



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ – UFOPA  
INSTITUTO DE BIODIVERSIDADE E FLORESTAS - IBEF  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOCÊNCIAS – PPG BIO**

**LUCAS RAPHAEL MOURÃO GONÇALVES**

**BIOFORTIFICAÇÃO AGRONÔMICA DA CEBOLINHA COMO ALTERNATIVA PARA  
COMBATER A DEFICIÊNCIA NUTRICIONAL POR ZINCO**

SANTARÉM - PA  
2024

**LUCAS RAPHAEL MOURÃO GONÇALVES**

**BIOFORTIFICAÇÃO AGRONÔMICA DA CEBOLINHA COMO ALTERNATIVA PARA  
COMBATER A DEFICIÊNCIA NUTRICIONAL POR ZINCO**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação *Stricto Sensu* em Biociências da Universidade Federal do Oeste do Pará como parte dos requisitos para obtenção do título de mestre em Biociências.

**Orientador:** Prof. Dr. Paulo Sérgio Taube Junior

**Co-orientador:** Prof. Dr. Túlio Silva Lara

**Área de concentração:** Fisiologia ambiental

**Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)**  
**Sistema Integrado de Bibliotecas – SIBI/UFOPA**

---

G635b      Gonçalves, Lucas Raphael Mourão

Biofortificação agrônômica da cebolinha com alternativa para combater a deficiência nutricional por zinco./ Lucas Raphael Mourão Gonçalves. -Santarém, 2024.

98 p. : il.

Inclui bibliografias.

Orientador: Paulo Sérgio Taube Junior.

Coorientador: Túlio Silva Lara.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Oeste do Pará, Instituto de Biodiversidade e Florestas, Programa de Pós-Graduação em Biociências.

1. Alimentos funcionais. 2. *Allium schoenoprasum*. 3. Micronutrientes. I. Taube Junior, Paulo Sérgio, *orient.* II. Lara, Túlio Silva, *coorient.* III. Título.





CDD: 23 ed. 641.35

---

Bibliotecária - Documentalista: Cátia Alvarez – CRB/2 843

## ATA Nº238321


Aos 19 (dezenove) dias do mês de fevereiro do ano de 2024 (dois mil e vinte e quatro), às 14h00min, em sala virtual (google meet – ), instalou-se a banca examinadora de dissertação de mestrado do aluno Lucas Raphael Mourão Gonçalves. A banca examinadora foi composta pelos professores Dr. Emerson Cristi de Barros, Universidade Federal de Viçosa – UFV, examinador externo a UFOPA, Dra. Iolanda Maria Soares Reis, Universidade Federal do Oeste do Pará - UFOPA, examinadora externa ao Programa, Dr. Edgard Siza Tribuzy, Universidade Federal do Oeste do Pará - UFOPA, examinador externo ao Programa, Dr. Paulo Sérgio Taube Júnior, Universidade Federal do Oeste do Pará - UFOPA, orientador, e Dr. Tulio Silva Lara, Universidade Federal do Oeste do Pará - UFOPA, coordenador. Deu-se início a abertura dos trabalhos, por parte do professor Dr. Paulo Sérgio Taube Júnior, coordenador do Programa e presidente da Banca, que, após apresentar os membros da banca examinadora e esclarecer a tramitação da defesa, solicitou ao candidato que iniciasse a apresentação da dissertação, intitulada **BIOFORTIFICAÇÃO AGRONÔMICA DA CEBOLINHA COMO ALTERNATIVA PARA COMBATER A DEFICIÊNCIA NUTRICIONAL POR ZINCO**, marcando um tempo de 45 minutos para a apresentação. Concluída a exposição, o Prof. Dr. Paulo Sérgio Taube Júnior, presidente, passou a palavra ao examinador externo a UFOPA, Prof. Dr. Emerson Cristi de Barros, para argüir ao candidato, em seguida, à examinadora externa ao Programa, Prof. Dra. Iolanda Maria Soares Reis, e por fim, ao examinador externo ao Programa, Prof. Dr. Edgard Siza Tribuzy, para que fizessem o mesmo. Após, todas as arguições, os membros da banca se reuniram, sem a presença do aluno e demais, para fazer as suas considerações sobre o trabalho em julgamento. A banca então deferiu a aprovação do candidato, conforme as normas vigentes na Universidade Federal do Oeste do Para. A versão final da dissertação deverá ser entregue ao programa, no prazo de 30 dias; contendo as modificações sugeridas pela banca examinadora e constante na folha de correção anexa. Conforme o Artigo 43 da Resolução 072/2004-CONSEPE, a candidata não terá o título se não cumprir as exigências acima.

<b>Dr. Emerson Cristi de Barros, UFV</b> Examinador Externo ao Programa	 Documento assinado digitalmente <b>EMERSON CRISTI DE BARROS</b> Data: 20/02/2024 14:37:29-0300 Verifique em <a href="https://validar.iti.gov.br">https://validar.iti.gov.br</a>
<b>Dra. Iolanda Maria Soares Reis, UFOPA</b> Examinadora Externa ao Programa	 Documento assinado digitalmente <b>IOLANDA MARIA SOARES REIS</b> Data: 20/02/2024 17:45:19-0300 Verifique em <a href="https://validar.iti.gov.br">https://validar.iti.gov.br</a>
<b>Dr. Edgard Siza Tribuzy, UFOPA</b> Examinador Externo ao Programa	 Documento assinado digitalmente <b>EDGARD SIZA TRIBUZY</b> Data: 20/02/2024 15:30:44-0300 Verifique em <a href="https://validar.iti.gov.br">https://validar.iti.gov.br</a>
<b>Dr. Paulo Sérgio Taube Júnior, UFOPA</b> Presidente – Orientador	 Documento assinado digitalmente <b>PAULO SERGIO TAUBE JUNIOR</b> Data: 19/02/2024 19:44:34-0300 Verifique em <a href="https://validar.iti.gov.br">https://validar.iti.gov.br</a>

<b>Dr. Tulio Silva Lara, UFOPA</b> Coorientador	Documento assinado digitalmente  <b>TULIO SILVA LARA</b> Data: 19/02/2024 20:03:37-0300 Verifique em <a href="https://validar.iti.gov.br">https://validar.iti.gov.br</a>
<b>Lucas Raphael Mourão Gonçalves</b> Mestrando	Documento assinado digitalmente  <b>LUCAS RAPHAEL MOURAO GONCALVES</b> Data: 20/02/2024 16:32:23-0300 Verifique em <a href="https://validar.iti.gov.br">https://validar.iti.gov.br</a>

**Prof. Dr. PAULO SERGIO TAUBE JUNIOR**

ORIENTADOR

Documento assinado digitalmente  
 **PAULO SERGIO TAUBE JUNIOR**  
Data: 19/02/2024 19:43:38-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais, Zoca e Lidius, que sempre me apoiaram e incentivaram, mesmo nos momentos mais difíceis. A vocês, meu amor e gratidão eterna.

Aos meus irmãos, Yuri e Raíssa, que sempre estiveram ao meu lado, compartilhando minhas alegrias e tristezas e me fazendo passar raiva. A vocês, minha admiração e amizade.

Aos meus orientadores, Túlio e Paulo, que me guiaram e apoiaram durante todo o processo de pesquisa. A vocês, minha gratidão pelo conhecimento e pela confiança.

## **AGRADECIMENTO**

Agradeço a Deus por me dar a força e a determinação para concluir esta dissertação. Sei que não seria possível sem a Sua ajuda. Deus me ensinou que nada é impossível para aqueles que acreditam. A pesquisa que realizei para esta dissertação foi desafiadora, mas com a ajuda de Deus, eu consegui superá-la.

À minha família, Zoca e Lidius, Yuri e Raíssa, agradeço a vocês por tudo. Pela vida, pelo amor, pelo apoio, pela orientação, pela amizade. Vocês são o meu porto seguro, a minha base, o meu alicerce. Vocês são a minha família, e eu amo vocês mais do que tudo no mundo. Agradeço a vocês por sempre estarem lá para mim, nos bons e nos maus momentos e por me ensinarem o que é o amor, a compaixão, a solidariedade. E por fim s por me fazerem a pessoa que eu sou hoje.

Meus sinceros agradecimentos Tatiane, Aline, Frank e Marcos voluntários desta pesquisa, pela confiança e comprometimento e todos aos outros que ajudaram de alguma forma.

Agradeço a todos os professores que contribuíram com minha jornada. Assim como diz Mestre Obi-Wan Kenobi “A aprendizagem é um processo contínuo, não um destino”. Obrigada, Mestres!

E por fim agradeço meus orientadores Dr. Túlio Silva Lara e Dr. Paulo Sérgio Taube Junior pelo apoio e orientação inestimáveis ao longo do desenvolvimento desta dissertação. Suas orientações foram fundamentais para a construção de minha pesquisa e para o desenvolvimento de minhas habilidades acadêmicas. Agradeço pela paciência e disponibilidade em responder a minhas perguntas e em fornecer feedback construtivo. As suas orientações sempre foram claras, objetivas e fundamentadas em conhecimento e experiência.

A todos que de certa forma contribuíram para a realização dessa dissertação, muito obrigado.

“Ao vencedor, as batatas”  
Machado de Assis

## RESUMO

O zinco é um micronutriente essencial aos humanos e plantas, em humanos é componente de aproximadamente 300 proteínas, sendo recomendado a ingestão de 15 mg/dia de zinco para o pleno funcionamento dos processos fisiológicos. Estima-se que um terço da população sofra com problemas relacionados à deficiência deste nutriente. Em plantas, o Zn atua nas vias dos fitohormônios e carboidratos. Uma forma de fornecer Zn a população de forma eficiente e sustentável é através da biofortificação agrônômica de alimentos, como por exemplo da cebolinha que é um condimento amplamente usado no Brasil e de fácil cultivo. O objetivo deste trabalho foi verificar a absorção de zinco frente a tratamentos via foliar e via solo. Foram realizados 2 ensaios, um aplicando Zn, na adubação via solo, utilizando as doses 0,0; 6,25; 12,5; 25; 50; 100; 200 e 400 kg ha<sup>-1</sup>, na adubação foliar utilizou as doses 0,0; 0,25; 0,5; 1; 1,5; 3; 6 e 12 kg ha<sup>-1</sup>. Foram mensuradas as variáveis massa fresca da parte aérea, altura dos ramos, diâmetro do coleto, número de perfilhos, massa seca raiz, massa seca parte aérea, açúcar redutor, teores de açúcares solúveis totais, amônio, prolina, aminoácido, macronutrientes, micronutrientes, clorofilas, carotenoides, flavonoides, fenóis. Os dados foram testados quanto a normalidade e homogeneidade e a diferenças entre as médias serão verificadas por meio de uma (ANOVA) e teste Tukey a nível de 5% de significância. A quantidade de Zn aumentou drasticamente na dose 400 kg ha<sup>-1</sup> na adubação via solo e na dose 6 kg ha<sup>-1</sup> via foliar com aumento de 567% e 248%, respectivamente em relação ao controle.

Palavras-Chave: Alimentos funcionais, *Allium schoenoprasum*, , micronutrientes.

## ABSTRACT

Zinc is an essential micronutrient for humans e plants, in humans it is a component of approximately 300 proteins, with the recommended intake of 15 mg/day of zinc for the full functioning of physiological processes. It is estimated that one third of the population suffers from problems related to the deficiency of this nutrient. In plants, Zn acts on the pathways of phytohormones e carbohydrates. One way to provide Zn to a population in an efficient e sustainable way is through the agronomic biofortification of coriander e chives. Both are widely used condiments in Brazil e are easy to grow. The objective of this work is to verify zinc absorption in foliar e soil treatments. Two tests were used for each species, one applying Zn, in soil fertilization, using doses 0.0; 6.25; 12.5; 25; 50; 100; 200 e 400 kg ha<sup>-1</sup>, as for the foliar fertilization, doses 0.0; 0.25; 0.5; 1; 1.5; 3; 6 e 12 kg ha<sup>-1</sup>. They will be measured as variables: shoot fresh mass, branch height, stem diameter, number of tillers, root dry mass, shoot dry mass, reducing sugar, total soluble sugars, ammonium, proline, amino acid, macronutrients, micronutrients, chlorophylls, carotenoids, flavonoids, phenols. The data will be tested for normality e homogeneity e the difference between the means will be checked using an (ANOVA) e Tukey test at a 5% significance level. The amount of Zn increased drastically in Treatment 400 kg ha<sup>-1</sup> in soil fertilization and in Treatment 6 kg ha<sup>-1</sup> in foliar fertilization, with an increase of 567% and 248% respectively in relation to the control.

Keywords: Functional foods, *Allium schoenoprasum*, *Coriandrum sativum*, micronutrients.

## LISTA DE FIGURA

<b>FIGURA 1:</b> Mapa de deficiência de zinco na saúde.....	27
<b>FIGURA 2:</b> Cebolinhas plantadas .....	37

## LISTA DE TABELAS

<b>TABELA 1:</b> Recomendações de ingestão diária em gramas.....	27
<b>TABELA 2:</b> Concentração de zinco nos alimentos .....	27
<b>TABELA 3:</b> Velocidade de absorção .....	30
<b>TABELA 4:</b> Alimentos mais consumidos .....	30
<b>TABELA 5:</b> Alimentos mais pesquisados .....	31
<b>TABELA 6:</b> Compostos encontrados na cebolinha.....	33

## GRÁFICOS

<b>GRÁFICOS 1:</b> Pigmentos.....	44
<b>GRÁFICOS 2:</b> Crescimento .....	45
<b>GRÁFICOS 3:</b> Açucares .....	47
<b>GRÁFICOS 4:</b> Compostos Fenólicos.....	48
<b>GRÁFICOS 5:</b> Aminoácidos .....	49
<b>GRÁFICOS 6:</b> Macroelementos. ....	51
<b>GRÁFICOS 7:</b> Microelementos. ....	53
<b>GRÁFICOS 8:</b> Prolina .....	54
<b>GRÁFICOS 9:</b> Amônio .....	54
<b>GRÁFICOS 10:</b> Pigmentos .....	63
<b>GRÁFICOS 11:</b> Crescimento. ....	65
<b>GRÁFICOS 12:</b> Açucares .....	67
<b>GRÁFICOS 13:</b> Compostos Fenólicos.....	68
<b>GRÁFICOS 14:</b> Aminoácidos.....	69
<b>GRÁFICOS 15:</b> Macroelementos.....	71
<b>GRÁFICOS 16:</b> Microelementos .....	73
<b>GRÁFICOS 17:</b> Prolina .....	74
<b>GRÁFICOS 18:</b> Amônio .....	74

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

$\mu g$	Micrograma
$\lambda$	Comprimento de onda
Abs	Absorvâncias
AR	Açúcar Redutor
AST	Açúcar solúveis totais
B	Boro
C	Cálcio
Car	Carotenoides
CHL	Clorofila
Cm	Centímetros
Cu	Cobre
DNA	Ácido desoxirribonucleico
DTPA	Ácido dietiléntriamínico pentacético
EU	União Europeia
EUA	Estados Unidos da América
g	Grama
ha	Hectare
IBEF	Instituto de Biodiversidade e Floresta
kg	Quilograma
MF	Massa Fresca
mg	Miligrama
Mm	Milímetro

MS	Massa Seca
N	Nitrogênio
nm	Nanômetro
OMS	Organização Mundial da Saúde
ONU	Organização das Nações Unidas
P	Fósforo
<i>P</i>	Valor de significância
<i>r</i>	Coeficientes de correlação
UFOPA	Universidade Federal do Oeste do Pará
V	Volume da diluição
Zn	Zinco

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	20
2	OBJETIVOS .....	22
2.1	Geral .....	22
2.2	Específicos.....	22
3	REFERENCIAL .....	23
3.1	<b>Zinco nas Plantas</b> .....	23
	3.1.1 Função do Zn.....	23
	3.1.2 Absorção e Transporte de Zinco.....	23
	3.1.3 Sintomas de deficiência e do excesso de Zn.....	24
3.2	<b>Zinco na importância para Saúde Humana</b> .....	26
3.3	<b>Biofortificação</b> .....	28
	3.3.1 Aplicação de Zinco para Incrementar o Teor do Micronutriente 28	
	3.3.2 Aplicações foliares.....	29
	3.3.3 Espécies mais utilizadas.....	30
	3.3.4 Dados já obtidos.....	31
3.4	<b>Plantas</b> .....	32
	3.4.1 Cebolinha .....	32
4	METODOLOGIA.....	35
4.1	<b>Local de Instalação do Experimento</b> .....	35
4.2	<b>Preparação do solo</b> .....	35
4.3	<b>Delineamento experimental</b> .....	36
4.4	Material Vegetal e Procedimento para biofortificação agrônômica com Zn (via solo e via foliar) .....	36
4.5	<b>Análises laboratoriais</b> .....	38
4.6	<b>Clorofila e carotenoides</b> .....	38
4.7	<b>Análise de crescimento</b> .....	38
	4.7.1 Massa fresca da parte aérea por planta. ....	38
	4.7.2 Altura dos ramos dentro da planta.....	39
	4.7.3 Diâmetro do Coleto da planta. ....	39
	4.7.4 Número de perfilhos .....	39
	4.7.5 Massa seca raiz da planta .....	39
	4.7.6 Massa seca parte aérea da planta.....	40
4.8	<b>Teor Açúcar redutor</b> .....	40

<b>4.9</b>	<b>Teores de açúcares solúveis totais</b> .....	41
<b>4.10</b>	<b>Flavonoides totais</b> .....	41
<b>4.11</b>	<b>Fenóis totais</b> .....	41
<b>4.12</b>	<b>Aminoácido</b> .....	41
<b>4.13</b>	<b>Macro e micronutrientes</b> .....	42
<b>4.14</b>	<b>Amônio</b> .....	42
<b>4.15</b>	<b>Prolina</b> .....	42
<b>5</b>	<b>CAPÍTULO 01</b> .....	43
<b>5.1</b>	<b>Adubação via solo</b> .....	43
	5.1.1 Resultados.....	43
	5.1.1.1 Pigmentos.....	43
	5.1.1.2 Crescimento .....	44
	5.1.1.3 Açúcares.....	46
	5.1.1.4 Compostos Fenólicos .....	47
	5.1.1.5 Aminoácidos .....	48
	5.1.1.6 Macronutrientes.....	49
	5.1.1.7 Microelementos .....	51
	5.1.1.8 Prolina .....	53
	5.1.1.9 Amônio .....	54
<b>5.2</b>	<b>Discussão</b> .....	54
	5.2.1 Pigmentos.....	54
	5.2.2 Crescimento.....	55
	5.2.2.1 Altura .....	55
	5.2.2.2 Diâmetro .....	55
	5.2.2.3 Massa Fresca .....	56
	5.2.3 Sacarose .....	56
	5.2.4 Fenóis.....	56
	5.2.5 Flavonoides .....	57
	5.2.6 Aminoácidos .....	57
	5.2.7 Elementos.....	58
	5.2.8 Prolina .....	60

6	CONCLUSÃO.....	61
7	CAPÍTULO 01 .....	62
7.1	<b>Adubação via foliar</b> .....	62
7.1.1	Resultados.....	62
7.1.1.1	Pigmentos.....	62
7.1.1.2	Crescimento .....	63
7.1.1.3	Açucares.....	65
7.1.1.4	Compostos Fenólicos .....	67
7.1.1.5	Aminoácidos .....	68
7.1.1.6	Macronutrientes.....	69
7.1.1.7	Micronutrientes .....	71
7.1.1.8	Prolina .....	73
7.1.1.9	Amônio .....	74
7.1.2	DISCUSSÃO.....	74
7.1.2.1	Altura .....	74
7.1.2.2	Pigmentos.....	75
7.1.2.3	Diâmetro .....	76
7.1.2.4	MF PA .....	76
7.1.2.5	MS PA .....	77
7.1.2.6	MS Raiz.....	77
7.1.2.7	Fenóis.....	78
7.1.2.8	Flavonoides PA .....	78
7.1.2.9	Prolina .....	79
7.1.2.10	Aminoácido PA .....	79
7.1.2.11	Sacarose PA.....	79
7.1.2.12	AST PA.....	79
7.1.2.13	Zn .....	80
7.1.2.14	Elementos.....	80

8 CONCLUSÃO.....	81
REFERÊNCIAS.....	82

## 1 INTRODUÇÃO

O Zinco (Zn) é um elemento essencial para a saúde humana, pois realiza funções estruturais e catalíticas em cerca de 10% de todas as proteínas (MORAES, 2020). No entanto, pelo menos 1/3 da população mundial sofre com a sua deficiência, o que prejudica funções bioquímicas e fisiológicas (DAS, 2016), e causa falha no crescimento, hipogonadismo primário, doença de pele, paladar e olfato prejudicados, além da diminuição de resistência a infecções (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2021). Estima-se que 450 crianças com menos de 5 anos morrem por deficiência de Zn (BLACK *et al.*, 2010), assim como é a quinta principal causa de doenças em países subdesenvolvidos (OMS, 2002).

Também é um micronutriente essencial para as plantas, desempenhando um papel importante no crescimento, desenvolvimento e reprodução. Sendo encontrado em pequenas quantidades no solo, geralmente na forma de íons  $Zn^{2+}$ , devido a sua alta polarização, o íon  $Zn^{2+}$  pode interagir fortemente com moléculas orgânicas e biológicas, como enzimas e proteínas, e desempenha um papel importante em muitos processos biológicos (ROAT-MALONE, 2020).

A deficiência de Zn no solo é um problema comum em muitas regiões agrícolas do mundo, inclusive no Brasil (MORAES, 2020) e pode afetar significativamente o crescimento e a produção das culturas, além da qualidade nutricional das culturas. Essa deficiência em Zn pode ser causada por vários fatores, incluindo a baixa disponibilidade de Zn no solo, o pH do solo, a competição por outros nutrientes, e as práticas agrícolas inadequadas (KABATA-PENDIAS, 2010). A deficiência causa problemas para o desenvolvimento das plantas, sendo os mais comuns: clorose foliar, redução no crescimento radicular, diminuição na altura das plantas, menor produção de sementes e frutos, e maior suscetibilidade a doenças e pragas (CAKMAK, 2008)

Diversas práticas agrícolas podem ser adotadas, desde a seleção de cultivares mais eficientes na absorção até a aplicação de fertilizantes via solo e foliar contendo Zn. Em virtude disso, a biofortificação surge com uma estratégia promissora para melhorar a qualidade nutricional dos alimentos,

consequentemente melhorando a saúde da população (LOW *et al.*, 2007). Além de um potencial incremento a produtividade agrícola e a renda dos agricultores (PFEIFFER, 2007, KUMAR *et al.*, 2020)

Essa técnica pode ser realizada de diferentes formas, como o uso de variedades de plantas mais ricas em nutrientes, a adição de nutrientes na água ou no solo em que as plantas são cultivadas ou na própria planta, e a utilização de fertilizantes específicos. Dessa forma, é possível aumentar o teor de nutrientes essenciais em alimentos, nesse trabalho será na cebolinha. Foi escolhida a cebolinha, pois esta é um dos condimentares mais apreciadas na alimentação brasileira.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 Geral

- Verificar parâmetros bioquímicos e fisiológicos da espécie botânica *Allium schoenoprasum* (cebolinha) frente a adubação foliar e adubação de solo. com Zn

### 2.2 Específicos

- Estudar o efeito do Zn no metabolismo do nitrogênio e de alguns carboidratos;
- Avaliar a influência do Zn nos teores de pigmentos fotossintéticos das plantas de cebolinha;
- Avaliar o potencial de aumento do teor de Zn nas folhas da cebolinha;
- Avaliar os teores dos macros e micronutrientes (N, P, K, Mg, S, B, Cu, Mn, Zn, Fe) nas folhas de cebolinha biofortificada com Zn;
- Avaliar o crescimento da cebolinha biofortificada com Zn (massa fresca da parte aérea, altura dos ramos, diâmetro do coleto, número de perfilhos, massa seca raiz, massa seca da parte aérea);
- Avaliar os teores de amônio, prolina aminoácido na cebolinha biofortificada com Zn;

### 3 REFERENCIAL

#### 3.1 Zinco nas Plantas

##### 3.1.1 Função do Zn

Esse é um micronutriente essencial para as plantas, que está envolvido em muitos processos fisiológicos, como crescimento e desenvolvimento, fotossíntese, síntese de clorofila, metabolismo de carboidratos, estabilidade da membrana, transdução de sinal, síntese de hormônios e defesa antioxidante (CAKMAK 2008). O Zn também é importante para transporte de aminoácidos, à síntese de alguns aminoácidos, como o triptofano, um precursor da auxina (MALTA *et al.*, 2002).

Segundo FINOTO RASTEIRO (2021) Zn é o micronutriente mais crítico que afeta a síntese de proteínas nas plantas. Não há um consenso na literatura científica sobre o número exato de enzimas que contêm zinco em sua estrutura, pois o número pode variar dependendo da definição utilizada para enzimas "zinco-dependentes, KABATA-PENDIAS, (2007) estimaram 300 enzimas diferentes que requerem Zn para sua atividade biológica em plantas, enquanto (PALMGREN *et al.*, 2008) estimaram 100 e ANDREINI *et al.* (2009) coloca 200 incluindo todos os seres eucariontes, mas a literatura concorda com a importância desse elemento no crescimento da planta.

Algumas enzimas, tais como; anidrase carbônica, álcool desidrogenase, superóxido dismutase, RNA polimerase, acetil-Coa carboxilase apresentam Zn em sua estrutura (KUMAR *et al.*, 2020) . Segundo CARDOSO *et al.* (2012) o Zn também é responsável pela síntese de proteínas, permeabilidade de membranas, absorção iônica, respiração, síntese de amido e controle hormonal.

##### 3.1.2 Absorção e Transporte de Zinco

Um nutriente crucial para, principalmente no que se refere ao desenvolvimento das plantas, é o Zn (ALLOWAY, 2008). Este é um dos

elementos essenciais para o desenvolvimento e reprodução das plantas, sendo requerido em baixa quantidade pelos vegetais (MARSCHNER 2011).

Naturalmente o Zn é disposto no solo por reações geológicas do tipo intemperismo físico e químico, sendo o primeiro na fragmentação da rocha por variações de temperatura, pressão, umidade, ação do vento e chuva, já no segundo a mineralogia do solo é um fator importante para o intemperismo químico das rochas e a disponibilidade de nutrientes (BRADY, 2016). O Zn ocorre no solo por duas vias principais, como Zn solúvel e como Zn insolúvel (ALLOWAY, 2008), os óxidos de Zn são as principais formas de Zn insolúvel, sendo formados a partir da oxidação de minerais contendo zinco ou pela precipitação de compostos solúveis de Zn (DE GODOY *et al.*, 2013), mas também podem ser encontrados na forma de hidróxidos, carbonatos, silicatos, sulfatos e fosfatos" (Namieśnik, 2010). Já o Zn solúvel pode ser encontrado em duas formas principais: como cátions de Zn ( $Zn^{2+}$ ) e como complexos orgânicos solúveis de Zn (ALLOWAY, 2013) e é influenciada por vários fatores, incluindo pH, teor de matéria orgânica, tipo de solo e atividade biológica (SIQUEIRA, 1998). As principais vias de contato íon-raiz são por fluxo de massa (MENDES, 2015), interceptação radicular (CAKMAK *et al.*, 1999) ou por difusão (MARSCHNER, 2011)

Outra particularidade encontrada é que o pH do solo age diretamente na disponibilidade do Zn, pH abaixo de 5,5 tendem a apresentar baixa disponibilidade de Zn para as plantas, devido à formação de compostos insolúveis de Zn (KABATA-PENDIAS 2010), enquanto em solos com pH acima de 6,5 pode ser afetada pela presença de outros nutrientes, como fósforo e cálcio, que podem competir com o Zn pelos lugares de adsorção nas raízes" (BOLAN *et al.*, 2014).

### 3.1.3 Sintomas de deficiência e do excesso de Zn

A literatura científica estima uma média de 30 e 100 mg zinco  $kg^{-1}$  no solo fornecem suporte adequado para o desenvolvimento das plantas na maioria das culturas agrícolas (ALLOWAY 2013).

Embora o Zn seja essencial, sua toxicidade pode levar a danos, segundo NATASHA et al., (2022) o Zn pode afetar a biodisponibilidade de outros nutrientes, como ferro e manganês, e interferir no equilíbrio do pH do solo. Além disso, a toxidez do Zn em plantas pode resultar em clorose foliar, necrose, redução do crescimento e do desenvolvimento, além de alterações no metabolismo celular (KAUR, 2021), além de diminuição do crescimento radicular e da produção de matéria seca (MALAVOLTA et al. 2010).

Para afetar as plantas e estas terem sintomas, a concentração de Zn depende da espécie da planta e das condições do solo e seu tempo de exposição. A principal causa de excesso de Zn no solo é antrópica, podendo destacar a aplicação excessiva de fertilizantes e a indústria.

Segundo MALAVOLTA, (2006) e MARSCHNER, (2011) a disponibilidade de Zn abaixo de 15-20 mg kg<sup>-1</sup> de matéria seca pode causar deficiência desse micronutriente em plantas, afetando principalmente o crescimento e a morfologia das folhas jovens. Esses sintomas podem variar de acordo com diversos fatores, SUGANYA et al., (2020) citam temperatura, a umidade do solo e a capacidade da planta de absorver e translocar o Zn, com tipo de cultura, o nível de Zn no solo, a pH do solo e a interação com outros nutrientes.

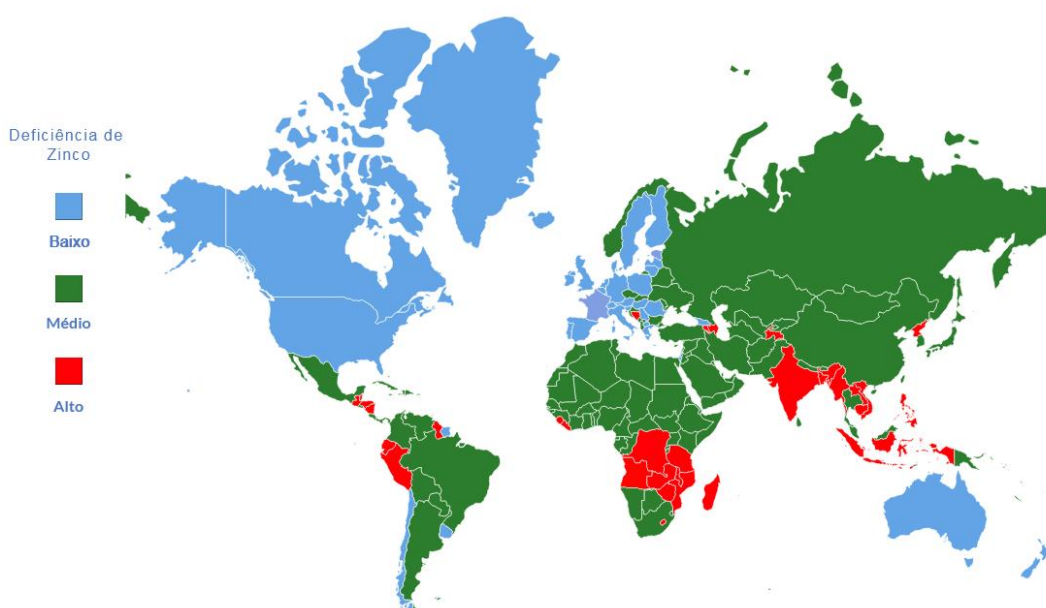
O maior dano que a baixa oferta de Zn causa nas plantas está relacionado com o metabolismo das proteínas, metabolismo do DNA e RNA, incluindo a polimerase, exonuclease e ligase, que são essenciais para a síntese, reparo e regulação do DNA e RNA (KUMAR *et al.*, 2020)

O Zn é essencial na manutenção da integridade da membrana celular e na proteção contra danos oxidativos. Essa deficiência pode levar a mudanças significativas na composição e na estrutura das membranas celulares, afetando sua permeabilidade e, conseqüentemente, a capacidade da célula de manter sua integridade e resistir a estresses abióticos e bióticos (KUME *et al.*, 2021), pois afeta a fluidez da membrana celular, aumentando a rigidez e tornando-a mais suscetível a danos oxidativos e ataque de patógenos (GHOLAMI, 2019).

### 3.2 Zinco na importância para Saúde Humana

Existem 20 elementos minerais que são essenciais para a saúde humana. Os macrominerais, como o cálcio, fósforo, magnésio, sódio, potássio, cloreto e enxofre, são exigidos em maiores quantidades pelo organismo humano e desempenham papéis críticos em vários processos fisiológicos (FARAG *et al.*, 2023) e treze elementos minerais exigidos em menores quantidades pelo corpo humano são: cromo, cobalto, cobre, flúor, iodo, ferro, manganês, molibdênio, selênio, silício, vanádio, zinco e níquel. O corpo humano não é capaz de produzir esses elementos minerais essenciais, o que significa que eles precisam ser obtidos continuamente por meio da ingestão de alimentos ou suplementos alimentares. Existem diferentes concentrações de elementos nos alimentos, que dependem do tipo de alimento, geograficamente que foi produzido, o que acarreta em problema de saúde para a população.

O Zn é um nutriente vital para a saúde humana e é requerido em muitos processos biológicos importantes, incluindo o crescimento e desenvolvimento, a síntese de proteínas, a função imunológica e a cicatrização de feridas (WESSELLS, 2012). A deficiência de Zn é uma preocupação significativa de saúde pública em todo o mundo (OMS, 2002), sendo mais comum em países subdesenvolvidos e piora na África Subsaariana



**FIGURA 1:** Mapa de deficiência de zinco na saúde  
**FONTE:** Autor com base em (ALLOWAY, 2013)

Nota-se pelo mapa que o principal foco da deficiência de zinco na saúde se concentra na África seguido pela Ásia.

A recomendação diária de Zn ingerida depende de países para países como nota-se na Tabela 1.

**TABELA 1:** Recomendações de ingestão diária em gramas.

País	0-6 meses	7-11 meses	1-3 anos	4-6 anos	7-10 anos	Homens > 19 anos	Mulheres > 19 anos	Gestantes	Lactantes
Brasil	2	5	3	4	5	11	8	11	12
EUA	2	3	3	5	8	11	8	11	12
UE	2	3	3	5	7	10	7	11	12
China	2	3	3.5	4.5	5.5	12.5	12.5	15	15
Índia	3	3	3	4	5	12	11	11	12
OMS	2	3	3	5	8	11	8	11	11

**FONTE:** (AKHTAR, 2013; BRASIL, 2014; EUROPEAN FOOD SAFETY AUTHORITY, 2014; NIH, 2022)

A ingestão recomendada depende da faixa etária e do sexo e a deficiência de Zn pode prejudicar 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).

A baixa ingestão dietética do Zn ocorre em decorrência dos baixos teores deste nutriente nos alimentos, sendo uma das principais razões para a deficiência na população humana (CAKMAK, 2013). Aumentar a concentração de Zn nas plantas de culturas alimentares, resultando tanto em melhor produtividade quanto na melhoria da saúde humana é um importante desafio global. A Tabela 2 contém alguns alimentos e seus teores de zinco a cada 100g.

**TABELA 2:** Concentração de zinco nos alimentos

Alimento	Quantidade de zinco por 100g
Cebolinha	0,3 mg
Coentro	0,5 mg
Ostras	78,6 mg
Castanha de caju	5,6 mg

Queijo parmesão	3,7 mg
Amêndoas	2,8 mg
Nozes	3,1 mg
Fígado de boi cozido	4,0 mg
Grão-de-bico cozido	0,8 mg
Feijão cozido	0,9 mg
Aveia em flocos	2,7 mg
Frango cozido	0,9 mg
Ovo cozido	0,5 mg
Leite de vaca integral	0,4 mg
iogurte natural integral	0,4 mg
Espinafre cozido	0,4 mg
Batata	0,3 mg
Alface	0,3 mg
Cenoura	0,3 mg
Cebola	0,2 mg
Tomate	0,2 mg
Mandioca	0,2 mg

**FONTE:** (UNITED STATES DEPARTAMENT OF AGRICULTURE, 2018)

### 3.3 Biofortificação

#### 3.3.1 Aplicação de Zinco para Incrementar o Teor do Micronutriente

Os nutrientes minerais são fundamentais para o crescimento e desenvolvimento das plantas. Segundo MARSCHNER, (2011) a maioria das espécies de culturas apresentam uma demanda crescente por nutrientes durante a fase reprodutiva, particularmente na formação de sementes, quando quantidades consideráveis de nutrientes são translocados para as mesmas.

Essa necessidade imprescindível se dá pois, os nutrientes são necessários na formação de novos órgãos, para o acúmulo de materiais de reserva, como açúcares e lipídios (MARSCHNER, 2011) e na constituição das membranas celulares (MALAVOLTA, 2006).

O uso de Zn no cultivo de plantas remonta ao Império Romano que aplicavam cinzas contendo Zn nas suas plantações e ao Império Egípcio que adicionavam compostos contendo Zn às sementes antes de plantá-las (ALLOWAY, 2008). Enquanto a sociedade moderna faz aplicação foliar desde a década de 1930 (CAKMAK, 2008)

### 3.3.2 Aplicações foliares

Segundo MORAES (2020) a vida vegetal teve início no mar, durante o processo evolutivo as folhas não perderam a capacidade de absorver água e sais minerais. A capacidade da parte aérea de absorver água, e o que nela estiver dissolvido, é a base para aplicação foliar de fertilizantes. Diferentemente de outras formas de aplicação de nutrientes, a aspersão foliar permite uma absorção mais direta e rápida pelas folhas, o que pode levar a uma translocação eficiente dessas substâncias para outras partes da planta.

A eficiência na absorção de Zn pode ser influenciada por três fatores, o primeiro diz respeito as características da própria planta como:

Quantidade de cutícula no limbo foliar pois a espessura da cutícula influencia na absorção (CÉSAR et al. 2009), presença de tricomas ou pelos pois estes diminuem a superfície de contato (FAQUIN, 2005), quantidade de estômatos em que quanto menor a densidade dos estômatos, menor será a entrada da solução na folha (DONEGÁ, 2009), a idade da folha, sendo que as folhas mais velhas absorvem menos, devido ao estado iônico interno dos tecidos foliares, altas concentrações de íons podem afetar a permeabilidade da membrana plasmática e reduzir a eficiência de absorção (LARCHER, 2003).

O segundo se trata dos fatores do meio, como: aeração ou concentração de oxigênio pois a aeração do solo influencia diretamente a solubilidade do zinco (WILLIG, 2020), temperatura onde temperaturas altas melhoram a solubilidade do Zn, levando em consideração a temperatura que a planta suporta (CAKMAK, 2008), umidade relativa em que solos com alta umidade podem apresentar redução na oxidação do mineral (HINSINGER, 2001),

Terceiro fatores da própria solução, como: concentração do elemento em solução, efeito do pH pois afeta a solubilidade e a disponibilidade de nutrientes (MALAVOLTA, 2010), seletividade dos elementos pelo vegetal (HINSINGER, 2001), pois a planta tem uma capacidade limitada de absorção de nutrientes,, absorção desigual de ânions e cátions (BRADY, 2016), onde a absorção de cátions é geralmente mais eficiente do que a de ânions e isso gera

desequilíbrio, antagonismo iônico (MALAVOLTA, 2006), que é quando a presença de um íon na solução do solo diminui a absorção de outro íon, inibição competitiva e não competitiva (WILLIG, 2020) pois um íon interfere na absorção de outro íon, velocidade diferencial de absorção (MARSCHNER, 2011), pois os íons são absorvidos em velocidades diferentes, além de sinergismo iônico, mobilidade dos elementos nos tecidos vegetais, modo de aplicação das pulverizações foliares, ângulo de contato e surfactantes.

A Tabela 3 mostra a velocidade de absorção dos elementos, mostrando que além dos fatores ditos anteriormente, ainda existe os fatores dos elementos caracterizando diferentes velocidades de entrada na planta.

**TABELA 3:** Velocidade de absorção

NUTRIENTE	Tempo para 50 % de absorção total
Nitrogênio – Uréia $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$	0,5 a 36 horas
Fósforo – $\text{H}_2\text{PO}_4^-$	1 a 15 dias
Potássio – $\text{K}^{2+}$	1 a 4 dias
Cálcio – $\text{Ca}^{2+}$	10 a 96 horas
Magnésio – $\text{Mg}^{2+}$	10 – 24 horas
Enxofre – $\text{SO}_4^{2-}$	5 a 10 dias
Cloro – $\text{Cl}^-$	1 a 4 dias
Ferro – Fe-EDTA	10 – 20 dias
Manganês – $\text{Mn}^{2+}$	1 – 2 dias
Molibdênio – $\text{MoO}_4^{2-}$	10 – 20 dias
Zinco - $\text{Zn}^{2+}$	1 – 2 dias

**FONTE:** (MALAVOLTA, 2010)

### 3.3.3 Espécies mais utilizadas

A utilização de biofortificação é influenciada pela importância econômica e social do vegetal, demandas de mercado, necessidades nutricionais da população e muitas vezes eles estão correlacionados. De acordo com FAO os alimentos mais consumidos no mundo em 2020 são mostrados na Tabela 4.

**TABELA 4:** Alimentos mais consumidos

<b>Vegetal</b>	<b>Produção mundial em toneladas</b>
Arroz	515.7 milhões
Trigo	764.7 milhões
Milho	1.1 bilhão
Batata	368.2 milhões
Mandioca	279.6 milhões
Soja	337.4 milhões
Feijão	28.5 milhões
Cebola	101.5 milhões
Tomate	182.3 milhões
Abóbora	27.6 milhões

**FONTE:** (FAO, 2020)

Assim foi analisado a base de dados da Web of Science em 12 de abril de 2023 com esses alimentos e assim foi gerado a Tabela 5

***TABELA 5: Alimentos mais pesquisados***

<b>Vegetal</b>	<b>Número de artigos</b>
Milho	1.533
Trigo	1.218
Arroz	1.235
Soja	1.344
Feijão	362
Mandioca	227
Batata	686
Cebola	232
Tomate	578
Abóbora	16
Couve	69
Hortaliças folhosas	24

**FONTES:** Web Science

Assim pode se dizer que a produção de artigos estar relacionada a produção, exceto para o feijão, mas este está relacionado com a importância econômica e social do vegetal.

#### 3.3.4 Dados já obtidos

TUYOGON et al., (2016) conduziram experimentos no cultivo de arroz, os resultados indicam que a aplicação de Zn aumentou significativamente o teor no grão de arroz, com uma correlação positiva entre a

quantidade de Zn aplicada e seu teor no grão. Observou-se também que a dose de 15 kg ha<sup>-1</sup> proporcionou o maior aumento no teor de zinco no grão,

ULLAH, (2018) investigou o efeito da biofortificação agrônômica no aumento da produtividade e concentração de Zn em grãos de trigo de pão. A aplicação de Zn no solo e/ou foliar aumentou significativamente a concentração de Zn nos grãos de trigo de pão. A aplicação de Zn também melhorou a qualidade do grão de trigo de pão, com um aumento na massa de mil grãos e no teor de proteínas. A aplicação foliar de Zn foi mais eficaz do que a aplicação no solo para aumentar a concentração de zinco nos grãos de trigo de pão.

SALEEM et al., (2016) tiveram como objetivo investigar o efeito da aplicação de fertilizantes contendo Zn e Fe nas concentrações desses micronutrientes em grãos de milho, a aplicação de fertilizantes com Zn e Fe aumentou significativamente a concentração desses nutrientes nos grãos de milho. A dose mais eficaz para aumentar a concentração de Zn foi de 25 kg ha<sup>-1</sup> de ZnSO<sub>4</sub>, que resultou em um aumento de 53% na concentração de Zn nos grãos. Já a dose mais eficaz para aumentar a concentração de Fe foi de 50 kg ha<sup>-1</sup> de FeSO<sub>4</sub>, que resultou em um aumento de 35% na concentração de Fe nos grãos.

MENGIST et al., (2021) utilizaram duas cultivares de batata: a 'Russet Burbank', que é considerada uma cultivar produtiva, e a 'Gem Russet', que é menos produtiva, os resultados mostraram que a concentração de Zn nos tubérculos aumentou significativamente com o aumento da concentração de Zn na solução nutritiva em ambas as cultivares. A cultivar mais produtiva, 'Russet Burbank', apresentou uma maior capacidade de acumular Zn nos tubérculos em relação à cultivar menos produtiva, 'Gem Russet'.

### **3.4 Plantas**

#### **3.4.1 Cebolinha**

Cebolinha (*Allium schoenoprasum* L.) é uma planta perene, pertence à família Alliaceae e ao gênero *Allium*, que contém muitas plantas importantes

como alho, alho-poró, cebola, entre outras (RESENDE, 2007). Por ter funções medicinais e comestíveis (VAZ, 2007) é amplamente cultivada em todo o mundo. A planta se destaca pelo sabor, sendo rica em compostos de enxofre que podem ser usados por suas propriedades antimicrobianas (KURNIA *et al.*, 2021). Além disso, numerosos estudos indicam que a planta possui propriedades antioxidantes, (SINGH, 2018) relatam que folhas de *Allium schoenoprasum* L. apresentaram efeitos neuroprotetores contra lesões cerebrais induzidas por isquemia-reperfusão em camundongos, isso ocorreu devido às propriedades antioxidante. Outro estudo confirmou que as folhas de *A. schoenoprasum* podem ser consideradas como um anti-inflamatorio potencial (PARVU *et al.*, 2014),. SINGH, *et al.*, 2018) ainda elenca as propriedades de anticâncer, vermífugo e anti-hipertensivo

A *A. schoenoprasum*, apresenta uma estrutura composta por folhas tubulares e finas, que atingem cerca de 30 cm de altura e têm cor verde brilhante. As folhas são ocas e cilíndricas, com diâmetro de aproximadamente 3 mm, e dão origem a flores em forma de sino, que variam do rosa ao roxo claro (VAZ, 2007).

O bulbo subterrâneo da *A. schoenoprasum* é pequeno, com cerca de 1-2 cm de diâmetro, e é composto por camadas finas de tecido que armazenam nutrientes para a planta e a protegem de condições climáticas adversas, sendo cultivada a partir de mudas ou sementes (CHEN, 2012).

O composto químico pode variar dependendo do método de extração, das condições de cultivo da planta, mas de acordo com (DÍAZ *et al.*, 2011; SHIRSHOVA *et al.*, 2013; SINAGA *et al.*, 2018) os compostos encontrados na cebolinha estão na tabela 6.

**TABELA 6:** Compostos encontrados na cebolinha

Classes Químicas	Compostos Encontrados
Compostos Fenólicos	Ácido gálico, ácido cafeico, ácido clorogênico, catequina, epicatequina, quercetina, miricetina, apigenina, rutina, quercetina-3-O-glucosídeo, kaempferol, luteolina, isorhamnetina, hesperidina, naringina, neohesperidina, 7-O-metilkaempferol, diosmina, narirutina, eriodictiol, hesperetina, sakuranetina, peonidina, cianidina, delphinidina, petunidina, malvidina, epicatequina galato, epigalocatequina 3-O-galato, procianidina B2, procianidina B4, theasinensina, theaflavina, teobromina, teofilina, resveratrol

Aminoácidos	Asparagina, ácido glutâmico, serina, treonina, lisina, alanina, tirosina, valina, isoleucina, leucina, fenilalanina, histidina, arginina, prolina, hidroxiprolina
Monossacarídeos	Glicose, frutose, galactose, manose
Polissacarídeos	Fructanos, pectinas
Glicosídeos	Hesperidina, naringina, neohesperidina, diosmina, narirutina
Ester	Ácido ascórbico
Dissulfetos	Aliina
Neutral Lipids	Triglicerídeos, fosfolipídios
Fatty Acids	Ácido palmítico, ácido esteárico, ácido oleico, ácido linoleico, ácido linolênico
Elementos	Potássio, fósforo, cálcio, sódio, ferro, magnésio, manganês, zinco, cobre

---

**FONTE:** (SINGH et al., 2018b; DÍAZ et al., 2011; SHIRSHOVA et al., 2013; SINAGA et al., 2018)

## 4 METODOLOGIA

### 4.1 Local de Instalação do Experimento

Os experimentos foram instalados na casa de vegetação coberta com sombrite 50% do Instituto de Biodiversidade e Florestas – IBEF da Universidade Federal do Oeste do Pará conduzido em ambiente protegido, no município de Santarém - PA, localizado à 2°25'9.50"S e 54°44'30.94"O e altitude de 16m. Segundo a classificação climática de Koppen, Santarém enquadra-se no tipo climático Am (clima é equatorial úmido com uma estação seca bem definida e outra com elevados índices pluviométricos), com temperatura média anual variando entre 25° e 28°C, umidade relativa média do ar de 86% e precipitação média anual de 1920 mm.

### 4.2 Preparação do solo

O solo utilizado foi classificado como Latossolo Amarelo Distrófico típico (ALMADA *et al.* (2020), a análise química do solo apresentou os seguintes resultados: textura muito argilosa, contendo 80 % de argila; pH em CaCl<sub>2</sub> = 4,3; P<sub>meh</sub> = 6,7 mg dm<sup>-3</sup>; K = 0,08 cmolc dm<sup>-3</sup>; Ca = 0,95 cmolc dm<sup>-3</sup>; Mg = 0,51 cmolc dm<sup>-3</sup>; Zn = 0,43 mg dm<sup>-3</sup>; B = 0,31 mg dm<sup>-3</sup>; Fe = 154 mg dm<sup>-3</sup>; Cu = 1 mg dm<sup>-3</sup>; Mn = 4,34 mg dm<sup>-3</sup>; H+Al = 4,13 cmolc dm<sup>-3</sup>; SB = 1,54 cmolc dm<sup>-3</sup>; T = 5,67 cmolc dm<sup>-3</sup>; V% = 27%.

O solo foi seco ao ar e peneirado a malha de 4 mm e corrigido a acidez, pelo método de elevação da saturação por bases, com saturação desejada de 80%, sendo incubado por 15 dias e mantido a umidade a 80% da capacidade de campo, em vasos com capacidade de 5 dm<sup>3</sup>. Após este período o solo teve adubação com N-P-K (Uréia, cloreto de potássio e superfosfato simples), equivalente a 90 kg ha<sup>-1</sup> de N 300 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, e 120 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O e foram colocados 200 g de substrato comercial. A irrigação foi realizada todos os dias visando manter 80% da capacidade de campo.

### 4.3 Delineamento experimental

- Ensaio 01

O primeiro ensaio foi composto por 8 doses, com 4 repetições, perfazendo 32 vasos. As doses foram: 0,25; 0,5; 1; 1,5; 3; 6 e 12 kg ha<sup>-1</sup> de Zn, aplicados na forma de adubação foliar, mais o controle que foi irrigado apenas com água.

- Ensaio 02

O segundo ensaio foi composto por 8 tratamentos, com 4 repetições, perfazendo 32 vasos. As doses foram: controle, 6,25; 12,5; 25; 50; 100; 200 e 400 kg ha<sup>-1</sup> de Zn, aplicados por meio de adubação no solo, mais o controle que foi irrigado apenas com água.

### 4.4 Material Vegetal e Procedimento para biofortificação agronômica com Zn (via solo e via foliar)

A cebolinha foi transplantada a partir de mudas, onde foi feito buracos no solo em torno de 5 cm de profundidade, tamanho suficiente para cobrir as raízes, e em seguida foram apertadas para fixarem no solo e irrigadas. Foram transplantadas 10 mudas em cada (Figura 2). Após 30 dias do plantio houve o desbaste.



**FIGURA 2:** Cebolinhas plantadas

O Zn foi adicionado na cebolinha utilizando  $ZnSO_4$  heptahidratado com 22% de Zn e a quantidade por vaso foi calculada pelo seguinte cálculo:

$$Zn/vaso = \text{dosagem por hectare} / (\text{porcentagem de zinco}/100) / 200$$

Após calculado, foi diluído em água e adicionado diretamente ao solo, aos 40 dias após a germinação.

A aplicação foliar na cebolinha, foi calculada conforme a população de plantas seguindo a seguinte fórmula:

$$Zn/vaso = \text{dosagem por hectare em gramas} / (\text{porcentagem de zinco}/100) / \text{população de plantas por hectare} * \text{plantas por vaso}.$$

Foram diluídos em 40 mL de água e aplicados via foliar em cada vaso utilizando borrifadores pequenos, sendo aplicado em doses crescentes.

As plantas de cebolinha foram colhidas na mesma hora aos 60 dias e envelopadas em papel alumínio e colocadas em gelo para transporte até o laboratório e em seguida foi feita a coleta de solo, utilizando anel volumétrico, onde em laboratório foram analisados Macro com P-Resina, Micro DTPA, Enxofre e textura em todos os vasos.

#### 4.5 Análises laboratoriais

Para determinar a massa fresca da parte aérea das plantas foram escolhidas 3 plantas por vaso aleatoriamente e cortados rente ao solo. Em seguida, todas as partes da planta acima do solo foram coletadas e embrulhadas em papel alumínio e identificados. O material coletado foi levado para o Laboratório de Fisiologia Vegetal e Crescimento de Plantas da Universidade Federal do Oeste do Pará, onde foram higienizadas com água. Em seguida foram secas, com papel toalha para remover o excesso de água. E então procederam-se as avaliações:

#### 4.6 Clorofila e carotenoides

Foi usado o método proposto por LICHTENTHALER, (1987). Para cada tratamento, as leituras foram realizadas em triplicata e em três comprimentos de onda: 663,2 nm (clorofila a), 646,2nm (clorofila b).

Os teores de clorofilas e carotenoides ( $\text{g kg}^{-1}$ ) foram calculados pelas seguintes fórmulas:

$$\text{Chla} = [(12,25 \cdot \text{abs } 663,2) - (2,79 \cdot \text{abs } 646,2)] \cdot [V / (1000 \cdot \text{MF})]$$

$$\text{Chlb} = [(21,5 \cdot \text{abs } 645) - (5,1 \cdot \text{abs } 663)] \cdot [V / (1000 \cdot \text{MF})]$$

$$\text{Car} = [((1000 \cdot \text{abs } 487) - (1,82 \cdot \text{chla}) - (85,02 \cdot \text{chlb})) / 198] \cdot [V / (1000 \cdot \text{MF})]$$

Chla, Chlb e Car são respectivamente, os teores de clorofila a, b e carotenoides totais, e abs 663, abs 645 e abs 480 as absorbâncias a 663, 645 e 480 nm. V corresponde ao volume da diluição usada (mL) e MF a massa fresca (g).

#### 4.7 Análise de crescimento

4.7.1 Massa fresca da parte aérea por planta.

Após a secagem, cada planta foi medida a massa individualmente em uma balança de precisão com precisão de 0,01 g. As massas individuais de cada planta foram registradas em gramas. Parte da matéria fresca foi utilizada para quantificar os pigmentos fotossintético e o restante foi colocado em estufa para mensurar a massa seca.

#### 4.7.2 Altura dos ramos dentro da planta.

Para determinar a altura dos ramos, cada planta foi colocada em uma bancada de trabalho com uma régua graduada ao lado. A altura do primeiro ramo foi medida a partir da base da planta até o ápice da maior folha, Em seguida, a altura dos ramos subsequentes foi medida da mesma maneira, registrando-se as alturas de cada ramo em centímetros.

#### 4.7.3 Diâmetro do Coleto da planta.

Para determinar o diâmetro do colo da planta, cada planta foi colocada em uma bancada de trabalho com um paquímetro ao lado. O diâmetro foi medido na parte mais grossa da planta, a uma altura de 2 cm acima da raiz, registrando-se as medidas em milímetros.

#### 4.7.4 Número de perfilhos

Para determinar o número de perfilhos, cada planta foi colocada em uma bancada de trabalho e os perfilhos foram contados manualmente. Um perfilho é definido como um broto que surge a partir do colo da planta mãe, abaixo da superfície do solo, e que possui pelo menos um nó e uma folha completamente desenvolvidos.

#### 4.7.5 Massa seca raiz da planta

Para determinar a massa seca da raiz de cada planta, as raízes foram cuidadosamente lavadas em água corrente para remover qualquer resíduo de solo. Em seguida, as raízes foram colocadas em uma estufa a 70°C por 48 horas para secagem completa. Após a secagem, as raízes foram pesadas novamente para determinar a massa seca.

#### 4.7.6 Massa seca parte aérea da planta.

Para determinar a massa seca da parte aérea de cada planta, as plantas foram lavadas em água corrente para remover qualquer resíduo de solo. Em seguida, as plantas foram secas ao ar por 24 horas para remover o excesso de umidade. Após a secagem, a parte aérea de cada planta foi separada das raízes e pesada em uma balança de precisão, registrando a massa fresca da parte aérea. Em seguida, a parte aérea foi colocada em uma estufa a 70°C por 48 horas para secagem completa. Após a secagem, a parte aérea foi pesada novamente para determinar a massa seca.

### 4.8 Teor Açúcar redutor

Foi usado o método de redução do reagente DNS na presença de açúcares redutores proposto por (MILLER, 1959).

Adicionou 50 mL de hidróxido de sódio (NaOH) 2N a 2,5 g de DNS (ácido dinitrosalicílico) e aproximadamente 125 mL de água destilada e agitado até à dissolução. Posteriormente, adicionou 75g do sal de Rochelle e completado o volume da solução para 250 mL. Este reagente é instável na presença de luz e CO<sub>2</sub>. Após adicionar o reagente de DNS, agitou a mistura e levou os tubos ao banho-maria a 100° C durante 5 minutos. Deixou esfriar a temperatura ambiente e completou o volume para 5 mL com água destilada. Fez a leitura em  $\lambda = 540\text{nm}$  no espectrofotômetro (Spectrophotometer Model Nova 3300UV).

#### **4.9 Teores de açúcares solúveis totais**

Foi usado o método da Antrona (YEMM, 1954). Adicionou 40mg de antrona a 1mL de água destilada e após, 20mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado, depois os tubos foram agitados e levados a banho-maria a 100°C por 3 minutos, depois foram resfriados a temperatura ambiente e feito a leitura a 620nm em espectrofotômetro (Spectrophotometer Model Nova 3300UV).

#### **4.10 Flavonoides totais**

O teor de flavonoides totais foi avaliado seguindo o método descritos por SALGUEIRO et al., (2014) com algumas mudanças, sendo, 1 g de extrato seco colocou 10 mL de etanol absoluto por 7 dias em temperatura ambiente, acrescentados 1 mL do extrato etanólico 1:10 (m/v), colocada 1 mL de água destilada, 2 mL de solução metanólica de cloreto de alumínio 2% (m/v), a curva de calibração feita com quecertina nas concentrações de 0 a 100 µg mL<sup>-1</sup>. A leitura feita em 415 nm.

#### **4.11 Fenóis totais**

Os fenóis totais foram avaliados seguindo o método descritos por SALGUEIRO et al., (2014) com algumas mudanças. Foi acrescentado 250 µL de extrato etanólico 1:10 (m/v), 250 µL de Folin-Ciocalteu, 500 µL de Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 15% (m/v), reagendo por 5 min, adicionada 4 mL de água desliada, deixando 4h reagindo a temperatura ambiente, protegido da radiação UV. Depois foi feito a leitura em 798 nm. A curva foi feita com ácido gálico nas concentrações de 0 a 36 µg mL<sup>-1</sup>.

#### **4.12 Aminoácido**

Foi usado o método desenvolvido por YEMM, (1955) onde foi feita a adição do padrão de aminoácidos e dos reagentes, agitou e levou ao banho-

maria à 100°C por 20 min para desenvolver a coloração. Posteriormente, completou com etanol 60% e agitou novamente. Após o resfriamento, fez a leitura em  $\lambda = 570\text{nm}$  no espectrofotômetro U.V (Spectrophotometer Model Nova 3300UV).

#### **4.13 Macro e micronutrientes**

Foi feito por análise laboratorial no Laboratório de Análise Foliar do Departamento de Química da Universidade Federal De Lavras usando o método de MALAVOLTA, (2010) e ou HARRIS, (2012).

#### **4.14 Amônio**

Foi usada a metodologia de WEATHERBURN, (1967). O procedimento consistiu em transferir 50 mg de massa seca liofilizada para tubos de ensaio de 15mL, adicionando 5mL de água desliada e foi levado ao banho-maria por 30 min a 100°C, após a extração as mostras foram centrifugadas em 1000 rpm por 10 min e os sobrenadantes coletados para obtenção do extrato total.

#### **4.15 Prolina**

Amostras de massa seca de raízes foram usadas para medir a prolina, de acordo com BATES et al., (1973). 100mg do material seco foi macerado em almofariz com parte do extrator: Ácido Sulfosalicílico 3% (volume total do extrator 10 mL). Depois foi agitado a temperatura ambiente na centrifuga por 20min na velocidade 8 e levado a banho-maria a 30°C.

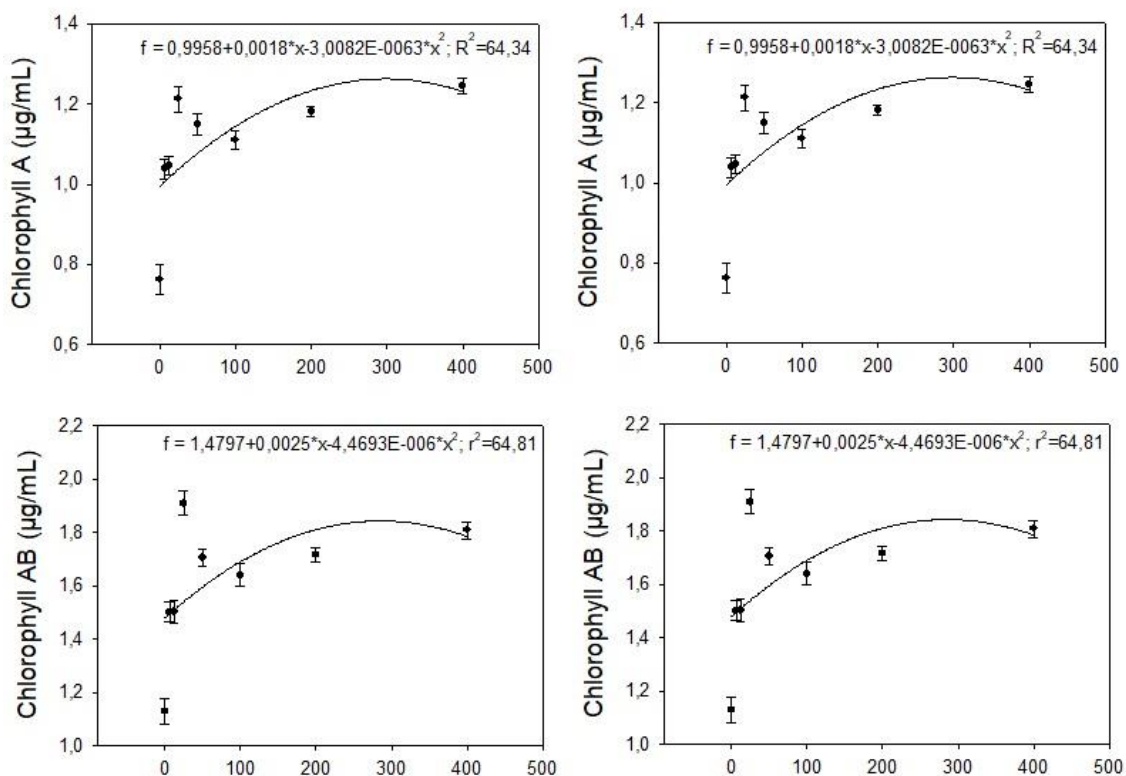
## 5 CAPÍTULO 01

### 5.1 Adubação via solo

#### 5.1.1 Resultados

##### 5.1.1.1 Pigmentos

As doses com Zn proporcionaram incrementos nos teores dos pigmentos fotossintéticos, clorofila A, clorofila B, clorofila AB e carotenoides em relação ao controle. Em todos os parâmetros dos pigmentos foi usado o modelo de regressão quadrático, onde houve um aumento partindo do controle até a dose 200 Kg ha<sup>-1</sup>, depois houve uma ligeira queda até a dose 400 Kg ha<sup>-1</sup>. O incremento mínimo em relação ao controle foi proporcionado pela dose 6,5 kg ha<sup>-1</sup> que foi de 36.45%, 26.81%, 33.32% e 33.62% respectivamente. As médias máximas foram encontradas nas doses 400 Kg ha<sup>-1</sup> para Clorofila A 63.43% e Clorofila B 61.05%, enquanto para Clorofila AB e Carotenoides a dose 25 Kg ha<sup>-1</sup> foi o que aumentou mais a média, sendo 69.26% e 60.73% respectivamente o aumento (Gráfico 01).



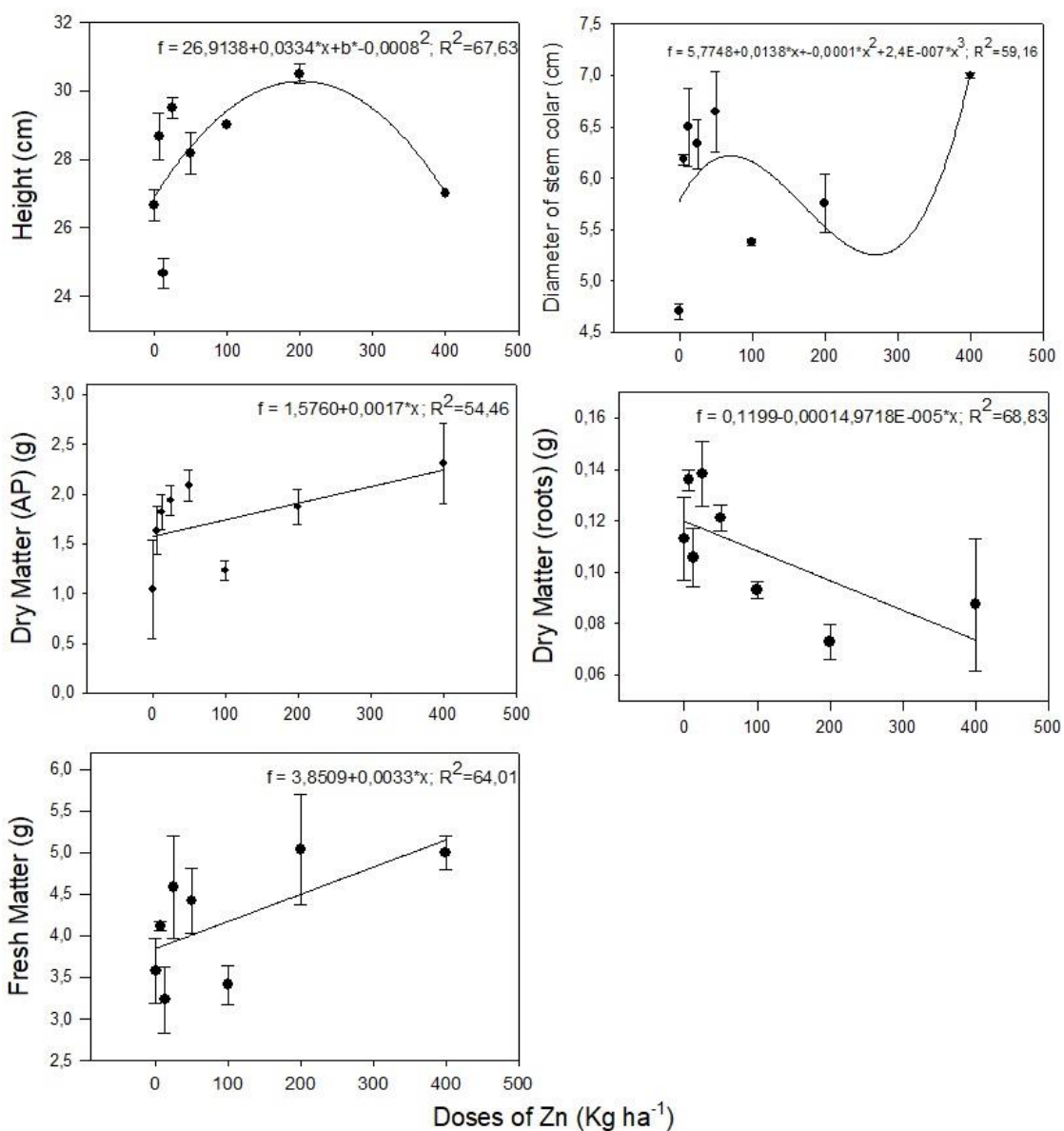
**GRÁFICOS 1:** Pigmentos  
**FONTE:** Autor

### 5.1.1.2 Crescimento

As doses com Zn proporcionaram incrementos nas medidas de Altura, Diâmetro do Coleto, Massa Fresca PA, e Massa Seca PA. A Massa Fresca PA (nas doses 12.5, 100 Kg ha<sup>-1</sup>), e Altura (nas doses 12.5 Kg ha<sup>-1</sup>) apresentaram decréscimo em relação ao controle.

O modelo de regressão para Altura foi o quadrático, onde houve um aumento partindo do controle até a dose 200 Kg ha<sup>-1</sup>, depois houve uma ligeira queda até a dose 400 Kg ha<sup>-1</sup>. Para o diâmetro do coletor foi usado o modelo de regressão cúbico, onde houve aumento do controle a dose 100 Kg ha<sup>-1</sup> e depois queda até a dose 200 Kg ha<sup>-1</sup>, depois novo aumento até a dose 400 Kg ha<sup>-1</sup>. Para Massa seca Pa, Massa Seca Raiz e Massa Fresca foi usado o modelo de regressão linear, a massa seca PA e a massa fresca ocorreu um aumento contínuo do controle a dose 400 Kg ha<sup>-1</sup> e na massa seca raiz ocorreu um declínio contínuo do controle a dose 400 Kg ha<sup>-1</sup>.

O incremento mínimo em relação ao controle foi na Massa Fresca PA, e Altura na dose 12.5 Kg ha<sup>-1</sup>, sendo respectivamente -9.66% e -7.5%, na Massa Seca PA e Diâmetro do Coleto na dose 100 Kg ha<sup>-1</sup>, enquanto na Massa Seca Raiz o menor valor foi na dose 200 Kg ha<sup>-1</sup>, sendo um decréscimo de -35.52%. A média máxima para a Massa Seca Raiz foi na dose 25 Kg ha<sup>-1</sup>, com aumento de 22.40%, para a Massa Fresca PA e Altura a média máxima foi na dose 200 Kg ha<sup>-1</sup>, com aumento respectivo de 40.74% e 14.37%, já para Massa Seca PA e Diâmetro do Coleto o maior aumento da média em relação ao controle foi na dose 400 Kg ha<sup>-1</sup>, sendo 121.41% e 48.83% (Gráfico 02).



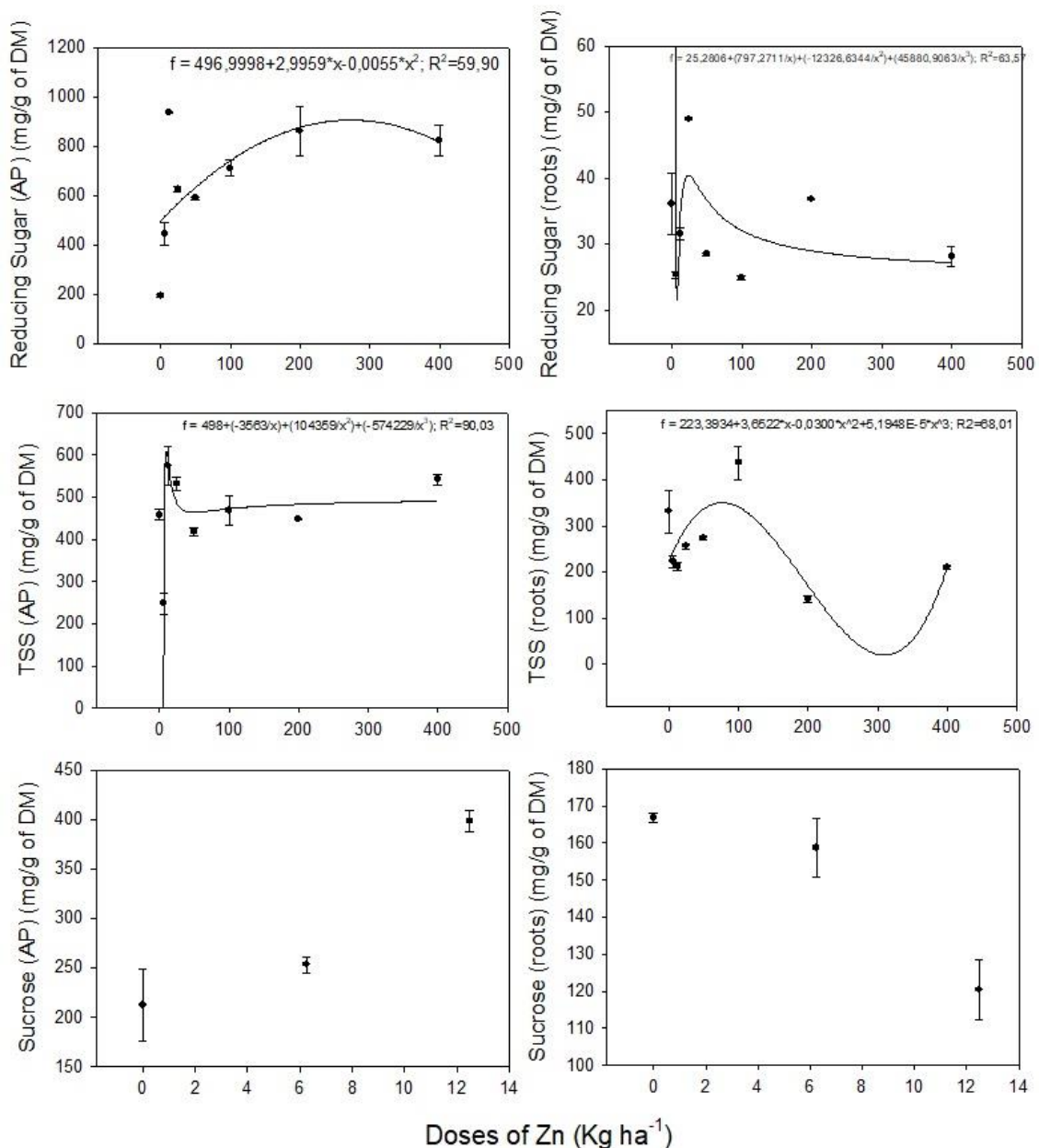
**GRÁFICOS 2:** Crescimento  
**FONTE:** Autor

### 5.1.1.3 Açúcares

Ao menos uma dose com Zn proporcionou incremento em relação ao controle, mas houve aumento no AR Raiz (25 e 200 Kg ha<sup>-1</sup>), AST PA (12, 25, 100 e 400 Kg ha<sup>-1</sup>), AST Raiz (100 Kg ha<sup>-1</sup>).

O modelo de regressão do AR PA foi o quadrático, onde ocorreu um aumento do controle até a dose 200 Kg ha<sup>-1</sup> e depois queda até a dose 400 Kg ha<sup>-1</sup>. Para o AR Raiz e o AST PA foi usado o modelo de regressão inverso de terceira ordem, no AST PA houve aumento da dose 6,25 Kg ha<sup>-1</sup> até as 12,5 Kg ha<sup>-1</sup>, depois queda até depois da dose 25 Kg ha<sup>-1</sup>, onde manteve um ligeiro aumento até a dose 400 Kg ha<sup>-1</sup>, para o AR Raiz houve aumento do controle a dose 25 Kg ha<sup>-1</sup> e depois queda contínua até a dose 400 Kg ha<sup>-1</sup>. No AST Raiz foi usado o modelo de regressão cúbico, ocorrendo aumento até a dose 100 Kg ha<sup>-1</sup>, queda até depois da dose 200 Kg ha<sup>-1</sup> e aumento até a dose 400 Kg ha<sup>-1</sup> (GRÁFICO 03).

O incremento mínimo da média em relação ao controle foi na AST PA e AR PA na dose 6.25 Kg ha<sup>-1</sup> de respectivamente de -45.75% e 130.82%, na AR Raiz na dose 100 Kg ha<sup>-1</sup> de -30.83%, enquanto no AST Raiz o menor valor foi na dose 200 Kg ha<sup>-1</sup>, sendo um decréscimo de -57.22%. A média máxima para a AR PA e AST PA foi na dose 12.5 ha<sup>-1</sup>, com aumento respectivo de 387.06% e 25.65%, para a AR Raiz a média máxima foi na dose 25 Kg ha<sup>-1</sup>, com aumento de 35.72%, já para AST Raiz o maior aumento da média em relação ao controle foi na dose 100 Kg ha<sup>-1</sup>, sendo 32.02%. Na Sacarose Raiz o incremento de Zn trouxe decréscimo sendo de -4.88% na dose 6 Kg ha<sup>-1</sup> e -27.8% no 400 Kg ha<sup>-1</sup>. Enquanto na Sacarose PA houve aumento de 19.05 no 6 Kg ha<sup>-1</sup> e 87.25% no 400 Kg ha<sup>-1</sup>.



**GRÁFICOS 3:** Açúcares  
**FONTE:** Autor

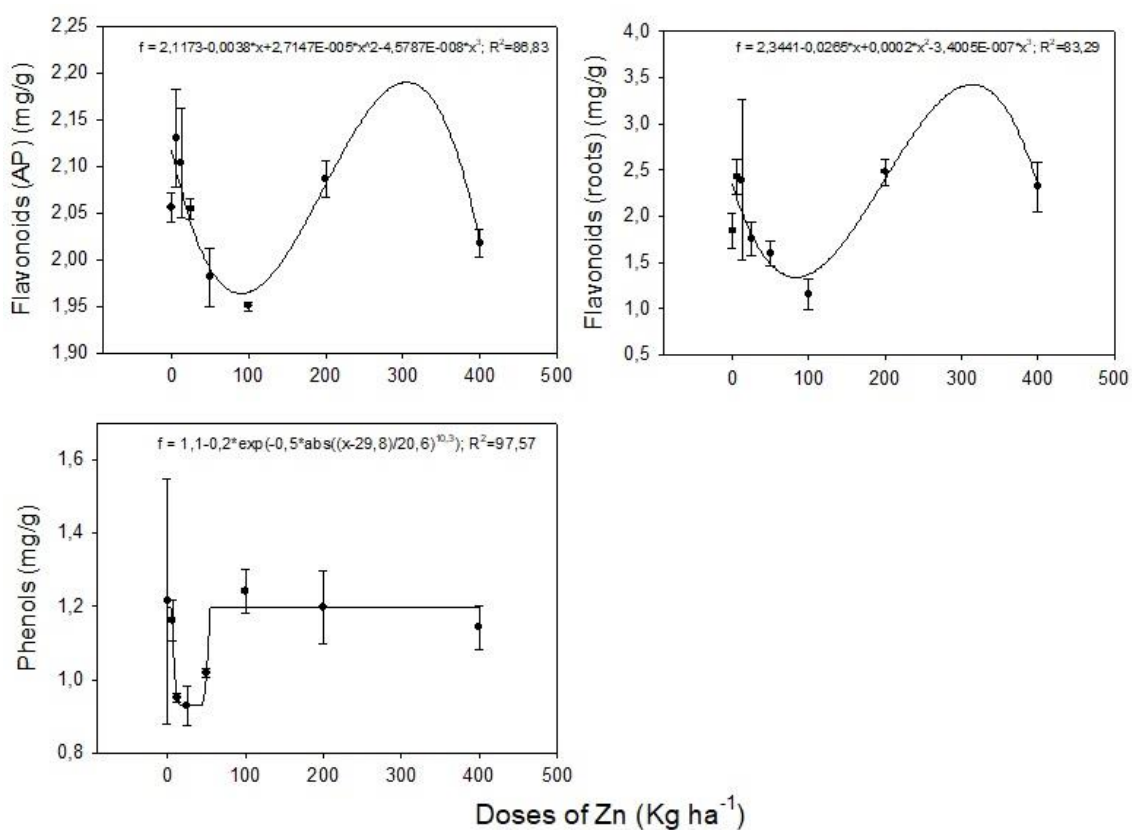
#### 5.1.1.4 Compostos Fenólicos

Ao menos uma dose com Zn propiciou incremento em relação ao controle, mas houve acréscimo da média no Flavonoides PA (6.25 12.5, 200 e 400 Kg ha<sup>-1</sup>), Flavonoides Raiz (6.25, 12.5 e 200 Kg ha<sup>-1</sup>), Fenóis (100 Kg ha<sup>-1</sup>).

O modelo de regressão para Flavonoides PA e Flavonoides Raiz foi o cúbico, onde nos dois parâmetros ocorreu uma queda da dose 6,25 Kg ha<sup>-1</sup> até a dose 100 Kg ha<sup>-1</sup> e subiu até depois da dose 200 Kg ha<sup>-1</sup>, onde houve

queda até a dose 400 Kg ha<sup>-1</sup>. Para os Fenóis foi usado o modelo de regressão Gaussian modificado de 5º parâmetro, onde houve queda do controle a dose 12,5 Kg ha<sup>-1</sup> e aumento até a dose 100 Kg ha<sup>-1</sup>, mantendo estável nas outras doses com o aumento do Zn (Gráfico 04).

Em relação ao controle houve diminuição da média nos Flavonoides PA e Flavonoides Raiz na dose 100 Kg ha<sup>-1</sup> com diminuição de -5,13% e 37,52%, nos Fenóis ocorreu na dose 25 Kg ha<sup>-1</sup> com diminuição de -23,43%. A média máxima para os Flavonoides PA foi na dose 6.25 Kg ha<sup>-1</sup> com aumento de 3.63%, nos Fenóis foi na dose 100 Kg ha<sup>-1</sup> com aumento de 2.17% e nos Flavonoides Raiz foi na dose 200 Kg ha<sup>-1</sup> com aumento de 34.37%.



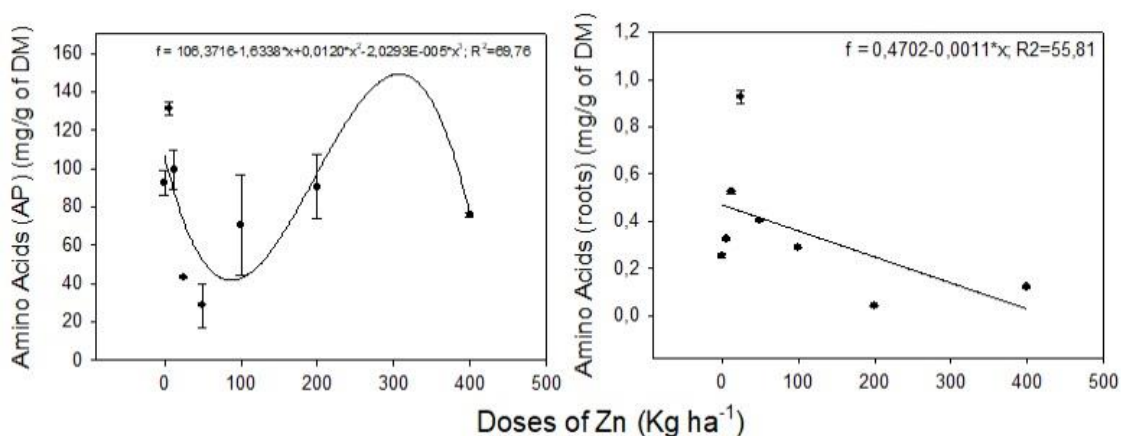
**GRÁFICOS 4:** Compostos Fenólicos  
**FONTE:** Autor.

#### 5.1.1.5 Aminoácidos

Ao menos em duas doses com Zn proporcionaram incremento em relação ao controle, mas houve acréscimo no Aminoácido Raiz (200 Kg ha<sup>-1</sup>) e Aminoácido PA (25, 50, 100, 200 e 400 Kg ha<sup>-1</sup>).

No modelo de regressão o Aminoácido PA e Aminoácido Raiz se comportaram de maneira contrária. O Aminoácido PA houve uma queda até a dose 12.5 Kg ha<sup>-1</sup> e aumentou até a dose 100 Kg ha<sup>-1</sup> alcançando a estabilidade na dose 200, porém, no Aminoácido Raiz ocorreu um aumento até Tratamento 25 onde ocorreu o ápice e caiu até a dose até o 100 Kg ha<sup>-1</sup> e alcançar a estabilidade (Gráfico 5).

Houve diminuição da média em relação ao controle que foi nos Aminoácidos Raiz na dose 200 Kg ha<sup>-1</sup> com -83.58% e no Aminoácidos PA na dose 50 Kg ha<sup>-1</sup> com -68.92%, enquanto o incremento máximo ocorreu na dose 25 Kg ha<sup>-1</sup> nos Aminoácidos Raiz com 264.74% e na dose 6.25 Kg ha<sup>-1</sup> no Aminoácidos PA com 41.81%.



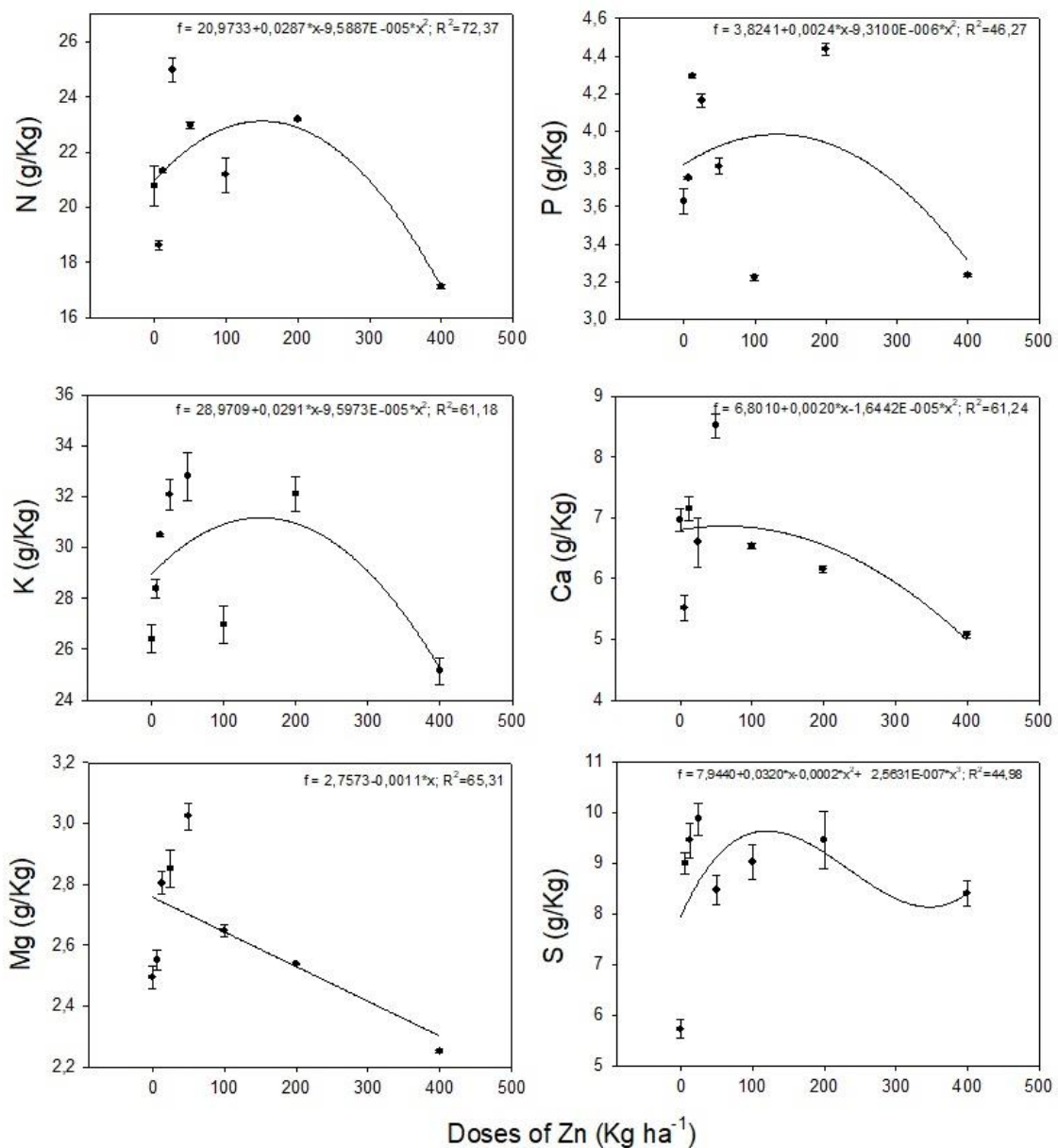
**GRÁFICOS 5:** Aminoácidos  
**FONTES:** Autor.

#### 5.1.1.6 Macronutrientes

Ao menos em duas doses com Zn proporcionaram incremento em relação ao controle, mas houve aumento no N (12.5, 25, 50, 100, 200 Kg ha<sup>-1</sup>), P (6.25, 12.5, 25, 50, 200 Kg ha<sup>-1</sup>), K (todos, exceto 400 Kg ha<sup>-1</sup>), Ca (12.5 e 50 Kg ha<sup>-1</sup>), Mg (todos, exceto 400 Kg ha<sup>-1</sup>).

N, P, K, Ca foram usados o modelo de regressão quadrático, onde no N, P, K houve aumento até a dose 200, com queda até a dose 400, no Ca o aumento foi até a dose 100, depois queda até a dose 400. No Mg foi usado o modelo de regressão linear com queda continua do controle a dose 400. No S foi usado o modelo de regressão cúbico com aumento do controle a dose 100 e queda até a dose 400, onde começou a aumentar (Gráfico 6).

Houve diminuição em relação ao controle em alguns elementos e em outros houve um incremento mínimo, no P na dose 100 Kg ha<sup>-1</sup> com decréscimo de -11.12% e no N, K, Ca, Mg, S ocorreu na dose 400 Kg ha<sup>-1</sup> com -17.50%, -4.74%, -27.08%, -9.75% e 46.76% respectivamente. Enquanto o incremento máximo ocorreu na dose 6.25 Kg ha<sup>-1</sup> para o P com 18.38%, na dose 25 Kg ha<sup>-1</sup> para N, Mg, S com respectivamente aumento de 20.32%, 14.30% e 72.51%, na dose 50 Kg ha<sup>-1</sup> para o K e Ca com respectivamente aumento de 24.22% e 22.20%.



**GRÁFICOS 6:** Macroelementos.  
**FONTE:** Autor.

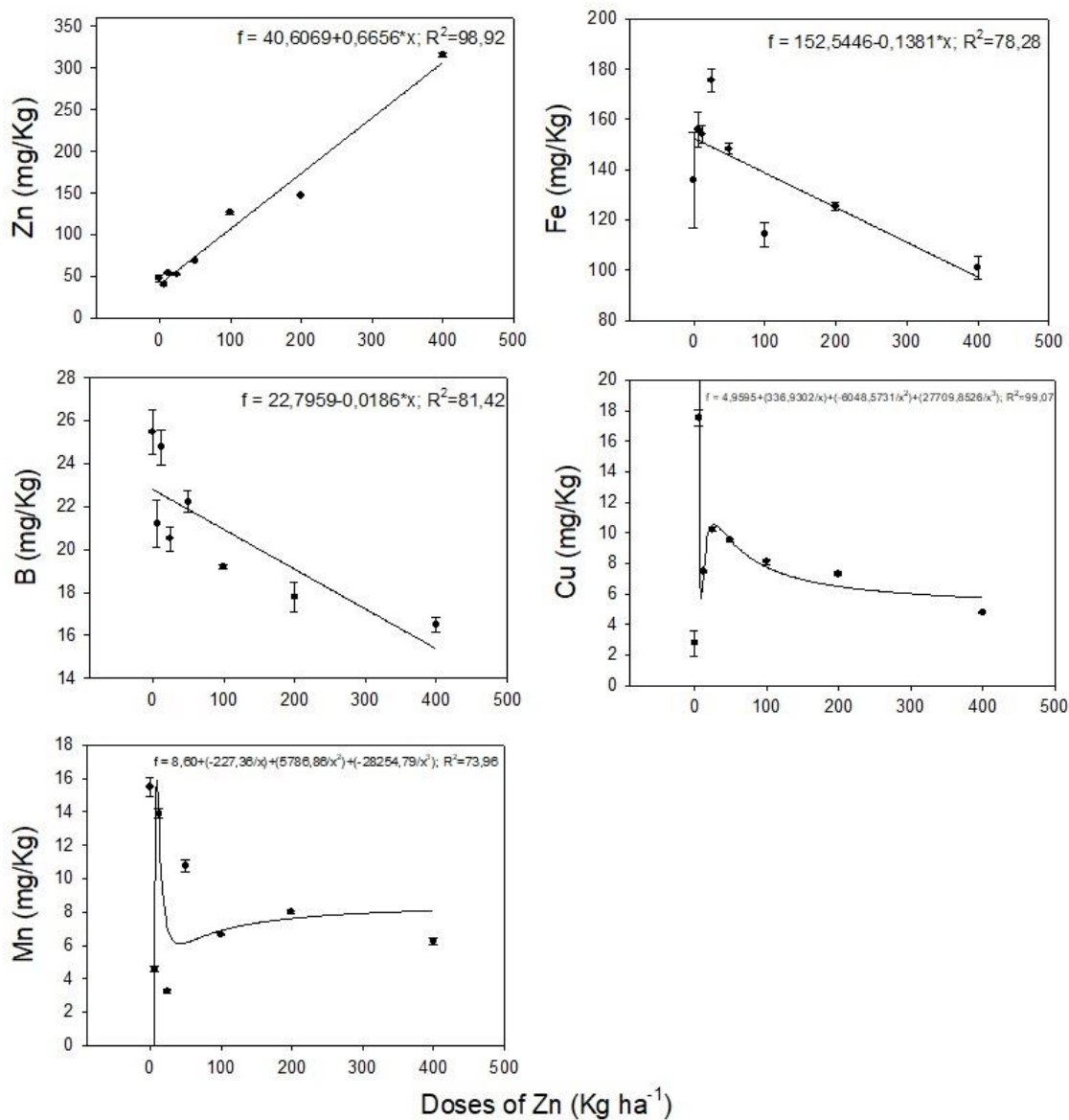
### 5.1.1.7 Microelementos

Nem todas as doses com Zn proporcionaram incremento em relação ao controle, o B e Mn tiveram decréscimo em todas as doses e houve acréscimo no Zn (Exceto no 6.25 Kg ha), Fe (6.25, 12.5, 25, 50 Kg ha<sup>-1</sup>).

O Zn, Fe e B tiveram o linear como modelo de regressão, contudo, enquanto o Zn houve um aumento com o aumento das doses o B e o Fe tiveram uma queda. O Mn e o Cu foi usado o modelo inverso de terceira ordem,

onde houve no Cu uma queda da dose 6,25 Kg ha<sup>-1</sup> até a 12,5 Kg ha<sup>-1</sup>, depois um aumento até a dose 25 com uma queda ligeira e contínua até a dose 400 Kg ha<sup>-1</sup>, no Mn ocorreu um aumento do 6,25 Kg ha<sup>-1</sup> até o 12,5 Kg ha<sup>-1</sup>, depois um queda até a dose 50 Kg ha<sup>-1</sup>, seguido por um aumento até a dose 400 Kg ha<sup>-1</sup> (Gráfico 7).

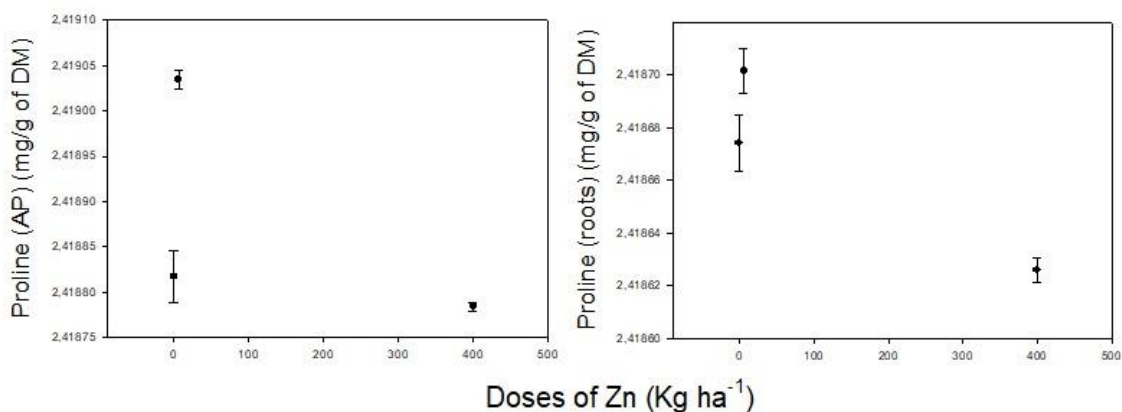
O incremento mínimo em relação ao controle no Zn foi na dose 6.25 Kg ha<sup>-1</sup> com decréscimo de -14.93%, no Fe, B e Cu foi na dose 400 Kg ha<sup>-1</sup> com -25.72%, -35.30% e 72.11% respectivamente e no Mn foi no 25 Kg ha<sup>-1</sup> com -78.99%. A média máxima em relação ao controle no Cu foi no 6.25 Kg ha<sup>-1</sup> com 531.61%, no B e Mn foi na dose 12.5 Kg ha<sup>-1</sup> com -2.78% e -10.25%, no Fe foi no 25 Kg ha<sup>-1</sup> com 29.10%, enquanto o Zn ocorreu na dose 400 Kg ha<sup>-1</sup> com 567.32%.



**GRÁFICOS 7:** Microelementos.  
**FONTE:** Autor.

### 5.1.1.8 Prolina

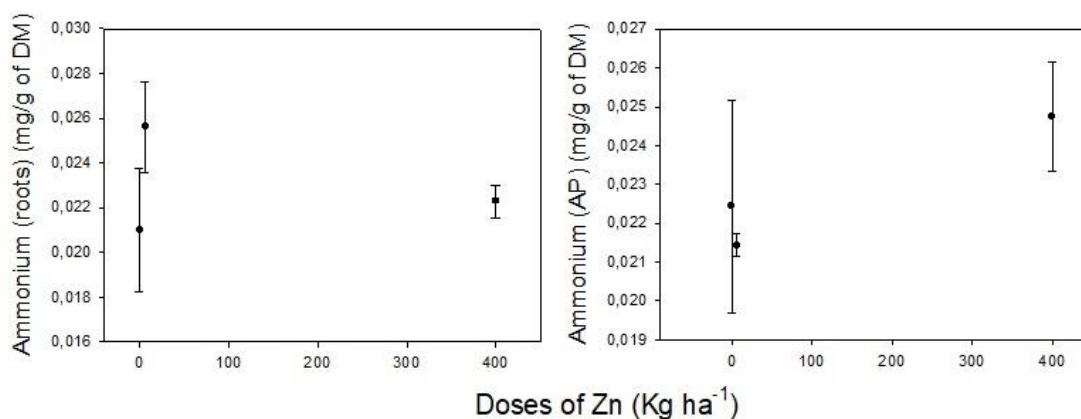
A dose 6.25 Kg ha<sup>-1</sup> foi o único que proporcionou incremento da prolina, tanto na PA quanto na raiz, sendo um aumento de 0.008% e 0.001% enquanto na dose 400 Kg ha<sup>-1</sup> houve queda de 0.001% e 0.002% respectivamente (Gráfico 8).



**GRÁFICOS 8:** Prolina  
**FONTE:** Autor.

### 5.1.1.9 Amônio

A dose 6,25 Kg ha<sup>-1</sup> na Prolina PA houve decréscimo de 4,49%, enquanto na dose 400 Kg ha<sup>-1</sup> houve acréscimo de 10,28%, para a Prolina Raiz houve aumento tanto na dose 6,25 Kg ha<sup>-1</sup> quanto na 400 Kg ha<sup>-1</sup> com acréscimo respectivo de 21,97% e 6,18% (Gráfico 9).



**GRÁFICOS 9:** Amônio  
**FONTE:** Autor.

## 5.2 Discussão

### 5.2.1 Pigmentos

Os tratamentos com Zn a partir de 6,5 kg ha<sup>-1</sup> possibilitaram incrementos nos valores dos pigmentos fotossintéticos Clorofila A, Clorofila B e Clorofila A+B. Resultados similares foram observados por HAIDER et al.

(2018) em feijão e SORAHINOBAR et al. (2023) no trigo, m, onde observaram um aumento nos teores dos pigmentos fotossintéticos em doses a partir de 5 kg ha<sup>-1</sup>.

Além disso, (POUDEL et al.(2023) em feijão notaram que concentrações acima de 80 kg há<sup>-1</sup> causaram diminuição nas concentrações de clorofila , pois o excesso de zinco pode reduzir o N, o que reduzia os níveis de clorofila, enquanto SORAHINOBAR et al. (2023) citam que o efeito do excesso de Zn no rendimento e na redução do teor de clorofila também pode estar relacionado à redução do teor de Fe.

No entanto, os estudos de POUDEL et al., (2023) e SORAHINOBAR et al. (2023) também observaram elevados valores de pigmentos no tratamento como os maiores valores de N e Fe, o que observamos no tratamento 25 kg ha<sup>-1</sup>.

## 5.2.2 Crescimento

### 5.2.2.1 Altura

O zinco aumentou o crescimento das plantas a partir da dose 25 Kg ha<sup>-1</sup> até a dose 200 Kg ha<sup>-1</sup>, já na dose 400 Kg ha<sup>-1</sup>houve uma diminuição de 12.5% no tamanho, apontando que o excesso de zinco trouxe toxicidade que afetou o crescimento.

HAIDER et al., (2018) em estudo com feijão alcançaram a maior altura na dose 10 Kg ha<sup>-1</sup>, enquanto SALAKINKOP, (2018) em estudo com milho teve a maior altura na dose 25 Kg ha<sup>-1</sup>.

### 5.2.2.2 Diâmetro

A cebolinha teve um aumento de 148% na dose 400 Kg ha<sup>-1</sup>, diferentemente MUKHERJEE et al., (2013) notou que a partir da dose 200 Kg ha<sup>-1</sup> houve uma diminuição do diâmetro, enquanto SAHA et al., (2023) não obtiveram diferença com diferentes tratamentos no tomate.

### 5.2.2.3 Massa Fresca

A massa fresca cresceu de forma linear com o incremento de zinco, atingindo seu ápice na dose 200, DE MORAES *et al.* (2022) com alface, ALMENDROS *et al.*, (2015) no alho e DU *et al.*, (2019) com trigo chegaram aos mesmo resultados, que a massa fresca cresce de forma linear com o aumento das doses até a dose 200 Kg ha<sup>-1</sup>. ALMENDROS *et al.*, (2017) em estudo com tomates diz que o aumento no conteúdo de massa fresca pode estar correlacionado com o conteúdo da clorofila e atividade da anidrase carbônica, como aumento da absorção de luz pelas folhas poderiam, em última análise, levar a uma maior massa fresca. WHITE *et al.*, (2018) discutem que a concentração de zinco na planta acima de um valor crítico reduziu a massa fresca da parte aérea de todos os genótipos de repolho e brócolis estudados, não existem estudos sobre ao valor crítico na cebolinha, mas para efeito de comparação as faixas críticas de Zn em repolho (1.201 mg Kg<sup>-1</sup>), alface (60 mg Kg<sup>-1</sup>), brócolis (1.666 mg Kg<sup>-1</sup>) e folhas verdes (até 700 mg Kg<sup>-1</sup>), cebola (1,5 mg Zn Kg<sup>-1</sup>) ((ALMENDROS *et al.*, 2015; GRACIANO *et al.*, 2020; WHITE, 2009).

### 5.2.3 SACAROSE

Em todos os tratamentos houve queda na concentração de sacarose na raiz em relação ao controle, (SILVA *et al.* 2021) em estudo com amendoim, 17% dos tipos estudados diminuíram em resposta à fertilização com Zn, chegando a conclusão que a aplicação de Zn também poderia estar induzindo um aumento de carboidratos estruturais, levando a uma diminuição do acúmulo de açúcares solúveis nos grãos. Por outro lado, a sacarose teve um incremento na parte aérea, em função de um maior teor de pigmentos fotossintéticos. O aumento das clorofilas pode possibilitar uma maior taxa fotossintética levando ao aumento da sacarose e açúcares redutores.

### 5.2.4 Fenóis

ANDRESEN, (2018) relataram que, devido ao seu conteúdo fenólico, as plantas podem ser classificadas como tendo baixo ( $<1,0 \text{ mg GAE g}^{-1}$ ), moderado ( $1,0\text{--}2,0 \text{ mg GAE g}^{-1}$ ) e alto ( $> 2,0 \text{ mg GAE g}^{-1}$ ) conteúdo, assim a dose com zinco não afetou a quantidade de conteúdo fenólico. ZAKIULLAH et al., (2019) citam em estudo com alho que o boro influencia na quantidade de fenóis. Enquanto MARICHALI et al., (2014); RAIGOND et al., (2017); SORAHINOBAR et al., (2023); ZAFAR et al., (2016) em estudos com coentro, batata, feijão e mostarda aumentaram a concentração dos compostos fenólicos em mais de 100% o que contrasta com os resultados da cebolinha, LIMA FILHO, (2020) explicam que o aumento dos fenóis ocorre mais facilmente em plantas que apresentam problemas de toxicidade.

#### 5.2.5 Flavonoides

Os flavonoides tiveram pouca diferença do controle, sendo de aproximadamente 3% na raiz e 30% na parte aérea, NEKOUKHOU *et al.*, (2022) dizem que juntamente com o aumento das concentrações de metais, os níveis de flavonoides, compostos fenólicos, antocianinas e carotenos nas plantas também podem aumentar, o que em faz sentido no nosso estudo com a cebolinha, pois os maiores valores de flavonoides da cebolinha foram na dose com as maiores quantidades de elementos da família dos metais. Mas em comparação com outros estudos o aumento foi irrisório, NEKOUKHOU *et al.*, (2022) com manjerição e IZIY *et al.*, (2019) com beldroega tiveram aumento de mais de 1000% na dose  $500 \text{ Kg ha}^{-1}$ .

#### 5.2.6 Aminoácidos

Os aminoácidos aumentaram na parte aérea até a dose  $6 \text{ Kg ha}^{-1}$ , depois houve um decréscimo, enquanto na raiz houve aumento até a dose  $25 \text{ Kg ha}^{-1}$ . Enquanto KACHINSKI *et al.*, (2022) em estudo com feijão houve decréscimo da quantidade de aminoácidos em todos as doses usados, já

BARRAMEDA-MEDINA *et al.*, (2017) conseguiram aumento de 42% em tratamento com 100  $\mu\text{M}$  de Zn.

### 5.2.7 Elementos

HUSSAIN *et al.*, (2022) estimaram que a deficiência de zinco acomete cerca 66% da população mundial afetando igualmente grupos populacionais em países desenvolvidos e em desenvolvimento. O Brasil é incipiente de estudos nacionais, e a real magnitude dessa deficiência no país é desconhecida. Contudo existem estudos em grupos segregados em diferentes regiões, MARCHETTI *et al.*, (2022) ocorrendo a deficiência de zinco em 26.1% dos idosos, ENANI, (2019) 17.8% em crianças de até 5 anos e MOESCH *et al.*, (2022) 58.3% em grávidas.

O Brasil possui apenas um programa para suplementação em larga escala para crianças chamado Nutrisus que consiste na distribuição de sachês de suplementação, que contém nutrientes e dentre estes 4.1mg de Zinco. Contudo esse programa necessita de adesão do município e os pais devem buscar. Em contraste a biofortificação não necessita de nenhuma mudança na alimentação.

A dose 400 kg ha<sup>-1</sup> obteve a média de 567,32 mg/Kg, CEAGESP, (2023) diz que em média o maço da cebolinha tem em média 150g. Dessa forma o maço de cebolinhas biofortificadas pela dose 400 kg ha<sup>-1</sup> possuiria 85 mg de zinco o que é dez vezes o consumo sugerido para mulheres e quase oito vezes o que é sugerido para homens e dezessete a quantidade para uma criança. Outro ponto é que um maço de cebolinha equivale também a 20 sachês distribuídos pela NutriSUS.

Também pode-se comparar com os 519 alimentos da Tabela Brasileira de Composição de Alimentos – TACO, onde a dose 400 kg ha<sup>-1</sup> obteve mais zinco que todos os alimentos, ou mais que todas as verduras e hortaliças (abóbora moranga, abobrinha paulista, acelga, agrião, aipo, alface americana, alfavaca, alho, alho-poró, almeirão, batata inglesa, berinjela, beterraba, brócolis, cará, caruru, catalonha, cebola, cebolinha, cenoura,

chicória, chuchu, couve-flor, espinafre (Nova Zelândia), farinha de mandioca, feijão broto, inhame, jiló, jurubeba, mandioca, manjeriço, maxixe, mostarda folha, nabo, pepino, pimentão verde, quiabo, rabanete, repolho roxo, rúcula, salsa, serralha, taioba, tomate com semente e vagem) combinadas que tiveram 218.33 mg/Kg.

Se comparado com a biofortificação em outros vegetais com a cebolinha com tratamento  $400 \text{ kg ha}^{-1}$ , também é imensamente maior. (RABBI, 2023) em estudo chegaram à conclusão que o tomate tem pouca concentração de zinco e a dose de  $6 \text{ kg ha}^{-1}$  aplicado em forma de spray durante 6 dias, alcançou a concentração de 4,93 mg/Kg. MANUEL, (2018) encontraram a concentração de 57,7 mg/kg, usando uma dose onde os tubérculos eram imersos em soluções com  $30 \text{ mg mL}^{-1}$ , já na beterraba foi encontrado  $50,3 \text{ mg kg}^{-1}$  em tratamento onde o tubérculo era imersos em soluções com  $18 \text{ mg mL}^{-1}$ . FLORIANO *et al.*, (2018) chegaram à conclusão que uma dose com  $20 \text{ kg ha}^{-1}$  é o mais adequado para cenouras, chegando a uma concentração de 2.4 mg/kg.

Por outro lado, DE MORAES *et al.*, (2022) conseguiram um teor de  $746,3 \text{ mg Zn kg}^{-1}$  em tratamento com  $40 \text{ mg Zn dm}^{-1}$  em alface.

O zinco e o ferro foi aumentando o seu valor de acordo com o aumento da dose, até o ápice do Fe na dose  $25 \text{ kg ha}^{-1}$ , após esse houve uma relação proporcional negativa com o zinco. SAHA *et al.*, (2017) em estudo em arroz diz que isso pode ser atribuído a uma competição conhecida entre Zn e Fe na absorção pelas raízes nos solos, no carregamento no xilema, na quelação para translocação e transporte através da membrana por proteínas transportadoras específicas, enquanto KUTMAN, (2011) diz que a mobilidade do Fe é feito pelo floema por meio de retranslocação e essa é influenciada pelo N, este junto com o Fe teve os valores mais baixos na dose  $400 \text{ kg ha}^{-1}$ . Os valores dos outros nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, Mn, S, Cu, B) tiveram valores proporcionais entre eles, tendo os maiores valores entre as doses  $12.5$  e  $25 \text{ kg ha}^{-1}$  e os menores na dose  $400 \text{ kg ha}^{-1}$ .

Vale salientar que outro ponto interessante para o uso da cebolinha biofortificada é por ser um vegetal folhoso, SARKAR *et al.*, (2022) dizem que

não contêm grandes quantidades de ácido fítico , que liga metais a compostos insolúveis, reduzindo sua absorção no trato gastrointestinal dos humanos, portanto, a maior parte do Zn acumulado pela cebolinha pode ser prontamente biodisponível, além de poder come-la crua.

Apenas uma porção de 35g de cebolinha biofortificada é necessária para alcançar o recomendado de 11mg de zinco diário.

#### 5.2.8 Prolina

Em todos os tratamentos houve queda na concentração de prolina em relação ao controle, (KANDIL et al. 2023) em estudo com milho também encontrou diminuição da prolina com biofortificação com zinco. (CONSENTINO et al. 2023; SATTAR et al. 2022) relatam que ocorre aumento da prolina em estresse hídrico, pois forma ligações entre proteínas, ajudando a protegê-las de danos causados pelo estresse hídrico.

## 6 CONCLUSÃO

Se tratando apenas do zinco a dose  $400 \text{ kg ha}^{-1}$  foi o mais vantajoso, pois aumentou o teor de zinco em mais de 567%. Enquanto a dose  $12.5 \text{ kg ha}^{-1}$  foi melhor se tratando de todos os nutrientes ((N, P, K, Ca, Mg, Mn, S, Cu, B, Fe, Zn), os elementos tiveram um acréscimo no valor em média de 35%. Para o produtor e os consumidores o parâmetro de tamanho e massa fresca seria os mais interessantes e a dose de destaque foi a dose  $200 \text{ kg ha}^{-1}$ , como aumento na altura de 14.73% e na massa fresca de 79.29%.

## 7 CAPÍTULO 01

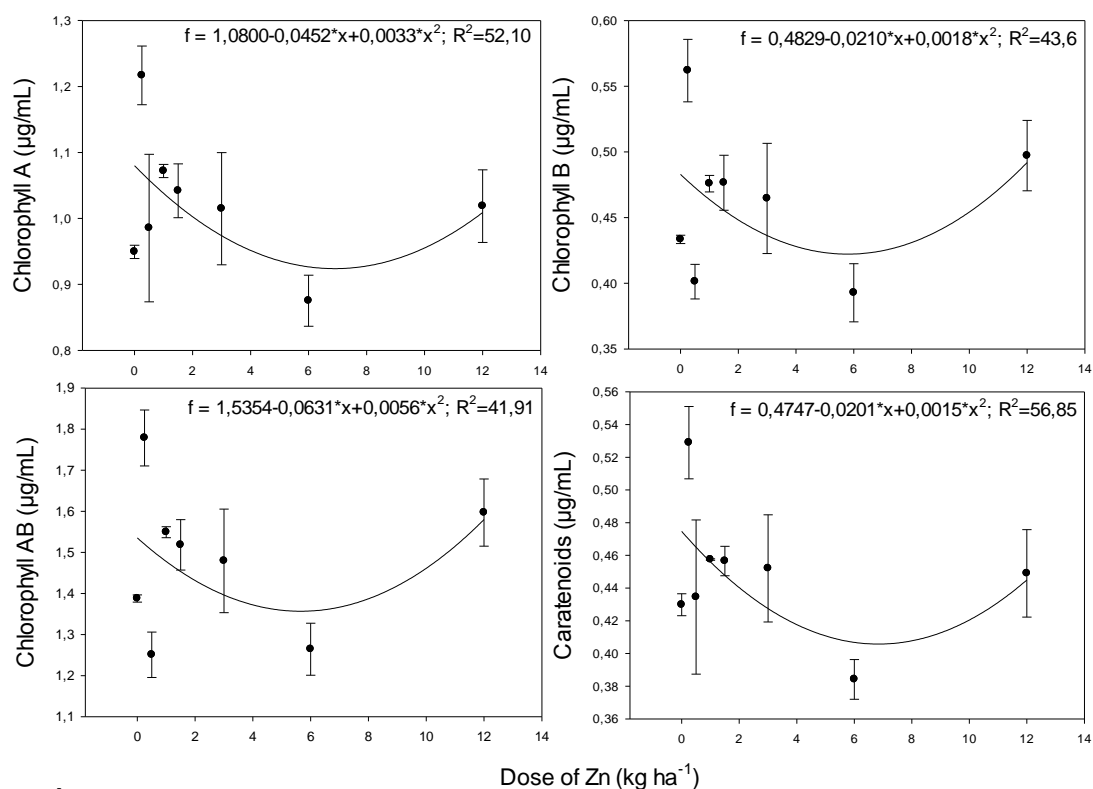
### 7.1 Adubação via foliar

#### 7.1.1 Resultados

##### 7.1.1.1 Pigmentos

As doses com Zn proporcionaram incrementos na média dos teores dos pigmentos fotossintéticos, clorofila A, clorofila B, clorofila AB e carotenoides em relação ao controle. Na clorofila A ocorre um aumento na dose 0,25 Kg ha<sup>-1</sup>, caindo até a dose 0.5 kg ha<sup>-1</sup> e alcançando a estabilidade a partir da dose 1,5 ha<sup>-1</sup>. O modelo para Clorofila B Clorofila AB e Carotenoides reagiu da mesma forma, houve uma queda da dose 0.25 kg ha<sup>-1</sup> até o 6 kg ha<sup>-1</sup> para depois voltar a subir até o 12 kg ha<sup>-1</sup> (Gráfico 10).

O incremento mínimo em relação ao controle na Clorofila AB foi proporcionado pela dose 0,25 kg ha<sup>-1</sup> que foi de 28,16%, enquanto na clorofila A, clorofila B e carotenoides foi na dose 6 kg ha<sup>-1</sup> que foi respectivamente de -7,79%, -9,36% e -10,62%. As médias máximas foram encontradas na dose 0,25 Kg ha<sup>-1</sup> para Clorofila A 28,17% e Clorofila B 29,64%, enquanto para Clorofila AB e Carotenoides foi respectivamente de 28,16% e 23,04% o aumento (Gráfico 10).



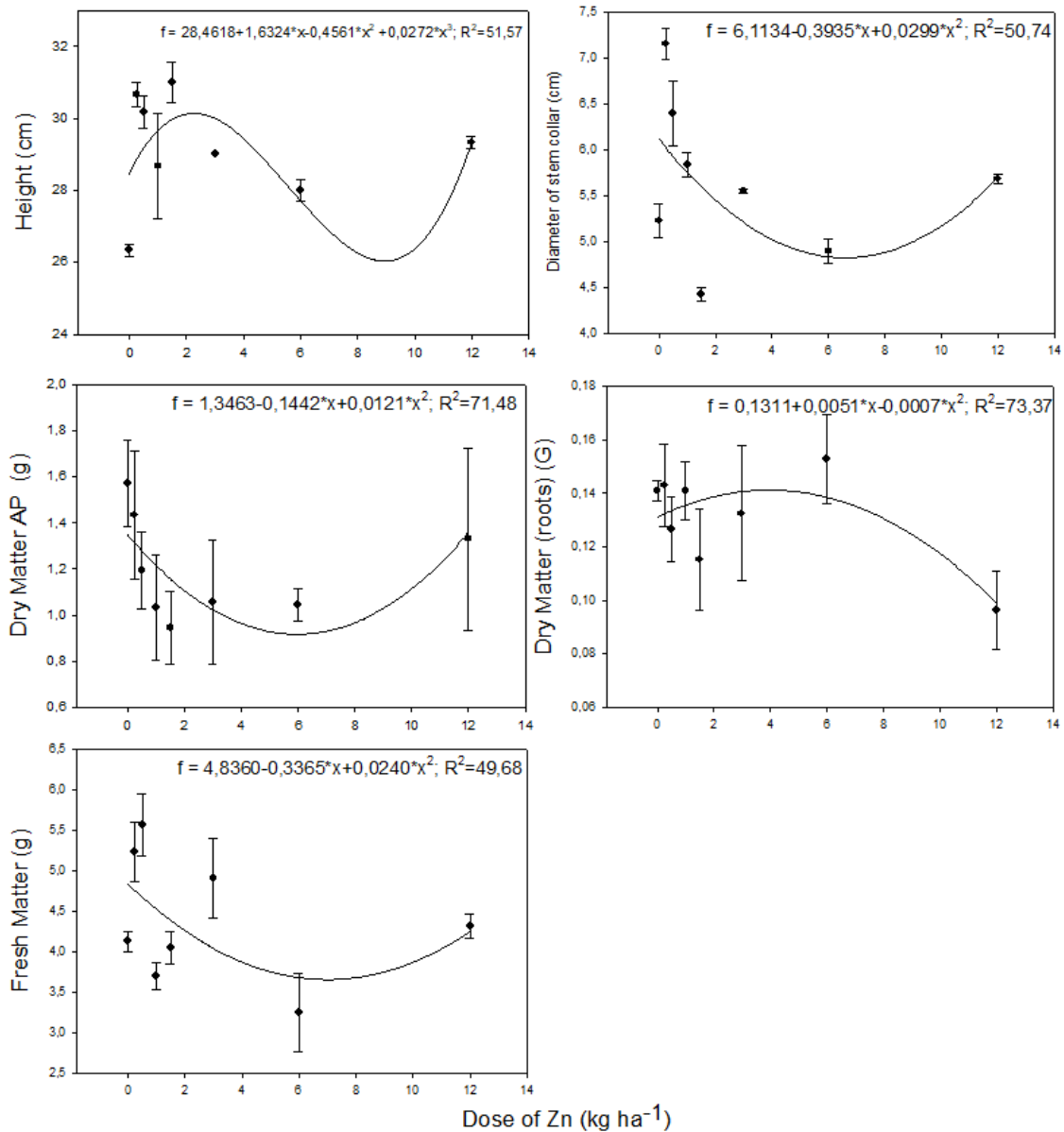
**GRÁFICOS 10:** Pigmentos  
**FONTE:** Autor.

### 7.1.1.2 Crescimento

As doses com Zn proporcionaram incrementos nas médias de Altura, Diâmetro do Coleto, Massa Fresca PA, Massa Seca Raiz e Massa Seca PA. A Massa Fresca PA (0.25, 0.5, 1.5, 3 e 12 Kg ha<sup>-1</sup>), Massa Seca PA (nenhum) Massa Seca da Raiz (0.25, 1 e 6 Kg ha<sup>-1</sup>) e Coleto (0.25, 0.5, 1, 3 e 12 Kg ha<sup>-1</sup>) tiveram acréscimo em relação ao controle.

Na altura foi usado o modelo de regressão inverso de terceira ordem, onde houve aumento até a dose 3 Kg ha<sup>-1</sup> e queda até pós o 6 Kg ha<sup>-1</sup> e depois aumento até a dose 12 Kg ha<sup>-1</sup>. O diâmetro do coletor, a massa seca PA e massa fresca foi usado o modelo quadrático, onde nos três parâmetros houve queda até a dose 6 Kg ha<sup>-1</sup> e aumento até a dose 12 Kg ha<sup>-1</sup>. A massa seca raiz também foi usado o modelo quadrático, mas nela, houve aumento até a dose 6 Kg ha<sup>-1</sup> e depois queda até a dose 12 Kg ha<sup>-1</sup> (Gráfico 11).

O incremento mínimo da média em relação ao controle foi na Massa Fresca PA na dose 1 Kg ha<sup>-1</sup>, sendo -10,47%, na Massa Fresca PA e Diâmetro do Coletor na dose 100 Kg ha<sup>-1</sup>, enquanto na Massa Seca PA e Coletor o menor valor foi na dose 1.5 Kg ha<sup>-1</sup>, sendo um decréscimo de -39,98% e -15,32% respectivamente, a Altura o menor aumento foi na dose 6 Kg ha<sup>-1</sup> com 6,32%, enquanto na Massa Seca da Raiz foi na dose 12 Kg ha<sup>-1</sup> com decréscimo de -31,65%. A média máxima para a Massa Seca PA e Coletor foi na dose 0.25 Kg ha<sup>-1</sup>, com aumento de -8,85% e 36,90%, para a Massa Fresca PA a média máxima foi na dose 0.5 Kg ha<sup>-1</sup>, com aumento 34,88%, já para Altura o maior aumento da média em relação ao controle foi na dose 1.5 Kg ha<sup>-1</sup>, sendo 17,72%, enquanto a Massa Seca Raiz a média máxima foi na dose 6 Kg ha<sup>-1</sup>, com aumento de 8,58% (Gráfico 11).



**GRÁFICOS 11:** Crescimento.  
**FONTE:** Autor.

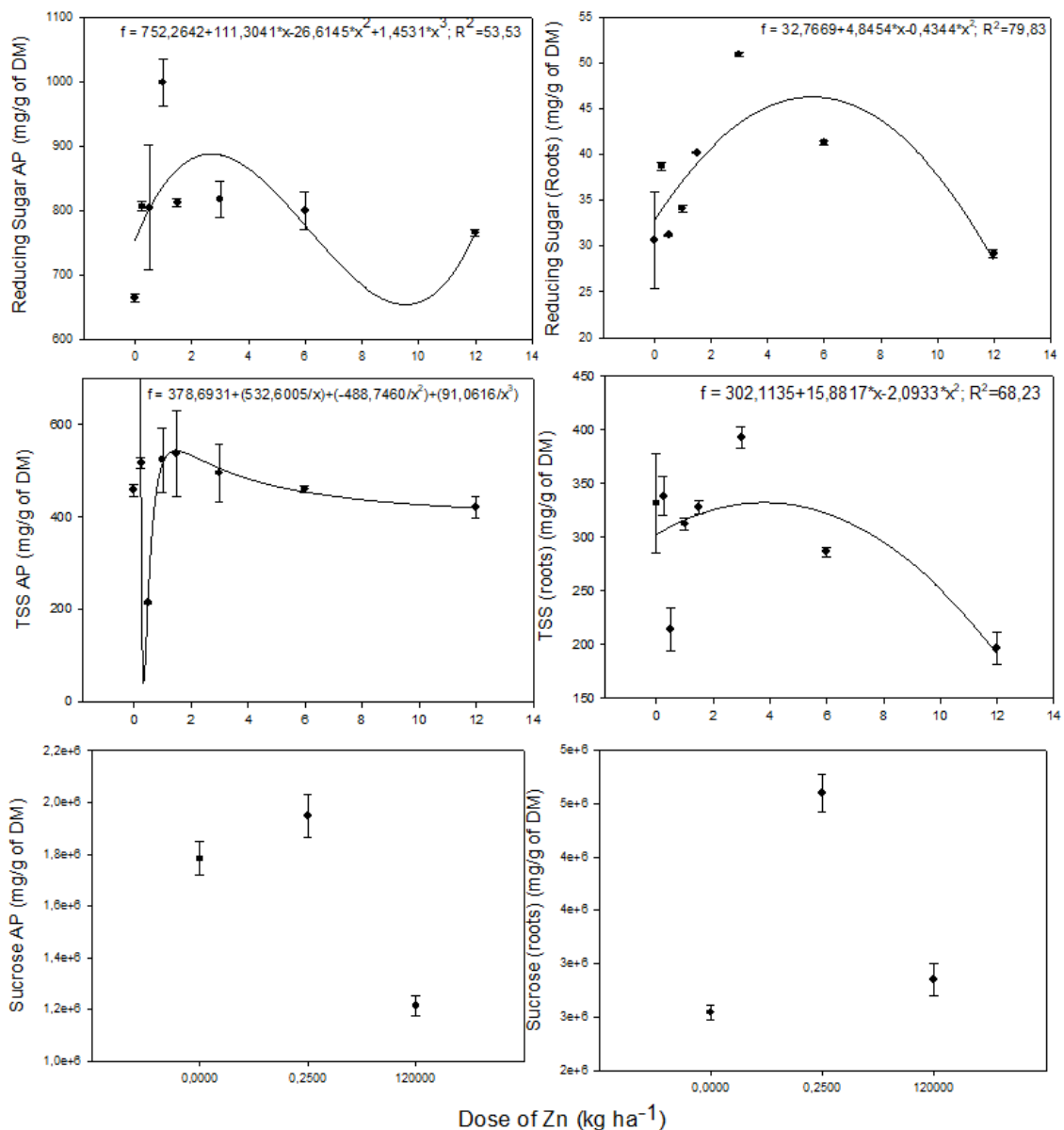
### 7.1.1.3 Açúcares

Ao menos uma dose com Zn propiciou incremento em relação ao controle, mas houve acréscimo no AR Raiz (exceto no 12 Kg ha<sup>-1</sup>), AST PA (0,25, 1, 1,5, 3 e 6 Kg ha<sup>-1</sup>), AST Raiz (0,25 e 3 Kg ha<sup>-1</sup>). No AST PA houve uma queda do controle ao 0,25 Kg ha<sup>-1</sup>.

O Modelo de regressão no AR PA foi o cubico, onde houve aumento até a dose 3 Kg ha<sup>-1</sup>, depois queda até pós a dose 6 Kg ha<sup>-1</sup> e aumento

novamente até a dose 12 Kg ha<sup>-1</sup>. Para o AR Raiz e o AST Raiz o modelo foi o quadrático, tendo um aumento até a dose 6 Kg ha<sup>-1</sup> com queda drástica até a dose 12 Kg ha<sup>-1</sup>. No AST PA foi usado o modelo de terceiro grau inverso, onde houve queda da dose 0,25 Kg ha<sup>-1</sup> a 0,5 Kg ha<sup>-1</sup> e posterior aumento até o 1 Kg ha<sup>-1</sup>, com uma ligeira queda até a dose 12 Kg ha<sup>-1</sup> (Gráfico 12).

O incremento mínimo em relação ao controle foi na AST PA na dose 0.5 Kg ha<sup>-1</sup> -55,99%, na AR Raiz na dose 100 Kg ha<sup>-1</sup> de -30.83%, enquanto o incremento mínimo em relação ao controle na AST Raiz, AR PA e AR Raiz na dose 12 Kg ha<sup>-1</sup> de respectivamente de -40,68%, 15,30% e -4,76%. A média máxima ocorreu na AST Raiz na dose 0.25 Kg ha<sup>-1</sup>, na AST PA na dose 0.5 Kg ha<sup>-1</sup>, na AR PA na dose 1 Kg ha<sup>-1</sup> e na AR Raiz na dose 3 Kg ha<sup>-1</sup>, com crescimento respectivo de 2,13%, 12,99%, 50,48% e 66,33%. Na Sacarose Raiz houve diferença significativa apenas na dose 12 Kg ha<sup>-1</sup>, com decréscimo de -31,87%.. Enquanto na Sacarose PA houve diferença significativa apenas na dose 0.25 Kg ha<sup>-1</sup> com aumento de 80,42% (Gráfico12).



**GRÁFICOS 12:** Açúcares  
**FONTE:** Autor.

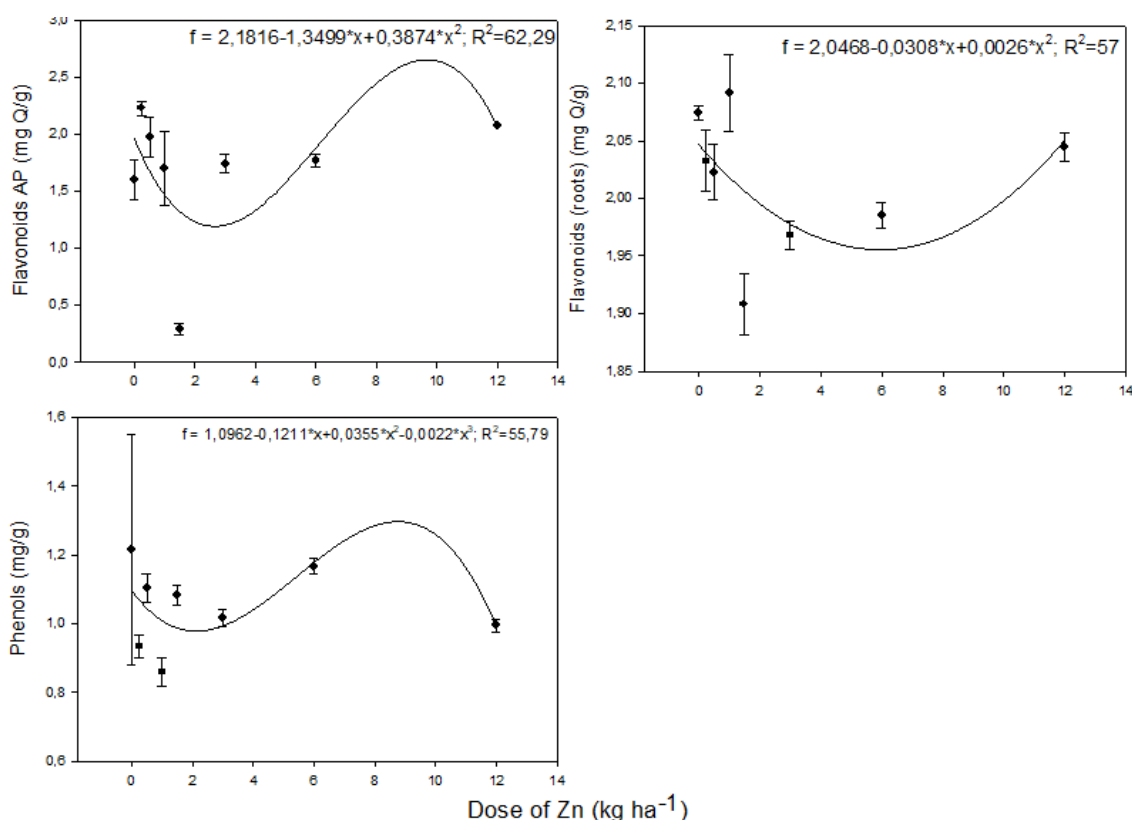
#### 7.1.1.4 Compostos Fenólicos

Ao menos uma dose com Zn propiciou incremento em relação ao controle, mas houve acréscimo no Flavonoides PA (exceto no 1.5 Kg ha<sup>-1</sup>), Flavonoides Raiz (1 Kg ha<sup>-1</sup>), Fenóis (todos).

O modelo de regressão nos Flavonoides PA e nos Fenóis foi o Cubico, onde houve uma queda até a dose 3 Kg há<sup>-1</sup>, alcançando o ápice após a dose 6 Kg há<sup>-1</sup>, mas caindo na dose 12 Kg há<sup>-1</sup>, enquanto o modelo de

regressão do Flavonoide Raiz foi a Quadratica, ficando claro a decadência dos compostos do flavonoide até a dose 6 Kg há<sup>-1</sup> com aumento posterior até o 12 Kg há<sup>-1</sup>.

O incremento mínimo em relação ao controle foi no Fenóis na dose 1 Kg ha<sup>-1</sup> com decréscimo de -29,28%, enquanto nos Flavonoides PA e Flavonoides Raiz na dose 1.5 Kg há<sup>-1</sup> com decréscimo respectivo de -81,79% e -8%. A média máxima para os Flavonoides PA foi na dose 0.25 Kg ha<sup>-1</sup> com aumento de 39,32%, nos Flavonoides Raiz foi na dose 1 Kg há<sup>-1</sup> com aumento de 0,85% e nos Fenóis foi na dose 6 Kg ha<sup>-1</sup> com decréscimo de -4,01% (Gráficos 13).



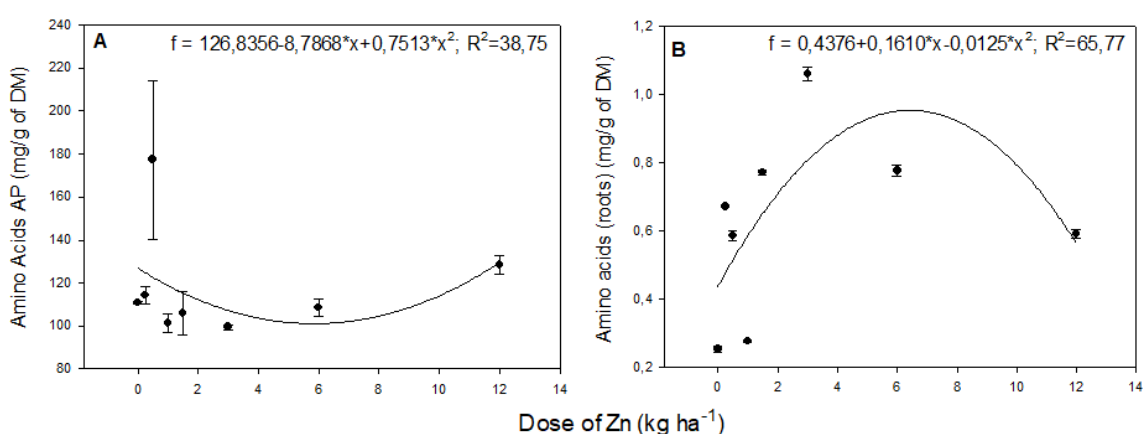
**GRÁFICOS 13:** Compostos Fenólicos.  
**FONTE:** Autor.

### 7.1.1.5 Aminoácidos

Ao menos em duas doses com Zn proporcionaram incremento em relação ao controle, mas houve acréscimo no Aminoácido PA (0.25 e 0.5 Kg ha<sup>-1</sup>) e Aminoácido Raiz (todos).

No modelo de regressão foi usado o quadrático para ambos, mas eles se comportaram de maneira contrária, enquanto o Aminoácido PA houve queda até a dose 6 Kg ha<sup>-1</sup> com aumento até a dose 12 Kg ha<sup>-1</sup>, já no Aminoácido Raiz houve aumento até a dose 6 Kg ha<sup>-1</sup> com queda até a dose 12 Kg ha<sup>-1</sup> (Gráfico 14).

O incremento mínimo em relação ao controle foi nos Aminoácidos Raiz e no Aminoácidos PA na dose 1 Kg ha<sup>-1</sup> com respectivamente 8,81% e - 8,67%, enquanto o incremento máximo ocorreu na dose 3 Kg ha<sup>-1</sup> nos Aminoácidos Raiz com 317,32% e na dose 0.5 Kg ha<sup>-1</sup> no Aminoácidos PA com 60,05% (Gráficos 14).



**GRÁFICOS 14:** Aminoácidos.  
**FONTE:** Autor.

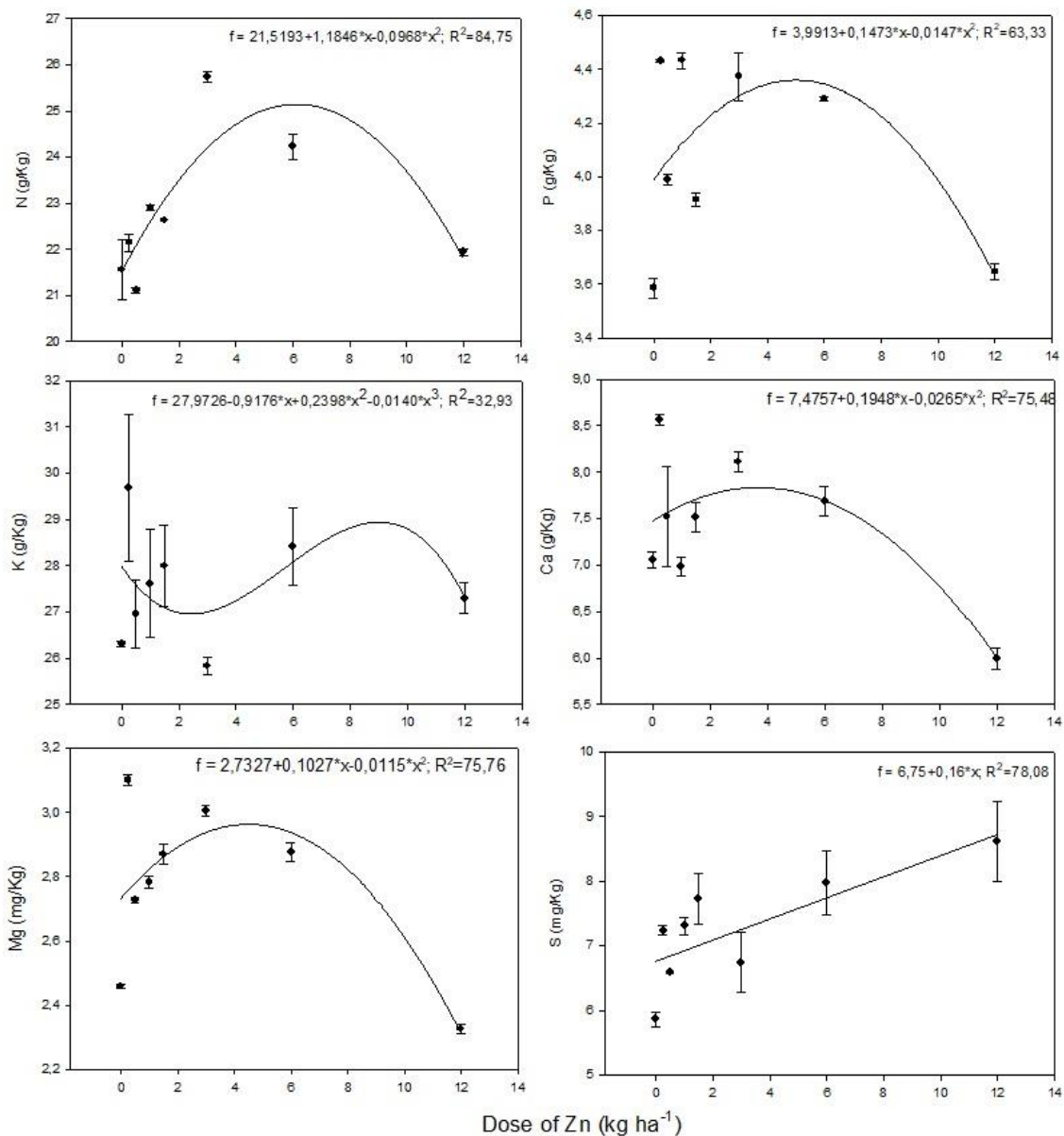
#### 7.1.1.6 Macronutrientes

Ao menos em duas doses com Zn proporcionaram incremento em relação ao controle, mas houve acréscimo no N (exceto no 0.5 Kg ha<sup>-1</sup>), K (exceto no 3 Kg ha<sup>-1</sup>), Ca (exceto no 1 e 12 Kg ha<sup>-1</sup>), Mg (exceto no 12 Kg ha<sup>-1</sup>).

N, P, Ca e Mg tiveram o modelo de regressão quadrático, onde houve aumento até a dose 6 Kg ha<sup>-1</sup> e queda até a dose 12 Kg ha<sup>-1</sup>. No K foi usado o modelo cúbico, onde houve queda até a dose 3 Kg ha<sup>-1</sup>, com aumento

até o 6 Kg ha<sup>-1</sup> e nova queda até a dose 12 Kg ha<sup>-1</sup>. No S o modelo foi linear com aumento do controle a dose 12 Kg ha<sup>-1</sup> (Gráfico 15).

O incremento mínimo em relação ao controle no N ocorreu na dose 0.5 Kg ha<sup>-1</sup> com -2,05% e 14,95%, no K e S ocorreram na dose 3 Kg ha<sup>-1</sup> com decréscimo de -1,82%, enquanto no P, Ca, Mg, ocorreu na dose 12 Kg ha<sup>-1</sup> com respectivamente 1,67%, -15,06%, -5,42% respectivamente. Enquanto o incremento máximo ocorreu na dose 0.25 Kg ha<sup>-1</sup> para o K, Ca, Mg com aumento respectivo de 12,83%, 21,39% e 26,01%, já na dose 1 Kg ha<sup>-1</sup> ocorreu o maior aumento para P com aumento de 23,60%, enquanto na dose 3 Kg ha<sup>-1</sup> para o N com aumento de 19,42% e no S a dose 12 Kg ha<sup>-1</sup> teve o maior incremento da média com aumento de 46,90% (GRÁFICOS 15).



**GRÁFICOS 15:** Macroelementos.  
**FONTE:** Autor.

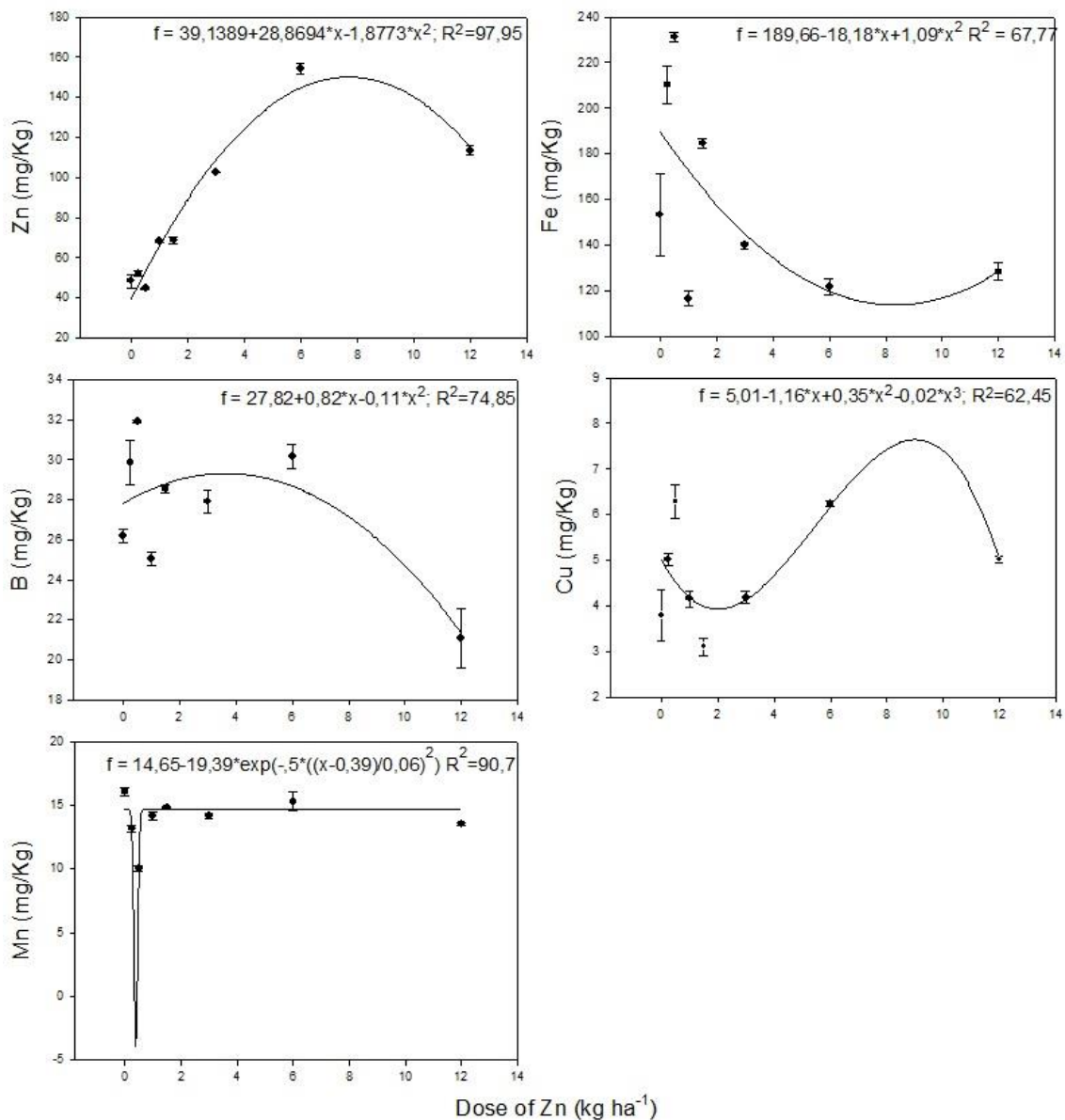
### 7.1.1.7 Micronutrientes

Nem todas as doses com Zn proporcionaram incremento em relação ao controle, houve acréscimo no B (exceto no 1 e 12 Kg ha<sup>-1</sup>), Mn (nenhum) Zn (exceto no 0,5 Kg ha<sup>-1</sup>), Fe (0,25, 0,5 e 1 Kg ha<sup>-1</sup>), Cu (exceto no 1,5 Kg ha<sup>-1</sup>).

O modelo de regressão do Zn, Fe e B foi o quadrático, no Zn, houve aumento até a dose 6 Kg ha<sup>-1</sup> e depois houve uma queda até o 12 Kg ha<sup>-1</sup>, enquanto no Fe ocorreu o inverso, com queda até o 6 Kg ha<sup>-1</sup> e aumento até o 12 Kg ha<sup>-1</sup>, no B houve ligeiro aumento até o 6 Kg ha<sup>-1</sup> e queda até o 12 Kg ha<sup>-1</sup>.

<sup>1</sup>. No Cu foi o modelo cúbico com queda até o 3 Kg ha<sup>-1</sup> e aumento até depois da dose 6 Kg ha<sup>-1</sup>, onde ocorreu queda até a dose 12 Kg ha<sup>-1</sup>. No Mn foi o modelo de regressão gaussiana com 4 Parâmetros, com queda desde o controle e aumento do 0,5 Kg ha<sup>-1</sup> ao 1 Kg ha<sup>-1</sup>, onde manteve estabilidade até a dose 12 Kg ha<sup>-1</sup> (Gráfico16).

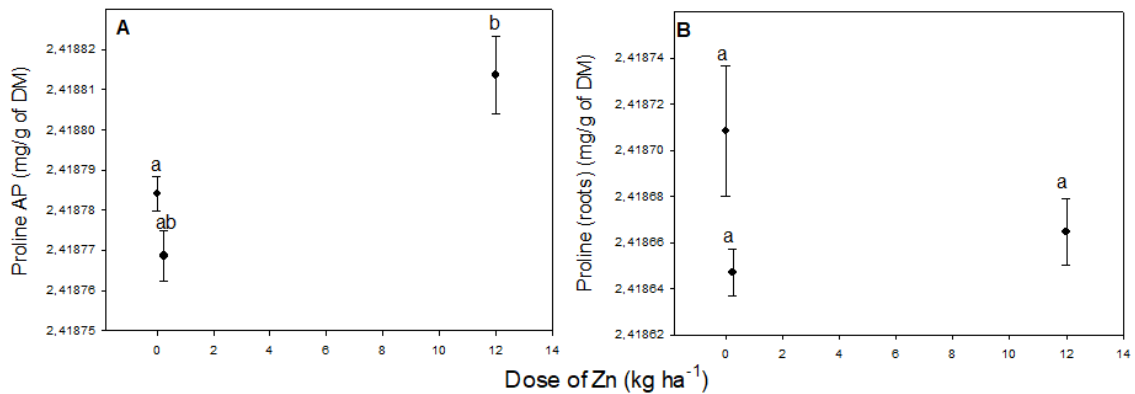
O incremento mínimo em relação ao controle no Zn e Mn foi na dose 0.5 Kg ha<sup>-1</sup> com decréscimo respectivo de -7,88% e -37,59%, no Fe, B foi na dose 1 Kg ha<sup>-1</sup> com respectivo de -23,95% e -4,27%, enquanto no Cu foi no 1.5 Kg ha<sup>-1</sup> com -17,85%. A média máxima em relação ao controle no B, Cu e Fe foi no 0.5 Kg ha<sup>-1</sup> com valores em relação a média respectivo de 21,92%, 65,87% e 50,65%, Mn foi na dose 3 Kg ha<sup>-1</sup> com -11,77%, enquanto o Zn ocorreu na dose 12 Kg ha<sup>-1</sup> com 218,28%.



**GRÁFICOS 16:** Microelementos  
**FONTE:** Autor.

### 7.1.1.8 Prolina

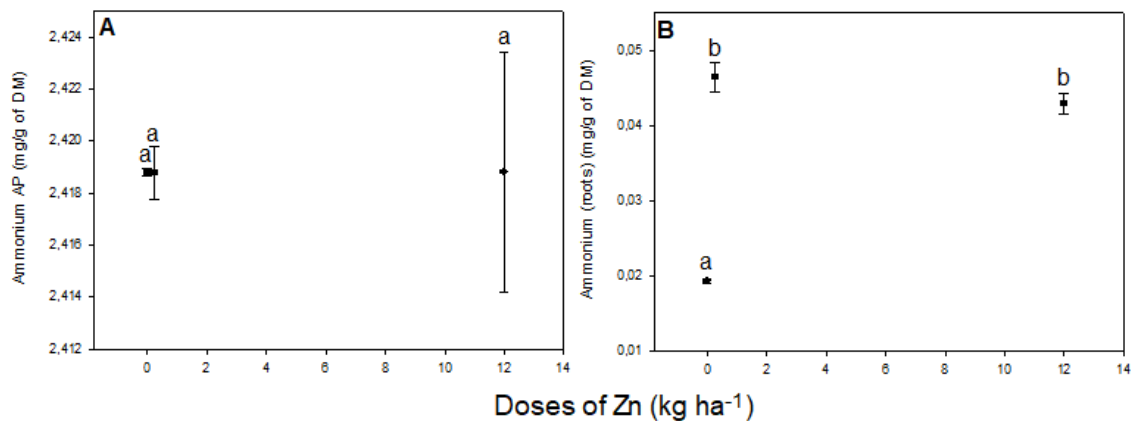
Na Prolina PA houve diferença significativa do controle com a dose 12 Kg ha<sup>-1</sup>, o incremento de Zn trouxe decréscimo na média na dose 0,25 com -0,00064% e aumento tratamento 12 com 0,0012%. Enquanto na Prolina Raiz não houve significância, ocorrendo decréscimo da média de -0,0025% no 0,25 e -0,0018% no 12 Kg ha<sup>-1</sup> (Gráfico 17).



**GRÁFICOS 17:** Prolina  
**FONTE:** Autor.

### 7.1.1.9 Amônio

No Amônio PA não houve diferença significativa, enquanto no Amônio Raiz houve diferença significativa entre o controle e as doses 0.25 Kg ha<sup>-1</sup> e 12 Kg ha<sup>-1</sup> com aumento respectivo de 140% e 122% (Gráfico 18).



**GRÁFICOS 18:** Amônio  
**FONTE:** Autor.

## 7.1.2 DISCUSSÃO

### 7.1.2.1 Altura

GRACIANO *et al.*, (2020) trabalhando com alface teve um aumento de 24% na altura na dose 0.8 kg ha<sup>-1</sup>, já RUGELES-REYES *et al.*, (2019) em

estudo com rúcula obtiveram o maior aumento na dose 1 kg, mas sem diferença estatística do controle, mesmo resultado chegaram FERREIRA BERTINO *et al.*, (2022) em estudo com cebola, enquanto o ápice da cebolinha foi na dose 1,5 kg ha<sup>-1</sup>. SINGH *et al.*, (2018a) dizem que zinco pode influenciar o crescimento e a produção, por ser um componente dos fitohormônios de crescimento, como as auxinas, etileno e ácido giberélico.

#### 7.1.2.2 Pigmentos

O conteúdo dos pigmentos aumentou em todas as doses exceto na dose 6 kg ha<sup>-1</sup>, e o de maior valor para carotenoides, clorofila A e clorofila B foi a dose 0.25 kg ha<sup>-1</sup>, tendo um aumento respectivo de 23%, 29% e 28%, o que difere de outros estudos em outras plantas.

GUERRERO-MARTIN *et al.*, (2023) em estudo com feijão vermelho tiveram uma queda expressiva de mais de 70% no conteúdo da clorofila A e na B na dose 0.2 µmol dm<sup>-3</sup>, nos carotenoides não obteve diferença em nenhuma das doses, concluindo que independe da concentração do Zn a clorofila diminui de forma inversamente proporcional à concentração do aditivo. Souza, (2021) em estudo com trigo tiveram perda de eficiência fotoquímica, justificando que o Zn promove distúrbios metabólicos que interferem no fluxo de elétrons gerados na fotólise da água na membrana tilacóide e aumenta a produção de espécies ativas de oxigênio, promovendo a peroxidação lipídica da membrana. GARCÍA-GÓMEZ *et al.*, (2017) justificam a diminuição do conteúdo das clorofilas do tomate ao excesso de Zn, pois este pode alterar as concentrações de Mg e Fe e, conseqüentemente, diminuir a formação de clorofila. REGINA, (2021) em estudo com manjerição apontou que a biofertilização com Zn é a que menos aumenta os teores de pigmentos na planta e o Mn o maior pois este é um ativador de diversas enzimas da fase escura da fotossíntese. FORTIS-HERNÁNDEZ *et al.*, (2022) obteve no alface uma diminuição dos carotenoides, tendo a queda máxima na dose 20 com 25% e a menor na dose 25 mg L<sup>-1</sup> justificando que as folhas do alface fazem sombra umas nas outras. RUIZ-TORRES *et al.*, (2021) justifica a diminuição dos pigmentos nas doses mais

altas pelo fato de apesar da fotossíntese necessitar do Zn, pois influencia a atividade de importantes enzimas como a anidrase carbônica que contém um átomo de Zn que catalisa a hidratação do CO<sub>2</sub>, facilitando a difusão do dióxido de carbono para os locais de carboxilação em plantas, em altas concentrações, pode induzir a geração de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> e peroxidação lipídica e assim levar à redução na biossíntese de pigmentos fotossintéticos.

RAZA *et al.*, (2022) em estudo com couve flor obtiveram um aumento de 48% na clorofila A, 31% na clorofila B e 20% nos carotenoides na dose 100 µM (6,538 ppm Zn). SUBBAIAH *et al.*, (2016) no milho aumentaram em aproximadamente 30% o conteúdo de clorofila na dose com 400 ppm de zinco. NEKOUKHOU *et al.*, (2022) em hortelã aumentaram em 181% na dose com 160 mg/l e justificaram que o zinco aumenta a clorofila devido ao seu papel nos pigmentos fotossintéticos e na absorção de nitrogênio

#### 7.1.2.3 Diâmetro

O diâmetro aumentou 36% na dose 0.25 kg ha<sup>-1</sup> depois houve uma diminuição progressiva com o avançar das doses, até a dose 12 kg ha<sup>-1</sup> com 8% de aumento. CAMILLO DE CARVALHO *et al.*, (2021) em estudo com milho não tiveram nenhum resultado relevante no diâmetro do coleto, tendo aumentado apenas 0.36% na dose de 1 kg ha<sup>-1</sup>, estes justificam os efeitos nulo do zinco no milho foi que decidiu-se aplicá-lo no início da fase reprodutiva, devido à baixa mobilidade do Zn no floema. RITA *et al.*, (2022) também não obtiveram diferença no diâmetro do coleto do tomate por causa de questões de toxicidade.

#### 7.1.2.4 MF PA

PETKOVIĆ *et al.*, (2019) não obtiveram diferença na biomassa com alfafa e justificou com uma possível dose muito baixa, contudo a cebolinha teve os melhores resultados nas doses abaixo de 1 kg ha<sup>-1</sup>. DE SOUZA, (2021) teve uma queda de forma linear da massa fresca com o aumento das doses a partir

da dose 300 mg dm<sup>-3</sup>, justificando que existe uma relação entre a concentração de zinco na planta com a diminuição da massa fresca o que condiz com o nosso estudo.

#### 7.1.2.5 MS PA

PETKOVIĆ *et al.*, (2019), JALAL *et al.*, (2023) em trigo, RUGELES-REYES *et al.*, (2019) em rúcula não obtiveram diferença estatística na biomassa.

AHMAD *et al.*, (2020) em soja justifica que a aplicação de Zn nas fases iniciais ou tardias de crescimento das culturas pode definir melhor um aumento da massa.

CIRIELLO *et al.*, (2022) também obtiveram diminuição da matéria seca no manjeriço, justificando que mesmo que não sendo visíveis a toxicidade do excesso de zinco, ocorreu uma diminuição da matéria seca.

O estudo com a cebolinha chegou no mesmo resultado, diminuição linear até a dose 6 kg ha<sup>-1</sup> e aumento 23% na dose 12 kg ha<sup>-1</sup> em relação ao tratamento 6 kg ha<sup>-1</sup>, mas mesmo assim 16% menor que o controle.

#### 7.1.2.6 MS Raiz

COSTA *et al.*, (2023) obtiveram aumento de 20% na dose 3 kg ha<sup>-1</sup>, justificando que o excesso de Zn pode reduzir o crescimento e desenvolvimento de folhas e raiz, além do crescimento das raízes está relacionado com o teor de N, o que encontra-se condizente com o estudo da cebolinha onde os maiores valores foram na dose 3 kg ha<sup>-1</sup> e 6 kg ha<sup>-1</sup> que tiveram respectivamente aumento de 19% e 12% de N em relação ao controle. CARMONA *et al.*, (2020) houve aumento de 38% na dose com 30 mg L<sup>-1</sup> em beterraba. AHMAD *et al.*, (2020) Obtiveram um significativamente rendimento de biomassa de plantas de soja de 33% na dose 100mg L<sup>-1</sup>, isso pois o Zn deixa as plantas com estresse de As.

#### 7.1.2.7 Fenóis

CIRIELLO *et al.* (2022) em couve-flor obtiveram aumento em todas as doses, o que foi totalmente diferente da cebolinha, onde houve queda em todas as doses. FORTIS-HERNÁNDEZ *et al.* (2022) em alface aumento de 52% na dose 25mg L<sup>-1</sup>. LÓPEZ-MORALES *et al.*, (2020) no feijão tiveram aumento de 6% na dose de 50 mg L<sup>-1</sup>.

A diminuição dos compostos fenólicos na cebolinha pode ser atribuída a diversos fatores como. REHMAN, (2023) discutem que fatores abióticos e bióticos influenciam na quantidade de compostos fenólicos, tais como o tipo de planta, estresses ambientais, como seca, salinidade ou temperatura.

#### 7.1.2.8 Flavonoides PA

RAZA *et al.*, (2022) em couve-flor obtiveram aumento até a dose 75 µM de zinco, que foi de 25%, o aumento dessa dosagem houve decaimentos dos flavonoides. NEKOUKHOUS *et al.*, (2022) em hortelã aumentou os flavonoides em 191% na dose 400 mg/L e justifica que juntamente com o aumento das concentrações de metais, além dos níveis de flavonoides, compostos fenólicos, antocianinas e carotenoides nas plantas também podem aumentar. MALKA *et al.*, (2023) tiveram aumento de 25% em tratamento com 0,750 kg ha<sup>-1</sup> em ervilha, também apontaram que a sacarose é um regulador positivo da biossíntese de fenólicos, particularmente flavonoides. FORTIS-HERNÁNDEZ *et al.*, (2022) obtiveram aumento de 48% em alface com tratamento de 25mg L<sup>-1</sup>. SORAHINOBAR *et al.*, (2023) tiveram um aumento de 166% na dose de 160 ppm. A cebolinha teve aumento em todas as doses na parte aérea com destaque para a dose 0.25 kg ha<sup>-1</sup> com aumento de 39%, enquanto na parte das raízes houve decaimento em todas as doses exceto na dose 1 kg ha<sup>-1</sup> que teve aumento de 1%. PEPE *et al.*, (2022) a planta prioriza a alocação de zinco para as partes aéreas em detrimento das raízes, o que tem efeito nos flavonoides das raízes, TIAN *et al.*, (2021) diz que a idade da plantas

pode fazer com que exista diferença entre os flavonoides na parte da raiz e da aérea.

#### 7.1.2.9 Prolina

SATTAR *et al.*, (2022) em estudo no trigo disseram que em situação sem estresse hídrico a prolina não tem interferência, corroborado com KANDIL *et al.*, (2023) em estudo com milho onde concluíram que quanto maior o intervalo de irrigação, maior será a quantidade de prolina. (REHMAN, 2023) em contrapartida aumentaram o teor da prolina em 134% em 400mM no arroz.

#### 7.1.2.10 Aminoácido PA

RAZA *et al.* (2022) em couve flor tiveram um aumento 40% na dose 50  $\mu\text{M}$ . (REHMAN, 2023) no arroz aumentou 123% na dose 400mM.

NING *et al.*, (2022) não obtiveram diferença no trigo, justificando que o Zn interferiu na absorção de Se e este aumenta os aminoácidos. KACHINSKI *et al.*, (2022) não obtiveram diferença no feijão e houve diminuição a partir da dose 0.9  $\text{kg ha}^{-1}$ , justificando que lectinas são inibidoras de aminoácidos e o feijão possuem em quantidade.

Na cebolinha o aminoácido da parte aérea teve o ápice no 0.5  $\text{kg ha}^{-1}$  e na raiz no 3  $\text{kg ha}^{-1}$ , com aumento respectivo de 60% e 424%.

#### 7.1.2.11 Sacarose PA

KACHINSKI *et al.*, (2022) em estudo com feijão, obtiveram 30% na dose 0.6  $\text{kg ha}^{-1}$ . SILVA *et al.*, (2021) tiveram aumento de 50% na dose 25  $\text{mg dm}^{-3}$ .

#### 7.1.2.12 AST PA

A cebolinha teve um aumento de 17% na dose 3 kg ha<sup>-1</sup>, o que é condizente com outros estudos. RAZA *et al.* (2022) Couve flor aumento de 60% na dose 25 µM, REHMAN, (2023) com aumento de 100% na dose de 400mM no arroz. KACHINSKI *et al.* (2022) aumento de 9% no feijão na dose 0.6 kg ha<sup>-1</sup>. SILVA *et al.*, (2021) 29% em tratamento 25 mg dm<sup>-3</sup> em feijão.

#### 7.1.2.13 Zn

PETKOVIĆ *et al.*, (2019) em estudo com alfafa teve um aumento de 220% na dose 1 kg ha<sup>-1</sup> no Zn e em termos dos micronutrientes também se comportou igual ao da cebolinha. JALAL *et al.*, (2023) obtiveram no trigo o ápice de zinco na dose 1.5 kg ha<sup>-1</sup> depois houve decaimento da absorção. KACHINSKI *et al.*, (2022) no feijão obtiveram um aumento de 150% na dose 0.6 kg ha<sup>-1</sup> e não houve diferença significativa até a dose 1.5 kg ha<sup>-1</sup>. NEKOUKHOU *et al.*, (2022) em estudo com hortelã aumentaram 460% na dose 400mg/L.

#### 7.1.2.14 Elementos

DE SOUZA, (2021) obtiveram diminuição do ferro no trigo e 18% de aumento de zinco na dose 800 mg dm<sup>-3</sup>, também tiveram um aumento do k e diminuição do P e Cu, o que difere do estudo com a cebolinha. COSTA *et al.*, (2023) Tiveram o ápice do K na dose 3 kg ha<sup>-1</sup>, Mg na dose 4.5 kg ha<sup>-1</sup>, Cu na dose 3 kg ha<sup>-1</sup>, N na dose 4.5 kg ha<sup>-1</sup>. (AHMAD *et al.* 2020) descobriram que a suplementação de Zn é benéfica na restauração da absorção de nutrientes como K, Mg, Ca, Fe, P, mantendo assim a capacidade estrutural e funcional de diferentes organelas como cloroplasto, mitocôndria, etc.). JALAL *et al.*, (2023) no trigo obtiveram aumento de 18% no Mg e 15% de P na dose 1.5 kg ha<sup>-1</sup> e não houve diferença significativa no N. PETKOVIĆ *et al.*, (2019) não obtiveram diferença significativa nos elementos P, K, S, Ca e Mg, Cu, Fe em alfafa.

## 8 CONCLUSÃO

Tratando apenas do zinco a dose  $6 \text{ kg ha}^{-1}$  foi a mais vantajoso, pois aumentou o teor de zinco em mais de 218%. A dose  $6 \text{ kg ha}^{-1}$  também foi melhor se tratando de todos os nutrientes ((N, P, K, Ca, Mg, Mn, S, Cu, B, Fe, Zn), os elementos tiveram um acréscimo no valor em média de 34%. Para o produtor e os consumidores o parâmetro de tamanho e massa fresca seria os mais interessantes e a dose de destaque foi a dose  $0.5 \text{ kg ha}^{-1}$ , como aumento na altura de 14.55% e na massa fresca de 34.88%.

## REFERÊNCIAS

- AHMAD, P.; ALYEMENI, M. N.; AL-HUQAIL, A. A.; ALQAHTANI, M. A.; WIJAYA, L.; ASHRAF, M.; KAYA, C.; BAJGUZ, A. Zinc Oxide Nanoparticles Application Alleviates Arsenic (As) Toxicity in Soybean Plants by Restricting the Uptake of as and Modulating Key Biochemical Attributes, Antioxidant Enzymes, Ascorbate-Glutathione Cycle and Glyoxalase System. **Plants**, v. 9, n. 7, p. 1–18, 1 jul. 2020b. Disponível em: </pmc/articles/PMC7411960/>. Acesso em: 26 nov. 2023.
- AKHTAR, S. Zinc Status in South Asian Populations—An Update. **Journal of Health, Population and Nutrition**, v. 31, n. 2, 9 set. 2013.
- ALLOWAY, B. J. **Zinc in Soils and crop nutrition**. [s.l.] Zinc in Soils and crop nutrition Brian J. Alloway International Zinc Association, 2008.
- ALLOWAY, B. J. **Heavy Metals in Soils: Trace Metals and Metalloids in Soils and their Bioavailability**. Dordrecht: Springer Netherlands, 2013b. v. 22
- ALMENDROS, P.; GONZALEZ, D.; FERNANDEZ B, CONCEPCIÓN GARCÍA-GOMEZ, D.; OBRADOR, A. Both Zn biofortification and nutrient distribution pattern in cherry tomato plants are influenced by the application of ZnO nanofertilizer. **Heliyon**, p. e09130, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09130>.
- ALMENDROS, P.; OBRADOR, A.; GONZALEZ, D.; ALVAREZ, J. M. Biofortification of zinc in onions (*Allium cepa* L.) and soil Zn status by the application of different organic Zn complexes. **Scientia Horticulturae**, v. 186, p. 254–265, 21 abr. 2015b. . Acesso em: 15 out. 2023.
- ANDRESEN, E.; PEITER, E.; KÜPPER, H. Trace metal metabolism in plants. **Journal of Experimental Botany**, v. 69, n. 5, p. 909–954, 23 fev. 2018. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1093/jxb/erx465>. Acesso em: 15 out. 2023.
- BARRAMEDA-MEDINA, Y.; BLASCO, B.; LENTINI, M.; ESPOSITO, S.; BAENAS, N.; MORENO, D. A.; RUIZ, J. M. Zinc biofortification improves phytochemicals and amino-acidic profile in *Brassica oleracea* cv. Bronco. **Plant Science**, v. 258, p. 45–51, 1 maio 2017. . Acesso em: 16 out. 2023.

BATES, L. S.; WALDREN, R. P.; TEARE, I. D. Rapid determination of free proline for water-stress studies. **Plant and Soil**, v. 39, n. 1, p. 205–207, ago. 1973. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/BF00018060>>. Acesso em: 17 maio. 2023.

BLACK, R. E.; COUSENS, S.; JOHNSON, H. L.; LAWN, J. E.; RUDAN, I.; BASSANI, D. G.; JHA, P.; CAMPBELL, H.; WALKER, C. F.; CIBULSKIS, R.; EISELE, T.; LIU, L.; MATHERS, C. Global, regional, and national causes of child mortality in 2008: a systematic analysis. **The Lancet**, v. 375, n. 9730, p. 1969–1987, 2010. . Acesso em: 5 abr. 2023.

BOLAN, N.; KUNHIKRISHNAN, A.; THANGARAJAN, R.; KUMPIENE, J.; PARK, J.; MAKINO, T.; KIRKHAM, M. B.; SCHECKEL, K. **Remediation of heavy metal(loid)s contaminated soils - To mobilize or to immobilize?***Journal of Hazardous Materials*Elsevier, 15 fev. 2014. . Acesso em: 5 abr. 2023.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. Nature and Properties of Soils, The 15th Edition. **Pearson Education**, p. 1104, 2016. . Acesso em: 5 abr. 2023.

BRASIL, M. da S. **GUIA ALIMENTAR PARA A POPULAÇÃO BRASILEIRA**. 2. ed. [s.l: s.n.]

CAKMAK, I. **Enrichment of cereal grains with zinc: Agronomic or genetic biofortification?***Plant and Soil*Springer, 28 jan. 2008. . Acesso em: 5 abr. 2023.

CAKMAK, I. Magnesium in crop production, food quality and human health. **Plant and Soil**, v. 368, n. 1–2, p. 1–4, 1 jul. 2013. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s11104-013-1781-2>>. Acesso em: 24 jan. 2024.

CAKMAK, I.; KALAYCI, M.; EKIZ, H.; BRAUN, H. J.; KILINÇ, Y.; YILMAZ, A. Zinc deficiency as a practical problem in plant and human nutrition in Turkey: A NATO-science for stability project. **Field Crops Research**, v. 60, n. 1–2, p. 175–188, 1 jan. 1999. . Acesso em: 5 abr. 2023.

CAMILLO DE CARVALHO, M. A.; CAIONE, G.; KUME, W. T.; LITTER, F. A.; DE, M.; CARNEIRO, A.; CAMPOS, L. M.; ANTONIO, M.; DE CARVALHO, C. Zinc Oxide Nanoparticle in Foliar Nutrition of Maize Crop in Southern Amazonia.

v. 5, 2021. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/353641889>>. Acesso em: 22 nov. 2023.

CARDOSO, E. D.; HAGA, K. I.; BINOTTI, F. F. da S.; VALÉRIO FILHO, W. V.; NOGUEIRA, D. C. Doses de zinco e nitrogênio na produtividade e qualidade de grãos de ervilha. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 42, n. 3, p. 263–271, set. 2012. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1983-40632012000300005&lng=pt&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1983-40632012000300005&lng=pt&tlng=pt)>. Acesso em: 16 abr. 2023.

CARMONA, V. M. V.; CECÍLIO FILHO, A. B.; ALMEIDA, H. J. DE; SILVA, G. C.; REIS, A. R. DOS. AGRONOMIC BIOFORTIFICATION OF BEET PLANTS WITH ZINC VIA SEED PRIMING<sup>1</sup>. **Revista Caatinga**, v. 33, n. 1, p. 116–123, mar. 2020.

CEAGESP. **Cebolinha**. Disponível em: <<https://ceagesp.gov.br/hortiescolha/hortipedia/cebolinha/>>. Acesso em: 27 set. 2023.

CÉSAR, P.; THIAGO, M.; DE SOUZA, C.; PEREIRA, F. J.; DE CASTRO, E. M.; PARENTONI, S. N. Anatomia foliar nos sucessivos ciclos de seleção do milho Saracura sob alagamento intermitente do solo. 2009. Disponível em: <[www.cnpms.embrapa.br](http://www.cnpms.embrapa.br)>. Acesso em: 9 abr. 2023.

CHEN, h. Chieves. *Em: Handbook of herbs and spices*. 2. ed. [s.l: s.n.]

CIRIELLO, M.; FORMISANO, L.; KYRIACOU, M.; SOTERIOU, G. A.; GRAZIANI, G.; DE PASCALE, S.; ROUPHAEL, Y. Zinc biofortification of hydroponically grown basil: Stress physiological responses and impact on antioxidant secondary metabolites of genotypic variants. **Frontiers in Plant Science**, v. 13, p. 1049004, 27 out. 2022. . Acesso em: 26 nov. 2023.

COSTA, R. M. C.; GRANGEIRO, L. C.; GONÇALVES, F. das C.; SANTOS, E. C. dos; MEDEIROS, J. F. de; SÁ, F. V. da S.; PEREIRA, D. de F.; CARMO, L. H. de A.; SOUZA, B. de P. Agronomic Biofortification and Yield of Beet Fertilization with Zinc. **Agronomy 2023, Vol. 13, Page 1491**, v. 13, n. 6, p. 1491, 28 maio 2023a. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2073-4395/13/6/1491/htm>>. Acesso em: 26 nov. 2023.

DAS, S.; GREEN, A. Zinc in Crops and Human Health. *Em: Biofortification of Food Crops*. New Delhi: Springer India, 2016. p. 31–40.

DE GODOY, L. J. G.; BÔAS, R. L. V.; YANAGIWARA, R. S.; BACKES, C.; DE LIMA, C. P. Leaf concentrations of manganese and zinc in the orange fertilized via foliar application with oxides and carbonates. *Revista Ciencia Agronomica*, v. 44, n. 3, p. 437–444, 2013. . Acesso em: 6 abr. 2023.

DE MORAES, C. C.; SILVEIRA, N. M.; MATTAR, G. S.; SALA, F. C.; MELLIS, E. V.; PURQUERIO, L. F. V. Agronomic biofortification of lettuce with zinc under tropical conditions: Zinc content, biomass production and oxidative stress. *Scientia Horticulturae*, v. 303, p. 111218, 20 set. 2022a. . Acesso em: 5 set. 2023.

DE SOUZA, A. A. B.; DO NASCIMENTO, C. W. A.; DE SOUZA, E. R. Mineral composition, chlorophyll fluorescence and zinc biofortification in *Vigna unguiculata* fertilized with bulk and nanoparticulate zinc oxides. *Acta Physiologiae Plantarum*, v. 43, n. 12, p. 1–10, 1 dez. 2021c. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s11738-021-03333-y>>. Acesso em: 26 nov. 2023.

DÍAZ, A.; VERA, J. R.; FERMÍN, L. R.; MÉNDEZ, A.; ZAMBRANO, R.; CONTRERAS, L. Composition of the essential oil of leaves and roots of *Allium schoenoprasum* L. (Alliaceae). *Latin American and Caribbean Bulletin of Medicinal and Aromatic Plants*, 2011. . Acesso em: 16 abr. 2023.

DONEGÁ, M. A. **Relação K:Ca e aplicação de silício na solução nutritiva para o cultivo hidropônico de coentro**. 2009. Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009. . Acesso em: 9 abr. 2023.

DU, W.; YANG, J.; PENG, Q.; LIANG, X.; MAO, H. Comparison study of zinc nanoparticles and zinc sulphate on wheat growth: From toxicity and zinc biofortification. *Chemosphere*, v. 227, p. 109–116, 1 jul. 2019. . Acesso em: 15 out. 2023.

ENANI 2019. **Prevalências de deficiências e curvas de distribuição de micronutrientes em crianças brasileiras menores de 5 anos**. ENANI-2019. [s.l: s.n.].

EUROPEAN FOOD SAFETY AUTHORITY. Scientific Opinion on Dietary Reference Values for zinc. **EFSA Journal**, v. 12, n. 10, p. 3844, out. 2014.

FAQUIN, V. **NUTRIÇÃO MINERAL DE PLANTAS** 2005. . Acesso em: 9 abr. 2023.

FARAG, M. A.; ABIB, B.; QIN, Z.; ZE, X.; ALI, S. E. Dietary macrominerals: Updated review of their role and orchestration in human nutrition throughout the life cycle with sex differences. **Current Research in Food Science**, v. 6, p. 100450, 2023. . Acesso em: 16 abr. 2023.

FERREIRA BERTINO, N. M.; GRANGEIRO, L. C.; CECÍLIOFILHO, A. B.; NOGUEIRA, H. C.; DE OLIVEIRA, A. K. S.; ALVES, A. A.; DE SOUSA NUNES, G. H. Quality and agronomic biofortification of onion as a function of fertilization with micronutrients. **Journal of Plant Nutrition**, v. 45, n. 15, p. 2251–2262, 2022. Disponível em: <<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01904167.2022.2027971>>.

Acesso em: 20 nov. 2023.

FINOTO RASTEIRO, B. A.; ZUFI JUNIOR, F. C.; FISCHER FILHO, J. A. INTERAÇÃO DE NITROGÊNIO E ZINCO NA PRODUÇÃO DE MILHO. **Ciência & Tecnologia**, v. 12, n. 1, p. 97–109, 4 abr. 2021.

FLORIANO, J. M.; KUNZ, S. N.; DE PINHO, P. J.; CASABONNET, C. T.; ABREU, E. da L.; AZEVEDO, E. B. Mineral enrichment in carrot with different sources and doses of zinc. **Revista Ceres**, v. 65, n. 2, p. 158–164, 1 mar. 2018. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rceres/a/pssRVfwN3ZLV6SfQtPhMZcx/>>. Acesso em: 27 set. 2023.

FORTIS-HERNÁNDEZ, M.; GARCÍA-DELGADO, J. D.; PRECIADO-RANGEL, P.; TREJO-VALENCIA, R.; SÁNCHEZ-ESTRADA, A.; FORTIZ-HERNÁNDEZ, J. Commercial and phytochemical quality in biofortified ‘Orejona’ lettuce with zinc oxide nanoparticles. **Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca**, v. 50, n. 4, p. 12969, 29 nov. 2022. . Acesso em: 22 nov. 2023.

GARCÍA-GÓMEZ, C.; OBRADOR, A.; GONZÁLEZ, D.; BABÍN, M.; FERNÁNDEZ, M. D. Comparative effect of ZnO NPs, ZnO bulk and ZnSO<sub>4</sub> in the antioxidant defences of two plant species growing in two agricultural soils

under greenhouse conditions. **Science of The Total Environment**, v. 589, p. 11–24, 1 jul. 2017. . Acesso em: 22 nov. 2023.

GHOLAMI, L.; KARIMI, N.; KAVIAN, A. Soil and water conservation using biochar and various soil moisture in laboratory conditions. **CATENA**, v. 182, p. 104151, 1 nov. 2019. . Acesso em: 24 jan. 2024.

GRACIANO, P. D.; JACINTO, A. C. P.; SILVEIRA, A. J.; CASTOLDI, R.; LIMA, T. M.; CHARLO, H. C. O.; SILVA, I. G.; MARIN, M. V. Agronomic biofortification with zinc in curly lettuce cultivars. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias - Brazilian Journal of Agricultural Sciences**, v. 15, n. 4, p. 1–9, 27 out. 2020b.

GUERRERO-MARTIN, C. A.; ORTEGA-RAMÍREZ, A. T.; SILVA-MARRUFO, Ó.; CASALLAS-MARTÍN, B. D.; CORTÉS-SALAZAR, N.; SALINAS-SILVA, R.; CAMACHO-GALINDO, S.; DA SILVA FERNANDES, F. A.; GUERRERO-MARTIN, L. E.; PAULO DE FREITAS, P.; D. V. DUARTE, E. Biofortification of Kidney Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Crops Applying Zinc Sulfate and Ferric Sulfate: Pilot Crop in Colombia. **Molecules** **2023**, Vol. **28**, Page **2004**, v. 28, n. 5, p. 2004, 21 fev. 2023. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/1420-3049/28/5/2004/htm>>. Acesso em: 22 nov. 2023.

HAIDER, M. U.; HUSSAIN, M.; FAROOQ, M.; NAWAZ, A. Soil application of zinc improves the growth, yield and grain zinc biofortification of mungbean. **Soil and Environment**, v. 37, n. 2, p. 123–128, 2018. Disponível em: <<https://researchportal.murdoch.edu.au/esploro/outputs/journalArticle/Soil-application-of-zinc-improves-the/991005542676107891>>. Acesso em: 22 ago. 2023.

HARRIS, DANIEL. C. **Análise Química Quantitativa**. [s.l.] LTC, 2012.

HINSINGER, P. Bioavailability of soil inorganic P in the rhizosphere as affected by root-induced chemical changes: A review. Em: *Plant and Soil*, 2., 2001, [...]. Springer, 2001. v. 237, p. 173–195.

HUSSAIN, A.; JIANG, W.; WANG, X.; SHAHID, S.; SABA, N.; AHMAD, M.; DAR, A.; MASOOD, S. U.; IMRAN, M.; MUSTAFA, A. Mechanistic Impact of Zinc Deficiency in Human Development. **Frontiers in Nutrition**, v. 9, p. 717064, 9 mar. 2022. . Acesso em: 27 set. 2023.

IZIY, E.; MAJD, A.; VAEZI-KAKHKI, M. R.; NEJADSATTARI, T.; NOUREINI, S. K. Effects of zinc oxide nanoparticles on enzymatic and nonenzymatic antioxidant content, germination, and biochemical and ultrastructural cell characteristics of *Portulaca oleracea* L. **Acta Societatis Botanicorum Poloniae**, v. 88, n. 4, 18 dez. 2019. Disponível em: <<https://pbsociety.org.pl/journals/index.php/asbp/article/view/8549>>. Acesso em: 16 out. 2023.

JALAL, A.; OLIVEIRA, C. E. da S.; FERNANDES, G. C.; DA SILVA, E. C.; DA COSTA, K. N.; DE SOUZA, J. S.; LEITE, G. da S.; BIAGINI, A. L. C.; GALINDO, F. S.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M. Integrated use of plant growth-promoting bacteria and nano-zinc foliar spray is a sustainable approach for wheat biofortification, yield, and zinc use efficiency. **Frontiers in Plant Science**, v. 14, p. 1146808, 8 maio 2023. . Acesso em: 26 nov. 2023.

KABATA-PENDIAS, A. **Trace elements in soils and plants**. [s.l.] CRC Press, 2010. 1–520 p.

KACHINSKI, W. D.; ÁVILA, F. W.; DOS REIS, A. R.; MULLER, M. M. L.; MENDES, M. C.; PETRANSKI, P. H. Agronomic biofortification increases concentrations of zinc and storage proteins in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) grains. **Food Research International**, v. 155, p. 111105, 1 maio 2022a. . Acesso em: 16 out. 2023.

KANDIL, E. E.; LAMLAM, S. F.; GHEITH, E. S. M. S.; JAVED, T.; GHAREEB, R. Y.; ABDELSALAM, N. R.; HUSSAIN, S. Biofortification of maize growth, productivity and quality using nano-silver, silicon and zinc particles with different irrigation intervals. **The Journal of Agricultural Science**, v. 161, n. 3, p. 339–355, 2023. Disponível em: <<https://www.cambridge.org/core/journals/journal-of-agricultural-science/article/biofortification-of-maize-growth-productivity-and-quality-using-nanosilver-silicon-and-zinc-particles-with-different-irrigation-intervals/AC41BB7AFFAE0B516A2535C1A0FA21F4>>. Acesso em: 26 nov. 2023.

KAUR, H.; GARG, N. **Zinc toxicity in plants: a review** *Planta* Springer Science and Business Media Deutschland GmbH, 1 jun. 2021. . Acesso em: 16 abr. 2023.

KUMAR, K.; GAMBHIR, G.; DASS, A.; TRIPATHI, A. K.; SINGH, A.; JHA, A. K.; YADAVA, P.; CHOUDHARY, M.; RAKSHIT, S. **Genetically modified crops: current status and future prospects** *Planta* Springer, 1 abr. 2020. . Acesso em: 5 abr. 2023.

KUME, W. T.; CAMPOS, L. M.; RIBEIRO, R.; CAIONE, G. Nutritional disorders caused by deficiency and excess of zinc in maize plants. **Cientifica**, v. 49, n. 4, p. 165–173, 2021. . Acesso em: 16 abr. 2023.

KURNIA, D.; AJIATI, D.; HELIAWATI, L.; SUMIARSA, D. **Antioxidant properties and structure-antioxidant activity relationship of allium species leaves** *Molecules* MDPI, 1 dez. 2021. . Acesso em: 16 abr. 2023.

KUTMAN, U. B.; YILDIZ, B.; CAKMAK, I. Effect of nitrogen on uptake, remobilization and partitioning of zinc and iron throughout the development of durum wheat. **Plant and Soil**, v. 342, n. 1–2, p. 149–164, 4 maio 2011. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s11104-010-0679-5>>. Acesso em: 6 set. 2023.

LARCHER, W. **Physiological Plant Ecology**. [s.l.] Springer Berlin Heidelberg, 2003.

LICHTENTHALER, H. K. Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. **Methods in Enzymology**, v. 148, n. C, p. 350–382, 1 jan. 1987. . Acesso em: 17 maio. 2023.

LIMA FILHO, O. F. de L. F.; ABDALLA, A. L. Efeito de Desordens Nutricionais na Síntese de Polifenóis em Guandu e Leucena Utilizados na Alimentação Animal. *Em*: **BOLETIM DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO da EMBRAPA**. [s.l: s.n.]

LÓPEZ-MORALES, D.; DE LA CRUZ-LÁZARO, E.; SÁNCHEZ-CHÁVEZ, E.; PRECIADO-RANGEL, P.; MÁRQUEZ-QUIROZ, C.; OSORIO-OSORIO, R. Impact of Agronomic Biofortification with Zinc on the Nutrient Content, Bioactive Compounds, and Antioxidant Capacity of Cowpea Bean (*Vigna unguiculata* L. Walpers). **Agronomy 2020, Vol. 10, Page 1460**, v. 10, n. 10, p. 1460, 24 set. 2020. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2073-4395/10/10/1460/htm>>. Acesso em: 26 nov. 2023.

LOW, J. W.; ARIMOND, M.; OSMAN, N.; CUNGUARA, B.; ZANO, F.; TSCHIRLEY, D. A food-based approach introducing orange-fleshed sweet potatoes increased vitamin A intake and serum retinol concentrations in young children in rural Mozambique. **Journal of Nutrition**, v. 137, n. 5, p. 1320–1327, 1 maio 2007. Disponível em: <<https://academic.oup.com/jn/article/137/5/1320/4664637?login=false>>. Acesso em: 5 abr. 2023.

MALAVOLTA, E. Manual de nutrição mineral de plantas. São Paulo: Agronômica Ceres. **Embrapa Acre; Embrapa Meio Ambiente; Embrapa Semiárido.**, p. 638p, 2006. . Acesso em: 16 abr. 2023.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. de. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**2010a. . Acesso em: 5 abr. 2023.

MALKA, M.; DU LAING, G.; KUREŠOVÁ, G.; HEGEDŮSOVÁ, A.; BOHN, T. Enhanced accumulation of phenolics in pea (*Pisum sativum* L.) seeds upon foliar application of selenate or zinc oxide. **Frontiers in Nutrition**, v. 10, p. 1083253, 30 mar. 2023. . Acesso em: 26 nov. 2023.

MALTA, M. R.; FURTINI NETO, A. E.; ALVES, J. D.; GUIMARÃES, P. T. G. Effect of zinc application on tryptophan synthesis, total amino acids and total soluble proteins of leaves of coffee seedlings. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 14, n. 1, p. 31–37, 2002. . Acesso em: 16 abr. 2023.

MANUEL, V.; CARMONA, V. **Fortificação da batata e biofortificação agrônômica da beterraba com zinco**. 2018. Universidade Estadual Paulista (Unesp), 2018. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/153440>>. Acesso em: 27 set. 2023.

MARCHETTI, M. F.; SILVA, G. M. da; FREIRIA, C. N.; BORIM, F. S. A.; BRITO, T. R. P. de; MILANSKI, M.; CORONA, L. P. Associação entre deficiência de zinco e declínio cognitivo em idosos da comunidade. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 27, n. 7, p. 2805–2816, 17 jun. 2022. Disponível em: <<https://orcid.org/0000-0002-6322-5368>>. Acesso em: 27 set. 2023.

MARICHALI, A.; DALLALI, S.; OUERGHEMMI, S.; SEBEI, H.; HOSNI, K. Germination, morpho-physiological and biochemical responses of coriander

(*Coriandrum sativum* L.) to zinc excess. **Industrial Crops and Products**, v. 55, p. 248–257, 1 abr. 2014. . Acesso em: 15 out. 2023.

MARSCHNER, P. **Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants: Third Edition**. [s.l.] Elsevier Inc., 2011. 1–651 p.

MENDES, R. M. de S.; LUCENA, E. M. P. de; MEDEIROS, J. B. L. de P. **Princípios de Fisiologia Vegetal**. [s.l.: s.n.]

MENGIST, M. F.; MILBOURNE, D.; GRIFFIN, D.; MCLAUGHLIN, M. J.; CREEDON, J.; JONES, P. W.; ALVES, S. Zinc uptake and partitioning in two potato cultivars: implications for biofortification. **Plant and Soil**, v. 463, n. 1–2, p. 601–613, 1 jun. 2021. . Acesso em: 11 abr. 2023.

MILLER, G. L. Use of Dinitrosalicylic Acid Reagent for Determination of Reducing Sugar. **Analytical Chemistry**, v. 31, n. 3, p. 426–428, 1 mar. 1959.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Zinco na prevenção e tratamento de pacientes com COVID-19**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<https://www.gov.br/saude/pt-br/coronavirus/notas-tecnicas/2022/nota-tecnica-zinco-covid-19.pdf>>. Acesso em: 5 abr. 2023.

MOESCH, E. C.; BRUCH-BERTANI, J. P.; CARRENO, I.; ADAMI, F. S. Relação do estado nutricional com a adequação do consumo de micronutrientes de gestantes de alto risco. **RECIMA21 - Revista Científica Multidisciplinar - ISSN 2675-6218**, v. 3, n. 1, p. e311078, 28 jan. 2022.

MORAES, C. **BIOFORTIFICAÇÃO AGRONÔMICA COM ZINCO EM ALFACE**. 2020b. USP, Campinas, 2020. Disponível em: <<https://www.iac.sp.gov.br/areadoinstituto/posgraduacao/repositorio/storage/pb589816.pdf>>. Acesso em: 5 abr. 2023.

MUKHERJEE, A.; PERALTA-VIDEA, J. R.; BANDYOPADHYAY, S.; RICO, C. M.; ZHAO, L.; GARDEA-TORRESDEY, J. L. Physiological effects of nanoparticulate ZnO in green peas (*Pisum sativum* L.) cultivated in soil. **Metallomics**, v. 6, n. 1, p. 132–138, 19 dez. 2013. Disponível em: <<https://dx.doi.org/10.1039/c3mt00064h>>. Acesso em: 16 out. 2023.

NAMIEŚNIK, J.; RABAJCZYK, A. **The speciation and physico-chemical forms of metals in surface waters and sediments** **Chemical Speciation and Bioavailability** Taylor & Francis, fev. 2010. . Acesso em: 6 abr. 2023.

NATASHA, N.; SHAHID, M.; BIBI, I.; IQBAL, J.; KHALID, S.; MURTAZA, B.; BAKHAT, H. F.; FAROOQ, A. B. U.; AMJAD, M.; HAMMAD, H. M.; NIAZI, N. K.; ARSHAD, M. **Zinc in soil-plant-human system: A data-analysis review***Science of the Total Environment*Elsevier B.V., 20 fev. 2022. . Acesso em: 16 abr. 2023.

NEKOUKHO, M.; FALLAH, S.; ABBASI-SURKI, A.; POKHREL, L. R.; ROSTAMNEJADI, A. Improved efficacy of foliar application of zinc oxide nanoparticles on zinc biofortification, primary productivity and secondary metabolite production in dragonhead. **Journal of Cleaner Production**, v. 379, p. 134803, 15 dez. 2022a. . Acesso em: 16 out. 2023.

NIH, N. I. of H. **Dietary Supplement Fact Sheets: Zinc**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://ods.od.nih.gov/factsheets/Zinc-HealthProfessional/>>. Acesso em: 16 abr. 2023.

NING, P.; FEI, P.; WU, T.; LI, Y.; QU, C.; LI, Y.; SHI, J.; TIAN, X. Combined foliar application of zinc sulphate and selenite affects the magnitude of selenium biofortification in wheat (*Triticum aestivum* L.). **Food and Energy Security**, v. 11, n. 1, p. e342, 1 fev. 2022. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/fes3.342>>. Acesso em: 26 nov. 2023.

OMS. The World Health Organization Report 2002: reducing risks, promoting healthy life. **WHO Library Cataloguing-in Publication Data**, p. 232, 2002. . Acesso em: 5 abr. 2023.

**Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação**. Disponível em: <<https://www.fao.org/brasil/pt/>>. Acesso em: 17 maio. 2023.

PALMGREN, M. G.; CLEMENS, S.; WILLIAMS, L. E.; KRÄMER, U.; BORG, S.; SCHJØRRING, J. K.; SANDERS, D. **Zinc biofortification of cereals: problems and solutions***Trends in Plant Science*Trends Plant Sci, set. 2008. . Acesso em: 4 abr. 2023.

PARVU, A. E.; PARVU, M.; VLASE, L.; MICLEA, P.; MOT, A. C.; SILAGHI-DUMITRESCU, R. Anti-inflammatory effects of *Allium schoenoprasum* L. leaves. **Journal of Physiology and Pharmacology**, v. 65, n. 2, p. 309–315, 1 abr. 2014. . Acesso em: 16 abr. 2023.

PEPE, A.; DI BACCIO, D.; MAGNANI, E.; GIOVANNETTI, M.; SBRANA, C. Zinc and Iron Biofortification and Accumulation of Health-Promoting Compounds in Mycorrhizal *Cichorium intybus* L. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition** **2022** **22:4**, v. 22, n. 4, p. 4703–4716, 29 jul. 2022. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s42729-022-00953-2>>. Acesso em: 26 nov. 2023.

PETKOVIĆ, K.; MANOJLOVIĆ, M.; LOMBNÆS, P.; ČABILOVSKI, R.; KRSTIĆ, Đ.; LONČARIĆ, Z.; LOMBNÆS, P. FOLIAR APPLICATION OF SELENIUM, ZINC AND COPPER IN ALFALFA (*Medicago sativa* L.) BIOFORTIFICATION. **Turkish Journal Of Field Crops**, p. 81–90, 13 jun. 2019.

PFEIFFER, W. H.; MCCLAFFERTY, B. HarvestPlus: Breeding Crops for Better Nutrition. **Crop Science**, v. 47, n. SUPPL. DEC., p. S-88-S-105, dez. 2007. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.2135/cropsci2007.09.0020IPBS>>. Acesso em: 5 abr. 2023.

RABBI, R. H. Md.; CHOWDHURY, Md. A. H.; SAHA, B. K. Agronomic Biofortification of Zinc in Tomato. **Helyon**, 2023. Disponível em: <<https://papers.ssrn.com/abstract=4316458>>. Acesso em: 27 set. 2023.

RAIGOND, P.; RAIGOND, B.; KAUNDAL, B.; SINGH, B.; JOSHI, A.; DUTT, S. Effect of zinc nanoparticles on antioxidative system of potato plants. **Journal of Environmental Biology**, v. 38, n. 3, p. 435–439, 1 maio 2017.

RAZA, S. H.; SHAHZADI, A.; IQBAL, M.; SHAFIQ, F.; MAHMOOD, A.; ANWAR, S.; ASHRAF, M. Foliar application of nano-zinc oxide crystals improved zinc biofortification in cauliflower (*Brassica oleracea* L. var. botrytis). **Applied Nanoscience (Switzerland)**, v. 12, n. 6, p. 1803–1813, 1 jun. 2022a. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s13204-022-02455-0>>. Acesso em: 22 nov. 2023.

REGINA, A. C.; GLORY, J. R.; TULIN, A. B. Micronutrients Biofortification (Zn, Fe, Cu, and Mn) Improves the Growth, Yield, and Chlorophyll Contents of Sweet Basil (*Ocimum basilicum* L.) Grown On a Near Neutral Soil. **Science and Humanities Journal**, v. 15, n. 1, p. 70–86, 15 dez. 2021. . Acesso em: 22 nov. 2023.

REHMAN, B.; HUSSAIN, S.; ZULFIQAR, A. Zinc sulfate biofortification enhances physio-biochemical attributes and oxidative stress tolerance in rice varieties grown in zinc deficient alkaline soil. **South African Journal of Botany**, v. 162, p. 271–281, 1 nov. 2023. . Acesso em: 26 nov. 2023.

RESENDE, G. M. DE; KIILL, L. H. P.; SOUZA, R. J. DE. **Cultivo de cebola no nordeste**. [s.l.] EMBRAPA, 2007. . Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/doc/162407/1/Botanica.Sistema-de-producao.pdf>>. Acesso em: 16 abr. 2023.

RITA, A.; COELHO, F.; DACCAK, D.; LUÍS, I. C.; MARQUES, A. C.; CAMPOS PESSOA, C.; SILVA, M. M.; SIMÕES, M.; REBOREDO, F. H.; PESSOA, M. F.; LEGOINHA, P.; RAMALHO, J. C.; CAMPOS, P. S.; PAIS, I. P.; SEMEDO, J. N.; LIDON, F. C. Can Natural Fortification Increase Fe and Zn Content in Organically Grown Tomatoes? **Biology and Life Sciences Forum 2022, Vol. 16, Page 26**, v. 16, n. 1, p. 26, 15 abr. 2022. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2673-9976/16/1/26/htm>>. Acesso em: 22 nov. 2023.

ROAT-MALONE, R. M. **Bioinorganic chemistry : a short course**. [s.l.: s.n.]328 p.

RUGELES-REYES, S. M.; CECÍLIO FILHO, A. B.; LÓPEZ AGUILAR, M. A.; SILVA, P. H. S. Foliar application of zinc in the agronomic biofortification of arugula. **Food Science and Technology**, v. 39, n. 4, p. 1011–1017, 4 nov. 2019a. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/cta/a/fLQ4TbvYXL5PJ6X79N4XQyb/?lang=en>>. Acesso em: 20 nov. 2023.

RUIZ-TORRES, N.; FLORES-NAVEDA, A.; BARRIGA-CASTRO, E. D.; CAMPOSECO-MONTEJO, N.; RAMÍREZ-BARRÓN, S.; BORREGO-ESCALANTE, F.; NIÑO-MEDINA, G.; HERNÁNDEZ-JUÁREZ, A.; GARZA-ALONSO, C.; RODRÍGUEZ-SALINAS, P.; GARCÍA-LÓPEZ, J. I. Zinc Oxide Nanoparticles and Zinc Sulfate Impact Physiological Parameters and Boosts Lipid Peroxidation in Soil Grown Coriander Plants (*Coriandrum sativum*). **Molecules 2021, Vol. 26, Page 1998**, v. 26, n. 7, p. 1998, 1 abr. 2021. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/1420-3049/26/7/1998/htm>>. Acesso em: 22 nov. 2023.

SAHA, B.; SAHA, S.; KUMAR, J.; BAIRWA, R. Nutritional enrichment of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) through Zinc (Zn) and Boron (B) Fertilization. **Journal of Plant Nutrition**, v. 46, n. 9, p. 2155–2166, 2023. Disponível em: <<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01904167.2022.2155534>>.

Acesso em: 16 out. 2023.

SAHA, S.; CHAKRABORTY, M.; PADHAN, D.; SAHA, B.; MURMU, S.; BATABYAL, K.; SETH, A.; HAZRA, G. C.; MANDAL, B.; BELL, R. W. Agronomic biofortification of zinc in rice: Influence of cultivars and zinc application methods on grain yield and zinc bioavailability. **Field Crops Research**, v. 210, p. 52–60, 15 ago. 2017. . Acesso em: 6 set. 2023.

SALAKINKOP, K. Agronomic Biofortification of Maize with Zinc and Iron Micronutrients. v. 1, n. 5, 2018. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/327410766>>.

SALEEM, I.; JAVID, S.; BIBI, F.; EHSAN, S.; NIAZ, A.; AHMAD, Z. Biofortification of Maize Grain with Zinc and Iron by Using Fertilizing Approach. **Journal of Agriculture and Ecology Research International**, v. 7, n. 4, p. 1–6, 10 jan. 2016.

SALGUEIRO, F. B.; LIRA, A. F.; RUMJANEK, V. M.; CASTRO, R. N. PHENOLIC COMPOSITION AND ANTIOXIDANT PROPERTIES OF BRAZILIAN HONEYS. **Química Nova**, v. 37, n. 5, p. 821–826, 2014. Disponível em: <<http://www.gnresearch.org/doi/10.5935/0100-4042.20140132>>. Acesso em: 23 abr. 2023.

SARKAR, T.; SALAUDDIN, M.; ROY, S.; CHAKRABORTY, R.; REBEZOV, M.; SHARIATI, M. A.; THIRUVENGADAM, M.; RENGASAMY, K. R. R. Underutilized green leafy vegetables: frontier in fortified food development and nutrition. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, 2022. Disponível em: <<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10408398.2022.2095555>>. Acesso em: 27 set. 2023.

SATTAR, A.; WANG, X.; UL-ALLAH, S.; SHER, A.; IJAZ, M.; IRFAN, M.; ABBAS, T.; HUSSAIN, S.; NAWAZ, F.; AL-HASHIMI, A.; AL MUNQEDHI, B. M.; SKALICKY, M. Foliar application of zinc improves morpho-physiological and antioxidant defense mechanisms, and agronomic grain biofortification of wheat

(*Triticum aestivum* L.) under water stress. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 29, n. 3, p. 1699–1706, 1 mar. 2022. . Acesso em: 26 nov. 2023.

SHIRSHOVA, T. I.; BESHLEI, I. V.; DERYAGINA, V. P.; RYZHOVA, N. I.; MATISTOV, N. V. Chemical composition of *Allium schoenoprasum* leaves and inhibitory effect of their extract on tumor growth in mice. **Pharmaceutical Chemistry Journal**, v. 46, n. 11, p. 672–675, 13 fev. 2013. . Acesso em: 16 abr. 2023.

SILVA, V. M.; NARDELI, A. J.; MENDES, N. A. de C.; ROCHA, M. de M.; WILSON, L.; YOUNG, S. D.; BROADLEY, M. R.; WHITE, P. J.; REIS, A. R. dos. Agronomic biofortification of cowpea with zinc: Variation in primary metabolism responses and grain nutritional quality among 29 diverse genotypes. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 162, p. 378–387, 1 maio 2021. . Acesso em: 26 nov. 2023.

SINAGA, S. M.; SUDARMI, S.; IKSEN, I.; KEVIN, K.; SARI, M. P. EVALUATION OF TOTAL PHENOLIC, FLAVONOID CONTENT, ANTIOXIDANT AND IN VITRO ANTILITHOGENESIS ACTIVITIES OF CHIVES LEAF (*Allium schoenoprasum*, L.). **Rasayan Journal of Chemistry**, v. 11, n. 4, p. 1604–1608, 2018.

SINGH, D.; GEAT, N.; RAJAWAT, M. V. S.; MAHAJAN, M. M.; PRASANNA, R.; SINGH, S.; KAUSHIK, R.; SINGH, R. N.; KUMAR, K.; SAXENA, A. K. Deciphering the Mechanisms of Endophyte-Mediated Biofortification of Fe and Zn in Wheat. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 37, n. 1, p. 174–182, 1 mar. 2018a. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s00344-017-9716-4>>. Acesso em: 22 nov. 2023.

SINGH, V.; CHAUHAN, G.; KRISHAN, P.; SHRI, R. **Allium schoenoprasum L.: a review of phytochemistry, pharmacology and future directions** *Natural Product Research* Taylor and Francis Ltd., 17 set. 2018b. . Acesso em: 16 abr. 2023.

SINGH, V.; CHAUHAN, G.; KRISHAN, P.; SHRI, R. *Allium schoenoprasum* L.: a review of phytochemistry, pharmacology and future directions. **Natural product research**, v. 32, n. 18, p. 2202–2216, 17 set. 2018c. Disponível em: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28826254/>>. Acesso em: 18 maio. 2023.

SINGH, V.; KRISHAN, P.; SHRI, R. Antioxidant-mediated neuroprotection by *Allium schoenoprasum* L. leaf extract against ischemia reperfusion-induced cerebral injury in mice. **Journal of Basic and Clinical Physiology and Pharmacology**, v. 29, n. 4, p. 403–410, 26 jul. 2018. . Acesso em: 16 abr. 2023.

SIQUEIRA, M. de O. **Adsorção de zinco por solos com remoção da matéria orgânica e de óxidos de ferro e de alumínio**. 1998. 1998. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/profile/Mateus-Augusto-Quaresma/publication/304216365\\_Yacon\\_potencial\\_como\\_hortalica/links/5769d3b708ae1a43d23a3a41/Yacon-potencial-como-hortalica.pdf#page=404](https://www.researchgate.net/profile/Mateus-Augusto-Quaresma/publication/304216365_Yacon_potencial_como_hortalica/links/5769d3b708ae1a43d23a3a41/Yacon-potencial-como-hortalica.pdf#page=404)>. Acesso em: 6 abr. 2023.

SORAHINOBAR, M.; DELDARI, T.; NAZEM BOKAEI, Z.; MEHDINIA, A. Effect of zinc nanoparticles on the growth and biofortification capability of mungbean (*Vigna radiata*) seedlings. **Biologia**, v. 78, n. 4, p. 951–960, 1 abr. 2023a. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s11756-022-01269-3>>. Acesso em: 15 out. 2023.

SORAHINOBAR, M.; DELDARI, T.; NAZEM BOKAEI, Z.; MEHDINIA, A. Effect of zinc nanoparticles on the growth and biofortification capability of mungbean (*Vigna radiata*) seedlings. **Biologia**, v. 78, n. 4, p. 951–960, 1 abr. 2023b. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s11756-022-01269-3>>. Acesso em: 26 nov. 2023.

SUBBAIAH, L. V.; PRASAD, T. N. V. K. V.; KRISHNA, T. G.; SUDHAKAR, P.; REDDY, B. R.; PRADEEP, T. Novel Effects of Nanoparticulate Delivery of Zinc on Growth, Productivity, and Zinc Biofortification in Maize (*Zea mays* L.). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 64, n. 19, p. 3778–3788, 18 maio 2016. Disponível em: <<https://pubs.acs.org/doi/full/10.1021/acs.jafc.6b00838>>. Acesso em: 22 nov. 2023.

SUGANYA, A.; SARAVANAN, A.; MANIVANNAN, N. Role of Zinc Nutrition for Increasing Zinc Availability, Uptake, Yield, and Quality of Maize (*Zea Mays*) Grains: An Overview. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 51, n. 15, p. 2001–2021, 21 ago. 2020.

TIAN, B.; PEI, Y.; HUANG, W.; DING, J.; SIEMANN, E. Increasing flavonoid concentrations in root exudates enhance associations between arbuscular mycorrhizal fungi and an invasive plant. **The ISME Journal** 2021 **15:7**, v. 15, n. 7, p. 1919–1930, 10 fev. 2021. Disponível em: <<https://www.nature.com/articles/s41396-021-00894-1>>. Acesso em: 26 nov. 2023.

TUYOGON, D. S. J.; IMPA, S. M.; CASTILLO, O. B.; LARAZO, W.; JOHNSON-BEEBOUT, S. E. Enriching Rice Grain Zinc through Zinc Fertilization and Water Management. **Soil Science Society of America Journal**, v. 80, n. 1, p. 121–134, 1 jan. 2016. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.2136/sssaj2015.07.0262>>. Acesso em: 11 abr. 2023.

ULLAH, A. Agronomic Biofortification to Improve Productivity and Grain Zn Concentration of Bread Wheat Developing climate smart strategies for improving wheat productivity in Sultanate of Oman View project Application of micronutrients through seed invigoration techniques in rice and wheat View project. **Article in International Journal of Agriculture and Biology**, 2018. Disponível em: <<http://www.fspublishers.org>>. Acesso em: 11 abr. 2023.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Abridged List Ordered by Nutrient Content in Household Measure**. [s.l: s.n.].

VAZ, A. P. A.; JORGE, M. H. A. **Cebolinha**. Corumbá: , 2007a. . (Nota técnica).

VAZ, A. P. A.; JORGE, M. H. A. **Coentro**. Corumbá: , 2007b. . (Nota técnica).

WEATHERBURN, M. W. Phenol-Hypochlorite Reaction for Determination of Ammonia. **Analytical Chemistry**, v. 39, n. 8, p. 971–974, 1 jul. 1967. . Acesso em: 17 maio. 2023.

WESSELLS, K. R.; BROWN, K. H. Estimating the Global Prevalence of Zinc Deficiency: Results Based on Zinc Availability in National Food Supplies and the Prevalence of Stunting. **PLoS ONE**, v. 7, n. 11, 29 nov. 2012. . Acesso em: 4 abr. 2023.

WHITE, P. J.; BROADLEY, M. R. Biofortification of crops with seven mineral elements often lacking in human diets--iron, zinc, copper, calcium, magnesium, selenium and iodine. **The New phytologist**, v. 182, n. 1, p. 49–84, abr. 2009.

Disponível em: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19192191/>>. Acesso em: 15 out. 2023.

WHITE, P. J.; PONGRAC, P.; SNEDDON, C. C.; THOMPSON, J. A.; WRIGHT, G. Limits to the Biofortification of Leafy Brassicas with Zinc. **Agriculture** **2018**, **Vol. 8**, **Page 32**, v. 8, n. 3, p. 32, 27 fev. 2018. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2077-0472/8/3/32/html>>. Acesso em: 15 out. 2023.

WILLIG, S.; VARANINI, Z.; NANNIPIERI, P. The Release of Root Exudates as Affected by the Plant's Physiological Status. *Em: The Rhizosphere*. [s.l.] CRC Press, 2020. p. 57–110.

YEMM, E. W.; COCKING, E. C.; RICKETTS, R. E. The determination of amino-acids with ninhydrin. **Analyst**, v. 80, n. 948, p. 209–214, 1 jan. 1955. Disponível em: <<https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/1955/an/an9558000209>>. Acesso em: 17 maio. 2023.

YEMM, E. W.; WILLIS, A. J. The estimation of carbohydrates in plant extracts by anthrone. **Biochemical Journal**, v. 57, n. 3, p. 508–514, 1 jul. 1954.

ZAFAR, H.; ALI, A.; ALI, J. S.; HAQ, I. U.; ZIA, M. Effect of ZnO nanoparticles on Brassica nigra seedlings and stem explants: Growth dynamics and antioxidative response. **Frontiers in Plant Science**, v. 7, n. APR2016, p. 191610, 20 abr. 2016. . Acesso em: 15 out. 2023.

ZAKIULLAH, K. P.; MOHIBULLAH, M.; KHALIQ, A.; RAZAQ, T.; UROOJ, M.; RIAZ, M.; JAMMU, A. Effect of Zinc and Boron on the growth and yield of gulabi variety of Garlic (*Allium sativum* L.) under agro-climatic condition of Peshawar. **International Journal of Agronomy and Agricultural Research (IJAAR)**, v. 14, n. 1, p. 11–15, 2019. Disponível em: <<http://www.innspub.net>>. Acesso em: 15 out. 2023.