



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA - UFRA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO AGRONOMIA – PGAGRO/MESTRADO**

JULLIANE THAIS DA SILVA SILVA

**BIOFORTIFICAÇÃO AGRONÔMICA DE VARIEDADES DE JAMBU (*Acmella
oleracea*) SUBMETIDAS A DOSES DE SELÊNIO e ZINCO EM CULTIVO
HIDROPÔNICO**

BELÉM/PA

2023

JULLIANE THAIS DA SILVA SILVA

**BIOFORTIFICAÇÃO AGRONÔMICA DE VARIEDADES DE JAMBU (*Acmella oleracea*) SUBMETIDAS A DOSES DE SELÊNIO E ZINCO EM CULTIVO
HIDROPÔNICO**

Dissertação apresentada a Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências do curso de Pós Graduação em Agronomia: Área de concentração de Nutrição de Plantas, para obtenção do título de Mestre em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Mário Lopes da Silva Júnior.

BELÉM/PA

2023

Ficha Catalográfica

JULLIANE THAIS DA SILVA SILVA

BIOFORTIFICAÇÃO AGRONÔMICA DE VARIEDADES DE JAMBU (*Acmella oleracea*) SUBMETIDAS A DOSES DE SELÊNIO E ZINCO EM CULTIVO HIDROPÔNICO

Dissertação apresentada a Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Agronomia, visando a obtenção do título de mestre.

Data da Aprovação: ____/____/____

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Mário Lopes da Silva Júnior - Presidente
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA – UFRA

Dra. Milena Maria Tomaz de Oliveira – 2º Examinadora
UNIVERSITY OF NEBRASKA LINCOLN, NEBRASKA, USA

Profa. Dra. Sandra Andréa Santos da Silva – 3º Examinadora
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ - UFPA

Profa. Dra. Ana Regina da Rocha Araújo – 1º Examinadora
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA – UFRA

BELÉM/PA

2023

LISTA DE TABELAS

1 CONTEXTUALIZAÇÃO

Tabela 1.1 - Concentração de Se nos solos de algumas regiões amazônicas.	12
Tabela 1. 2 - Recomendações quanto ao consumo diário de Se por idade e sexo	19
Tabela 1.3 - Recomendações quanto ao consumo diário de Zn por idade.	20

2 BIOFORTIFICAÇÃO AGRONÔMICA DE VARIEDADES DE JAMBU (*Acmella oleracea*) SUBMETIDAS A DOSES DE SELÊNIO EM CULTIVO HIDROPÔNICO

Tabela 2.1 - Equações de determinação de pigmentos fotossintéticos com base na absorbância.	32
---	----

LISTA DE FIGURAS

1 CONTEXTUALIZAÇÃO

2 BIOFORTIFICAÇÃO DE VARIEDADES DE JAMBU (*Acmella oleracea*) SUBMETIDAS A DOSES DE SELÊNIO EM CULTIVO HIDROPÔNICO

Figura 2.1 - Altura das plantas de Jambu em relação as doses de Se (a) e a comparação das variedade em relação a altura das plantas de Jambu (b), plantas de jambu em função do incremento de doses de selênio na solução nutritiva. Se (doses de selenio) e V (variedades). * significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t. Belém, Pará, 2023. 33

Figura 2.2 - Diâmetro da haste principal das duas variedades de jambu (a) e área foliar das duas variedades de jambu em função das doses de Se (b). plantas de jambu em função do incremento de doses de selênio na solução nutritiva. * significativo ao nível de 5% de de probabilidade pelo teste t. Belém, Pará, 2022. 34

Figura 2.3 - Massa fresca da inflorescência (a), massa seca da inflorescência (b), massa fresca da parte aérea (c) massa seca da parte aérea (d) massa fresca da raiz (e), masa seca da raiz (f), plantas de jambu em função do incremento de doses de selênio na solução nutritiva. * significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t. Belém, Pará, 2022. 36

Figura 2.4 - Teor de clorofila a (Chl a) (a), massa seca da inflorescência (b), massa fresca da parte aérea (c) massa seca da parte aérea (d) massa fresca da raiz (e), massa seca da raiz (f), plantas de jambu em função do incremento de doses de selênio na solução nutritiva. * significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t. Belém, Pará, 2022. 38

Figura 2.5 - Fotossíntese líquida (A) (a), condutância estomática (gs) (b), concentração subestomática de CO₂ (Ci) (c), transpiração (d) (E), eficiência do uso da água (e) (EUA), eficiência de carboxilação instantânea (f) (A/Ci), plantas de jambu em função do incremento de doses de selênio na solução nutritiva. * significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t. Belém, Pará, 202. 40

Figura 2.6 - pH (a), grau brix % (b), acidez titulavel (AT) (c), plantas de jambu em função do incremento de doses de selênio na solução nutritiva. * significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t. Belém, Pará, 2022. 2

Figura 2 7 - Teores de Se na parte aérea (a), teores de Se nas raízes (b), plantas de jambu em função do incremento de doses de selênio na solução nutritiva. * significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t. Belém, Pará, 2023. 42

3 BIOFORTIFICAÇÃO DE VARIEDADES DE JAMBU (*Acmella oleracea*) SUBMETIDAS A DOSES DE ZINCO EM CULTIVO HIDROPÔNICO

Figura 3.1 - Altura das plantas de Jambu em relação as doses de Zn (a) * significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t. Belém, Pará, 2023. 57

Figura 3.2 – Massa fresca da inflorescência (a), massa seca da inflorescência (b), massa fresca da parte aérea (c) massa seca da parte aérea (d) massa fresca da raiz (e), massa seca da raiz (f),

plantas de jambu em função do incremento de doses de zinco na solução nutritiva. * significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t. Belém, Pará, 2023. 60

Figura 3.3 - pH (a), grau brix % (b), acidez titulavel (AT) (c), plantas de jambu em função do incremento de doses de zinco na solução nutritiva. * significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t. Belém, Pará, 2023. 61

Figura 3.4 - Teor de Zn na parte aérea (a), teor de Zn nas raízes (b), Teor de Cu na parte aérea (c), teor de Cu nas raízes (d), teor de Mo na parte aérea (e), teor de Mo nas raízes (f), teor de Mn na parte aérea (g), teor de Mn nas raízes (h), plantas de jambu em função do incremento de doses de zinco na solução nutritiva. * significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t. Belém, Pará, 2023. 63

Figura 3.5 - Teor de Mg na parte aérea (a), teor de Mg nas raízes (b), Teor de Ca na parte aérea (c), teor de Ca nas raízes (d), teor de K na parte aérea (e), teor de K nas raízes (f) plantas de jambu em função do incremento de doses de zinco na solução nutritiva. * significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t. Belém, Pará, 2023. 65

Figura 3 6 - Fotossíntese líquida (A) (a), condutância estomática (gs) (b), concentração subestomática de Co₂ (Ci) (c), transpiração (d) (E), eficiência do uso da água (e) (EUA), eficiência de carboxilação instantânea (f) (A/Ci), plantas de jambu em função do incremento de doses de zinco na solução nutritiva. * significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t. Belém, Pará, 2023. 67

RESUMO

A desnutrição humana ou fome oculta acomete pessoas em vários países. Diante disso, diversas estratégias têm sido utilizadas para mitigar o problema, sendo uma delas a biofortificação agrônômica, que consiste na introdução de nutrientes essenciais aos seres humanos por meio da suplementação desses nutrientes às plantas. Existem evidências de escassez de selênio (Se) nos solos amazônicos, bem como trabalhos que evidenciam a insuficiência do consumo de zinco (Zn) por mulheres grávidas e crianças. O jambu, sendo uma hortaliça muito consumida no Norte brasileiro, apresenta potencial para biofortificação com Se e Zn. Assim, neste trabalho teve-se como objetivo avaliar os efeitos da suplementação com Se e Zn no crescimento, fisiologia, desenvolvimento e acúmulo de Se e Zn em variedades de jambu (flor roxa e amarela). Foram realizados dois ensaios experimentais, conduzidos em casa de vegetação, no delineamento de blocos casualizados, com cinco repetições. O primeiro consistiu em um experimento no arranjo fatorial (5 x 2), sendo cinco doses de Se (0; 1,0; 2,0; 3,0 e 4,0 mg L⁻¹) e duas variedades de jambu (flor roxa e amarela). O segundo consistiu em um arranjo fatorial (6 x 2), sendo seis doses de Zn (0; 1,0; 2,0; 3,0; 4,0 e 5,0 mg L⁻¹) e duas variedades de jambu (flor roxa e amarela). No primeiro experimento foram avaliados o crescimento, a produção, os teores de clorofila, a pós-colheita, as trocas gasosas e teor de Se; já no segundo, o crescimento, a produção, a pós-colheita, as trocas gasosas e os teores de macro e micronutrientes. Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância, e quando significativos, realizada a análise de regressão. Verificou-se que o Se influenciou positivamente o crescimento e as respostas produtivas do jambu, observando-se, em geral, que as maiores respostas foram obtidas com a dose de 1 mg L⁻¹ para variedade roxa e 2 mg L⁻¹ para variedade amarela, bem como foi verificado acúmulo para essas doses, concluindo assim, que as variedades foram biofortificadas. Além disso, o Zn influenciou positivamente no crescimento e nas respostas produtivas das variedades de jambu, observando-se, em geral, que o melhor desempenho de ambas as variedades foi obtido na dose de 1 mg L⁻¹, e que, foi verificado acúmulo de Zn nas partes comestíveis, concluindo assim, que as variedades foram biofortificadas.

Palavras-chave: Desnutrição, fortificação de alimentos, hidroponia, hortaliças, suplementação.

ABSTRACT

Human malnutrition or hidden hunger affects people in several countries. In view of this, several strategies have been used to mitigate the problem, one of which is agronomic biofortification, which consists of introducing essential nutrients to humans through the supplementation of these nutrients to plants. There is evidence of selenium (Se) scarcity in Amazonian soils, as well as studies that show insufficient zinc (Zn) consumption by pregnant women and children. Jambu, being a vegetable widely consumed in northern Brazil, has potential for biofortification with selenium (Se) and zinc (Zn). Thus, this work aimed to evaluate the effects of supplementation with Se and Zn on growth, physiology, development and accumulation of Se and Zn in varieties of jambu (purple and yellow flower). Two experimental tests were carried out, conducted in a greenhouse, in a randomized block design, with five replications. The first consisted of an experiment in a factorial arrangement (5 x 2), with five doses of Se (0; 1.0; 2.0; 3.0 and 4.0 mg L⁻¹) and two varieties of jambu (flower purple and yellow). The second consisted of a factorial arrangement (6 x 2), with six doses of Zn (0; 1.0; 2.0; 3.0; 4.0 and 5.0 mg L⁻¹) and two varieties of jambu (purple and yellow flower). In the first experiment, growth, production, chlorophyll content, post-harvest, gas exchange and Se content were evaluated, while in the second experiment, growth, production, post-harvest, gas exchange and Se macro and micronutrients. The results obtained were submitted to analysis of variance, when significant, regression analysis was performed. It was verified that Se had a positive influence on the growth and productive responses of jambu, observing, in general, that the highest responses were obtained with the dose of 1mg L⁻¹ for the purple variety and 2mg L⁻¹ for the yellow variety, as well as accumulation was verified for these doses, thus concluding that the varieties were biofortified. In addition, Zn positively influenced the growth and productive responses of the jambu varieties, observing, in general, that the best performance of both varieties was obtained at a dose of 1mg L⁻¹, and that accumulation of Zn in the edible parts, thus concluding that the varieties were biofortified.

Keywords: Malnutrition, food fortification, hydroponics, vegetables, supplementation.

SUMÁRIO

1 CONTEXTUALIZAÇÃO	11
1.1 Jambu (<i>Acmella Oleracea</i>)	13
1.2 Biofortificação alimentar	14
1.3 Funções do selênio nas plantas	15
1.4 Função do zinco nas plantas	17
1.5.1 Selênio	18
1.5.2 Zinco	19
REFERÊNCIAS	21
2 BIOFORTIFICAÇÃO DE VARIEDADES DE JAMBU (<i>Acmella Oleracea</i>) SUBMETIDAS A DOSES DE SELÊNIO EM SISTEMA HIDROPÔNICO DE CULTIVO	25
Resumo	25
Abstract	26
2.1 Introdução	27
2.2 Metodologia	28
2.2.1 Procedimentos experimentais	28
2.2.2 Análise morfológicas	29
2.2.3 Análise nutricional	30
2.2.4 Análise de pós-colheita	31
2.2.5 Análises fisiológicas	31
2.2.6 Análise estatística	32
2.3 Resultados	33
2.3.1 Comprimento da haste principal (CPA)	33
2.3.2 Diâmetro da haste principal (D) e área foliar (AF)	33
2.3.3 Biomassa das variedades de Jambu	34
2.3.4 Teores de clorofilas	37
2.3.5 Trocas gasosas	39

2.3.6 Pós- colheita	41
2.3.7 Teor de Selênio	42
2.4 Discussão	43
2.5 Conclusão	45
REFERÊNCIAS	46
3 BIOFORTIFICAÇÃO DE VARIEDADES DE JAMBU (<i>Acmella Oleracea</i>) SUBMETIDAS A DOSES DE ZINCO EM SISTEMA HIDROPÔNICO DE CULTIVO	50
Resumo	50
Abstract	51
3.1 Introdução	52
3.2 Metodologia	53
3.2.1 Análises fisiológicas	53
3.2.1 Análises morfológicas	54
3.2.2 Análises químicas	54
3.2.3 Análise nutricional	55
3.2.4 Análise de pós-colheita	55
3.2.5 Análise estatística	56
3.3 Resultados	57
3.3.1 Altura haste principal (CPA), Diâmetro do coleto (D) e Area foliar (AF).	57
3.3.2 Biomassa	59
3.3.3 Pós-colheita	61
3.3.5 Trocas gasosas	66
3.4 Discussão	68
3.5 Conclusão	71
REFERÊNCIAS	72

1 CONTEXTUALIZAÇÃO

A carência de alimentos é um problema que está presente em muitos países, como na África, e até mesmo na região amazônica. Esse fenômeno, também conhecido como fome oculta, gera desnutrição nas populações por falta de ingestão de elementos essenciais ao funcionamento do organismo dos seres humanos. De acordo com Vergütz *et al.* (2016), a não ingestão de nutrientes essenciais pode levar a desnutrição. Segundo Nutti *et al.* (2016), estima-se que mais de 2 bilhões de pessoas sofram com a deficiências de nutrientes devido ao baixo consumo deles em alimentos. No Brasil, a desnutrição é presente nas vidas de muitas pessoas. Conforme Corrêa e Silva (2022), estima-se que atualmente o Brasil apresenta mais de 33 milhões de pessoas em situação de insegurança alimentar devido a fome, e que, a região Norte do país seja uma das mais afetadas, apresentado cerca de 25% dos domicílios nestas condições.

Devido à grande problemática que a fome traz para a nutrição do ser humano, os poderes governamentais têm aderido a uma estratégia para combater a desnutrição nos países em desenvolvimento, tendo como enfoque o fornecimento de suplementos vitamínicos e minerais para as populações carentes, além da fortificação de alimentos (DE CARVALHO; NUTTI, 2012).

A biofortificação é uma prática utilizada para implementação de nutrientes essenciais para a homeostase do organismo humano por meio da inserção desses compostos na alimentação. De acordo com Reis *et al.* (2014), o processo de biofortificação visa resolver o fornecimento de elementos essenciais, como minerais e vitaminas, através do melhoramento de espécies consumidas pelas populações. E devido isto, a biofortificação tem sido uma prática cada vez mais utilizada por governos para combater a fome oculta.

Existe um número significativo de nutrientes que o corpo humano necessita, desempenhando inúmeras funções. O Se é um desses nutrientes, e, conforme Silva (2015), este elemento é responsável por atuar em diversos processos metabólicos e enzimáticos, além de estar ligado a prevenção de algumas doenças, auxiliando, ainda, em um efeito protetor contra alguns tipos de câncer.

Sendo um nutriente essencial para os humanos, o Se pode ser introduzido na dieta humana através da produção agrícola. No Norte do Brasil, região amazônica, acredita-se que o teor natural de Se presente em solos é baixo (SILVA JÚNIOR, 2016), e são poucos os trabalhos que investigam esses teores em solos agrícolas. No entanto, algumas evidências sugerem que ocorra níveis deficientes deste elemento na região amazônica.

Ramos (2011) afirma que o Brasil segue com um padrão baixo de consumo de Se em alimentos de origem vegetal. Por isso, a relevância de pesquisas que visem a biofortificação de Se em produtos vegetais de consumo humano. É possível notar na Tabela 1 os teores de Se em solos de alguns estado da Amazônia e do Centro Oeste brasileiro.

Tabela 1.1 - Concentração de Se nos solos de algumas regiões amazônicas.

REGIÃO	Concentração de Se ($\mu\text{g kg}^{-1}$)
PARÁ	419
GOIÁS	215
AMAZONAS	604

Fonte: Adaptado de Shaltout et al. (2011).

Devido à escassez de Se nos solos, as plantas não realizam sua absorção, consequentemente resultando na sua deficiência na dieta humana. Esse é um dos motivos da importância de se fazer a suplementação deste elemento por meio da nutrição mineral. Aparentemente, a nutrição mineral de plantas e a saúde humana são campos bastante distintos, entretanto, quando avaliados na essência, nota-se que estão fortemente conectados (DUTRA, 2017).

Outro elemento de grande importância na dieta humana é o zinco (Zn). De acordo com Pedraza et al. (2015), o Zn é importante para o funcionamento de cerca de 200 enzimas que estão envolvidas no metabolismo do ser humano, desempenhando papel fundamental em processos de diferenciação celular, crescimento estatural, desenvolvimento neurológico e defesa imunológica. Araújo et al. (2012), estudaram um grupo de gestantes da região Norte do Brasil, e verificaram que 37% das mulheres apresentaram baixos níveis de Zn no organismo, e esta condição pode apresentar risco para o feto em desenvolvimento.

De acordo com Person et al. (2006), em 1939 foi evidenciado através de estudos que o Zn é um elemento comum a todas as espécies, pois ele participa da enzima anidrase carbônica e além disso sugere-se que o Zn tenha importante papel no genoma humano, estando ligado a várias proteínas.

Devido a papéis tão específicos é notório a importância do fornecimento adequado do elemento ao nosso organismo. Pelo menos um terço da população mundial sofre com a sua deficiência, o que prejudica funções metabólicas, levando a diversos malefícios a saúde, como câncer, altas taxas de infertilidade, desenvolvimento inadequado de crianças, além do mal funcionamento do sistema imunológico (MORAES, 2020).

Existem alguns alimentos de grande importância alimentar, principalmente cultural, que são amplamente consumidos na região Norte do Brasil, o jambu é exemplo. Segundo Gaia et al. (2020), o jambu é uma hortaliça amplamente consumida pela população do Estado do Pará, pois tem papel de destaque na gastronomia, sendo a base de sustento para muitos agricultores do Estado. Apesar de ser uma cultura amplamente consumida na região Norte do Brasil, o jambu não tem uma cadeia produtiva organizada. De acordo com Nascimento (2019), o jambu apesar de não apresentar uma cadeia produtiva como a do coentro, ele é responsável pela renda de muitos produtores.

Justamente por ser um alimento amplamente consumido, o jambu se torna uma alternativa viável para pesquisa na área de biofortificação. Pela produção do jambu ser em pequenas propriedades não é possível a obtenção de dados de consumo anual, porém Santos (2020) estima que na época do Círio de Nazaré que ocorre em Belém, sejam consumidos cerca de 240 mil maços dessa hortaliça.

Levando em conta o cenário exposto, é tangível afirmar que o jambu apresenta significativa influência na dieta alimentar de boa parcela da população da Amazônia, compondo pratos típicos como tacacá, pato no tucupi, arroz paraense, pizza de jambu. Neste contexto, a biofortificação desta espécie com selênio e zinco pode ser uma estratégia viável para o aumento do consumo destes nutrientes dessas populações, uma vez que eles são essenciais para o metabolismo humano, porém grande parte da população mundial apresenta deficiência deles, principalmente em países em desenvolvimento (SCHIAVON *et al.*, 2013). Além disso, o uso de plantas visando a elevação do consumo de Se e de Zn é mais seguro, uma vez que evita os excessos que ocorrem devido ao uso de suplementos dietéticos (OLIVERIA *et al.*, 2018, p. 139).

1.1 Jambu (*Acmella Oleracea*)

O jambu, *Acmella oleracea* (L) R.K. Jansen, pertence à família Asteraceae, e é uma planta de alto consumo na Região Norte do Brasil. É uma planta herbácea perene, com flores hermafroditas, ramificada, com caule cilíndrico, o seu porte varia entre 30 e 40 cm (HOMMA et al., 2011; SOUSA, 2018; SILVA, 2018; NASCIMENTO, 2019).

O jambu é comumente consumido no Norte do Brasil, principalmente em pratos típicos da região paraense, como vatapá, tacacá, pato no tucupi e frango no tucupi (Gomes et al., 2020).

O jambu possui um composto bioativo chamado espilantol, o qual é um óleo responsável por causar um efeito anestésico e de formigamento na língua (SOUSA, 2018). De acordo com Neves et al. (2019), a maioria das pesquisas referentes ao jambu têm como foco o composto

espilantol, que apresenta diversas propriedades anestésicas e anti-inflamatórias. Nascimento (2019) relata que o jambu contém compostos com alto potencial antioxidante, sendo assim um alimento benéfico para saúde humana, além de conter alto teor de vitamina C.

Existem duas variedades de *Acmella oleracea* comumente chamadas de jambu de flor roxa e jambu de flor amarela. De acordo com Gusmão et al. (2013), é possível encontrar dois genótipos mais comumente utilizado que contêm características fenotípicas que possibilitam distingui-las: uma apresenta suas folhas verdes claras e flores amarelas, enquanto a outra contém folhas com verde mais intenso, ramos de cor roxa e flores com o ápice arroxeadas.

Além de cultivado em solo, o jambu também pode ser produzido em sistemas hidropônicos. Conforme Nascimento (2019), o cultivo hidropônico é um sistema no qual as plantas são cultivadas em água com soluções nutritivas, ou seja, na ausência de solo. Esta técnica tem sido, provavelmente, o mais importante instrumento de pesquisa para estudar a composição das plantas, sua forma de crescimento, os nutrientes de que necessitam e as respostas que apresentam às variações ambientais (CARRIJO; MAKISHIMA, 2000).

1.2 Biofortificação alimentar

A biofortificação é um ramo da nutrição de plantas que se apresenta como uma estratégia eficiente para o combate à desnutrição humana, ou também muito conhecida como fome oculta. Mais de 2 bilhões de pessoas são afetadas por deficiências de micronutrientes, ou "fome oculta", devido a suplementação de vitaminas ou minerais ser inadequada (OMS, 2014). Assim, a produção de alimentos com alta qualidade nutricional finalmente está ganhando a devida atenção em virtude dos trabalhos de biofortificação (VERGÜTZ *et al.* 2016). Os alimentos de origem vegetal são as principais fontes de nutrientes para os seres humanos e animais (NASCIMENTO, 2018).

Em razão dos solos ao redor do mundo apresentarem um acentuado desbalanço mineral, é frequente que os alimentos exibam teores reduzidos de nutrientes considerados essenciais a dieta humana (NASCIMENTO, 2018). Se a causa da fome oculta é justamente a baixa qualidade nutricional dos alimentos, não existe melhor alternativa de combate a ela que a melhoria da qualidade desses alimentos (VERGÜTZ *et al.*, 2016)

A biofortificação pode ocorrer de duas formas, a agrônômica e/ou a genética. O enriquecimento dos alimentos via melhoramento genético recebe o nome de biofortificação genética. Já o enriquecimento via manejo da cultura recebe o nome de biofortificação agrônômica (VERGÜTZ *et al.* 2016). A biofortificação torna-se uma estratégia mais viável quando empregada em culturas consumidas com frequência pela população alvo. De acordo

com Carvalho e Nutti (2012), pode existir uma solução para acabar com a desnutrição que afeta os países em desenvolvimento, que é aumentar o consumo de alimentos de origem vegetal e animal, no entanto isto pode demorar várias décadas e custar bilhões de dólares.

Loureiro et al. (2018) afirmam que a deficiência de nutrientes pode gerar grandes distúrbios para o sistema imunológico e doenças, como anemia. Devido a isto, o estudo de alimentos biofortificados surgiu para tentar suprir essas necessidades, que causam o que conhecemos como fome oculta. Para Rios et al. (2009), a introdução de alimentos biofortificados na dieta das populações proporciona uma maneira sustentável, de baixo custo e produtos com maior teor de nutrientes que são essenciais ao organismo humano. Essa técnica tem por objetivo a elevação a níveis adequados de vitaminas e minerais nas partes comestíveis da planta, visando a complementação da nutrição de seres humanos e animais (NASCIMENTO, 2018). Szerement et al. (2021) concluíram que a biofortificação agrônômica é uma forma promissora de reduzir a desnutrição de micronutrientes, auxiliando no aumento do teor de minerais nas culturas e, conseqüentemente, reduzindo compostos antinutricionais.

1.3 Funções do selênio nas plantas

Na forma orgânica o Se está presente nos compostos selenometionina, selenocistina e selenocisteína (CARBO, 2014). De acordo com Almeida (2010), o selenito é translocado em menor quantidade para parte aérea da planta do que o selenato, isso pode ser explicado pelo fato de que o selenito é facilmente convertido em formas orgânicas, como por exemplo selenometionina.

Martinez (2013) diz que a distribuição de Se pela planta está ligada a fatores como espécie, estágio de desenvolvimento da planta e condições fisiológicas do vegetal. Segundo Almeida (2010), alguns estudos já comprovaram o efeito benéfico do Se em plantas, levando ao aumento de atividades antioxidantes nas plantas, e melhorando assim o desempenho na produção dos vegetais. De acordo com Reis et al. (2014), o Se pode ativar algumas enzimas que atuam na peroxidação lipídica e formação de peróxido de hidrogênio nas células de tecido vegetal, algumas dessas enzimas são a dismutase de superóxido, catalase, redutase da glutatona, peroxidase de guaiacol e peroxidase de ascorbato.

Conforme Pilon-Smits e Quinn (2010), após a absorção o selenato é reduzido e assimilado, posteriormente é incorporado em compostos orgânicos. O processo de assimilação do selenato ocorre principalmente nos cloroplastos presentes nas folhas. Terry (2000) relata que é possível incorporação de traços de Se em selenoproteínas específicas ou essenciais, as plantas superiores metabolizam o Se através da via de assimilação do enxofre. De acordo com Dutra

(2017), algumas pesquisas que sugerem que o Se gera competição com macronutrientes e micronutrientes nas plantas. Segundo Terry (2000) o selenato e o sulfato são absorvidos pela mesma proteína transportadora de membrana plasmática, o que ocasiona competição entre os dois ânions.

De acordo com Malavolta (2006), o Se pode estar presente na composição do RNA transferidor, aminoácidos, proteínas, ferredoxinas, compostos voláteis e hidrogenases das plantas. O Se pode fazer a ativação de várias enzimas que atuam na redução da senescência (REIS et al., 2014).

Terry et al. (2000) discorrem que a translocação do Se para a parte aérea da planta está relacionado com a sua forma absorvida. Além disso, Dutra (2017) fala que o selenato é preferencialmente absorvido pelas plantas e que seu transporte ocorre pelo xilema, e as plantas translocam em pequenas quantidades o selenito, pois ele tende a ser convertido rapidamente em formas orgânicas de Se. Para Terry et al. (2000), o processo de distribuição de Se nas plantas também está relacionado com a espécie, sua fase de desenvolvimento e sua condição fisiológica. Além disso, as plantas acumuladoras tendem a ter maior teor de Se nas folhas jovens no estágio vegetativo, e em fase reprodutiva apresentam maior teor de Se nas sementes. Lara et al. (2019) relatam que já existem pesquisas que comprovam que o Se em concentrações adequadas pode ser benéfico, aumentando a produtividade das plantas.

As plantas podem ser classificadas de acordo com sua capacidade em acumular Se. De acordo com Terry et al. (2000), dependendo da quantidade que as plantas conseguem acumular, elas podem ser classificadas em acumuladoras e não-acumuladoras. Para White (2016) as espécies acumuladoras têm a capacidade de tolerar a concentração tecidual de 1 mg Se g^{-1} em sua MS, enquanto as espécies não acumuladoras não toleram concentrações teciduais de Se $>10\text{--}100 \text{ } \mu\text{g Se g}^{-1} \text{ DM}$. Almeida (2010) relata que as plantas acumuladoras excluem o seleno-aminoácido de sua síntese proteica, isso faz com que ele não seja incorporado nas proteínas, e então o Se pode ser armazenado nos vacúolos; já as plantas não acumuladoras não possuem a capacidade de fazer essa compartimentalização, e então elas conseguem fazer a incorporação, com isso elas podem incorporar grande quantidade de selênio em suas proteínas, o que pode por sua vez ocasionar toxidez.

1.4 Função do zinco nas plantas

O zinco (Zn) é um metal de número atômico 30 e massa atômica $65,37 \text{ g.mol}^{-1}$. Atua em vários processos enzimáticos nas plantas, tais como na multiplicação e crescimento das

células, na absorção de nutrientes, no processo de fotossíntese e na síntese de proteínas (MAPELLI; MALFATT; OLIVEIRA, 2014; PEREIRA, 2005).

O Zn é absorvido principalmente como cátion bivalente, é distribuído pelo xilema, ainda motivo de debates se o Zn é absorvido pelas plantas por processo passivo ou ativo, entretanto existem trabalhos que afirmam que a absorção do elemento é tipicamente metabólica (TAIZ et al., 2017; FAQUIN, 2005). De acordo com Kachinski et al. (2020), o Zn é transportado como Zn^{2+} para parte aérea das plantas através do xilema, já no floema o Zn é considerado pouco móvel.

O Zn exerce funções de destaque em processos enzimáticos que ocorrem nas plantas. Segundo Kachinski et al. (2020), o Zn é único metal que atua na atividade de todas as enzimas hidrolases, transferases, liases, ligases, isomerases e oxidoredutases. Para Kirkby e Römheld (2007), o Zn atua principalmente como cátion bivalente em metaloenzimas, em algumas das quais liga as enzimas a seus substratos correspondentes, enquanto em outras o Zn atua na formação de complexos tetraédricos com nitrogênio e oxigênio e, particularmente, ligantes de enxofre com uma variedade de compostos orgânicos.

O Zn atua também no crescimento das plantas pois está ligado a síntese do triptofano, que é precursor do AIA. Além disso, o Zn é imprescindível no metabolismo do DNA e RNA, no arranjo da cromatina e expressão gênica, além de que o Zn é de extrema importância para a biossíntese da clorofila (INOCENCIO, 2014; KACHINSKI; VIDIGAL; ÁVILA, 2020).

A deficiência de Zn pode trazer prejuízos severos para as plantas. Por estar presente em sínteses proteicas, o Zn tem importância na síntese de ribossomos e nas suas quantidades, sendo que a sua carência nas plantas levaria a diminuição e anomalias dessa organela nas plantas (KACHINSKI et al., 2020). E ainda a deficiência de Zn nas plantas pode ocasionar diminuição da distância entre os internódios, resultando em menor altura, folhas menores e redução de produtividade, pois ele atua na síntese do triptofano que é precursor do hormônio conhecido como auxina.

Existem alguns fatores que podem afetar a disponibilidade de Zn para as plantas, tais como: pH, P disponível tanto na solução quanto presente no vegetal, além de outros. A interação mais comum ocorre quando, adicionando-se P aos solos, há diminuição na concentração de Zn na parte aérea, quando este se apresenta em teor limitante. A forma como esta diminuição ocorre pode variar, podendo ser pelo efeito de diluição (SILVA; TREVIZAM, 2015). A consequência da adubação fosfatada quanto ao surgimento de deficiência de Zn nas plantas é chamada o “efeito de diluição”, ou seja, em parâmetro de alto teor de fósforo disponível no solo pode ocorrer alta taxa de crescimento da parte aérea, acarretando a baixa absorção de Zn pela planta

(Kachinski et al., 2020). Além disso, o pH da solução do solo é um fator determinante na disponibilidade de Zn. Com isso, o ideal é que o pH não passe de 6,5, pois do contrário resulta em menor extração de Zn pelas plantas.

1.5 Função do selênio e zinco em humanos

1.5.1 Selênio

O Se tem várias funções no organismo humano, dentre elas, as principais estão ligadas ao sistema imunológico. De acordo com Almeida (2010), o Se está ligado a síntese de mais de 30 selenoproteínas, ele é incorporado nestas proteínas pelo aminoácido selenocisteína. Além disso, Ahmad et al. (2022) falam que o Se está ligado a parâmetros de qualidade como crescimento, hematologia e digestibilidade de nutrientes e aumenta as atividades do sistema imunológico. Vários estudos recomendam o uso de nanopartículas de Se como fonte alimentar.

Conforme Ramos et. al. (2011), o Se vem sendo demonstrado em alguns trabalhos como um atuante anticancerígeno para o organismo humano, tais como: câncer de cólon, pulmão, pele e entre outros tipos. Almeida (2010) relata que duas doenças têm sido ligadas a deficiência de Se no organismo humano, a doença de Keshan, que é uma cardiomiopatia e a doença Kashin-Beck, que é uma osteoartropatia.

Reis (2014) relata que são poucos os trabalhos que quantificam o teor de Se nos solos brasileiros, mas os trabalhos já feitos indicaram baixas concentrações em algumas regiões do Brasil. Com a baixa disponibilidade de Se nos solos brasileiros, é possível afirmar que a maioria dos agroalimentos consumidos pela população brasileira contém nível crítico de Se.

Com isso a deficiência de Se na dieta humana pode acarretar severas condições a qualidade de vida. Ahmad et al. (2022) relata que a dieta que apresenta deficiência de Se pode ocasionar problemas como pneumonia, infertilidade e estresse oxidativo. De acordo com a Tabela 2 é possível notar que existe recomendações de doses quanto ao consumo de Se diariamente.

Tabela 1.2 - Recomendações quanto ao consumo diário de Se por idade e sexo

Idade	Selênio [mg/dia]	
	Masculino	Feminino
BEBÊS		
0 a menos de 4 meses	10	10
4 a menos de 12 meses	15	15
CRIANÇAS E ADOLESCENTES		
1 a menos de 4 anos	15	15
4 a menos de 7 anos	20	20
7 a menos de 10 anos	30	30
10 a menos de 13 anos	45	45
13 a menos de 15 anos	60	60
15 a menos de 19 anos	70	60
ADULTOS		
19 a menos a 65 anos	70	60
65 anos ou mais	70	60
Mulheres grávidas		60
Mulheres lactantes		75

Fonte: adaptado de) Kipp et., al (2015)

1.5.2 Zinco

O zinco é um nutriente essencial para homeostase do organismo humano. De acordo com Person et al. (2006), por estar relacionado ao funcionamento de diversas enzimas e ter papel estrutural na membrana plasmática, o Zn é extremamente importante na dieta humana em todas as etapas de vida, mas principalmente no desenvolvimento fetal e a gestação. Kachinski et al. (2020) relatam que o Zn consumido diariamente, de forma adequada, pode contribuir para redução de doenças como câncer, distúrbios neurológicos e doenças autoimunes. Conforme Moraes (2020), cerca de 1/3 da população mundial enfrenta deficiência de Zn, o que prejudica funções bioquímicas e fisiológicas, ocasionando diversos tipos de problema de saúde, como câncer, infertilidade, atraso no desenvolvimento em crianças e enfraquecimento do sistema imunológico.

De acordo com Cruz e Soares (2014), o consumo de Zn tem sido relacionado em vários trabalhos com o crescimento e desenvolvimento humano. Além disso, o Zn é necessário para a síntese e secreção de RBP (Retinol Binding Protein), proteína que realiza o transporte da vitamina A, o Zn também tem sido encontrado em alguns circuitos neurais, relacionando-se ao funcionamento de redes sinápticas excitatórias glutamatérgicas. Além disso, Zn é essencial para a integridade e funcionalidade das membranas celulares.

Inocêncio (2014) diz que o ser humano deve consumir cerca 15 mg de Zn ao dia, mas para crianças e gestantes a quantidade de consumo deste nutriente é maior. Além disso, Cruz e Soares (2014) ressaltam que o Zn atua na defesa do organismo, auxiliando na proliferação e maturação das células de defesa, assim indivíduos que apresentam deficiência deste mineral ficam mais aptos a adquirirem alguma infecção.

Tabela 1.3 - Recomendações quanto ao consumo diário de Zn por idade.

Zinco (mg/dia)	
Idade	Ambos os Sexos
BEBÊS	
0 a menos 11 meses	2
CRIANÇAS E ADOLESCENTES	
1 a menos de 4 anos	4
4 a menos de 8 anos	7
9 a menos de 18 anos	12,77
ADULTOS	
19 para cima	29,59
Mulheres grávidas	23,5
Mulheres lactantes	24,5

Fonte: Adaptado do Ministério da saúde, 2018.

A baixa ingestão de Zn pode estar relacionada com dieta pouco diversificada e solos pobres deste nutriente, o que gera impacto na dieta das populações. Por isso, ocorre a necessidade de técnicas que visem aumentar de maneira segura o fornecimento de nutriente através de alimentos comumente consumidos.

REFERÊNCIAS

- AHMAD, N. et al. Effects of Se nanoparticle supplementation on growth performance, hematological parameters and nutrient digestibility of diet based on sunflower meal fed with fingerlings of *Labeo rohita*. **Brazilian Journal of Biology**, v. 84, 2022.
- ALMEIDA, H. J. **Selenato e selenito na produção, nutrição mineral e biofortificação de cultivares de alface**. 2010. 65 f. Dissertação (mestrado) – Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo. Universidade Federal de Lavras. Lavras, Minas Gerais. 2010.
- ARAÚJO, E. O.; DA SILVA, Ma. A. C. Interação boro e zinco no crescimento, desenvolvimento e nutrição do algodoeiro. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 7, p. 720-727, 2012.
- BRASIL. Ministério da Saúde. **Agência nacional de vigilância sanitária (AVISA)**. Conforme a instrução normativa Nº 28, de 26 de junho de 2018.
- CARBO, J. Z. F. **Biofortificação do Feijão e do Milho com Selênio**. 2014. 65 f. Dissertação (mestrado) – Curso de Pós-Graduação em Agricultura Tropical e Subtropical. Instituto Agrônomo, Campinas, São Paulo. 2014.
- CARRIJO, O. A.; MAKISHIMA, N. **Princípios de hidroponia**. EMBRAPA, 2000.
- CORRÊA, N. A. F.; DA SILVA, H. P. Comida de quilombo e a desnutrição infantil na Amazônia Paraense: uma análise com base no mapeamento da Insegurança Alimentar e Nutricional. **Segurança Alimentar e Nutricional**, v. 29, p. e022020-e022020, 2022.
- CRUZ, J. B. F.; SOARES, H. F. Uma revisão sobre o zinco. **Ensaio e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde**, v. 15, n. 1, p. 207-222, 2011.
- 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.
- DOS REIS, A. R et al. Biofortificação agrônômica com selênio no Brasil como estratégia para aumentar a qualidade dos produtos agrícolas. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v. 8, n. 2, pág. 128-138, 2014.
- DJANAGUIRAMAN, M. et al. Selenium – a protective antioxidant in soybeans during senescence. **Plant and Soil** , v. 272, n. 1, pág. 77-86, 2005.
- DUTRA, A. F. **Selênio no desempenho fisiológico e biofortificação agrônômica da couve-flor**. 2017. 98 f. Tese (doutorado) – Programa de Pós-graduação em Agronomia (Ciências do Solo). Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias. Jaboticabal, 2017.
- FAQUIN, V. **Nutrição Mineral de Plantas**. 2005. 186 f. Monografia (especialização) – Programa de Pós-graduação “Latu Senso” a Distância: Solos e Meio. Universidade Federal de Lavras. Lavras, Minas Gerais. 2005.

GAIA, C. D. C. et al. Crescimento e produção do jambu submetido a lâminas de irrigação. **Revista de Ciências Agrárias Amazonian**, v. 63, 2020.

GUSMÃO, M. T. A.; GUSMÃO, S. A. L. **Jambu da Amazônia *Acmella oleracea* [(L.) R. K. Jansen]: Características gerais, cultivo convencional, orgânico e hidropônico**. Belém: Universidade Federal Rural da Amazônia, 135p. 2013.

HOMMA, Alfredo Kingo Oyama et al. Etnocultivo do jambu para abastecimento da cidade de Belém, estado do Pará. **Amazônia: Ciência & Desenvolvimento**, Belém, PA, v. 6, n. 12, p. 125-141. 2011.

INOCENCIO, M. F. **Frações de zinco no solo e biofortificação agronômica com selênio, ferro e zinco em soja e trigo**. 2014, 89f. Tese (Doutorado em ciências do solo) – Programa de Pós-Graduação em Ciências do Solo, Universidade Federal de Lavras. Lavras, Minas Gerais. 2014.

KACHINSKI, W. D.; VIDIGAL, J. C. B.; ÁVILA, F. W. Zinc in soil, plant and human health: a review. **Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento**, v. 9, n. 7, pág. e827973544-e827973544, 2020.

Kipp, A.P., Strohm, D., Brigelius-Flohé, R., Schomburg, L., Bechthold, A., Leschik-Bonnet, E., Hesecker, H., 2015. Revised reference values for selenium intake. **J. Trace Elem. Med. Biol.** 32, 195–199. <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2015.07.005>

LARA, T. S. et al. Selenium biofortification of wheat grains via foliar application and its effect on plant metabolism. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 81, p. 10-18, 2019.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo, Agronômica Ceres, 2006. 638p.

MAPELLI, R. F. Zinco—características e aplicações como elemento no desenvolvimento de tecnologia. **Revista Tecnologia e Tendências**, v. 9, n. 1, p. 86-98, 2014.

MARTINEZ, R. A. S. **Biofortificação agronômica da soja com selênio**. 2013, 114 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Programa de Pós-graduação em Agronomia. Universidade Federal de Lavras. Lavras, Minas Gerais. 2013.

MORAES, C. C. **Biofortificação Agronômica com Zinco em Alface**. 2020, 89f. Tese (Doutorado em Agricultura Tropical e Subtropical) – Programa de Pós-Graduação em Agricultura Tropical e Subtropical, Universidade Federal de Lavras. Campinas, São Paulo. 2020.

NASCIMENTO, C. S. **Biofortificação agronômica da rúcula com selênio em sistema hidropônico**. 2018. 30 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias. Jaboticabal, São Paulo, 2018.

NASCIMENTO, L. E. S. **Jambu (*Acmella oleracea* (L.) R.K. Jansen) hidropônico e convencional: uma comparação baseada nas propriedades físico-químicas e composição fitoquímica**. 2019. 129f. Dissertação (mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciências de Alimentos. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, Santa Catarina, 2019.

NEVES, Daniela Andrade et al. Chemical and nutritional characterization of raw and hydrothermally processed jambu (*Acmella oleracea* (L.) R.K. Jansen). **Food Research International**, v. 116, p. 1144-1152, 2019.

NUTTI, M. **Alimentos biofortificados**: uma área com aplicação inovadoras e promissoras. 2016.

OLIVEIRA, E. S. DE. et al. Uptake, distribution and biofortification of selenium in *Acmella Oleracea* (L.) R. K. Jansen. **International Journal of Advanced Engineering Research and Science (IJAERS)**. v. 9, p. 182-193, 2022.

OLIVEIRA, V. C. et al. Agronomic biofortification of carrot with selenium. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 42, p. 138-147, 2018.

PEDRAZA, D. F.; VENDAS, M. C. Deficiência de zinco: diagnóstico, estimativas do Brasil e prevenção. **Nutrire Rev. Soc. Sutiãs. Alimento. Nutr**, pág. 397-408, 2015.

PERSON, O. C.; DOS SANTOS BOTTI, A.; FÉRES, M. C. L. C. Repercussões clínicas da deficiência de zinco em humanos. **Arquivos Médicos do ABC**, v. 31, n. 1, 2006.

PEREIRA, M. N. Z. **Influência do pH e da adição de zinco na massa seca de milho e na Composição química de dois solos ácidos**. 2005, 76f. Dissertação (Mestrado em ciências do solo) - Centro de Ciências Agroveterinárias, Universidade do Estado de Santa Catarina. Lages, Santa Catarina. 2005.

PILON-SMITS, E. A. H; QUINN, C. F. Selenium metabolism in plants. In: **Cell biology of metals and nutrients**. Springer, Berlin, Heidelberg, 2010. p. 225-241.

RAMOS, S. J. et al. Selenato e selenito na produção, nutrição mineral e biofortificação com selênio em cultivares de alface. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 1347-1355, 2011.

SHALTOUT, A. A. et al. Method development and optimization for the determination of selenium in bean and soil samples using hydride generation electrothermal atomic absorption spectrometry. **Talanta**, Cambridge, v. 85, n. 1, p. 1350–1356, June 2011.

SCHIAVON, M.; DALL'ACQUA, S.; MIETTO, A.; PILON-SMITS, E. A.; SAMBO, P.; MASI, A.; MALAGOLI, M. Selenium fertilization alters the chemical composition and antioxidant constituents of tomato (*Solanum lycopersicon* l.). **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 61, n. 44, p. 10542-10554, 2013.

SILVA JÚNIOR, E. C. **Selênio na castanha-do-brasil (*Bertholletia excelsa*) e em solos da região Amazônica Brasileira**. 2016. 82 f. Dissertação (mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo. Universidade Federal de Lavras. Lavras, Minas Gerais, 2016.

SILVA, M. L. S.; TREVIZAM, A. R. Interações iônicas e seus efeitos na nutrição das plantas. **Informações agrônômicas**, v. 149, n. 1, p. 10-16, 2015.

SOUSA, F. L. Desempenho agronômico do jambu (*Acmella oleracea*) utilizando adubação orgânica. **Australian Journal of Crop Science**, v. 12, n. 1, pág. 151-156, 2018.

SZEREMENT, J. et al. Agronomic biofortification with Se, Zn and Fe: an effective strategy to improve crop nutritional quality and defense against stress - a review. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, p. 1-31, 2021.

TAIZ, L. et al. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. Artmed Editora, 2017.

TERRY, N. et al. Selênio em plantas superiores. **Revisão anual de biologia vegetal**, v. 51, n. 1, pág. 401-432, 2000.

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

WHITE, Philip J. Accumulation of selenium by plants. **Anais de Botânica**, v. 117, n. 2, pág. 217-235, 2016.

2 BIOFORTIFICAÇÃO DE VARIEDADES DE JAMBU (*Acmella oleracea*) SUBMETIDAS A DOSES DE SELÊNIO EM CULTIVO HIDROPÔNICO

Resumo

A desnutrição humana ou fome oculta acomete pessoas em de vários países. Diante disso, diversas estratégias têm sido utilizadas para mitigar o problema, sendo uma delas a biofortificação agrônômica, que consiste na introdução de nutrientes essenciais aos seres humanos por meio da suplementação desses nutrientes às plantas. Existem evidências de deficiência de selênio (Se) nos solos amazônicos. O jambu, sendo uma hortaliça muito consumida no Norte brasileiro, pode vir a ser uma cultura com potencial para biofortificação com Se. Assim, neste trabalho teve-se como objetivo avaliar os efeitos das suplementações com Se no crescimento, fisiologia, desenvolvimento e acúmulo em duas variedades de jambu (flor roxa e amarela). O experimentais foi conduzido em casa de vegetação, no delineamento de blocos casualizados com cinco repetições. O experimento consistiu em um arranjo fatorial 5 x 2, sendo cinco doses de Se (0; 1,0; 2,0; 3,0 e 4,0 mg L⁻¹) e duas variedades de jambu (flor roxa e amarela). Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância, e quando significativos, prosseguiu para a análise de regressão. Verificou-se que o Se interferiu no crescimento e nas respostas produtivas do jambu, observando-se, em geral, que as maiores respostas foram obtidas com a dose de 1mg L⁻¹ para variedade roxa e 2mg L⁻¹ para variedade amarela, bem como foi verificado acúmulo para essas doses, concluindo assim, que as variedades foram biofortificadas.

Palavras-chave: Desnutrição, fortificação de alimentos, hidroponia, hortaliças, suplementação, selênio.

Abstract

Human malnutrition or hidden hunger affects people in several countries. In view of this, several strategies have been used to mitigate the problem, one of which is agronomic biofortification, which consists of introducing essential nutrients to humans through the supplementation of these nutrients to plants. There is evidence of selenium (Se) deficiency in Amazonian soils. Jambu, being a vegetable widely consumed in northern Brazil, may become a crop with potential for biofortification with Se. Thus, this work aimed to evaluate the effects of Se supplementation on growth, physiology, development and accumulation in two varieties of jambu (purple and yellow flower). The experiments were carried out in a greenhouse, in a randomized block design with five replications. The experiment consisted of a 5 x 2 factorial arrangement, with five doses of Se (0; 1.0; 2.0; 3.0 and 4.0 mg L⁻¹) and two varieties of jambu (purple and yellow flower) . The results obtained were submitted to analysis of variance, and when significant, proceeded to regression analysis. It was verified that Se interfered in the growth and productive responses of jambu, observing, in general, that the highest responses were obtained with the dose of 1mg L⁻¹ for the purple variety and 2mg L⁻¹ for the yellow variety, as well as accumulation was verified for these doses, thus concluding that the varieties were biofortified.

Keywords: Malnutrition, food fortification, hydroponics, vegetables, supplementation, selenium

2.1 Introdução

Mais de dois bilhões de pessoas no mundo passam por situação de insegurança alimentar, o que, na maioria das vezes, os restringem de consumir o nível adequado de minerais que são recomendados para que o organismo consiga exercer funções fisiológicas adequadamente. Estima-se que no Brasil cerca de 33 milhões de pessoas passem fome, e que 25% da população do Norte brasileiro enfrenta essas circunstâncias (NUTTI et al., 2016; CORRÊA & SILVA, 2022).

Pensando nisso, pesquisas para tentar minimizar problemáticas voltadas à nutrição humana devido à fome tem sido desenvolvida. De acordo com Reis et al. (2014), o processo de biofortificação visa resolver o fornecimento de elementos essenciais, como minerais e vitaminas, por meio do melhoramento de espécies consumidas pelas populações.

Para que alimentos biofortificados sejam consumidos por pessoas de determinada região é preferencial que eles sejam de comum consumo daquela população alvo. Analisando isso, uma ótima cultura para alvo de estudos na região Norte do Brasil é o jambu (*Acmella oleracea*), pois é uma hortaliça amplamente produzida e consumida. O jambu é consumido em vários pratos típicos paraenses, como vatapá, tacacá, pato no tucupi e frango no tucupi, além disso é uma hortaliça que apresenta vários benefícios a saúde, como potencial antioxidante e alto teor de vitamina C (GOMES et al., 2020; NASCIMENTO, 2019).

Devido à escassez de Se nos solos, as plantas não realizam sua absorção, consequentemente resultando na sua deficiência na dieta humana. Esse é um dos motivos da importância de se fazer a suplementação deste elemento por meio da nutrição mineral. Devido a isto, se faz importante o estudo do comportamento deste nutriente nos vegetais. Conforme Rodrigues et al. (2014), a concentração de Se em produtos agrícolas consumidos no Brasil é considerada baixa em relações aos padrões internacionais, sendo um dos possíveis determinantes o baixo teor de Se encontrado em solos agrícolas.

O Se desempenha diversas funções no organismo humano, sendo de extrema importância consumir agroalimentos que forneçam esse e os demais minerais necessários. O Se está ligado ao sistema imunológico, atuando na síntese de cerca de 30 selenoproteínas, que estão ligadas a parâmetros de crescimento, hematologia e digestibilidade de nutrientes (ALMEIDA, 2010; AHMAD et al., 2022).

O Se é um elemento amplamente distribuído na natureza e é encontrado no ambiente na forma de selenatos (Se^{6+}), selenitos (Se^{4+}) e selenetos (Se^{2+}) e raramente como elemento selênio (Se^0) (CETESB, 2018). Além disso, é definido como elemento benéfico para as plantas, pois em determinada quantidade apresenta um papel benéfico nas plantas, atuando principalmente

em seu crescimento. O Se é absorvido em duas principais formas, selenato e selenito. O selenato é a forma predominantemente absorvida pelas plantas, aparece comumente apenas em solos alcalinos bem arejados (FAQUIN, 2005).

Apesar do seu papel benéfico para o crescimento e vigor das plantas, em altas concentrações o Se torna-se tóxico. Devido à rápida incorporação em formas orgânicas, o selenito consegue ser mais tóxico do que o selenato, afetando intensamente a eficiência de utilização de Se pelas plantas (DUTRA, 2017). Tem sido observado, às vezes, efeitos estimulantes em baixas concentrações de Se, embora seja mais comum encontrar-se referência à sua toxidez. Esta manifesta-se na redução do crescimento da planta e as folhas tornam-se cloróticas (FAQUIN, 2005). O Se desempenha importantes funções no organismo humano, devido isso é necessário que seja incluso na dieta humana. Ramos (2011) afirma que o Brasil segue com um padrão baixo de consumo de Se em alimentos de origem vegetal.

Sendo assim, a hipótese deste capítulo é que a nutrição com Se permite biofortificação agrônômica deste elemento nas partes consumíveis da cultura do jambu, além de favorecer o desempenho produtivo, fisiológico e acúmulo de outros nutrientes pela planta.

Assim, o objetivo foi avaliar o efeito do fornecimento de Se na biofortificação agrônômica, crescimento, produção, pós-colheita, nutrição e fisiologia de duas variedades de jambu.

2.2 Metodologia

2.2.1 Procedimentos experimentais

O experimento foi conduzido em casa de vegetação da Área de Ciência do Solo, Instituto de Ciências Agrárias, da Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), campus Belém. Duas variedades de jambu (*Acmella oleracea*) foram avaliadas: o jambu de flor roxa e o jambu de flor amarela, cujas sementes foram coletadas no banco de sementes da UFRA.

Na produção das mudas foram utilizadas duas bandejas de polipropileno com 128 células cada. O substrato foi formado por composto orgânico à base de cama aviária e solo, e o semeio foi em densidade, utilizando aproximadamente 6 unidades de sementes. Ocorreu a constante irrigação das sementeiras. Após 10 dias da germinação, um desbaste foi realizado e apenas uma planta por célula foi mantida. Com 14 dias as mudas foram irrigadas com solução nutritiva de Hoagland e Arnon (1950) 25% da força iônica.

O transplântio para o sistema hidropônico tipo DFT (Técnica do Fluxo Profundo) ocorreu 24 dias após a germinação, ficando uma planta por vaso. As plantas foram cultivadas em solução de Hoagland e Arnon (1950) em vasos contendo 1,2 L de solução e foram revestidos por papel alumínio. Foi feita a aeração forçada da solução nutritiva. Na primeira semana, visando a aclimação das plantas, a solução foi aplicada com 50% da força iônica.

A solução foi trocada a cada 7 dias para avaliar mais precisamente os efeitos do Se nas plantas. O Se foi aplicado na forma de selenato de sódio (Na_2SeO_4) durante 3 semanas com solução em 100% da força iônica e as plantas foram retiradas na quinta semana. As doses de Se utilizadas foram: 0 mg L^{-1} (controle); 1 mg L^{-1} ; 2 mg L^{-1} ; 3 mg L^{-1} ; e 4 mg L^{-1} . Cada tratamento teve cinco repetições, totalizando 50 unidades experimentais. O esquema fatorial foi 5 (cinco) doses de Se (0; 1; 2; 3; 4 mg L^{-1} e duas variedades de jambu (flor roxa e flor amarela).

Durante o período de condução do experimento, variáveis como o pH, temperatura e condutividade elétrica da solução foram constantemente verificados. O pH foi mantido entre 5,5 e 6,5 e a condutividade entre 1.100 e 1.250 (mS cm^{-1}) verificados com medidor Groline Hanna (HI9814). A quantidade de água perdida por evapotranspiração foi constantemente repostada usando água destilada.

2.2.1.1 Trocas gasosas

Após três aplicações do tratamento, as plantas foram submetidas a análise de trocas gasosas, entre 9 e 11 horas pela manhã, utilizando a segunda folha recém-madura do ramo da haste principal da planta, ou a seguida desta, caso a segunda apresentasse padrões imaturos. (Sampaio e outros, 2021). Foram avaliados os seguintes parâmetros: taxa de fotossíntese líquida (A , μmol), condutância estomática (g_s , $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$), concentração subestomática de CO_2 (C_i), eficiência de carboxilação instantânea (A/C_i), obtido pela razão entre A e C_i ; transpiração (E) e uso eficiente da água (EUA), que foram obtidas usando um analisador de gás infravermelho portátil (IRGA, modelo LI6400XT, LICOR®) sob uma concentração externa de CO_2 de 400 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ de ar e PAR artificial de 1.000 $\mu\text{mol de m}^{-2}\text{s}^{-1}$ fótons. Foram avaliados quatro blocos, um total de 40 plantas (SAMPAIO et al., 2022).

2.2.2 Análise morfológicas

2.2.2.1 Análises biométricas

Após a colheita, realizada após três aplicações dos tratamentos envolvidos, foram realizadas as seguintes análises biométricas: Comprimento da haste principal, com o auxílio de

uma régua milimetrada; diâmetro do coleto, com o auxílio de um paquímetro digital e área foliar por meio de um medidor de área foliar (LI-3100C, LI-COR, Biosci. Inc., Nebraska, EUA).

2.2.2.2 Análises de produção

Para análises de produção, as seguintes partes das plantas foram pesadas separadamente em balança de precisão: folhas, inflorescências, raízes, caules e ramos. As raízes foram lavadas com água destilada e secas com papel toalha. Após as pesagens, as amostras foram armazenadas em sacos de papel devidamente identificados e levados para a estufa para secagem em temperatura de 65 °C até atingirem peso constante. Após secas, as amostras foram pesadas em balança de precisão para determinação de massa seca das folhas, inflorescência, raízes, caules e ramos.

2.2.2.3 Análises químicas

Após a secagem e pesagem, as amostras de folhas foram moídas juntamente com os caules e ramos, raízes e as inflorescências moídas de forma individual. Para a digestão do material vegetal, foram pesadas 0,250 g de material vegetal triturado das raízes e folhas, caules e ramos, colocados em tubos de teflon, adicionados 2 mL de peróxido de hidrogênio (H₂O₂) e, em seguida, 2 mL de ácido nítrico (HNO₃), após uma hora foram adicionados 6 mL de água destilada. Os tubos de teflon foram tampados e inseridos na base do micro-ondas. Após a digestão, o material foi submetido a filtragem e logo após foi acrescentado 40 mL de água destilada, e em seguida armazenados em geladeira para posterior determinação dos nutrientes.

2.2.3 Análise nutricional

Para a avaliação nutricional utilizou-se 250 mg do material vegetal, 2 mL de HNO₃ + 2 mL de H₂O₂ + 6 mL de água ultrapura para cada amostra, com digestão em forno de micro-ondas (Corporação CEM, modelo MARS 5®), cujo procedimento está mais detalhado na seção de Análises químicas. Todas as análises foram realizadas em triplicatas, como material de controle o ERM-CD281 (rye grass) e o reagente branco foram colocados em paralelo com as amostras. Os teores dos elementos foram determinados por espectroscopia de emissão atômica de plasma de micro-ondas (Agilent 4200 MP-AES).

2.2.4 Análise de pós-colheita

2.2.4.1 Sólidos solúveis totais - SST

Os sólidos solúveis totais foram determinados por meio de um refratômetro digital com correção automática de temperatura. Realizou-se a maceração de 1 g de folha fresca e foram transferidas 2 gotas do extrato para o prisma do equipamento (ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTRY, 2012) para posterior leitura. Os resultados foram expressos em °Brix (%).

2.2.4.2 Potencial Hidrogeniônico - pH

Para a determinação do pH das amostras, adicionou-se 1 g de folha fresca macerada em 30 mL de água destilada, em seguida realizou-se agitação do extrato e posterior leitura da amostra utilizando um peagâmetro de bancada (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008).

2.2.4.3 Acidez Titulável

A acidez titulável – AT foi determinada de acordo com a metodologia do Instituto Adolfo Lutz (2008), por meio da titulação do extrato (1 g de folha fresca com água destilada e indicador de fenolftaleína a 1%) com solução de NaOH 0,1 M, com resultados expressos em % de ácido cítrico. A relação SST/AT das amostras foram calculadas pela relação entre estas duas variáveis, para inferir a palatabilidade.

2.2.5 Análises bioquímicas

2.2.5.1 Extração e Quantificação de Pigmentos Fotossintéticos

A extração e quantificação de pigmentos fotossintéticos foi realizada de acordo com LICHTENTHALER (1987). Para o extrato, procedeu-se a homogeneização no escuro (ao abrigo da luz) de 0,1 g de tecido vegetal fresco em gral de porcelana contendo 5 mL de solução de acetona a 80%. O extrato obtido foi filtrado e transferido para balão volumétrico de 25 mL, sendo o volume deste completado com solução de acetona a 80%.

Após a extração, realizou-se a leitura da absorbância em espectrofotômetro. Utilizou-se os comprimentos de onda de 470 nm, 646,8 nm e 663,2 nm. Os resultados foram aplicados nas equações abaixo. Os resultados serão expressos em mg g^{-1} de matéria fresca.

Equações de determinação de pigmentos fotossintéticos com base na absorbância.

$$\text{Chl a: } 12.25 * A_{663.2} * A_{646.8}$$

$$\text{Chl b: } 21.50 * A_{646.8} * 5.10 * A_{663.2}$$

$$\text{Chl Total: } 7.15 * A_{663.2} + 18.71 * A_{646}$$

2.2.6 Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância. Para os casos em que a hipótese de nulidade foi rejeitada, procedeu-se a comparação de médias através de análise de regressão, na qual o eixo das abscissas foi representado pelos níveis de Se (0; 1,0; 2,0; 3,0 e 4,0 mg L⁻¹) e o eixo das ordenadas foi expresso pela característica y analisada. Em seguida, os modelos e coeficientes foram testados pelo teste t. Para analisar os dados obtidos no experimento, utilizou-se o Software estatístico Sisvar versão 5.6 (FERREIRA, 2011).

2.2.7 Calculo de consumo (incluir no sumário)

Para o cálculo de consumo, utilizou-se regra de três simples, o X encontrado corresponde ao teor encontrado para consumo de 100 g de jambu:

$$1000g \quad - \quad \text{Teor de S } 1000g$$

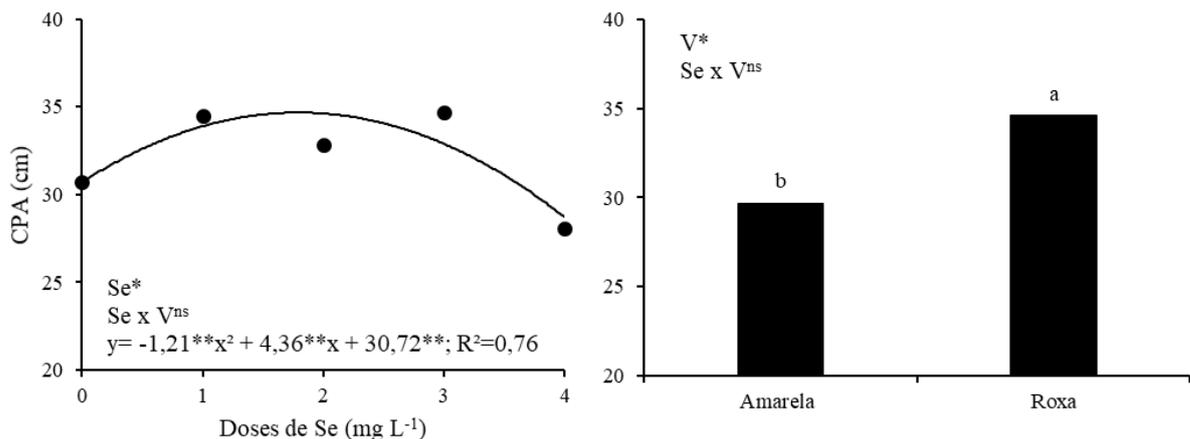
$$100g \quad - \quad X$$

2.3 Resultados

2.3.1 Comprimento da haste principal (CPA)

A variável CPA das variedades de jambu flor roxa e flor amarela foi afetada pela concentração de Se ($p < 0,05$), sendo observado comportamento quadrático positivo. Ocorreu diferença significativa entre as doses de Se, sendo que a concentração de 2 mg L^{-1} favoreceu o crescimento em ambas as variedades, havendo diferença significativa entre as variedades, sendo que as plantas de jambu de variedade de flor roxa obtiveram maior crescimento que as plantas de jambu de flor amarela. A dose estimada ótima para ambas as variedades foi de $1,8 \text{ mg L}^{-1}$ (Figura 2.1).

Figura 2.1 - Comprimento da haste principal (CPA) em relação as doses de Se (a) e a comparação das variedades em relação a altura das plantas de Jambu (b), plantas de jambu em função do incremento de doses de selênio na solução nutritiva. Se (doses de selênio) e V (variedades). * significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t. Belém, Pará, 2023.



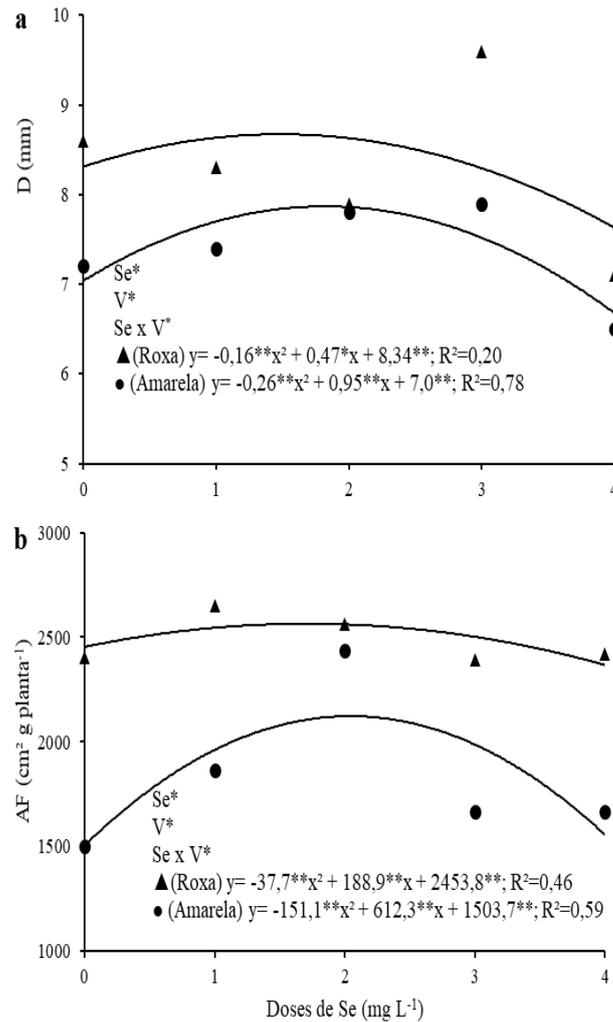
Fonte: Autora, 2023. 2.3.2 Diâmetro da haste principal (D) e área foliar (AF)

Ambas as variedades de jambu tiveram o diâmetro da haste principal (D) afetado pela concentração de Se ($p < 0,05$). A variedade de flor roxa apresentou maiores valores em comparação com a variedade de flor amarela, e a dose ótima estimada para essa variável foi $1,4 \text{ mg L}^{-1}$, que resultou em um valor máximo de $8,6 \text{ mm}$ de diâmetro. Para a variedade de flor amarela, a dose estimada foi $1,7 \text{ mg L}^{-1}$, que culminou em um diâmetro de $7,8 \text{ mm}$ (Figura 2A). As duas variedades apresentaram resultados que foram ajustados ao modelo polinomial quadrático (Figura 2.2 A).

A variedade de flor roxa apresentou maior área foliar (AF) em relação à variedade de flor amarela ($p < 0,05$). Para a variedade roxa, a dose ótima estimada foi de $2,5 \text{ mg L}^{-1}$, resultando em AF de $2690,4 \text{ cm}^2 \text{ planta}^{-1}$. Para variedade amarela, foi obtida uma produção ótima de 2124

$\text{cm}^2 \text{ planta}^{-1}$ em função da dose de $2,0 \text{ mg L}^{-1}$. Também foi observada interação entre as doses de Se e as variedades, indicando que o Se promoveu maior AF em ambas as variedades. Os resultados foram ajustados ao modelo polinomial quadrático (Figura 2.2 B).

Figura 2.2 - Diâmetro da haste principal das duas variedades de jambu (a) e área foliar das duas variedades de jambu em função das doses de Se (b). plantas de jambu em função do incremento de doses de selênio na solução nutritiva. * significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t. Belém, Pará, 2022.



Fonte: Autora, 2023.

2.3.3 Biomassa das variedades de jambu

Para massa fresca da inflorescência (MFI) (Figura 2.3 a), as variedades apresentaram produção de MFI estatisticamente semelhantes. Foi observada interação significativa entre as doses de Se e as variedades, ou seja, as doses influenciaram maior produção de MFI. A variedade roxa obteve maior resposta na dose estimada ótima de $2,7 \text{ mg L}^{-1}$, para uma produção

máxima de 4 g de MFI. Para a variedade amarela, a dose estimada foi de 2 mg L⁻¹, para uma produção máxima de 4,1 g de MFI. Estes resultados indicam que o Se estimulou resposta quadrática positiva nas duas variedades.

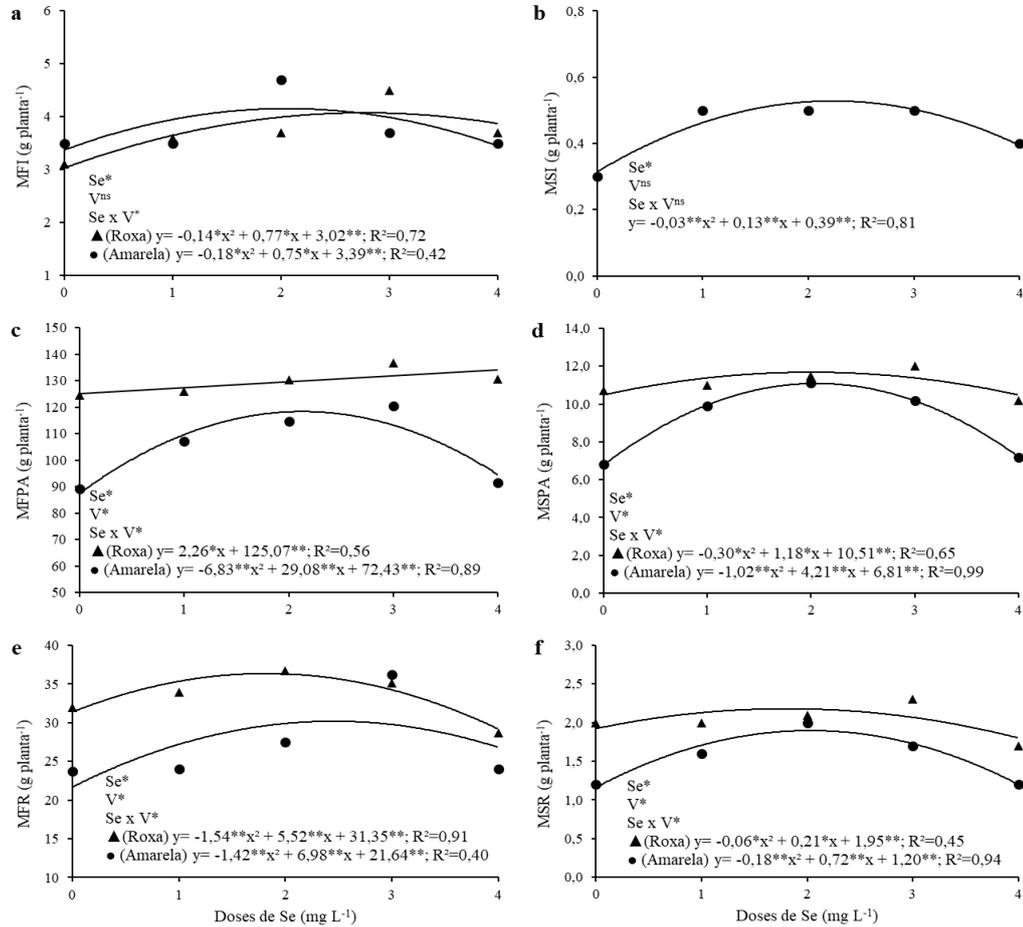
Para a massa seca de inflorescência (MSI) (figura 2.3 b) não houve interação significativa entre os fatores doses de Se e variedades de jambu. Além disso, não houve interação para o fator variedades, apenas para as doses de Se, o que sugere que, para o acúmulo de massa seca da inflorescência as concentrações de Se na solução nutritiva estimulam a mesma resposta em ambas as variedades. As doses de Se estimularam resposta quadrática quanto a MSI, obtendo maior resposta na concentração 2 mg L⁻¹. A dose estimada ótima foi de 2,1 mg L⁻¹, para uma produção de 0,5 g de massa seca de inflorescência em ambas as variedades.

Para a massa fresca da parte aérea (MFPA) (Figura 2.3 c) ocorreu diferença significativa entre as variedades, com maior produção para a variedade roxa, que apresentou comportamento linear positivo em função das doses. A variedade amarela, por sua vez, apresentou resposta quadrática positiva, com uma maior resposta na dosagem de 2 mg L⁻¹. Essa variedade teve dose ótima estimada 2,1 mg L⁻¹ para uma produção de 103,3 g.

Para massa seca da parte aérea (MSPA) (Figura 2.3 d) as variedades de jambu apresentaram diferentes comportamentos com o fator doses, apesar de ambas terem apresentado maior desenvolvimento na dosagem de 2 mg L⁻¹. A dosagem estimada ótima para variedade roxa é de 1,9 mg L⁻¹ para uma produção máxima de 11,6 g. A cultivar amarela obteve dose estimada ótima de 2,0 mg L⁻¹ para uma produção máxima de 11,1 g. Neste caso, ocorreu interação entre as doses de Se testadas e as variedades de jambu. Para o fator doses também ocorreu diferença significativa, bem como para o fator variedade. Sendo assim, as variedades de jambu apresentaram comportamento quadrático positivo em relação às doses de Se.

A massa fresca de raiz (MFR) apresentou diferença significativa entre as variedades, com melhor desempenho para a cultivar roxa (Figura 2.3 e). As variedades de jambu diferiram entre si e também foram influenciadas pelas doses de Se. A dose estimada ótima para a cultivar roxa foi de 1,7 mg L⁻¹, que resultou em uma produção máxima de 36,2 g. Para a cultivar amarela, a dose estimada ótima foi de 2,4 mg L⁻¹, para uma produção máxima de 8,5 g. O Se estimulou uma resposta quadrática positiva nas variedades de jambu.

Figura 2.3 - Massa fresca da inflorescência (a), massa seca da inflorescência (b), massa fresca da parte aérea (c) massa seca da parte aérea (d) massa fresca da raiz (e), masa seca da raiz (f), plantas de jambu em função do incremento de doses de selênio na solução nutritiva. * significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t. Belém, Pará, 2022.



Fonte: Autora, 2023.

As variedades apresentaram diferença significativa para massa seca de raiz (MSR) (Figura 4.f), e a variedade roxa apresentou maior produção. Além disso, a dose de 2 mg L⁻¹ estimulou maior MSR em ambas as cultivares. As doses de Se e as variedades apresentaram diferença significativa, ou seja, o Se pode ter influenciado a produção de MSR em ambas as variedades com a dose de 2 mg L⁻¹, e as doses de 3 e 4 mg L⁻¹ causaram menor produção de MSR. A dose ótima estimada para a cultivar roxa foi de 1,7 mg L⁻¹, para uma produção máxima de 2,1 g. Para a variedade amarela, a dose ótima estimada foi 2 mg L⁻¹, para uma produção máxima de 1,7 g. As variedades de jambu apresentaram resultados que foram ajustados ao modelo polinomial quadrático.

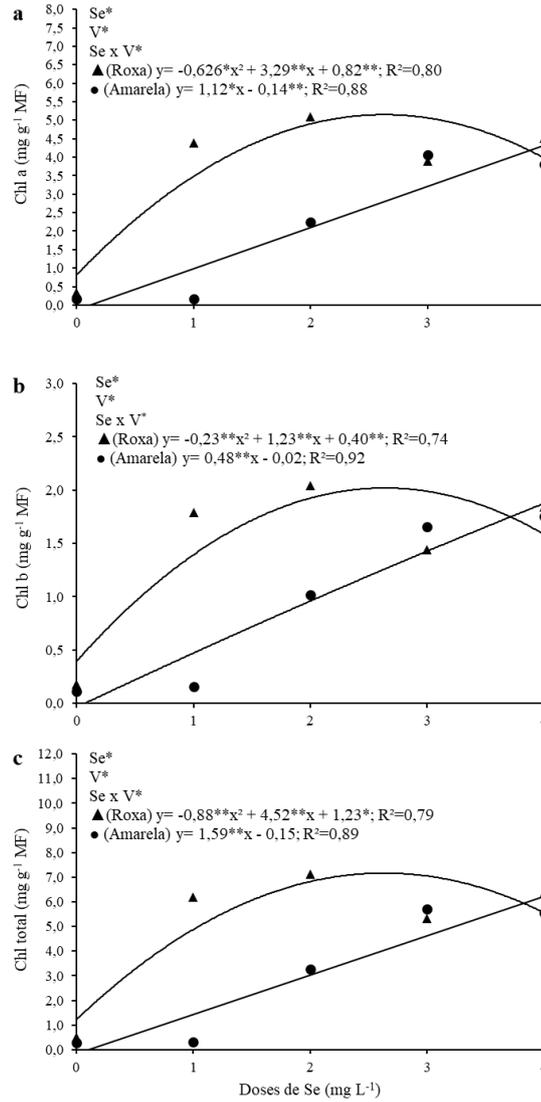
2.3.4 Teores de clorofilas

Para o conteúdo de clorofila a (Chl a) (Figura 2.4 a), é possível notar que ocorreu diferença significativa entre as doses de Se, entre as variedades de jambu e para interação de doses de Se e variedade. Sendo que a variedade roxa demonstrou melhor desempenho que a amarela, apresentado maior produção entre as doses testadas de 2 e 3 mg L⁻¹, enquanto a variedade amarela apresentou comportamento linear. Sendo que a dose estimada para variedade roxa foi de 2,6 mg L⁻¹. Com isso, as doses de Se estimularam resposta quadrática positiva na variedade de flor roxa de jambu. Para os teores de clorofila b (Chl b) (Figura 2.4 b), ocorreu diferença significativa entre o fator doses de Se, sendo que a variedade roxa apresentou melhor desempenho para as doses de Se de 2 mg L⁻¹ e 3 mg L⁻¹, com dose ótima de 2,6 mg L⁻¹, para uma produção máxima de 2,04 mg G⁻¹. A variedade amarela apresentou comportamento linear as doses de Se, assim tendo maior desempenho com a dose de 4 mg L⁻¹. É possível notar também que ocorreu interação entre o fator doses e variedades, esclarecendo que as doses de Se influenciam nos teores de clorofila. Ocorreu diferença significativa entre as variedades de jambu, sendo que a variedade de flor roxa apresentou melhor desempenho que a de flor amarela, pois foi necessário menor dose para sua maior produção. Com isso, as doses de Se estimularam comportamento quadrático positivo na variedade de flor roxa para Chl b.

Quanto aos teores totais de clorofilas (Chl total), as variedades de jambu demonstraram efeitos diferentes. A dose estimada ótima para variedade de jambu de flor roxa foi de 2,5 mg L⁻¹, para uma produção máxima de 7,0 mg g⁻¹. A variedade amarela apresentou comportamento linear. Ocorreu interação de doses de Se e as variedades de jambu, sendo possível afirmar que as doses estimularam o padrão encontrado da produção de moléculas de clorofila. Ocorreu

diferença significativa também para as doses de Se. O Se estimulou na variedade roxa resposta quadrática positiva.

Figura 2.4 - Teor de clorofila a (Chl a) (a), massa seca da inflorescência (b), massa fresca da parte aérea (c) massa seca da parte aérea (d) massa fresca da raiz (e), massa seca da raiz (f), plantas de jambu em função do incremento de doses de selênio na solução nutritiva. * significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t. Belém, Pará, 2022.



Fonte: Autora, 2023.

2.3.5 Trocas gasosas

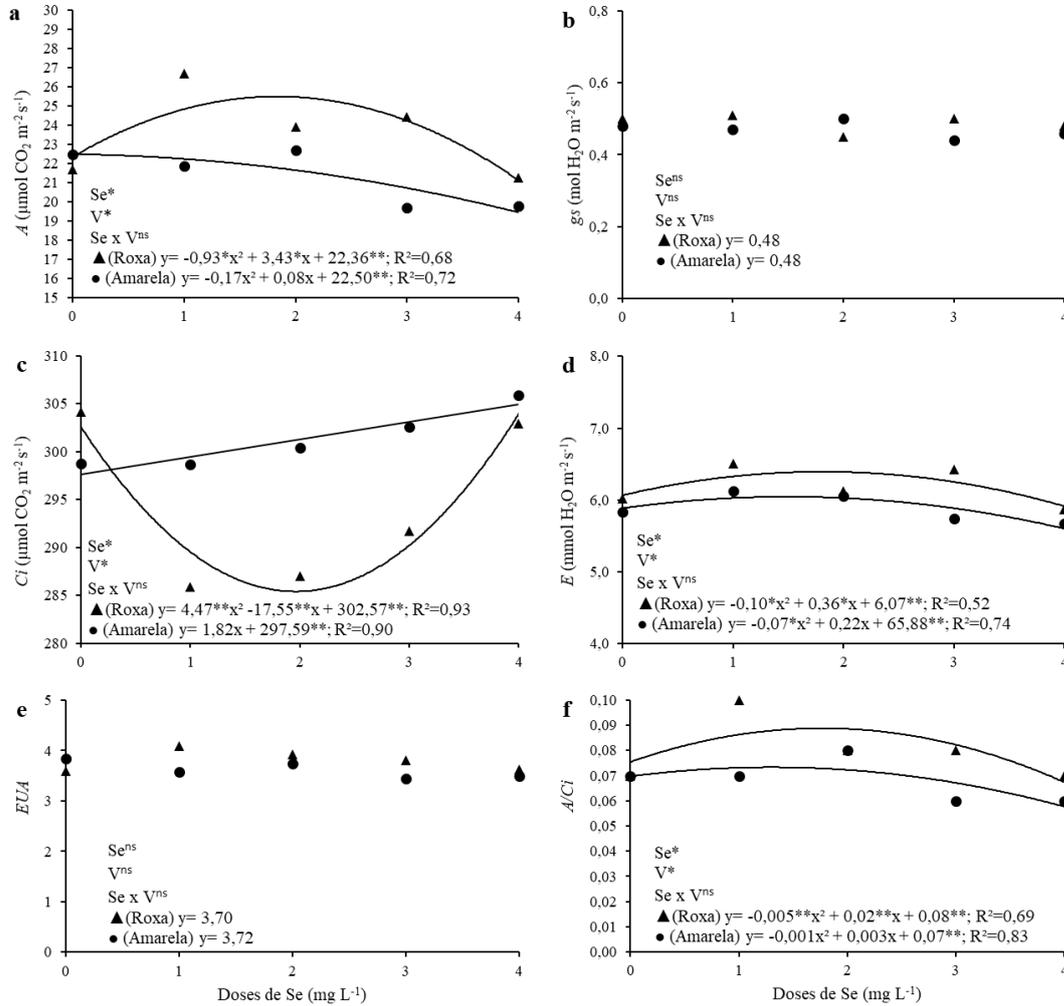
A fotossíntese líquida (*A*) (Figura 2.5 a) não apresentou interação entre as doses de Se e a variedades de jambu. Ocorreu diferença significativa entre as variedades, observando-se respostas quadrática positiva das variedades. Além disso, a variedade amarela apresentou maior percentual de *A* nas plantas controle, e variedade de jambu roxa na dosagem de 2 mg L^{-1} , a dose ótima para variedade roxa foi de $1,8 \text{ mg L}^{-1}$, enquanto que a dose ótima para variedade amarela foi de $0,2 \text{ mg L}^{-1}$. Ocorreu diferença significativa entre as doses de Se, sendo que entre as dosagens testadas a de melhor desempenho foi para variedade roxa de jambu foi de 2 mg L^{-1} , e para variedade de flor amarela foi o controle. O parâmetro de condutância estomática (*gs*) (Figura 2.5.B) não apresentou diferença significativa entres doses como fator isolado, entre variedades como fator isolado e para interação de doses de Se e variedades de jambu. Além disso, *gs* das variedades não se ajustaram a equação polinomial.

Para a concentração subestomática de CO_2 (*C_i*) (Figura 2.5.C), ocorreu diferença significativa entre as doses como fator isolado e entre as variedades como fator isolado, sendo que a variedade amarela apresentou comportamento linear, tendo como melhor desempenho a dose testada de Se 4 mg L^{-1} , já a variedade de flor roxa apresentou resposta quadrática negativa, sendo que seu melhor desempenho foram nas plantas controle e as submetidas as variedades de jambu.

A transpiração (*E*) (figura 2.5.D) não demonstrou interação significativa entre as doses de Se e as variedades de jambu. Ocorreu diferença significativa entres as variedades, sendo que a variedade de flor apresentou maior taxa de transpiração em relação a amarela. A dose de Se ótima para variedade roxa foi de $1,8 \text{ mg L}^{-1}$, enquanto que para a variedade amarela foi de $0,1 \text{ mg L}^{-1}$. Ocorreu diferença significativa para fator isolado de doses também. As variedades apresentaram comportamento quadrático positivo para *E*

A eficiência do uso da água (*EUA*) (figura 2.5. E) não apresentou diferença significativa para interação de doses de Se e variedades de jambu, nem para ocorreu diferença significativa entre as variedade jambu de flor roxa e flor amarela, bem como também as doses de Se como fator isolado não apresentaram diferença significativa.

Figura 2.5 - Fotossíntese líquida (A) (a), condutância estomática (gs) (b), concentração subestomática de CO₂ (Ci) (c), transpiração (d) (E), eficiência do uso da água (e) (EUA), eficiência de carboxilação instantânea (f) (A/Ci), plantas de jambu em função do incremento de doses de selênio na solução nutritiva. * significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t. Belém, Pará, 202.



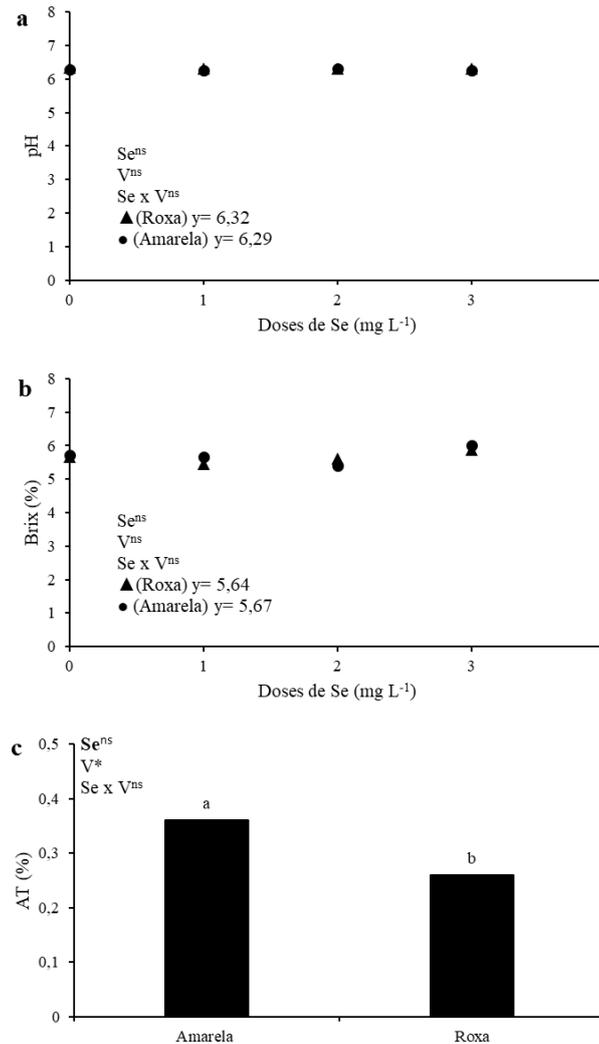
Fonte: Autor, 2023.

A eficiência de carboxilação instantânea (A/C_i) (figura 2.5.F) não apresentou interação significativa para as doses de Se e as variedades de jambu. No entanto, ocorreu diferença significativa para as variedades, sendo que a variedade roxa apresentou melhor desempenho para A/C_i do que a variedade amarela. A variedade roxa obteve como dose ótima 2 mg L^{-1} , e a amarela $1,5 \text{ mg L}^{-1}$. Ocorreu diferença significativa entre as doses de Se testadas. As variedades apresentaram modelo quadrático positivo.

2.3.6 Pós-colheita

Para o pH (figura 2.6.a) não ocorreu diferença significativa para os fatores de doses testadas de Se, entre variedades e entre interação de doses de Se e as variedades de flor roxa e flor amarela de jambu.

Figura 2.1 - pH (a), grau brix % (b), acidez titulavel (AT) (c), plantas de jambu em função do incremento de doses de selênio na solução nutritiva. * significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t.



Fonte: Autor, 2023.

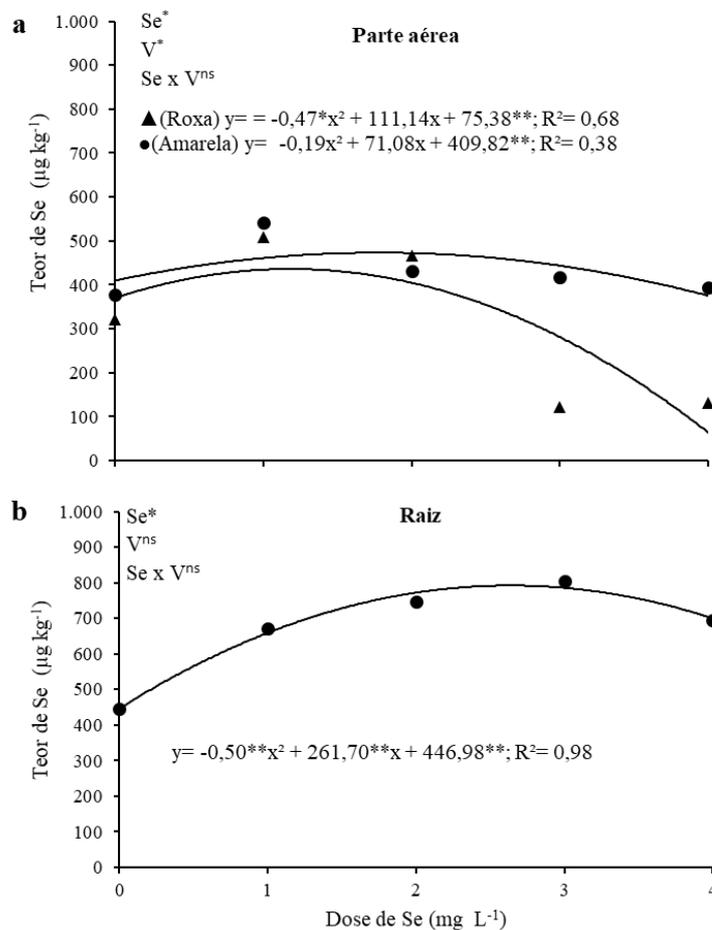
O grau brix (figura 2.6.b) não apresentou diferença significativa entre doses testadas, entre variedades de jambu e para interação de doses de Se e variedades de jambu.

A acidez titulável (AT) (figura 2.6.c) não apresentou significância para interação de doses de Se e variedades de jambu, bem como não apresentou também para doses como fator isolado. Ocorreu diferença entre as variedades de jambu, sendo que as plantas de jambu de flor amarela apresentaram maior acidez que as plantas de flor roxa.

2.3.7 Teor de Selênio

Os teores de Se na parte aérea (figura 2.7.a) das variedades jambu apresentaram diferentes respostas de doses como fator isolado, as variedades apresentaram diferentes teores em função das doses, sendo que a variedade de jambu de flor roxa obteve maior concentração na dose de 1mg L⁻¹ e a variedade amarela na dose de 2mg L⁻¹. Não foi apontado interação das doses de Se com as variedades. Os teores de Se das variedades demonstraram se ajusta ao modelo quadrático positivo.

Figura 2 7 - Teores de Se na parte aérea (a), teores de Se nas raízes (b), plantas de jambu em função do incremento de doses de selênio na solução nutritiva. * significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t. Belém, Pará, 2023.



Fonte: Autora, 2023.

2.4 Discussão

O Se estimulou em algumas variáveis melhores desempenhos, e, além disso, diferentes respostas entre as variedades. A variedade de jambu de flor roxa demonstrou maior acúmulo de Se na parte aérea nas doses de 1 mg L^{-1} , bem como, apresentou maior produção de massa fresca e massa seca comparadas as plantas controle nesta dose também. Lara *et al.* (2019), estudando aplicação foliar de Se em trigo, atestaram a ocorrência de aumento da biomassa na parte aérea e raízes das plantas submetidas a aplicação de Se comparadas com as plantas controle nas doses de 12 e 21 g ha^{-1} de Se, comprovando assim, que o incremento de Se beneficiou a cultura. Almeida (2010), trabalhando com cultivares de alface com doses de Se, observou que a cultivar Veneranda em função da dose de Se ($10 \text{ } \mu\text{mol L}^{-1}$) apresentou aumento da MSPA e MSR. Além disso, analisando os teores de Se nas raízes do jambu, é possível sugerir que nesta pesquisa as plantas de flor roxa submetidas a dose de 1 mg L^{-1} translocaram mais Se, e que ainda, apresentaram aumento da taxa de A, tal como apresentaram também aumento no teor de Chl a, Chl b e Chl total, e maior AF, o que sugere que o incremento de Se em pequenas quantidades favoreceu os parâmetros fisiológicos dessa variedade, aumentando assim as produções de biomassa, bem como os parâmetros de crescimento. Além disso, Saffaryazdi *et al.* (2012) mostram que a exposição de plantas de espinafre à menor concentração de Se (1 mg L^{-1}) induziu um aumento significativo nos teores de clorofila a, clorofila b e clorofila total. Lara *et al.* (2019) afirmam que já existem pesquisas que comprovam que o Se em concentrações adequadas pode apresentar efeito benéfico, aumentando a produtividade das plantas. De acordo com Dutra (2017), plantas submetidas a pequenas doses de Se geralmente tem o maior crescimento relacionado com aumento da atividade fotossintética, padrão este encontrado para a variedade roxa. De acordo com Oliveira *et al.* (2018), apesar do Se ser considerado como elemento benéfico, estudos têm mostrado que, em baixas concentrações, o Se auxilia no crescimento e a tolerância ao estresse, por auxiliar no aumento da capacidade antioxidante das plantas por meio da ativação das enzimas superóxido dismutase, catalase, glutathione peroxidase, diminuindo as espécies reativas de oxigênio e a peroxidação lipídica.

O jambu geralmente é consumido como pequenos acompanhamentos em comidas típicas ou em saladas, levando em consideração também que seja consumido em torno de 100g, a dose de 1 mg L^{-1} melhor atendeu os parâmetros fisiológicos, de crescimento e produção da variedade roxa, além disso, se manteve dentro do recomendação de consumo diário para pessoas a parti de 10 anos, apresentando teor de 40 mg (Kipp *et al.*, 2015). É válido ressaltar, que nesta pesquisa não foram encontradas doses que estejam dentro do recomendação para idade 0 a 9 anos,

onde as plantas de jambu da variedade de flor roxa apresentassem bons parâmetros agronômicos.

Diferente da variedade de jambu de flor roxa, a variedade de jambu de flor amarela apresentou maior acúmulo de Se na parte aérea na dose de 2 mg L^{-1} , as plantas da variedade amarela submetidas a essa dose apresentaram maiores produções de massa fresca e massa seca, além de aumento dos teores de Chl a, Chl b e Chl total. Apesar disso, a variedade amarela apresentou decaimento de *A* e aumento de *Ci*, isto sugere que as plantas independentes da quantidade de incremento de Se na solução nutritiva apresentaram possíveis evidências de toxidez. Com isso, para consumo de porção de diária em torno de 100 g, a dose fica em torno de 45 mg, valor dentro da recomendação de consumo para pessoas com idade a partir de 10 anos (Kipp et al., 2015).

De acordo com Almeida (2010), algumas pesquisas mostram que o Se exerce efeito benéfico nos vegetais, levando ao aumento de atividades antioxidantes nas plantas, e melhorando assim o desempenho na produção dos vegetais.

É notável que em vários parâmetros analisados, como massa fresca, massa seca, *D*, *AF*, Chl a, Chl b, Chl total, *A*, *E*, *AT*, a variedade roxa apresentou melhores respostas em função das doses de Se comparado com a variedade de flor amarela. Essa tendência das duas variedade sugere que nas condições deste experimento o material genético da variedade roxa apresentou superioridade em relação da variedade amarela, e, que a variedade amarela demonstrou possíveis evidências de não tolerar as doses de Se adicionadas a solução neste ensaio experimental, como por exemplo o decaimento linear de *A*, além do decaimento de *AF* observado nas plantas submetidas a 2 mg L^{-1} de Se. De acordo com Djanaguiraman *et al.* (2010), aparentemente, as alterações que o Se exerce no crescimento das plantas está ligado as atividades fotossintéticas. No trabalho de Dutra (2017) foram avaliados parâmetros de plantas de couve-flor em função duas fontes de Se, tendo como fonte o selenato, mesma fonte utilizada nesta pesquisa, e apresentou incremento para os teores de Chl A, bem como para massa seca, no período de 75 dias na concentração de $37 \mu\text{mol L}^{-1}$.

É relevante mencionar que a variedade roxa apresentou menor *AT* que a variedade amarela. A *AT* e o pH das hortaliças estão relacionados com a qualidade dos alimentos, visto que estão ligados ao seu sabor e aroma, que são muito importantes para a aceitação do consumidor (Oliveira et al., 2018).

2.5 Conclusão

Ocorre a biofortificação agronômica das variedades de jambu com o uso do selênio. A variedade roxa apresenta melhor desempenho que a variedade amarela na maioria dos parâmetros analisados, como massa fresca, massa seca, D, AF, Chl a, Chl b, Chl total, A, E, AT.

A variedade roxa apresenta acúmulo de Se na dose de 1 mg L^{-1} , sendo nesta dose observada os efeitos benéficos do Se em aspectos de crescimentos, produtivos e fisiológicos.

A variedade amarela apresenta acúmulo de Se e efeitos benéficos nos parâmetros de crescimento, produtividade e alguns parâmetros fisiológicos na dose de 2 mg L^{-1} , excetuando A e AF.

REFERÊNCIAS

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 1020 p., 2008.

AHMAD, N. et al. Efeitos da suplementação de nanopartículas de Se no desempenho de crescimento, parâmetros hematológicos e digestibilidade de nutrientes da dieta baseada em farinha de girassol alimentada com alevinos de *Labeo rohita*. **Brazilian Journal of Biology**, v. 84, 2022.

ALMEIDA, H. J. **Selenato e selenito na produção, nutrição mineral e biofortificação de cultivares de alface**. 2010. 65 f. Dissertação (mestrado) – Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo. Universidade Federal de Lavras. Lavras, Minas Gerais. 2010.

CARBO, J. Z. F. **Biofortificação do Feijão e do Milho com Selênio**. 2014. 65 f. Dissertação (mestrado) – Curso de Pós-Graduação em Agricultura Tropical e Subtropical. Instituto Agrônomo, Campinas, São Paulo. 2014.

CARTES, P. et al. O selênio melhora a capacidade antioxidante contra o estresse oxidativo induzido pelo alumínio em raízes de azevém. **Annals of Applied Biology**, v. 156, n. 2, pág. 297-307, 2010.

CETESB: Ficha de Informação Toxicológica: Selênio. [CETESB], [2018], disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/laboratorios/wp-content/uploads/sites/24/2021/05/Sele%CC%82nio.pdf>. Acesso em: 01 jan. 2022.

CORRÊA, Nadia Alinne Fernandes; DA SILVA, Hilton Pereira. Comida de quilombo e a desnutrição infantil na Amazônia Paraense: uma análise com base no mapeamento da Insegurança Alimentar e Nutricional. **Segurança Alimentar e Nutricional**, v. 29, p. e022020-e022020, 2022.

COSTA, A. Nutrição mineral em plantas vasculares. **Universidade de Évora**, 2014, p.41.

CRUZ, J. B. F.; SOARES, H. F. Uma revisão sobre o zinco. **Ensaio e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde**, v. 15, n. 1, p. 207-222, 2011.

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 SOUZA, H. A. et al. Avaliação da interação de nutrientes na aplicação de zinco em sementes de arroz. **Bioscience Journal**, p. 33-39, 2010.

DE SOUZA, M. L. S. et al. Perfil populacional e conhecimento acerca da fome oculta e biofortificação de alimentos. **Congresso Internacional de Agroindústria**. 2020. Disponível em: <https://ciagro.institutoidv.org/ciagro/uploads/1809.pdf>. Acesso em: 20 agosto 2022.

DJANAGUIRAMAN, M. et al. Selênio – um protetor antioxidante em soja durante a senescência. **Plant and Soil**, v. 272, n. 1, pág. 77-86, 2005.

DJANAGUIRAMAN, M. et al.- Selenium protects sorghum leaves from oxidative damage under high temperature stress by enhancing antioxidant defense system. **Plant Physiology Biochemistry** 48: 999–1007, 2010.

DOS REIS, A. R et al. Biofortificação agronômica com selênio no Brasil como estratégia para aumentar a qualidade dos produtos agrícolas. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v. 8, n. 2, pág. 128-138, 2014.

DUTRA, A. F. **Selênio no desempenho fisiológico e biofortificação agronômica da couve-flor**. 2017. 98 f. Tese (doutorado) – Programa de Pós-graduação em Agronomia (Ciências do Solo). Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias. Jaboticabal, 2017.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. Londrina. Ed. Planta. 2. Ed. 2006. p, 403.

FAQUIN, V. **Nutrição Mineral de Plantas**. 2005. 186 f. Monografia (especialização) – Programa de Pós-graduação “Latu Senso” a Distância: Solos e Meio. Universidade Federal de Lavras. Lavras, Minas Gerais. 2005.

FARIA, L. A.; KARP, F. H. Selênio: um elemento essencial ao homem e aos animais e benéfico as plantas. **Informações International Plant Nutrition Institute-Brasil (IPNI), informações agronômicas**, n. 149, 2015.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 160, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

FERREIRA, R. L. C. **Biofortificação e toxicidade de selênio na cultura da alface em solução nutritiva**. 2016, 37F. **Dissertação (Mestrado em Agronomia)** - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista. Jaboticabal, São Paulo, 2016.

FIGLIUZZI, R.; COSTA, N.; BRIGIDE, P. Valor nutricional de combinações de alimentos biofortificados. **Anais da Semana de Biologia da UFES de Vitória**, v. 1, p. 36-36, 2020.

HOAGLAND, D. R.; ARNON, D. I. The Water-culture Method for Growing Plants Without Soil. **Circular. California Agricultural Experiment Station**, v. 347, n. 2, p. 32, 1950.

INOCENCIO, M. F. **Frações de zinco no solo e biofortificação agronômica com selênio, ferro e zinco em soja e trigo**. 2014, 89f. Tese (Doutorado em ciências do solo) – Programa de Pós-Graduação em Ciências do Solo, Universidade Federal de Lavras. Lavras, Minas Gerais. 2014.

KACHINSKI, W. D.; VIDIGAL, J. C. B.; ÁVILA, F. W. Zinco no solo, na planta e saúde humana: uma revisão. **Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento**, v. 9, n. 7, pág. e827973544-e827973544, 2020.

KIPP, A.P., STROHM, D., BRIGELIUS-FLOHÉ, R., SCHOMBURG, L., BECHTHOLD, A., LESCHIK-BONNET, E., HESEKER, H., 2015. Revised reference values for selenium intake.

J. Trace Elem. Med. Biol. 32, 2015. 195–199 p. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2015.07.005>. Acesso em: 02 de jan de 2023.

LICHTHENTHALER, H. K. (1987). Chlorophyll and carotenoids-pigments of photosynthetic biomembranes, In: Colowick, SP., Kaplan, NO (ed): *Methods in Enzymology*, 148. [https://doi.org/10.1016/0076-6879\(87\)48036-1](https://doi.org/10.1016/0076-6879(87)48036-1)

LARA, T. S. et al. Selenium biofortification of wheat grains via foliar application and its effect on plant metabolism. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 81, p. 10-18, 2019.

LOUREIRO, M. P, et al. Biofortificação de alimentos: problema ou solução. **Segurança Alimentar e Nutricional**, v. 25, n. 2, p. 66-84, 2018.

NUTTI, M. **Alimentos biofortificados**: uma área com aplicação inovadoras e promissoras. 2016.

OLIVEIRA, V. C. et al. Agronomic biofortification of carrot with selenium. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 42, p. 138-147, 2018.

MACHADO, C. B. et al. A Genética e a Construção de Novos Paradigmas Nas Ciências da Vida. **Atena Editora**, p. 14-21, 2021.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo, Agronômica Ceres, 2006. 638p.

MAPELLI, R. F. Zinco—características e aplicações como elemento no desenvolvimento de tecnologia. **Revista Tecnologia e Tendências**, v. 9, n. 1, p. 86-98, 2014.

MARTINEZ, R. A. S. **Biofortificação agrônômica da soja com selênio**. 2013, 114 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Programa de Pós-graduação em Agronomia. Universidade Federal de Lavras. Lavras, Minas Gerais. 2013.

MORAES, C. C. **Biofortificação Agrônômica com Zinco em Alface**. 2020, 89f. Tese (Doutorado em Agricultura Tropical e Subtropical) – Programa de Pós-Graduação em Agricultura Tropical e Subtropical, Universidade Federal de Lavras. Campinas, São Paulo. 2020.

NOBREGA, P. T. **Selênio e a importância para o organismo humano - benefícios e controvérsias**. 2015, 70f. Dissertação (Mestrado em Ciências Farmacêutica) – Programa de Pós-Graduação em Ciências Farmacêutica, Universidade Fernando Pessoa. Porto. 2015.

OLIVEIRA, E. S. DE. et al. Uptake, distribution and biofortification of selenium in *Acmella Oleracea* (L.) R. K. Jansen. **International Journal of Advanced Engineering Research and Science (IJAERS)**. v. 9, p. 182-193, 2022.

PEREIRA, M. N. Z. **Influência do pH e da adição de zinco na massa seca de milho e na Composição química de dois solos ácidos**. 2005, 76f. Dissertação (Mestrado em ciências do solo) - Centro de Ciências Agroveterinárias, Universidade do Estado de Santa Catarina. Lages, Santa Catarina. 2005.

PERSON, O. C.; DOS SANTOS BOTTI, A.; FÉRES, M. C. L. C. Repercussões clínicas da deficiência de zinco em humanos. **Arquivos Médicos do ABC**, v. 31, n. 1, 2006.

PILON-SMITS, E. A. H; QUINN, C. F. Selenium metabolism in plants. In: **Cell biology of metals and nutrients**. Springer, Berlin, Heidelberg, 2010. p. 225-241.

RAMOS, S. J. et al. Selenato e selenito na produção, nutrição mineral e biofortificação com selênio em cultivares de alface. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 1347-1355, 2011.

RODRIGUES, G. A.; COSCIONE, A. R.; CARBONEL, S. A. M.; CHIAROTO, A. F.; BERTON, R. S. Biofortificação da cultura do feijão com selênio. In: 8º Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica – CIIC 2014 – Campinas, São Paulo, 2014.

SAMPAIO, I. M. G. et al. Desempenho produtivo e fisiológico de genótipos de jambu cultivados em hidroponia. **Horticultura Brasileira**, v. 40, p. 190-196, 2022.

SANTOS, V. S.; ALMEIDA, M. J. O. Biofortificação Mandioca BRS Jari. Brasília, DF. Embrapa, 30 p. 2014.

SAFFARYAZDI, A; LAHOUTI, M; GANJEALI, A; BAYAT, H. Impact of Selenium Supplementation on Growth and Selenium Accumulation of Spinach (*Spinacia oleracea*L.) Plants. **Notulae Scientia Biologicae**. 2012, 4(4):95-100.

SILVA, M. L. S.; TREVIZAM, A. R. Interações iônicas e seus efeitos na nutrição das plantas. **Informações agrônomicas**, v. 149, n. 1, p. 10-16, 2015.

SOUSA, F. L. Desempenho agrônomico do jambu (*Acmella oleracea*) utilizando adubação orgânica. **Australian Journal of Crop Science**, v. 12, n. 1, pág. 151-156, 2018.

SZEREMENT, J. et al. Biofortificação agrônômica com Se, Zn e Fe: uma estratégia eficaz para melhorar a qualidade nutricional das culturas e a defesa contra o estresse - uma revisão. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, p. 1-31, 2021.

TAIZ, L. et al. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. Artmed Editora, 2017.

TERRY, N. et al. Selênio em plantas superiores. **Revisão anual de biologia vegetal**, v. 51, n. 1, pág. 401-432, 2000.

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

3 BIOFORTIFICAÇÃO DE VARIEDADES DE JAMBU (*Acmella oleracea*) SUBMETIDAS A DOSES DE ZINCO EM SISTEMA DE CULTIVO HIDROPÔNICO

Resumo

A fome oculta é um problema presente no cotidiano de muitas pessoas. Devido isto, buscado sanar essa problemática, algumas estratégias tem sido desenvolvidas, como exemplo a biofortificação agronômica, que consiste na introdução de nutrientes essenciais aos seres humanos por meio da nutrição de plantas. Existem estudos que indicam que é insuficiente o consumo de Zn por muitas pessoas da Amazonia. O jambu, sendo uma hortaliça amplamente consumida no Norte brasileiro, pode apresentar potencial para biofortificação com Zn. Assim, neste trabalho teve-se como objetivo avaliar os efeitos das suplementações com no crescimento, fisiologia, desenvolvimento e acúmulo em duas variedades de jambu (flor roxa e amarela). O experimentais foi conduzido em casa de vegetação, no delineamento de blocos casualizados com cinco repetições. O experimento consistiu em um arranjo fatorial 6 x 2, sendo cinco doses de Se (0,3; 1,0; 2,0; 3,0; 4,0 e 5,0 mg L⁻¹) e duas variedades de jambu (flor roxa e amarela). Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância, e quando significativos, prosseguiu para a análise de regressão. Com isso, o incremento na Solução nutritiva de Zn na concentração de 1 mg L⁻¹ gerou aumento tanto o acúmulo de Zn, quanto aumento da biomassa da parte comestível da planta, sendo possível afirmar que ambas a variedades foram biofortificadas.

Palavras-chave: Fome oculta, biofortificação, hidroponia, hortaliças, suplementação, zinco.

Abstract

Hidden hunger is a problem present in the daily lives of many people. Because of this, in order to solve this problem, some strategies have been developed, such as agronomic biofortification, which consists of introducing essential nutrients to humans through plant nutrition. There are studies that indicate that the consumption of Zn by many people in the Amazon is insufficient. Jambu, being a widely consumed vegetable in northern Brazil, may have potential for biofortification with Zn. Thus, the objective of this work was to evaluate the effects of supplementation with on growth, physiology, development and accumulation in two varieties of jambu (purple and yellow flower). The experiments were carried out in a greenhouse, in a randomized block design with five replications. The experiment consisted of a 6 x 2 factorial arrangement, with five doses of Se (0.3; 1.0; 2.0; 3.0; 4.0 and 5.0 mg L⁻¹) and two varieties of jambu (purple and yellow flower). The results obtained were submitted to analysis of variance, and when significant, proceeded to regression analysis. Thus, the increase in the Zn nutrient solution at a concentration of 1 mg L⁻¹ generated an increase in both Zn accumulation and an increase in the biomass of the edible part of the plant, making it possible to state that both varieties were biofortified.

Keywords: Hidden hunger, biofortification, hydroponics, vegetables, supplementation, zinc.

3.1 Introdução

A fome oculta gera desnutrição em milhares de pessoas em todo mundo. O consumo de alguns minerais é essencial para o funcionamento do organismo do ser humano. Mais de dois bilhões de pessoas são afetadas por deficiências de micronutrientes, ou "fome oculta", devido a suplementação de vitaminas ou minerais ser inadequada (OMS, 2014).

Pensando nisso, muitas pesquisas têm sido desenvolvidas com intuito de fortificar agroalimentos para minimizar a problemática da desnutrição em muitas populações. A técnica de biofortificação agrônômica tem por objetivo elevar os níveis de vitaminas e minerais em partes comestíveis de plantas, e tem se mostrado promissora (NASCIMENTO, 2018; SZEREMENT et al. 2021).

De acordo com Pedraza e Sales (2015), acredita-se que no Brasil cerca de 16,2% de crianças apresentam deficiência de zinco devido ao baixo consumo. Além de apresentar importante papel para o desenvolvimento dos vegetais, o Zn também atua em importantes funções na homeostase do organismo humano. Conforme Mafra e Cozzolino (2004), as principais funções no organismo humano estão atribuídas a ser um componente estrutural e/ou funcional de várias metaloenzimas e metaloproteínas, além disso o Zn participa de reações do metabolismo celular, além de processos fisiológicos, como por exemplo a função imune, defesa antioxidante, crescimento e desenvolvimento. Segundo Salles et al. (2013), existem diversos fatores relacionados aos hábitos alimentares que têm por consequência a deficiência de Zn no organismo, como por exemplo: inadequado teor desse mineral na dieta; a desnutrição energética-proteica; presença de agentes na dieta que diminuam sua biodisponibilidade, como as fibras e os fitatos; síndromes de má-absorção; doença hepática crônica; diabetes mellitus; etilismo; nutrição parenteral total sem adição de Zn; drogas quelantes, como a penicilamina; e, ainda, problemas genéticos.

O Zn desempenha importantes funções nas plantas, especialmente como ativador enzimático, sendo requerido para a síntese do triptofano, um precursor da biossíntese do ácido indol acético (AIA), responsável pelo crescimento dos tecidos das plantas (ROMUALDO, 2008). Devido suas funções específicas, é necessário que as plantas tenham o fornecimento adequado deste micronutriente. Em plantas deficientes neste micronutriente, as membranas tornam-se permeáveis, de tal modo que os carboidratos e os aminoácidos são liberados, atraindo patógenos e insetos tanto para as raízes quanto para as brotações (KIRKBY; RÖMHEL, 2007).

A hipótese desta pesquisa é que a nutrição com Zn favorece a biofortificação agrônômica das partes comestíveis das variedades de jambu, crescimento, produção, pós-colheita, nutrição e fisiologia de duas variedades de jambu. Assim, o objetivo foi avaliar o efeito do fornecimento

de Zn biofortificação agrônômica, crescimento, produção, pós-colheita, nutrição e fisiologia de duas variedades de jambu.

3.2 Metodologia

O experimento foi conduzido em casa de vegetação localizada na Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA). Foram utilizadas duas variedades de jambu, de flor roxa e flor amarela para produção de mudas. As sementes de jambu (*Acmella oleracea*) foram coletadas no banco de sementes da UFRA.

Foram utilizadas duas bandejas de polipropileno, de 128 células cada. O substrato foi formado por composto orgânico, cama aviária e terra, o semeio foi em densidade. Após 10 dias da germinação foi realizado desbaste, deixando assim uma planta por célula. O transplântio ocorreu 24 dias após a germinação. O transplântio para o sistema hidropônico tipo DFT (Técnica do Fluxo Profundo) ocorreu 24 dias após a germinação, ficando uma planta por vaso. As plantas foram cultivadas em solução de Hoagland e Arnon (1950) em vasos contendo 1,2 L de solução e foram revestidos por papel alumínio. Na primeira semana, visando a aclimatação das plantas, a solução nutritiva foi aplicada com 50% da força iônica.

os vasos utilizados continham capacidade para 1,5 L de solução, cada vaso comportou 1,2 L de solução e os mesmos foram revestidos de papel alumínio para evitar a incidência de raios solares, minimizando assim, o aquecimento da solução. Para a base das plantas foram utilizados recortes de polipropileno devidamente ajustados ao formato da entrada dos vasos.

A solução foi trocada de 7 em 7 dias, e para melhor mensurar o efeito das doses de Zn nas plantas, logo estas passaram pela primeira semana com solução para aclimatação e 3 semanas com solução com doses de Zn, e na quinta semana elas foram retiradas. As doses utilizadas foram: 0,3 mg L⁻¹ (controle); 1,3 mg L⁻¹ ; 2,3 mg L⁻¹ ; 3,3 mg L⁻¹; 4,3 mg L⁻¹ e 5,3 mg L⁻¹. Assim o ensaio foi conduzido com um total de 60 plantas.

O ensaio foi conduzido durante cinco semanas, e durante este período variáveis como o pH da solução, temperatura da solução e condutividade elétrica foram constantemente verificados. O pH sempre mantido entre 5,5 e 6,5, e a condutividade sempre mantida entre condutividade entre 1100 e 1250 (mS). A água dos vasos perdida por evapotranspiração foi constantemente reposta também.

3.2.1 Análises fisiológicas

Após três aplicações do tratamento, as plantas foram submetidas a análise de trocas gasosas, entre 9 e 11 horas pela manhã. Quando madura, foi escolhida a segunda folha do ramo

da haste principal da planta, ou a seguida desta, caso a segunda apresentasse padrões imaturos. (Sampaio e outros., 2021). Foram avaliados os seguintes parâmetros: Taxa de fotossíntese líquida (A , $\mu\text{mol CO m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), condutância estomática (g_s , $\text{mol HO m}^{-2}\text{s}^{-1}$), concentração substomática de CO_2 (C_i), eficiência de carboxilação instantânea (A/C_i), obtido pela razão entre A e C_i ; transpiração (E), uso eficiente da água (EUA) foram obtidas usando um analisador de gás infravermelho portátil (IRGA, modelo LI6400XT, LICOR®) sob uma concentração externa de CO_2 de $400 \mu\text{mol mol}^{-1}$ de ar e PAR artificial de $1.000 \mu\text{mol de m}^{-2}\text{s}^{-1}$ fótons. Foram avaliados quatro blocos, um total de 48 plantas (SAMPAIO *et al.*, 2022).

3.2.1 Análises morfológicas

3.2.1.1 Análises biométricas

Após a colheita, foram realizadas as seguintes análises biométricas: Altura da haste principal, que para a realização foi utilizada uma régua; diâmetro do coleto, na qual foi utilizado um paquímetro digital; área foliar, através de um medidor de área foliar (LI-3100C, LI-COR, Biosci. Inc., Nebraska, EUA); número de inflorescências.

3.2.1.2 Análises de produção

Para análises de produção as seguintes partes das plantas foram pesadas separadamente em balança de precisão: Folhas; inflorescências; raízes, caules e ramos. As raízes foram lavadas com água destilada e secas com papel toalha. Após as pesagens, as amostras foram armazenadas em sacos de papel devidamente identificados e levados a estufa para secagem em temperatura de 65°C , amostras ficaram 48h até atingirem peso constante. Após sair da estufa, as amostras foram pesadas em balança de precisão para determinação de massa seca das folhas, inflorescência, raízes, caules e ramos.

3.2.2 Análises químicas

Após a secagem e pesagem, as amostras de folhas, inflorescência, raízes, caules e ramos foram moídas. Foram pesadas 0,250 g de material vegetal triturado nos quais foram alocados em tubos de teflon, anotando a ordem amostral, foram adicionados 2 mL de peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e, em seguida, 2 mL de ácido nítrico (HNO_3), após 1h e, foram adicionados 6 mL de água. Os tubos de teflon foram tampados e inseridos na base do micro-ondas, no qual foi selecionado o método de digestão de material vegetal (configurado previamente). Após a digestão o material foi submetido a filtração, com filtros de papel de faixa azul, sob tubos

Falcon (50 mL), e logo após foi acrescentado 40 mL de água destilada, e em seguida armazenados em geladeira.

3.2.3 Análise nutricional

Para a avaliação nutricional foi usado 250 mg do material vegetal, 2 mL de HNO_3 + 2 mL de H_2O_2 + 6 mL de água ultrapura para cada amostra, com digestão em forno de micro-ondas (Corporação CEM, modelo MARS 5®). Todas as análises foram realizadas em triplicatas, utilizando o padrão de referência certificado ERM-CD281 (rye grass) e o reagente branco, ambos colocados nas mesmas baterias das amostras. Os teores dos elementos foram determinados por espectroscopia de emissão atômica de plasma de micro-ondas (Agilent 4200 MP-AES).

3.2.4 Análise de pós-colheita

3.2.4.1 Sólidos solúveis totais

Os sólidos solúveis totais foram determinados por meio de um refratômetro digital com correção automática de temperatura. Realizou-se a maceração de 1 g de folha fresca e foram transferidas 2 gotas do extrato para o prisma do equipamento (ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTRY, 2012) para posterior leitura. Os resultados foram expressos em °Brix (%).

3.2.4.2 pH

Para a determinação do pH das amostras, adicionou-se 1 g de folha fresca macerada em 30 mL de água destilada, após a isto, realizou-se agitação do extrato e posterior leitura da amostra utilizando um peagâmetro de bancada (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008).

3.2.4.3 Acidez Titulável

A acidez titulável – AT, foi determinada de acordo com a metodologia do Instituto Adolfo Lutz (2008), através da titulação do extrato (1 g de folha fresca com água destilada e indicador de fenolftaleína à 1%) com solução de NaOH 0,1 N, com resultados expressos em % de ácido cítrico. A relação SST/AT das amostras foram calculadas pela relação entre estas duas variáveis, para inferir a palatabilidade.

3.2.5 Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância. Para os casos em que a hipótese de nulidade foi rejeitada, procedeu-se a comparação de médias através de análise de regressão, na

qual o eixo das abscissas foi representado pelos níveis de Zn (0,3; 1,0; 2,0; 3,0; 4,0 e 5,0 mg L⁻¹) e o eixo das ordenadas foi expresso pela característica y analisada. Em seguida, os modelos e coeficientes foram testados pelo teste t. Para analisar os dados obtidos no experimento, usamos o Software estatístico Sisvar versão 5.6 (FERREIRA, 2011).

2.2.7 Cálculo de consumo (incluir no sumário)

Para o cálculo de consumo, utilizou-se regra de três simples, o X encontrado corresponde ao teor encontrado para consumo de 100g de jambu:

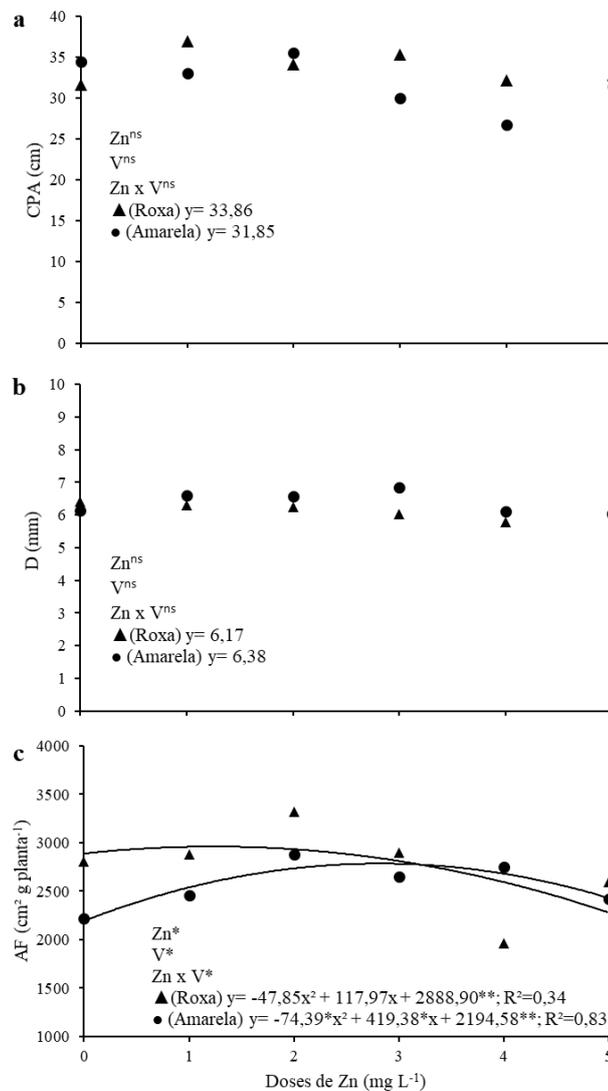
$$\begin{array}{l} 1000\text{g} \quad - \quad \text{Teor de S } 1000\text{g} \\ 100\text{g} \quad \quad - \quad X \end{array}$$

3.3 Resultados

3.3.1 Comprimento da haste principal (CPA), Diâmetro do coleto (D) e Area foliar (AF).

De acordo com a Figura 3.1.a, no parâmetro CPA não ocorreu diferença significativa para nenhum dos aspectos analisados, diferenças entre variedades, doses testadas e o desempenho das variedades pelas doses. Para o diâmetro do coleto, não houve diferença significativa entre as variedades de jambu em função da aplicação de doses de Zn (Figura 3.1.b), bem como entre as variedades flor roxa e de flor amarela.

Figura 3.1 - Altura das plantas de Jambu em relação as doses de Zn (a) * significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t. Belém, Pará, 2023.



Fonte: Autora, 2023.

Já a variável AF (figura 3.1.c) apresentou diferença significativa para as doses Zn, sendo que a variedade de flor roxa demonstrou melhor desempenho na dose de 1 mg L^{-1} , e variedade amarela na dosagem de 3 mg L^{-1} . Ocorreu também diferença significativa entre as variedades de jambu, sendo que de flor roxa apresentou maior desempenho. A dose de Zn ótima para a variedade roxa foi de $1,3 \text{ mg L}^{-1}$, para uma produção de $2961,61 \text{ cm}^2 \text{ g planta}$, enquanto a variedade amarela foi de $2,8 \text{ mg L}^{-1}$ para uma produção de $2785,65 \text{ cm}^2 \text{ g planta}$. A regressão também apontou que as dose de Zn influenciaram o desempenho de AF em ambas as variedades.

3.3.2 Biomassa

Para a massa fresca das inflorescências (MFI) (figura 3.2.a) ocorreu diferença significativa para as doses de Zn, bem como ocorreu significância para influências das doses de Zn para MFI das duas variedades de jambu. A variedade amarela apresentou uma tendência linear, enquanto a variedade flor roxa apresentou tendência quadrática positiva, obtendo dose estimada ótima de $1,4 \text{ mg L}^{-1}$. Para esta variável, não ocorreu diferença significativa entre as variedades de jambu.

Para a variável massa seca da inflorescência (MSI) (figura 3.2.b), ambas as variedades de jambu apresentaram comportamento linear, sendo possível verificar também que não ocorreu diferença significativa da MSI das variedades de flor roxa e flor amarela. Além disso, ocorreu diferença significativa das doses testadas de Zn. O Zn também influenciou a produção de MSI nas variedades de jambu.

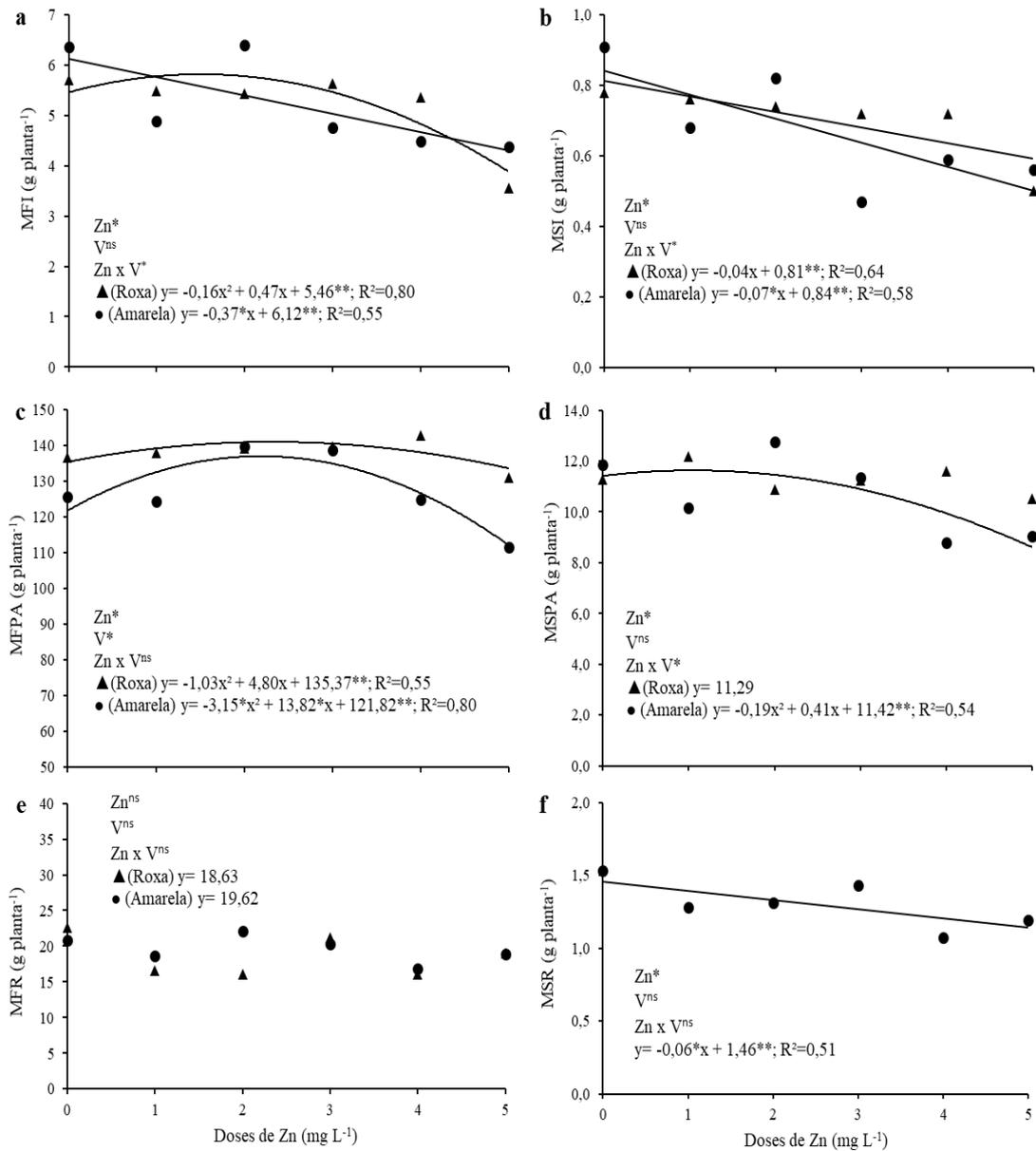
A massa fresca da parte aérea (MFPA) (figura 3.2.c) apresentou resposta significativa para doses de Zn e para diferença de produção das variedades de jambu, no entanto, não apontou interação entre as variedades de jambu e as doses testadas. A dose ótima da variedade roxa foi de $2,3 \text{ mg L}^{-1}$, e da variedade amarela foi de $2,1 \text{ mg L}^{-1}$. Ambas as variedades apresentaram comportamento quadrático positivo.

A massa seca da parte aérea (MSPA) (figura 3.2.d) não apresentou diferença significativa para as variedades de jambu. Nas doses testadas de Zn ocorreu diferença significativa. Ocorreu interação entre as doses de Zn e as variedades de jambu. Ambas as variedades de jambu apresentaram comportamento quadrático positivo.

Os parâmetros massa fresca da raiz (MFR) e massa seca da raiz (MSR) (figura 3.2.e e 3.2.f), não apresentaram interação significativa das variedades de jambu com as doses de Zn, bem como não ocorreu diferença de MFR e MSR entre as variedades. Já as doses testadas como

fator isolado na regressão apresentaram significância para MSR e não apresentou para MFR. MFR não apresentou tendência para modelos e MSR demonstrou comportamento linear.

Figura 3.2 – Massa fresca da inflorescência (a), massa seca da inflorescência (b), massa fresca da parte aérea (c) massa seca da parte aérea (d) massa fresca da raiz (e), massa seca da raiz (f), plantas de jambu em função do incremento de doses de zinco na solução nutritiva. * significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t. Belém, Pará, 2023.



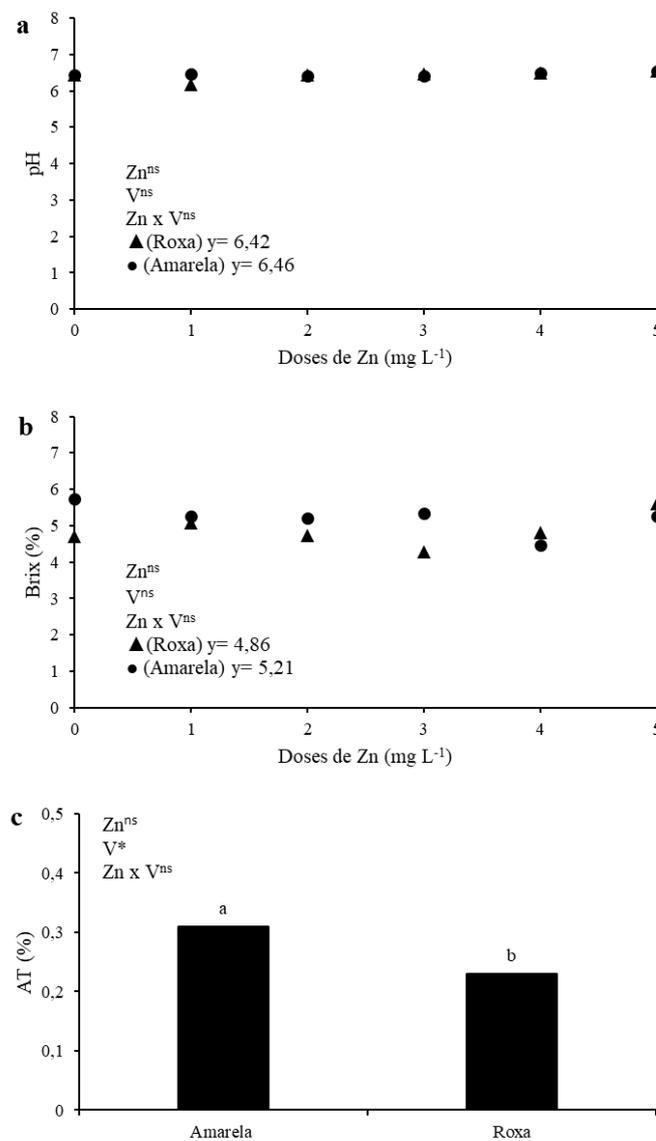
Fonte: Autora, 2023.

3.3.3 Pós-colheita

Para resultados das análises de pós-colheita, o pH e grau brix (figura 3.3.a e 3.3.b) não apresentaram significância para nenhum parâmetro, bem como, não demonstram nenhuma tendência para regressão.

Quanto a acidez titulável (AT) (figura 3.3.c), não ocorreu diferença significativa para doses de Zn como fator isolado e nem para influência das doses Zn nas variedades de jambu para esse parâmetro. No entanto ocorreu diferença significativa entre as doses, sendo que a variedade amarela apresentou maior acidez que a variedade jambu de flor roxa.

Figura 3.3 - pH (a), grau brix % (b), acidez titulável (AT) (c), plantas de jambu em função do incremento de doses de zinco na solução nutritiva. * significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t. Belém, Pará, 2023.



3.3.4 Resultados nutricionais

3.3.4.1 Micronutrientes

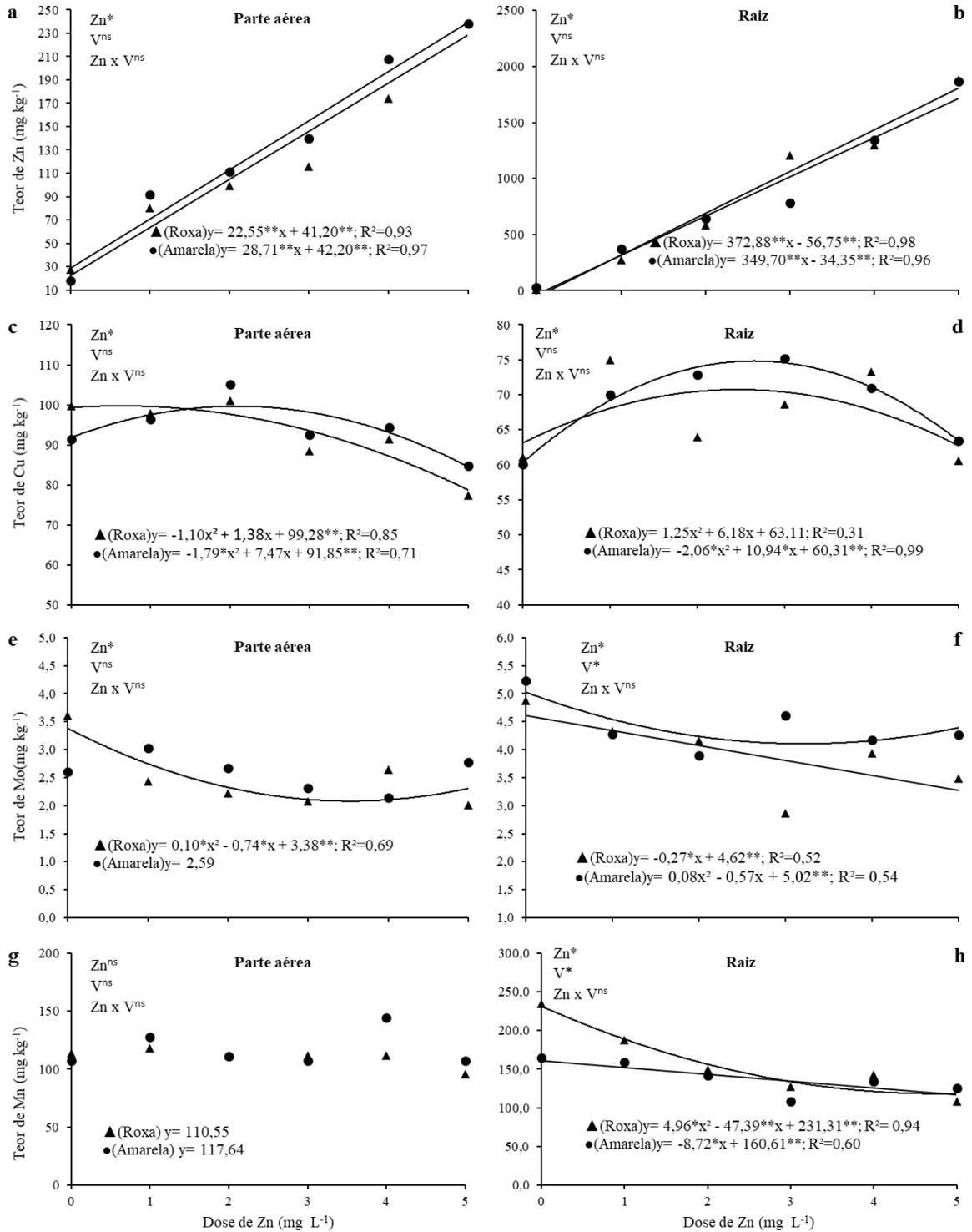
As duas variedades de plantas de jambu, apresentaram comportamento linear (figura 3.4.a e 3.4.b) para as concentrações de Zn em ambas as partes, parte aérea e raiz. As doses testadas e as variedades de jambu não apresentaram significância em suas interações, bem como, as variedades que também não apresentaram grandes diferenças nos teores de Zn nas partes aéreas e nas raízes. Nas doses como fator isolado ocorreu diferença significativa e o maior teor de Zn, tanto na parte aérea, como na raiz foi na dose de 5 mg L^{-1} .

Quanto ao cobre (Cu) (Figura 3.4.c e 3.4.d), não apresentou diferença significativa em as variedades, apresentando teores parecidos em função das doses em ambas as variedades de jambu, tanto na parte aérea e quanto na raiz. É possível afirmar também, que as doses de Zn não demonstraram interação nos teores de Cu das plantas de jambu em ambas as variedades. E as doses de Zn analisadas como fator isolado apresentou diferença significativa. A doses ótima para variedade roxa foi de $0,6 \text{ mg L}^{-1}$, e da variedade amarela foi de 2 mg L^{-1} Cu da parte aérea, e da raiz $2,4 \text{ mg L}^{-1}$ da variedade roxa e $2,6 \text{ mg L}^{-1}$. Tanto na raiz quanto na parte aérea a tendência foi quadrática positiva.

O molibdênio (Mo) (figura 3.4.e) na parte aérea, apresentou diferença significativa entre as doses como fator isolado, sendo a dose controle como de melhor desempenho para as duas variedades. Não ocorreu significância para a influência de Zn nos teores de Mo nas variedades, bem também não ocorreu diferença significativa nos teores de Mo entre as variedades. Na parte aérea as variedades apresentaram comportamento quadrático negativo, com dose ótima $3,7 \text{ mg L}^{-1}$ para ambas as variedades. Já para os teores de Mo na raiz, (figura 3.4.f) a variedade roxa apresentou comportamento linear, enquanto a variedade amarela apresentou quadrático negativo com dose ótima de $3,5 \text{ mg L}^{-1}$.

O manganês (Mn) (figura 3.4.g), não apresentou significância para diferenças de doses, diferença entre variedades e influências das doses de Zn nos teores de Mn nas variedades de jambu, não demonstrando também tendência. Já na raiz (figura 3.4.f), ocorreu diferença significativa entre as doses sendo que o controle demonstrou melhor desempenho, e ocorreu diferença significativa também entre as variedades, não sendo notado significância para influência das doses testadas nas variedades de jambu. A variedade amarela apresentou tendência linear enquanto a variedade roxa apresentou tendência quadrática negativa.

Figura 3.4 - Teor de Zn na parte aérea (a), teor de Zn nas raízes (b), Teor de Cu na parte aérea (c), teor de Cu nas raízes (d), teor de Mo na parte aérea (e), teor de Mo nas raízes (f), teor de Mn na parte aérea (g), teor de Mn nas raízes (h), plantas de jambu em função do incremento de doses de zinco na solução nutritiva. * significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t. Belém, Pará, 2023.



Fonte: Autora, 2023.

3.3.4.2 Macronutrientes

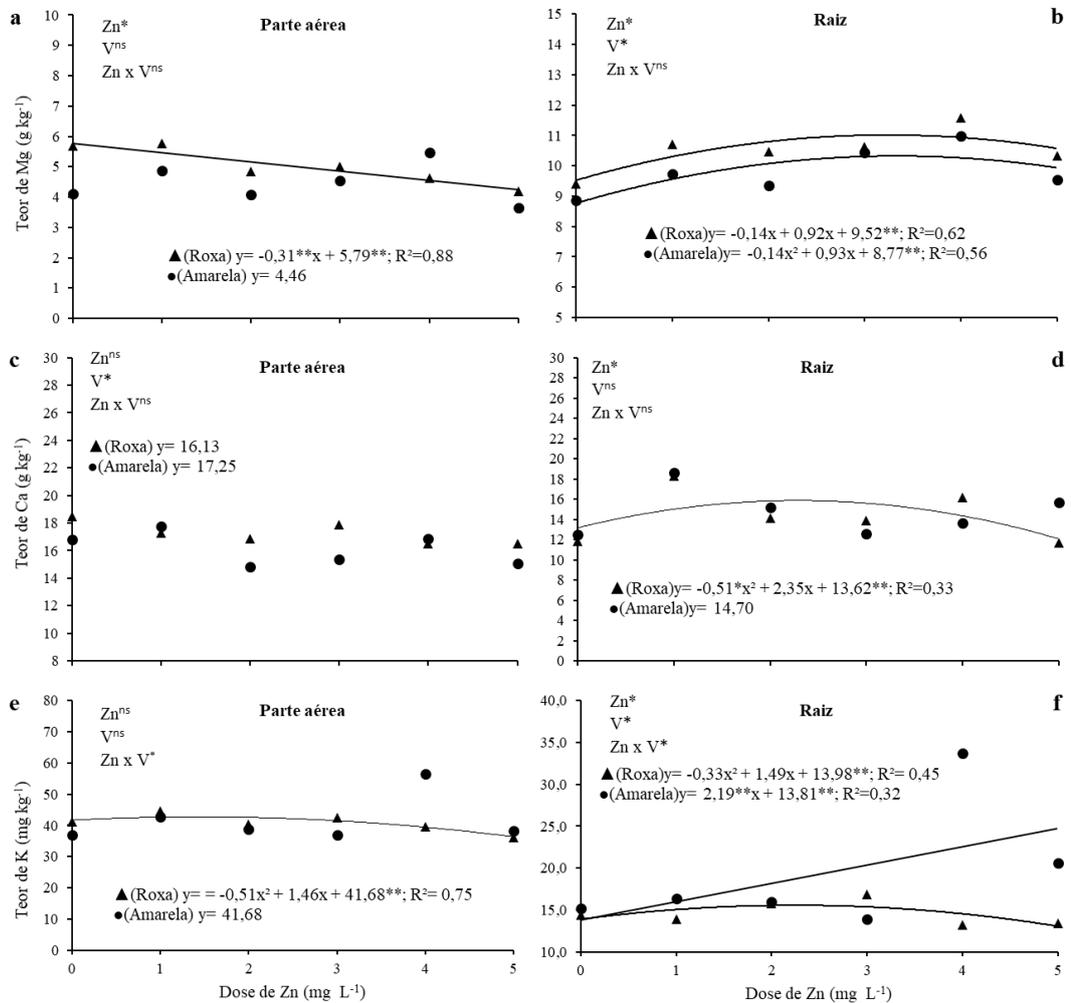
O magnésio (Mg) (figura 3.5.a), na parte aérea demonstrou concentrações similares para ambas as variedades, e também de não apresentar influência das doses de Zn nas variedades para esse fator. As doses de Zn como fator isolado apresentaram diferença significativa, além de comportamento linear para as variedades. Já para a raiz (figura 3.5.b), o magnésio apresentou maiores teores nas doses testadas de 3 mg L⁻¹ em ambas as variedades além de que a variedade roxa obteve maiores concentrações de Mg que a variedade amarela. Ambas as variedades apresentaram modelo quadrático positivo, com dose ótima de 3,2mg L⁻¹ de para variedade de flor de roxa e para variedade amarela de 3,3mg L⁻¹.

Já o cálcio (Ca), na parte aérea, apesar de ter apresentado diferença significativa de teores entre variedades (figura 3.5.c), as doses de Zn não apresentaram diferença significativa em função dos teores de Ca, bem como não ocorreu interação de Zn para as plantas de jambu para esse parâmetro. Nas raízes (figura 3.5.d), a variedade roxa mostrou maior teor de Ca que variedade amarela, bem como a dose testada de 3 mg L⁻¹ demonstrou melhor desempenho que as demais. Zn não apresentou interação com as variedades de jambu. Ambas as variedades apresentaram modelo quadrático positivo com doses estimada ótima de 2,3 mg L⁻¹ para ambas as variedades.

O Zn apresentou interação com as variedades de jambu em função dos teores de potássio (K) (figura 3.5.e), no entanto não ocorreu diferença significativa entre as variedades dessa hortaliça, e nem entre as doses testadas. As variedades apresentaram modelos quadrático positivo, tendo como dose ótima 1,4 mg L⁻¹.

Nas raízes (figura 3.5.f) ocorreu diferença nos teores de K entre as variedades, sendo que a variedade roxa dispôs de maiores valores, além disso, as doses também apresentaram diferença significativa, bem como ocorreu para interação de Zn e as variedades em função dos teores de K. A dose ótima da variedade roxa foi de 2,2 mg L⁻¹, o Zn estimulou comportamento quadrático positivo, e a variedade amarela apresentou comportamento linear.

Figura 3.5 - Teor de Mg na parte aérea (a), teor de Mg nas raízes (b), Teor de Ca na parte aérea (c), teor de Ca nas raízes (d), teor de K na parte aérea (e), teor de K nas raízes (f) plantas de jambu em função do incremento de doses de zinco na solução nutritiva. * significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t. Belém, Pará, 2023.



Fonte: Autora, 2023.

3.3.5 Trocas gasosas

A fotossíntese líquida (A) (figura 3.6.a) apresentou valores similares entre as variedades. Além disso, ocorreu diferença significativa entre as doses, sendo que para variedade roxa a dose ótima foi de 2,4, com comportamento quadrático positivo, enquanto a variedade amarela demonstrou comportamento linear. Não ocorreu efeito de Zn e as variedades de jambu. Para o parâmetro de condutância estomática (g_s) (figura 3.6.b), ocorreu diferença significativa entre as doses e entre as variedades, ambos como fatores isolados. A variedade amarela apresentou maior g_s que a variedade roxa. Além disso, a dimensão das doses não influenciou g_s nas variedades. As variedades apresentaram tendência quadrática positiva.

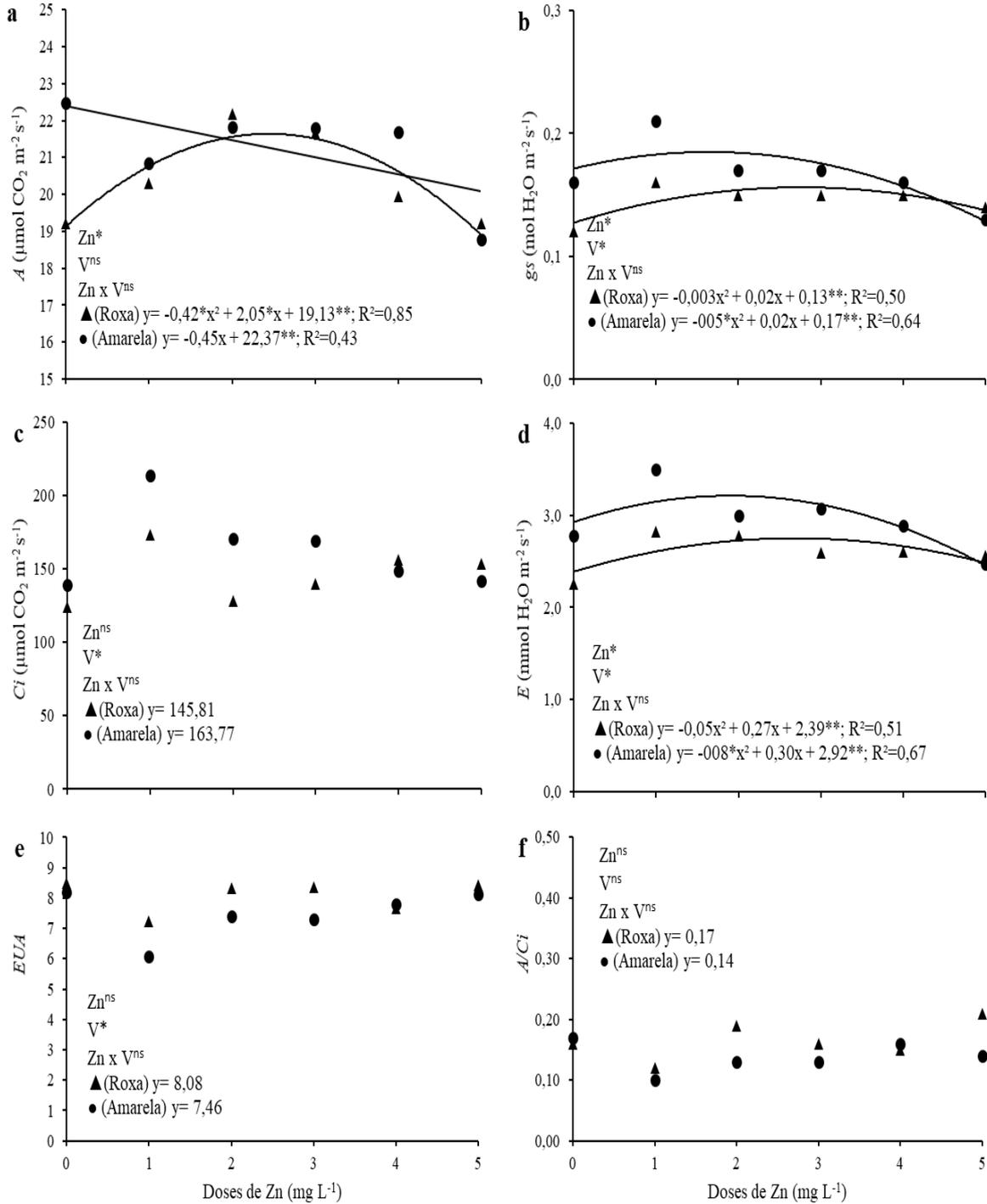
A concentração subestomática de CO_2 (C_i) (figura 3.6.c) não apresentou diferença em função das doses, e nem a interação de Zn com variedades para esse parâmetro. No entanto, as variedades apresentaram taxa de C_i diferentes, além de que não demonstraram nenhum tipo de tendência.

A transpiração (E) (figura 3.6.d) apresentou taxas diferentes em as variedades, sendo que a variedade amarela apresentou maior que a roxa, além disso, ocorreu diferença significativa entre as doses testadas. Não houve interação entre as doses de Zn e as variedades de jambu para E . o comportamento de ambas as variedades foi quadrático positivo.

A eficiência do uso da água (EUA) (figura 3.6.e) não apresentou diferenças em função das doses testadas, bem como, não apontou que os valores obtidos estão diretamente influenciados com as doses adicionadas as soluções nutritivas. Ocorreu diferentes taxas de EUA entre as variedades, sendo que as hortaliças de flor amarela apresentaram melhor desempenho que a de flor roxa. Ambas as variedades não apresentaram tendência.

A eficiência de carboxilação instantânea (A/C_i) (figura 3.6.f) não apresentou diferenças entre doses, entre variedades, e nem interação para Zn e as variedades, além disso não apresentou tendência também.

Figura 3 6 - Fotossíntese líquida (A) (a), condutância estomática (g_s) (b), concentração subestomática de CO_2 (C_i) (c), transpiração (d) (E), eficiência do uso da água (e) (EUA), eficiência de carboxilação instantânea (f) (A/C_i), plantas de jambu em função do incremento de doses de zinco na solução nutritiva. * significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t. Belém, Pará, 2023.



Fonte: Autora, 2023.

3.4 Discussão

O Zn estimulou diferentes respostas em alguns parâmetros avaliados e comparados entre as variedades de jambu, bem como, que para outros parâmetros as tendências dos materiais genéticos foram similares. Na biomassa, excetuando-se MFPA, os demais dados não apresentaram diferenças de produção entre as variedades, sendo possível aferir que os materiais genéticos das duas variedades apresentaram nessas condições do experimento, respostas similares. A produção de massa seca em todas as variáveis diminuiu com o aumento das doses Zn, comportamento encontrado também no trabalho de Graciano *et al.* (2023), que tratou da biofortificação de zinco em cultivares de alface. A MFPA e MSPA, na dose de 1 mg L^{-1} , ambas as variedades de jambu apresentaram melhor desempenho que as plantas controle, essa característica de massa fresca é um dado agrônômico de extrema importância para produtor, pois está relacionado com o beneficiamento das hortaliças. O Zn atua também no crescimento das plantas, pois está ligado a síntese do triptofano, que é precursor do AIA. Além disso, o Zn é imprescindível no metabolismo do DNA e RNA, no arranjo da cromatina e expressão gênica, além de que o Zn é de extrema importância para a biossíntese da clorofila (INOCENCIO, 2014; KACHINSKI; VIDIGAL; ÁVILA, 2020). No trabalho de Lima *et al.* (2015) com cultivares de alface biofortificadas com doses de Zn, não ocorreu interação para massa fresca e seca das folhas e raízes das cultivares de alface com as doses de Zn, sendo o mesmo observado nesta pesquisa. De acordo com Tewuari *et al.* (2008), um dos principais sintomas de toxicidade por Zn está relacionado com a inibição do crescimento. O que ocorreu nas doses de 4 mg L^{-1} e 5 mg L^{-1} em AF em ambas as variedades, e CPA para plantas submetidas as doses de 4 mg L^{-1} , sugerindo assim, que essas maiores doses podem atuar com fator de toxidez nas plantas. Para as hortaliças, além da qualidade nutricional, que o consumidor não tem como avaliar, a aparência externa é de crucial importância para a comercialização e aceitabilidade do produto (FAQUIN, 2005).

O acúmulo de Zn nas partes aéreas e das raízes cresceram com o incremento de Zn nas soluções. As variedades apresentaram modelos similares de acúmulo, sendo possível afirmar, que nas condições deste experimento, demonstraram padrões parecidos de biofortificação. É importante ressaltar, que para a biofortificação, as partes mais importantes do jambu são as folhas e as caules, pois elas são as estruturas comestíveis das plantas. Além disso, o acúmulo de Zn exercido pelas cultivares, por apresentar um padrão linear, está relacionado com os teores presentes na solução nutritiva. De acordo com White e Broadley (2011), afirmam em sua pesquisa que as plantas da família Ateraceae apresentam uma tendência em acumular Zn, tanto na parte aérea, quanto na nas raízes, o que se enquadra nos dados obtidos neste estudo. Como

geralmente o consumo de jambu está atrelado como acompanhamento de comidas típicas, ou, até em saladas também, para um consumo diário de 100 g de jambu, a indicação de dose seria a de 1 mg L^{-1} , pois os teores estariam aproximados de 7 mg, estando dentro do recomendando para crianças a partir de 4 anos e não excedendo para as demais faixas etárias (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2018).

Quanto aos dados nutricionais, não ocorreu interação das doses de Zn quanto aos teores de Cu nas variedades. Alguns autores relatam que existe uma baixa relação de Zn e Cu (REYES, 2017). Lima et al. (2015), na sua pesquisa com couve, quiabo e cenouras em função de doses de Zn (0, 50, 150, 300, 450 e 550 mg kg^{-1} de solo), também não encontraram interação dos teores de Cu das plantas em função das doses de Zn. Nesta pesquisa, os maiores teores de Cu foram encontrados na parte aérea das plantas roxas em função das doses de 3 mg L^{-1} , e variedade amarela nas plantas controle.

Com o incremento das doses de Zn, ocorreu uma diminuição dos teores de Mn em ambas as variedades. Padrão encontrado também no trabalho de Reyes *et al.* (2019) com doses de Zn em rúcula submetidas a aplicação foliar de Zn 0,5; 1 e 1,5 kg ha^{-1} . Bem como, o Mo, que é possível notar que decresceu com o aumento das doses de Zn, tanto na parte como na raiz.

Quanto aos macronutrientes, o Mg apresentou maior teor nas plantas controle na parte aérea, quanto que as plantas que obtiveram a adição de Zn, demonstraram redução nos teores de Mg, já nas raízes, ao inverso da parte aérea das variedades jambu, foi encontrado menores teores de Mg nas plantas controles, e teores crescentes em função das doses acrescidas, com isto, é possível sugerir que as plantas controles apresentaram maior translocação de Mg, que as plantas que tiveram incremento de Zn na solução nutritiva. As concentrações de Ca das variedades de jambu, apesar de não terem se ajustado ao modelo polinomial na parte aérea das variedades jambu, as raízes apresentaram padrão e se obtiveram maior concentração de Ca nas doses testadas de Zn de 2 mg L^{-1} . Além disso, o K foi encontrado em maiores níveis na parte aérea das plantas controle e submetidas a doses 1 mg L^{-1} de Zn em ambas as variedades. Já nas raízes, o K na variedade roxa e na variedade amarela obtiveram menores níveis de K nas plantas controle, sugerindo assim, que essas apresentaram maior translocação de K que as testadas com as demais doses.

Os parâmetros de A, E e gs das variedades de jambu não apontaram padrões relacionados com as doses de Zn, sugerindo assim, que o potencial encontrado dessas variáveis está intrínseco ao material genético das variedades. Reyes *et al.* (2019), obteve resultado similares dessas variáveis ficológicas em seu trabalho com rúcula sobre aplicação foliar com doses de Zn, e ainda, sugeriu que uma possível causa é a compartimentalização de Zn nos tecidos

fotossintetizantes. A doses de Zn obtiveram diferença significativa entre si, analisando isso, é possível notar que a variedade amarela apresentou maiores taxas de fotossíntese nas plantas controle.

Quanto aos dados de pós-colheitas, eles indicaram que a variedade amarela apresentou maior acidez que a variedade roxa, e que sendo assim, a variedade de flor apresenta uma palatabilidade que provavelmente tende a ser mais aceita pelo consumidor. De acordo com Oliveira *et al.* (2018), a acidez titulável das hortaliças estão relacionados com a qualidade dos alimentos, visto que estão ligados à sua palatabilidade, aspectos esses, que são muito importantes para a aceitação do público consumidor

3.5 Conclusão

As duas variedades de jambu apresentam respostas similares em alguns parâmetros para a aplicação de Zn, além disso, o acúmulo na parte aérea Zn foi verificado para ambas as variedades na dose de Zn de 1 mg L^{-1} , pois nesta concentração ocorreu incremento de MFPA, MSPA e AF, aumento nos teores de alguns micros e macronutrientes, além de aumento de A da variedade roxa, padrão não encontrado para variedade amarela. Com isso, o incremento na solução nutritiva de Zn na concentração de 1 mg L^{-1} gera aumento tanto no acúmulo de Zn, quanto aumento na biomassa da parte comestível da planta, sendo possível afirmar que as variedades foram biofortificadas.

REFERÊNCIAS

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTRY. **Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemistry**. Washington: AOAC, 2012.

ARAÚJO, E. O.; DA SILVA, Ma. A. C. Interação boro e zinco no crescimento, desenvolvimento e nutrição do algodoeiro. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 7, p. 720-727, 2012.

GRACIANO, P, D. *et al.* Agronomic biofortification with zinc in curly lettuce cultivars. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**. Recife, v.15, n.4, e8456, 2020.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 160, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

HOAGLAND, D. R.; ARNON, D. I. The Water-culture Method for Growing Plants Without Soil. **Circular. California Agricultural Experiment Station**, v. 347, n. 2, p. 32, 1950.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 1020 p., 2008.

INOCENCIO, M. F. **Frações de zinco no solo e biofortificação agrônômica com selênio, ferro e zinco em soja e trigo**. 2014, 89f. Tese (Doutorado em ciências do solo) – Programa de Pós-Graduação em Ciências do Solo, Universidade Federal de Lavras. Lavras, Minas Gerais. 2014.

KACHINSKI, W. D.; VIDIGAL, J. C. B.; ÁVILA, F. W. Zinco no solo, na planta e saúde humana: uma revisão. **Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento**, v. 9, n. 7, pág. e827973544-e827973544, 2020.

KIRKBY, E. A.; RÖMHELD, V. Micronutrientes na fisiologia de plantas: Micronutrientes na fisiologia de plantas. 2007. **Available in: < Available in: [http://www. ipni.net/publication/ia-brasil](http://www.ipni.net/publication/ia-brasil)**.

LARA, T. S. **Biofortificação Agrônômica com selênio e alterações metabólicas em trigo**. 2016. 119 f. Tese (doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fisiologia Vegetal. Universidade Federal de Lavras. Lavras, Minas Gerais, 2016.

LICHTHENTHALER, H. K. (1987). Chlorophyll and carotenoids-pigments of photosynthetic biomembranes, In: Colowick, SP., Kaplan, NO (ed): **Methods in Enzymology**, **148**. [https://doi.org/10.1016/0076-6879\(87\)48036-1](https://doi.org/10.1016/0076-6879(87)48036-1)

LIMA, Francisco de Souza; NASCIMENTO, Clístenes Williams Araújo; DA SILVA SOUSA, Carla. Adubação com zinco como alternativa para aumentar a concentração de micronutrientes nas partes comestíveis de hortaliças. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias** , v. 10, n. 3, pág. 403-408, 2015.

MAFRA, D.; COZZOLINO, S. M. F. Importância do zinco na nutrição humana. **Revista de Nutrição**, v. 17, p. 79-87, 2004.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo, Agronômica Ceres, 2006. 638p.

MOREIRA, V. O. G. **Aplicações de zinco e boro em milho cultivado em Cambissolo da Chapada do Apodi-CE**. 2017, 64f. Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, Ceará, 2017.

NUTTI, M. **Alimentos biofortificados: uma área com aplicação inovadoras e promissoras**. 2016.

OLIVEIRA, V. C. et al. Agronomic biofortification of carrot with selenium. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 42, p. 138-147, 2018.

REYS, S, M, R. **Aplicação foliar de zinco na biofortificação de rúcula**. 2008, 51f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias. Jaboticabal, São Paulo. 2017.

REYES, S, M, R; CECÍLIO FILHO, A, B; LÓPEZ AGUILAR¹, M, A; SILVA, P, H, S. Foliar application of zinc in the agronomic biofortification of arugula. **Food Science and Technology**. Campinas, 39(4): 1011-1017, Oct.-Dec. 2019.

ROMUALDO, L. M. **Modos de aplicação de zinco no crescimento inicial de plantas de milho e de sorgo em casa de vegetação**. 2008, 68f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias. Jaboticabal, São Paulo. 2008.

SAMPAIO, I. M. G. et al. Desempenho produtivo e fisiológico de genótipos de jambu cultivados em hidroponia. **Horticultura Brasileira**, v. 40, p. 190-196, 2022.

TEWARI, R, K; KUMAR, P, V; SHARMA, P, N. Morphology and physiology of zinc-stressed mulberry plants. **J. Plant Nutr. Soil Sci**. 2008, 171, 286-294.

WHITE, P, J; BROADLEY, M, R. Physiological limits to zinc biofortification of edible crops. **Front. Plant Sci.**, 17 November 2011. Sec. Plant Nutrition, Volume 2 - 2011 | <https://doi.org/10.3389/fpls.2011.00080>

APÊNDICE

Unidades experimentais após o transplântio (Experimento de Se)



Plantas de jambu com 4 semanas (Experimento de Se)



Unidades experimentais após o transplântio (Experimento de Zn)



Plantas de jambu com três semanas (Experimento de Zn)

