prejuízo físico e intelectual. A falta relativa de zinco deve ser levada em conta em fases de crescimento acelerado, onde a necessidade do mineral aumenta, como na infância, adolescência, gravidez e amamentação (PERSON, *et al.*, 2006).

A fome oculta, também conhecida como desnutrição oculta, refere-se à deficiência de micronutrientes essenciais. De acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS), a má alimentação, que engloba não só a subnutrição, mas também as deficiências específicas e a sobrenutrição, ainda persiste globalmente no começo deste milênio. Mais de 2 bilhões de pessoas apresentam carências nutricionais e 800 milhões de indivíduos não atendem às suas necessidades fundamentais de energia e proteínas, outros 600 milhões são afetados pelas consequências de uma dieta imprópria e desequilibrada (JUNQUEIRA & PEETZ, 2001).

A fome oculta afeta tanto nações construídas quanto em desenvolvimento, embora de formas ocultas distintas (HORTON; ROSS, 2003). Nos países avançados, a desnutrição pode surgir em situações particulares, enquanto nos países em desenvolvimento, a alimentação estagnada e a pobreza intensificam o problema. A fome oculta afeta uma parte significativa das populações em diversos países, incluindo aqueles considerados desenvolvidos, como os Estados Unidos. Ela pode ser mais comum entre grupos em situação de vulnerabilidade, como idosos e indivíduos de baixa renda, que

não fornecem acesso a alimentos nutritivos (VILAS BOAS, 2013). Nas nações em desenvolvimento, a escassez de variedade alimentar e a incerteza alimentar são elementos cruciais que agravam as carências nutricionais. Além disso, a fome não revelada pode resultar em problemas de saúde a longo prazo, tais como enfermidades crônicas e prejuízos no crescimento infantil, impactando a produtividade e o bem-estar das comunidades (BRAVO, 2007).

No ano de 2008, os preços dos alimentos a nível global alcançaram níveis astronômicos, mantendo-se inalterados até os dias de hoje. Portanto, durante uma crise, uma quantidade significativa de capital proveniente de setores impactados é direcionada para o agronegócio, seja para a produção de commodities alimentares ou não, com foco na produção de agrocombustíveis (GUEDES, 2011; MARQUES, 2011).

A estratégia de biofortificação tem como objetivo aumentar a concentração de micronutrientes, como o zinco, nos alimentos, contribuindo para o combate à fome oculta. Essa estratégia, que enriquece as culturas com nutrientes nutritivos, pode aprimorar a nutrição e diminuir as carências nutricionais em grupos vulneráveis (LOUREIRO *et al*., 2018). O jambu é um vegetal cada vez mais presente em diversos pratos na culinária paraense, além de ser de fácil preparo e baixo custo, qualquer estratégia destinada a melhorar a biofortificação agronômica pode resultar em vários benefícios para a saúde. Portanto, o presente estudo tem por objetivo avaliar o efeito da aplicação de doses de Zn foliar na produção e acúmulo do nutriente no jambu em cultivo hidropônico.

2 METODOLOGIA

2.1 LOCAL DE ESTUDO

O experimento foi conduzido em ambiente protegido em sistema hidropônico localizado na área experimental do Setor de Biologia Vegetal, no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará – IFPA, campus de Belém, que está localizada nas coordenadas 1º 17’ 42” de Latitude Sul e 47º 55’ 00” de Longitude WGr, a uma altitude de 50 m. O clima local, pela classificação de Köppen, é do tipo Af. E a temperatura média é 26.5 °C. A pluviosidade média anual é de 2432 mm (EMBRAPA, 1993).

2.2 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

As mudas de jambu foram doadas pela Hidroponia Maria Sena com 15 dias de semeio. Posteriormente, foram transplantadas para os perfis do cultivo hidropônico, instalados dentro de ambiente protegido. Permanecendo por mais 27 dias para depois serem colhidas para realização da análise foliar dos teores de zinco. O tempo total de dias de experimento contando com transplantio, aplicação de zinco, colheita e análise de zinco foliar foi de 42 dias.

Os perfis de cultivo hidropônico foram de 75 mm, sendo cada bancada composta por 16 perfis (para um tratamento),três reservatórios, com capacidade para 310 L, totalizando 768 plantas, com 4 repetições. A solução nutritiva (SN) utilizada para a produção do jambu foi elaborada e recomendada por Furlani (1997), para a maioria das hortaliças no sistema de cultivo hidropônico. Para a solução permanecer balanceada é necessário levar em consideração a EC (Condutividade elétrica) e o pH, com seus respectivos valores adequados para uma boa produção, a concentração da SN varia de acordo com a espécie da planta e o tipo e tamanho do cultivo. Conforme Martinez (1997), o pH da solução nutritiva com CaCO3 encontra-se entre 5,5 e 6,5, o que é adequado para a hidroponia. Para a CE, observamos em tempo real as médias adequadas, 1500 a 1700 µS/cm, valores abaixo de 1000 µS/cm, houve reposição de nutrientes na solução. Baseando-se na concentração de Zn que há no Sulfato de Zinco (ZnSO4.7H2O) que é de 20%:Zn, se obteve as concentrações 0, 10, 20, 30 e 40 mg mL-1, de zinco para cada tratamento.

Diariamente foram verificadas a EC e pH dos reservatórios de cada tratamento. Para a reposição dos nutrientes foi utilizada solução estoque, ou seja, uma solução nutritiva concentrada, para cada tratamento com suas respectivas concentrações.

A pulverização de zinco foliar foi feita em três momentos diferentes, a primeira aplicação foi no dia 25/09, a segunda no dia 01/10 e a terceira, dia 08/10.

2.3 CARACTERÍSTICAS AVALIADAS

A colheita do jambu foi realizada 30 dias após o transplantio (DAT). Foram avaliadas 8 plantas centralizadas, para evitar o efeito de borda, de cada repetição para as características agronômicas e teores foliares de zinco. Para as características agronômicas: A parte aérea e a raiz do jambu. Foram pesadas separadamente em balança de precisão 0,01g de modelo S2202H 2200g, para obtenção de massa fresca. Na parte aérea foram consideradas folhas e caule das plantas de jambu. Após essa etapa, a parte aérea e as raízes foram colocadas em sacos de papel, e levadas para a estufa de secagem com circulação de ar forçada na temperatura de 65 ºC até obter massa constante e assim obter a massa seca. Para efeito de comparação nos teores de zinco na parte aérea foram adquiridos maços de jambu em cultivo tradicional em duas feiras na região metropolitana de Belém. E também foram realizadas análises dos óleos essenciais presentes na parte área do tratamento com 10mg de zinco foliar e nos maços adquiridos nas feiras. A massa seca da parte aérea foi encaminhada para o Laboratório de Análise de química do campus Belém, onde as amostras foram trituradas em moinho tipo Whiley para determinação do teor de zinco, por meio de digestão nítrico perclórico.

2.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA). Para as variáveis matéria fresca e teores de zinco foliar foi utilizado o teste de Tukey, sendo que para ambas as análises se utilizou o Software Agroestat e para elaboração das tabelas e gráficos foi utilizado o pacote office, Excel 2016.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os pesos da matéria fresca da parte aérea, raiz e total foram influenciados pelas doses de zinco foliar. (Tabela 1). Observa-se que houve diferença significativa entre o tratamento com 10 $mg.L^{-1}$ de zinco foliar em relação aos demais tratamentos. Quando se compara ao tratamento com 40 $mg.L^{-1}$, o peso da matéria fresca total (PMFT), foi de mais de 50% maior. E em relação ao tratamento controle, o acréscimo foi de 39%. Isso demonstra que o tratamento com a dosagem de 10 mg de zinco influencia positivamente a produção de matéria fresca. E que a partir dessa dosagem há um decréscimo na produção de matéria fresca, ocorrendo um efeito negativo na produção da matéria fresca tanto da parte aérea como da radicular. Pode-se considerar isso como a saturação de zinco não só, mas também à competição com outros nutrientes minerais, como potássio, cálcio e magnésio, que podem ser impactados por concentrações elevadas de zinco (KHURANA & CHATTERJEE,2001).

Tabela 1. Produção de massa fresca (g/planta) da parte aérea (PMFA), das raízes (PMFR) e total (PMFT), de plantas de jambu em função dos tratamentos.

Tratamento	PMFA	PMFR	PMFT
Dose 10 mg de Zn	218,66a	50,33a	269,00a
Dose 20 mg de Zn	115,00b	33,33b	148,33b
Dose 30 mg de Zn	111,66 b	21,00b	132,66 b
Dose 40 mg de Zn	111,00b	20,00b	131,00b
Controle	143,00ab	22,66b	165,66 b
Teste F	4,95**	19,27**	8,80**
CV (%)	25,61	17,17	21,63

Médias seguidas pela mesma letra na vertical não diferem a 5% de probabilidade pelo teste de Scott Knott. CV- Coeficiente de variação.

A tabela acima expõe os resultados obtidos da análise da produção da massa fresca da planta, considerando a parte aérea, as raízes e a parte total. Onde no tratamento com dose de 10 mg de Zinco (Zn), a Produção da Massa Fresca da parte Aérea (PMFA) foi de 218,66 g, Produção da Massa Fresca das Raízes (PMFR) com 50,33 g, e Produção da Massa Fresca Total (PMFT), com 269 g. O segundo tratamento, com 20 mg de Zn, obteve-se um valor de 115,00 para a PMFA, 33, 33 para a PMFA e 148,33 na PMFT. No tratamento de 30 mg de Zn, o valor para a PMFA, foi de 111,66, para a PMFA foi de 21,00, e para a PMFT, de 132,66. No tratamento com a dosagem de 40 mg de Zn, os valores para a PMFA, PMFR e PMFT, foram respectivamente: 111, 20 e 131 g. O tratamento com controle, a qual foram as plantas que não tiveram aplicação foliar de zinco obteve as seguintes médias: PMFA- 143,00; PMFR- 22,66 e PMFT- 165,66 g.

O aumento do peso da matéria fresca total em relação aos demais tratamentos pode estar relacionado pelo fato do zinco favorecer a divisão celular e desenvolvimento das células (MACÊDO, 2010). Já a redução da matéria fresca total nas concentrações de 20, 30 e 40 mg/L é resultado do impacto do excesso de zinco nas plantas nessas quantidades (KHURANA & CHATTERJEE,2001).

A primeira dose (10 mg), apresentou um maior valor de absorção de zinco comparado com as demais concentrações, conforme mostra a figura 1. Notou-se também, que as demais concentrações apresentaram resultados de fitotoxidez de zinco nas folhas e raízes do jambu, causando sintomas visuais nas folhas e raízes, isso pelo fato do excesso do nutriente ser prejudicial, causando sintomas visuais de toxidez, afetando a produção de matéria fresca, conforme ilustra as imagens da figura 2 e 3.

O Zn estimulou diferentes respostas em alguns parâmetros: a produção e crescimento da planta, a absorção e acúmulo de zinco, bem como, que para outros parâmetros as tendências dos materiais genéticos foram similares. Na biomassa, excetuando-se a Produção da Massa Fresca da parte Aérea (MFPA), os demais dados não apresentaram diferenças de produção entre as variedades em todas as variáveis diminuiu com o aumento das doses Zn, comportamento encontrado também no trabalho de GRACIANO et al. (2020), que tratou da biofortificação de zinco em cultivares de alface, onde seus resultados foram: "O teor de zinco foliar da alface crespa foi influenciado pela cultivar e doses; no entanto, não foi verificada interação significativa entre esses fatores. Maiores taxas de aplicação de zinco promovem aumentos lineares no teor de zinco foliar, com uma taxa de incremento de 0,049 mg kg-1 de zinco foliar para cada grama de zinco (g ha-1) aplicado". Os dados de GRACIANO e colaboradores apresentam relação com a pesquisa feita no presente artigo, pois as diferentes doses de aplicação de zinco via foliar impactaram os pesos da matéria fresca da parte aérea, raízes e total. Contudo, não se notaram diferenças significativas entre os outros tratamentos. A análise do tratamento que recebeu 10 mg de zinco em comparação ao que recebeu 40 mg variou uma variação superior a 50% no peso da matéria fresca total (PMFT). Em comparação ao tratamento controle, houve uma redução de 39%. Evidenciando que a administração de 10 mg de zinco afeta positivamente a produção de matéria fresca. Logo, a partir dessa dose, a produção de matéria fresca diminui, resultando em um impacto negativo tanto na produção da parte aérea quanto da radicular.

O valor de massa fresca total para as doses de Zn ajustou-se à equação de segundo grau, encontrando-se o maior valor na dose de 10mg.L^{-1} com um R^2 de 0,96, demonstrando o efeito benéfico de zinco na planta de jambu. Esse comportamento da planta de jambu observado no gráfico, indica que com o aumento nas dosagens a partir de 10 mg.L^{-1} ocorre uma diminuição na matéria fresca total em decorrência da diminuição da área foliar, da absorção de potássio, ferro e fósforo (PRADO, 2008). O aumento dos níveis de zinco pode afetar a fisiologia vegetal, resultando em uma redução na matéria fresca total. Este efeito pode ser atribuído a fatores como a toxicidade do zinco em altas concentrações,

que prejudica o crescimento e a absorção de nutrientes, levando a um desenvolvimento mais lento da biomassa (Gupta et al. 2016).

A dinâmica mostrada na imagem 1, que evidencia uma queda na massa fresca total à medida que as doses ultrapassam 10 mg.L−1, pode ser justificada por diversos efeitos fisiológicos. Com o aumento das doses de zinco, a planta pode começar a apresentar fitotoxidez, que se apresenta através de sintomas como a diminuição da área foliar. A diminuição da área foliar prejudica a capacidade de fotossíntese da planta, levando a uma produção de energia reduzida e, por consequência, a uma diminuição na biomassa. tais descobertas destacam a relevância de fornecer a quantidade correta de zinco para maximizar as vantagens sem provocar efeitos colaterais (Prado, 2017).

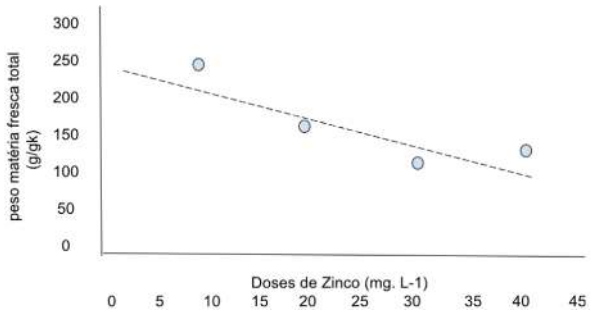

Figura 1: Peso da Matéria Fresca Total em função das doses de Zinco

O fitotoxidez de zinco em plantas ocorre quando há uma quantidade excessiva desse micronutriente, resultando em diversos sintomas que afetam o desenvolvimento das plantas. Os sinais mais frequentes incluem o amarelecimento das folhas, especialmente nas extremidades, que podem evoluir para necrose. As folhas apresentam manchas ou queimaduras nas bordas, e o crescimento das raízes pode ser prejudicado, levando a um sistema radicular menor e menos eficaz na absorção de água e nutrientes. Em situações mais graves, a toxicidade pode culminar na morte da planta. Portanto, é fundamental realizar um monitoramento rigoroso dos níveis de zinco no solo para prevenir esses efeitos negativos e garantir a saúde das culturas. Os sintomas apresentados de fitotoxidez do zinco na planta de jambu (figuras 2 e 3) se deu devido às altas concentrações do nutriente, sendo respectivamente: 20 mg/L-1, 30 mg/L-1 e 40 mg/L -1, os sintomas visíveis foram: clorose no início das folhas, folhas deformadas e depois necrose das folhas, são semelhantes ao que Prado 2007, caracterizou em plântulas de milho com altas doses de zinco nas sementes, atribuindo-as a baixa taxa fotossintética. E Sousa Soares *et al* 2001, *E. maculata e E. urophylla* mostraram-se sensíveis às doses crescentes de Zn em solução, exibindo sintomas de fitotoxidez, manifestados principalmente como clorose, escurecimento das raízes e inibição do crescimento das plantas. A manifestação do fitotóxido de zinco nas raízes do jambu ocorre através de uma série de sintomas visuais que refletem o estresse fisiológico da planta, prejudicando seu crescimento e evolução. É fundamental considerar antecipadamente esses sintomas para implementar ações corretivas que possam atenuar os impactos

negativos do excesso de zinco no plantio. Nas raízes do jambu o fitotóxido decorrente do zinco pode ser detectado através de uma variedade de sinais visuais que sinalizam estresse nas plantas, como por exemplo: as raízes podem exibir uma sombra escura ou esverdeada, causando a presença de lesões celulares. Além disso, o desenvolvimento das raízes pode ser prejudicado, levando a um desenvolvimento diminuído e a uma estrutura mais delgada e suscetível.

Tabela 2. Teores foliares de macro e micronutrientes nas folhas das plantas de jambu em função dos tratamentos.

Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg	S
	Teor (g/kg)					
10 mg.L-1	34,74a	7,64a	41,90c	16,71ab	9,60a	4,98a
20 mg.L-1	34,39a	6,69ab	40,50c	17,45ab	8,98a	4,19a
30 mg.L-1	37,24a	6,40b	32,05d	16,04ab	9,50a	4,61a
40 mg.L-1	40,13a	7,23ab	41,17c	15,07ab	8,97a	4,36a
Controle	41,00a	7,55ab	49,85 b	19,04a	9,17a	4,31a
Feira	41,02a	7,64a	68,35a	12,98ab	5,77b	4,98a
Teste F	$3,87^{NS}$	$5,90^{*}$	$101,67^{**}$	$4,38^{NS}$	$16,68^{**}$	$1,64^{NS}$
CV (%)	5,92	4,30	3,83	8,64	5,44	10,46

Tratamentos	Cu	Fe	Mn	Zn
	Teor (mg/kg)			
10 mg.L-1	7,42ab	98,60a	38,26a	9,6a
20 mg.L-1	7,87ab	106,61a	44,63a	8,98a
30 mg.L-1	5,44b	110,48a	44,63a	9,5a
40 mg.L-1	6,60ab	113,35a	40,66a	8,97a
Controle	7,86ab	112,34a	66,71a	9,17a
Feira	8,72a	134,69a	34,38a	5,77b
Teste F	5,44*	$0,54^{NS}$	$2,60^{NS}$	18,68**
CV (%)	9,52	20,53	22,35	5,44

Médias seguidas pela mesma letra na vertical não diferem a 1% de probabilidade pelo Médias seguidas pela mesma letra na vertical não diferem a 5% de probabilidade pelo teste de Scott Knott, NS- Não significativo, CV- Coeficiente de variação.



Figura 2. Sintomas visuais de fitotoxidez de zinco nas folhas de jambu



Figura 3. Sintomas visuais de fitotoxidez de zinco nas raízes de jambu

Quadro 1. Óleos essenciais analisados na parte aérea na planta do jambu

Tratamento com 10mg de zinco	**Comprado na feira**
Elemene <delta-> = 2.58	Elemene <delta-> = 1.88
Elemene<beta-> = 2.4	Elemene<beta-> = 1.45
Caryophyllene <(E)- = 21.58	Caryophyllene <(E)-> = 23.99
Elemene <gamma-> = 3.39	Elemene <gamma-> = 3.12
Isogermacrene D = 0.84	Humulene <alpha-> = 2.11
Humulene <alpha-> = 1.64	**Germacrene D = 25.98**
Germacrene D = 29.91	Zingiberene <alpha-> = 1.04
Zingiberene <alpha-> = 1	1-Pentadecene = 2.87
1-Pentadecene = 4.01	Farnesene<(E,E)-alpha-> = 2.23
Farnesene<(E,E)-alpha-> = 2.2	Kessane = 2.45
Kessane = 2.33	Caryophyllene oxide = 2.55
Caryophyllene oxide = 1.78	Oplopenone<beta-> = 0.64
Cadinol<alpha-> = 1.13	Cadinol<alpha-> = 1.08
Espilantol = 1.3	**Espilantol = 1.29**
Phytol = 6.63	**Phytol = 6.54**

No quadro 1, verifica-se que há um incremento nos teores dos óleos essenciais, principalmente, no Germacrene D, Espilantol e Phitol quando se compara o tratamento com 10 mg de zinco no cultivo hidropônico em relação ao cultivo comum. Portanto, revela possibilidade de avançar em novos estudos que possam testar esses efeitos das dosagens de zinco nos teores desses óleos essenciais. Em especial, ao Espilantol, pois, sabe-se sobre seu efeito farmacológico comprovado (GUPTA; PATEL; RAVINDRA et al., 2012; NASCIMENTO et al., 2013; NOMURA et al., 2013; FREITAS-BLANCO et al., 2016; SUWANJANG et al., 2017), sendo que na presente pesquisa, verificou-se somente na parte aérea, não foram utilizadas as flores do jambu para análise dos óleos essenciais, onde é mais encontrado (Jacobson, 1957).

5 CONCLUSÃO

As aplicações foliares de zinco acima de 10 mg.L-1 influenciaram negativamente as plantas de jambu, apresentando sintomas característicos de fitotoxidez;

A aplicação foliar de 10 mg.L-1 de zinco foi a que a planta de jambu acumulou mais zinco sem apresentar sintomas de fitotoxidez. Portanto, no presente trabalho foi a dosagem ótima para a biofortificação do jambu;

As desordens apresentadas de fitotoxidez na planta foram as raízes menores e escurecidas, clorose das folhas e folhas deformadas.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS

BALIEIRO, O. C. et al. Analytical and preparative chromatographic approaches for extraction of spilanthol from Acmella oleracea flowers. Microchemical Journal, [s. l.], p. 18, 2020.

BORGES, L. da S.; GOTO, R.; LIMA, G. P. P. Exportação de nutrientes em plantas de jambu, sob diferentes adubações. Ciências Agrárias, v. 34, n. 1, p. 107-116, 2013.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Hortaliças não convencionais da Amazônia. Cardoso, M. O. (Org.). Brasília: EMBRAPA-SPI, 1997. 150p.

BRAVO, Elizabeth. Agrocombustíveis, Cultivos Energéticos e Soberania Alimentar na América Latina – Aquecendo o debate sobre agrocombustíveis. São Paulo: Editora Expressão Popular, 2007. 112 p.

CHASAPIS CT, Loutsidou AC, Spiliopoulou CA, Stefanidou ME. Zinc and human health: an update. Arch Toxicol. 2012; 86: 521-34.

CROCOMO, O. J. e NEPTUNE MENARD, L. 1961. Estudo sôbre a distribuição do S35 em cafeeiro (Coffea arabica L.), Anais E. S. A. "Luiz de Queiroz" (Em impressão).

DE CARVALHO, J. L. V.; NUTTI, M. R. Biofortificação de produtos agrícolas para nutrição humana. In: Embrapa Agroindústria de Alimentos-Resumo em anais de congresso (ALICE). In: REUNIÃO ANUAL DA SBPC, 64., 2012, São Luís. Ciência, cultura e saberes tradicionais para enfrentar a pobreza. São Luís: SBPC: UFMA, 2012., 2012.

DE LIMA SENA, Welliton et al. Sistema de produção alternativa de tomate (Solanum lycopersicum L.) com substrato de fibra de coco na Região Amazônica. OBSERVATÓRIO DE LA ECONOMÍA LATINOAMERICANA, v. 21, n. 10, p. 17113-17124, 2023.

DIAS, A.M.A.; SANTOS, P.; SEABRA, I.J.; JÚNIOR, R.N.C.; BRAGA, M.E.M.; SOUSA, H.C. Spilanthol from Spilanthes acmella flowers, leaves and stems obtained by selective supercritical carbon dioxide extraction. The Journal of Supercritical Fluids, v. 61, p.62-70, 2012.

FAVORETO, R.; GILBERT, B. Acmella oleracea (L.)R.K. Jansen (Asteracea) – Jambu. Revista Fitos, v 5, n.1, p. 83-90, 2010.

FURLANI PR. 1997. Instruções para o cultivo de hortaliças de folhas pela técnica de hidroponia-NFT. Campinas: Instituto Agronômico. 30 p. (Boletim técnico, 168).

FREITAS-BLANCO, V. S. et al. Development and evaluation of a novel mucoadhesive film containing Acmella oleracea extract for oral mucosa topical anesthesia. PLoS One, v. 11, n. 9, p. 1-18, 2016.

GUEDES, Pedro Arthur Braune. Crise dos preços dos alimentos de 2007-2008 – Uma análise crítica. Monografia de Bacharelado em Geografia. Departamento de Geociências. Instituto de Ciências Humanas. Universidade Federal de Juiz de Fora, 2011. 73 p.

GUPTA, NITIN; PATEL, AR; RAVINDRA, RP Design de formulações de akkalkara (Spilanthes acmella) para atividades antimicrobianas e anti-inflamatórias tópicas. International Journal of Pharma and Bio Sciences , v. 3, n. 4, p. 161-170, 2012.

GRACIANO, P.D., Jacinto, A.C.P., Silveira, A.J., Castoldi, R., Lima, T.M., Charlo, H.C.O., Silva, I.G., Marin, M.V. 2020. Agronomic biofortification with zinc in curly lettuce cultivares. Revista Brasileira de Ciências Agrárias 15: 1-9.

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

HARVEST PLUS - What we do nutrition. 2018. Disponível em: https://www.harvestplus.org/what-we-do/nutrition. Acesso em: 20 nov. 2018.

HOMMA, A. K. O. et al. Etnocultivo do jambu para abastecimento da cidade de Belém, estado do Pará. In: HOMMA, A. K. O. et al. (Org.). Extrativismo Vegetal na Amazônia: História, Ecologia, Economia e Domesticação. 1 ed. Brasília: Embrapa, 2014. cap. 25, p. 331-343.

HORTON, S.; ROSS, J. The economics of iron deficiency. Food policy, v. 28, n. 1, p. 51-75, 2003.

HOTZ, C.; BROWN, K. H. Assessment of the risk of zinc deficiency in populations and options for its control. Food and Nutrition, Tokyo, v. 25, n. 1, p.91-204, 2004. DOI: https://doi.org/10.1177/15648265040251S205.

JACOBSON, M. The structure of spilanthol. Chemistry & Industry (London), p.50-51, 1957 (apud ASANO e KANEMATSU, C.A. 27, 611).

JUNQUEIRA, Antonio Hélio; DA SILVA PEETZ, Marcia. Fome oculta. Agroanalysis, v. 21, n. 8, p. 8-12, 2001.

KHURANA, N., & Chatterjee, C. (2001). Influence of variable zinc on yield, oil content, and physiology of sunflower. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 32(19-20), 3023-3030. doi: 10.1081/CSS-120001104.

LOUREIRO, M. P. et al. Biofortificação de alimentos: problema ou solução? Segurança Alimentar e Nutricional, v. 25. 2018.

MACÊDO EMC, Amorim MAF, Silva ACS, Castro CMMB. Efeitos da deficiência de cobre, zinco e magnésio sobre o sistema imune de crianças com desnutrição grave. Rev Paul Pediatr. 2010;28(3):329-36. http://dx.doi. org/10.1590/S0103-05822010000300012.
MALAVOLTA, E. ARZOLLA, J. D. P. , HAAG, H. P., COURY, T. e CROCOMO, O. J. 1957. Nota sôbre a aplicação de uréia em pulverização no cafeeiro. Rev. Agric, 32(4): 223-226.

MARQUES, Marta Inez Medeiros. O Novo Significado da Questão Agrária. Texto de Apoio ao Curso de Graduação em Geografia. São Paulo: USP, 2011. Disponível em: <http://www.geografia.fflch.usp.br/graduacao/apoio/Apoio/Apoio_Marta/2011/2semestre/8_Marques_questao_agraria_e_regime_alimentar.pdf >.

MARTINEZ. H.E.P. O uso de cultivo hidropônico de plantas em pesquisa. Viçosa: UFV, 1997. 37p (Caderno didático,1).

MBEUNKUI, F., GRACE, M.H., LATEGAN, C., SMITH, P.J., RASKIN, I., LILA, M.A. Isolation and identification of antiplasmodial N-alkylamides from Spilanthes acmella flowers using centrifugal partition chromatography and ESI-IT-TOF-MS. J. Chromatogr. B. 879, p. 1886-1892, 2011.

MEDEIROS, GKCQ. Estudo comparativo da influência da adubação química e orgânica nos parâmetros químicos do solo de cultivo das hortaliças jambu (Acmella oleracea LRK Jansen) e coentro (Coriandrum sativum L). 2014. 37 p. 2014. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais), Universidade do Estado do Pará.

NASCIMENTO, Kamila de Oliveira et al. Caracterização química e informação nutricional de fécula de batata-doce, Ipomoea batatas L., orgânica e biofortificada. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, v. 8, n. 1, p. 19, 2013.

NOMURA ECO, Rodrigues MRA, Silva CF, Hamm LA, Nascimento AM, Souza LM et al. Antinociceptive effects of ethanolic extract from the flowers of Acmella oleracea (L.) RK Jansen in mice. J Ethnopharmacol. 2013; 150(2): 583-9.

PEDRAZA DF, Sales MC. Avaliação de desempenho das concentrações capilares de zinco como método diagnóstico da deficiência de zinco: um estudo comparativo com as concentrações séricas de zinco. Rev Nutr. 2013;26(6):617-24. http://dx.doi.org/10.1590/ S1415-52732013000600001.

PEREIRA TC, Hessel G. Deficiência de zinco em crianças e adolescentes com doenças hepáticas crônicas. Rev Paul Pediatr.11111111111 2009; 27 (3): 322-8.

PERSON, Osmar Clayton; DOS SANTOS BOTTI, Anderson; FÉRES, Maria Cristina Lancia Cury. Repercussões clínicas da deficiência de zinco em humanos. Arquivos Médicos do ABC, v. 31, n. 1, 2006.

PRADO, R. M. Nutrição de plantas São Paulo: Editora Unesp, 2008. 407 p.

PRADO, R.M; MOURO, M.C. Fontes de zinco aplicado em sementes de sorgo cv. BRS 310 e o crescimento inicial. Semina: Ciências Agrárias, v. 28, n. 3, p. 355-364, 2007.

SEKO, G. H. et al. Efeitos de polissacarídeos do jambo no modelo tumoral sólido de Ehrlich em camundongos. Infarma-Ciências Farmacêuticas, Brasília, DF, v. 32, n. 1, p. 86-100, 2020.

SOARES, Cláudio Roberto Fonsêca Sousa et al. Toxidez de zinco no crescimento e nutrição de Eucalyptus maculata e Eucalyptus urophylla em solução nutritiva. Pesquisa agropecuária brasileira, v. 36, p. 339-348, 2001.

SUWANJANG, Wilasinee et al. Efeito neuroprotetor de Spilanthes acmella Murr. na morte de células neuronais induzida por pesticidas. Revista Ásia-Pacífico de Medicina Tropical , v. 1, pág. 35-41, 2017

VERGÜTZ, L. et al. Biofortificação de alimentos: saúde ao alcance de todos. Boletim informativo Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 42, n. 2, p. 20-23, 2016.

VILAS BOAS, Lucas Guedes. Uma análise crítica da Geografia da Saúde através dos indicadores: Fome e SIDA/AIDS. Monografia de Bacharelado em Geografia. Departamento de Geociências. Instituto de Ciências Humanas. Universidade Federal de Juiz de Fora, 2013. 93 p.

WELCH, R. M.; GRAHAM, R. D. Breeding crops for enhanced micronutrient content. Plant and Soil, Austrália, v. 245, p. 205-214, 2004.

WONGSAWATKUL, O. et al. Vasorelaxant and antioxidant activities of Spilanthes acmella Murr. International Journal of Molecular Sciences, v. 9, n. 12, p. 2724-2744, 2008.