



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL**  
**CAMPUS CHAPECÓ**  
**CURSO DE AGRONOMIA**

**THIAGO CARLOS CONSOLI**

**GERMINAÇÃO DE SEMENTES E CRESCIMENTO DE PLÂNTULAS DE AVEIA  
PRETA (*Avena strigosa* Schreb.) SUBMETIDAS A DIFERENTES  
CONCENTRAÇÕES DE ZINCO**

**CHAPECÓ**  
**2023**

**THIAGO CARLOS CONSOLI**

**GERMINAÇÃO DE SEMENTES E CRESCIMENTO DE PLÂNTULAS DE AVEIA  
PRETA (*Avena strigosa* Schreb.) SUBMETIDAS A DIFERENTES  
CONCENTRAÇÕES DE ZINCO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Agronomia da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), *Campus* Chapecó, como requisito para obtenção do grau de Bacharel em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Samuel Mariano Gislon da Silva

**CHAPECÓ**

**2023**

## Bibliotecas da Universidade Federal da Fronteira Sul - UFFS

Consoli, Thiago Carlos  
GERMINAÇÃO DE SEMENTES E CRESCIMENTO DE PLÂNTULAS DE AVEIA PRETA  
(*Avena strigosa* Schreb.) SUBMETIDAS A DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE  
ZINCO / Thiago Carlos Consoli. -- 2023.  
48 f.:il.

Orientador: Dr. Samuel Mariano Gislon da Silva

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) -  
Universidade Federal da Fronteira Sul, Curso de Bacharelado em  
Agronomia, Chapecó, SC, 2023.

1. *Avena strigosa* Schreb.. 2. Metais-pesados. 3.  
fitotoxicidade. I. Silva, Samuel Mariano Gislon da, orient. II.  
Universidade Federal da Fronteira Sul. III. Título.

**THIAGO CARLOS CONSOLI**

**GERMINAÇÃO DE SEMENTES E CRESCIMENTO DE PLÂNTULAS DE AVEIA  
PRETA (*Avena strigosa* Schreb.) SUBMETIDAS A DIFERENTES  
CONCENTRAÇÕES DE ZINCO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Agronomia da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), *Campus* Chapecó, como requisito para obtenção do grau de Bacharel em Agronomia.

Este trabalho foi defendido e aprovado pela banca examinadora em 07/02/2023.

**BANCA EXAMINADORA**



---

**Prof. Dr. Samuel Mariano Gislon da Silva – UFFS**  
**Orientador**

Documento assinado digitalmente



**JOAO ALFREDO BRAIDA**  
Data: 24/02/2023 11:40:55-0300  
Verifique em <https://verificador.iti.br>

---

**Prof. Dr. João Alfredo Braida – UFFS**  
**Avaliador**

Documento assinado digitalmente



**JOAO PAULO BENDER**  
Data: 24/02/2023 09:21:12-0300  
Verifique em <https://verificador.iti.br>

---

**Prof. Dr. João Paulo Bender – UFFS**  
**Avaliador**

Dedico este trabalho primeiramente a Deus,  
por me sustentar até aqui. Dedico também aos  
meus pais e familiares que me apoiaram em  
todos os momentos da minha trajetória.

**Thiago Carlos Consoli**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, por me suster durante toda minha trajetória até aqui e por me dar forças para a conclusão desta etapa da minha vida.

Quero agradecer também todos meus familiares, em especial minha mãe Daniele Aparecida dos Santos, meu pai Evandro Carlos Consoli e meu padrasto Edson Messias, que ao decorrer da minha formação acadêmica, me apoiaram e me ajudaram em tudo que foi necessário, colaborando para que eu chegasse até aqui.

Agradeço aos amigos que construí ao decorrer desta etapa da minha vida, Vinicius Horn, Luan Garbin e Carlos Eduardo, que tornaram essa etapa algo incrível.

Agradeço também, todos os professores e responsáveis pelo aprendizado gerado, nesses anos de graduação, que de alguma forma colaboraram para minha formação acadêmica.

Especialmente agradeço, ao Professor Samuel Mariano Gislon da Silva, que aceitou me orientar com propósito de realizar o Trabalho de Conclusão de Curso, auxiliando na conclusão da graduação.

**Thiago Carlos Consoli**

## RESUMO

No Brasil, a suinocultura desempenha um papel fundamental no agronegócio, principalmente devido ao grande potencial de produção. No entanto a aplicação de dejetos suínos é a principal fonte da bioacumulação do zinco em solos agrícolas, sendo importante avaliar seu comportamento em solos e plantas. O experimento foi conduzido do dia 07 ao dia 14 de abril de 2022, no laboratório de sementes e grãos da Universidade Federal da Fronteira Sul *Campus* Chapecó, sob esquema de parcelas subdivididas no tempo em delineamento experimental em blocos casualizados (DBC), com classificação cruzada, com 4 lotes de 16 repetições de 50 sementes cada. Os diferentes lotes foram semeados em papel de germinação e estes, foram embebidos com água deionizada acrescida de diferentes concentrações de sulfato de zinco ( $ZnSO_4$ ) de maneira que as concentrações finais de zinco fossem 0, 100, 200 e 400  $mg L^{-1}$ , gerando quatro diferentes tratamentos. Os rolos de papel foram mantidos em germinador sob iluminação e temperatura constante de 25°C, sendo que as avaliações de percentual de germinação, crescimento da parte aérea, radicular e velocidade de germinação, foram realizadas em 4 repetições de cada tratamento retiradas de forma aleatória no quarto, quinto, sexto e sétimo dia após a semeadura. As diferentes doses de zinco afetaram o potencial germinativo da aveia preta em relação as diferentes doses testadas, o que não ocorreu para a variável dias de avaliação. Foi possível observar diferença significativa nas avaliações de crescimento da parte aérea, nas maiores doses de zinco (200 e 400  $mg L^{-1}$ ) ocasionando um retardo do crescimento da parte aérea em especial no quinto, sexto e sétimo dia. Em relação ao crescimento radicular, ocorreu uma paralisia no crescimento das raízes em ambos os dias de avaliação para ambas as doses, com exceção a de 0  $mg L^{-1}$ . E em relação a velocidade de germinação as doses testadas não apresentaram efeitos. A testemunha (0  $mg L^{-1}$ ), foi o tratamento que apresentou o melhor desempenho durante as avaliações comprovando que o zinco, em concentrações elevadas, prejudica o desenvolvimento da aveia preta.

Palavras-chave: *Avena strigosa* Schreb.; metais-pesados; fitotoxicidade.

## ABSTRACT

In Brazil, pig farming plays a fundamental role in agribusiness, mainly due to the great production potential. However, the application of swine manure is the main source of zinc bioaccumulation in agricultural soils, and it is important to evaluate its behavior in soils and plants. The experiment was conducted from April 07 to April 14, 2022, in the seed and grain laboratory of the Federal University of Fronteira Sul *Campus* Chapecó, under a split-plot scheme in time, in a randomized block design (DBC), with cross-classification, with 4 lots of 16 repetitions of 50 seeds each. The different lots were sown on germination paper and these were soaked with deionized water added with different concentrations of zinc sulfate ( $\text{ZnSO}_4$ ) so that the final concentrations of zinc were 0, 100, 200 and 400  $\text{mg L}^{-1}$ , generating four different treatments. The paper rolls were kept in a germinator under lighting and a constant temperature of 25°C, and the evaluations of percentage of germination, growth of shoots, roots and speed of germination were carried out in 4 repetitions of each treatment, taken randomly in the room, fifth, sixth and seventh day after sowing. The different doses of zinc affected the germination potential of black oats in relation to the different doses tested, which did not occur for the variable days of evaluation. It was possible to observe a significant difference in the evaluations of shoot growth, in the highest doses of zinc (200 and 400  $\text{mg L}^{-1}$ ), causing a delay in shoot growth, especially on the fifth, sixth and seventh day. Regarding root growth, there was a paralysis in root growth on both evaluation days for both doses, with the exception of 0  $\text{mg L}^{-1}$ . And in relation to the speed of germination, the doses tested did not show any effects. The control (0  $\text{mg L}^{-1}$ ) was the treatment that presented the best performance during the evaluations, proving that zinc, in high concentrations, impairs the development of black oats.

Keywords: *Avena strigosa* Schreb.; heavy-metals; phytotoxicity.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Histórico da produção Brasileira de carne suína (Milhões ton).....	17
Figura 2 – Sementes de aveia preta em papel para germinação de sementes (J. Prolab®), embebido com concentração de zinco.....	21
Figura 3 – Sulfato de zinco ( $ZnSO_4$ ) utilizado para obtenção das concentrações finais de zinco .....	21
Figura 4 – Concentrações finais de zinco utilizadas no experimento .....	22
Figura 5 – Câmara germinadora utilizada para armazenamento dos rolos, em temperatura e fotoperíodo constante.....	22
Figura 6 – Esquema da avaliação do ensaio de germinação.....	23
Figura 7 – Rolo do tratamento com concentração de $0\text{ mg L}^{-1}$ no quarto dia de avaliação, com 42 plântulas normais.....	24
Figura 8 – Plantas de aveia preta no quarto dia de avaliação, para mensuração da parte aérea e da raiz ( $\text{cm plântula}^{-1}$ ). $0\text{ mg L}^{-1}$ (A), $100\text{ mg L}^{-1}$ (B), $200\text{ mg L}^{-1}$ (C) e $400\text{ mg L}^{-1}$ (D) .....	25
Figura 9 – Rolos de geminação no sétimo dia após a semeadura nas doses de $0\text{ mg L}^{-1}$ (A), $100\text{ mg L}^{-1}$ (B), $200\text{ mg L}^{-1}$ (C) e $400\text{ mg L}^{-1}$ (D) .....	31
Figura 10 – Plântulas submetidas a dose de $400\text{ mg L}^{-1}$ durante os 4 dias de avaliação .....	34

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Avaliação da germinação da aveia preta em porcentagem (%) de plântulas normais, em função das doses de zinco.....	27
Tabela 2 – Equações polinomiais, referentes ao efeito das doses de zinco sobre a porcentagem (%) de germinação da aveia preta.....	28
Tabela 3 – Comprimento das raízes (cm plântula <sup>-1</sup> ) mensurados durante os ensaios de germinação para aveia preta, em função das doses de zinco.....	29
Tabela 4 – Equações polinomiais, referentes ao efeito das doses de zinco sobre ao comprimento da raiz da aveia preta .....	30
Tabela 5 – Comprimento da parte aérea das plântulas de aveia preta (cm plântula <sup>-1</sup> ) mensurados durante os ensaios de germinação, em função das doses de zinco.....	32
Tabela 6 – Equações polinomiais, referentes ao efeito das doses de zinco sobre ao comprimento da parte aérea da aveia preta .....	32
Tabela 7 – Velocidade de germinação das plântulas de aveia preta (média de dias) .....	34

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>13</b>
2.1	OBJETIVO GERAL.....	13
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
<b>3</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>14</b>
3.1	AVEIA PRETA.....	14
3.2	ZINCO.....	15
<b>3.2.1</b>	<b>Zinco como metal pesado .....</b>	<b>16</b>
3.3	SUINOCULTURA.....	17
<b>3.3.1</b>	<b>Dejetos suínos.....</b>	<b>18</b>
<b>4</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>20</b>
4.1	OBTENÇÃO DAS SEMENTES .....	20
4.2	ENSAIO DE GERMINAÇÃO.....	20
4.3	AVALIAÇÕES DE GERMINAÇÃO E CRESCIMENTO .....	23
<b>4.3.1</b>	<b>Potencial de germinação das sementes .....</b>	<b>23</b>
<b>4.3.2</b>	<b>Avaliação do crescimento das plântulas .....</b>	<b>24</b>
4.4	VELOCIDADE DE GERMINAÇÃO .....	25
4.5	ANÁLISE ESTÁTISTICA .....	26
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>27</b>
5.1	POTENCIAL DE GERMINAÇÃO .....	27
5.2	CRESCIMENTO DAS RAÍZES.....	29
5.3	CRESCIMENTO DA PARTE AÉREA.....	31
5.4	VELOCIDADE DE GERMINAÇÃO .....	34
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>36</b>
<b>7</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>37</b>
	<b>Apêndice A .....</b>	<b>42</b>
	<b>Apêndice B .....</b>	<b>43</b>
	<b>Apêndice C .....</b>	<b>44</b>
	<b>Apêndice D .....</b>	<b>45</b>
	<b>Apêndice E.....</b>	<b>46</b>
	<b>Apêndice F .....</b>	<b>47</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A aveia preta (*Avena strigosa* Schreb.) é uma gramínea de inverno que apresenta grande potencial na produção de forragem, durante o inverno, para a alimentação animal. Pode ser utilizada como pastagem, ensilagem ou até mesmo como feno (FONTANELLI e PIOVEZAN, 1991), pois apresenta alta produção de massa seca. A cultura também é considerada uma boa opção de cobertura de solo, quando se leva em consideração que significativas quantidades de nutrientes se acumulam em sua parte aérea e sistema radicular. Esses nutrientes podem contribuir para as culturas sucessoras em sistemas de plantio direto, atuando no manejo conservacionista do solo, auxiliando na nutrição de plantas e também no aumento da produtividade (WOLSCHICK *et al.*, 2016).

Segundo Marschner (1995), o zinco é um elemento geralmente encontrado na crosta terrestre, sendo um micronutriente essencial às plantas, uma vez que participa de inúmeras reações enzimáticas e é precursor das auxinas, que são responsáveis pelo crescimento vegetal. No entanto, em concentrações elevadas, acaba alcançando níveis tóxicos no ambiente, podendo afetar o crescimento e o metabolismo normal de espécies vegetais.

Segundo dados da ABPA (2021) o Brasil é o quarto maior produtor e exportador da carne suína mundial, sendo o estado de Santa Catarina o maior produtor de suínos do Brasil, com cerca de 30,73% da produção nacional. Segundo dados do IBGE (2020), o Brasil conta com um rebanho de cerca de 41,124 milhões de cabeças, sendo que o estado de Santa Catarina possui cerca de 7,590 milhões. Levando em consideração a tamanha importância da atividade para o desenvolvimento econômico do estado e do país, os impactos ambientais decorrentes da mesma têm gerado preocupação para os órgãos públicos e privados.

Na produção de suínos, devido à alta concentração de animais, os dejetos podem exceder a capacidade de absorção dos ecossistemas locais, sendo causa potencial da contaminação dos solos por metais, como o zinco (PEREIRA; DEMARCHI e BUDIÑO, 2009). Segundo Basso *et al.* (2012) e Mattias (2006), o zinco é o elemento com maior probabilidade de acúmulo em solos que recebem sucessivas aplicações de dejetos líquidos suínos.

Levando em conta que o descarte incorreto dos dejetos suínos influencia diretamente na disponibilidade de zinco no solo, podendo acarretar contaminações que prejudicam a cultura, o presente trabalho teve como objetivo estudar as respostas no desenvolvimento inicial e no processo de germinação de aveia preta, em relação a diferentes concentrações de zinco.

Apesar de um número considerável de investigações dos efeitos citotóxicos e mecanismos de estresse causados pelos metais pesados nos sistemas biológicos, os dados referentes aos efeitos deste metal na germinação de plantas cultivadas ainda são escassos e pouco esclarecedores. Ainda há necessidade de elucidar vários aspectos metabólicos, justificando a utilização destas plantas e dos metais para o aprofundamento dos conhecimentos existentes a respeito até o momento.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Determinar a influência das diferentes doses de zinco na germinação de sementes e no desenvolvimento inicial das plântulas de aveia preta (*Avena strigosa* Schreb.).

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Avaliar os efeitos das diferentes concentrações de zinco, na cultura da *Avena strigosa* Schreb., sobre:

- O potencial de germinação das sementes de aveia preta.
- O crescimento da parte aérea das plântulas de aveia preta.
- O crescimento das raízes das plântulas de aveia preta.
- A velocidade de germinação das plântulas de aveia preta.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 AVEIA PRETA

A aveia preta (*Avena strigosa* Schreb.) pertence à família Poaceae, apresenta crescimento de forma ereta e ciclo anual, variando de 120 a 200 dias de acordo com a cultivar e época de cultivo. Sua produção é considerada uma importante atividade econômica para a agricultura, principalmente na região Sul do Brasil, levando em consideração o seu potencial nutritivo, produtivo e sua rusticidade. É considerada uma gramínea resistente e de boa adaptação em diferentes condições edafoclimáticas. É muito utilizada consorciada para cobertura do solo e em sistemas de plantio direto, levando em conta que apresenta boas quantidades de nutrientes acumuladas em sua parte aérea e no sistema radicular, que contribuem na nutrição e ganho produtivo de culturas sucessoras, e como forragem, onde é considerada uma das principais fontes de proteína para o gado no período de entressafra (ALMEIDA *et al.*, 2012; WOLSCHICK *et al.*, 2016).

As espécies de aveia cultivadas no Brasil são a aveia branca (*Avena sativa* L.) e a aveia preta (*A. strigosa* Schreb.). São consideradas plantas anuais que se desenvolvem nos meses mais frios do ano. A aveia preta distingue-se da branca por apresentarem colmos mais finos e folhas mais estreitas. Os grãos da aveia preta são menores que os da branca, e apresentam cores que podem variar entre branco e preto (MACHADO, 2000).

Segundo Machado (2000) o cultivo da aveia preta reduz a infestação de invasoras, principalmente as de folhas estreitas, diminuindo o custo do controle das mesmas, além de promover melhoria dos atributos químicos e físicos do solo, influenciando o rendimento de culturas sucessoras.

Quando incorporada ao solo, a aveia preta tem alto potencial de melhorar as características físicas e químicas deste. Pode ser utilizada como cobertura nos sistemas de plantio direto, auxiliando na manutenção do solo durante estações de seca, evitando a ocorrência de erosão e infestação de plantas daninhas. É uma prática que tem capacidade de reduzir gastos com adubos, herbicidas e colabora na preservação dos recursos naturais (MACHADO, 2000).

Durante o cultivo da aveia são usadas sementes de alto vigor, para assegurar a população adequada de plantas sob uma ampla variação de condições ambientais de campo encontradas durante a emergência. Este fato pode contribuir no aumento produtivo, quando se consegue utilizar a densidade de plantas adequada, não havendo gastos excessivos (COMIRAN, 2017).

É considerada uma das principais plantas de cobertura na Região Sul do Brasil e no Estado de São Paulo, e também é uma espécie cultivada em grande extensão no Estado do Paraná como adubo verde de inverno. No estado do Paraná, onde é utilizada principalmente na região oeste (onde o plantio direto representa aproximadamente de 70% a 80% dos sistemas de cultivo), é estimado que a utilização da aveia preta esteja em torno de 30% em relação às demais espécies usadas nas rotações e sucessões de cultura (CRUSCIOL *et al.*, 2008).

### 3.2 ZINCO

O Zinco (Zn) é um nutriente considerado essencial para todos os organismos vivos, sendo necessário para a ativação de muitas enzimas das células vegetais, como as álcool desidrogenases, anidrase carbônicas e RNA polimerases (MCCALL *et al.*, 2000; GONZÁLEZ *et al.*, 2018).

O zinco pode ser encontrado naturalmente no solo, a partir de processos pedogenéticos, podendo também ser encontrado em níveis naturais na água, em amplas faixas de concentrações. Parte do zinco presente nos solos, rochas e sedimentos são constantemente removidas e transportadas naturalmente para o ambiente, através da erosão. Outros fatores, como fenômenos naturais (por exemplo as, erupções vulcânicas), contribuem para a ciclagem contínua do zinco (LIU *et al.*, 2015; WUANA *et al.*, 2011)

No entanto além das emissões naturais, as atividades antropogênicas são responsáveis por fornecer doses que atuam na contaminação do meio ambiente. O zinco é um dos principais poluentes que são lançados na troposfera como resultado de atividades industriais, atividades mineradoras, resíduos de esgoto, e utilização constante de fertilizantes a base de zinco (BALAFREJ *et al.*, 2020).

As concentrações de zinco nos solos estão diretamente associadas às diferentes fontes. Entretanto, a toxicidade do mesmo é dependente de fatores que

limitam ou promovem sua disponibilidade. O zinco nos solos pode estar presente em diferentes formas, principalmente como íon livre ( $Zn^{2+}$  e  $ZnOH^+$ ) ou através da presença do mesmo na incorporação de matéria orgânica. O zinco também ocorre na fração coloidal no solo, e as formas mais predominantes são o sulfato de zinco ( $ZnSO_4$ ) e o pirofosfato de zinco ( $ZnHPO_4$ ) (CHAHAL *et al.*, 2005).

### 3.2.1 Zinco como metal pesado

A bioacumulação de metais pesados em solos, como o cobre, zinco, níquel, cádmio, chumbo, cromo e mercúrio, pode ser resultado da atividade antropogênica, ou até mesmo devido à presença natural (ZHI *et al.*, 2015). Alguns metais pesados tem papel de micronutrientes essenciais para as plantas, mas em níveis excessivos, podem resultar em distúrbios metabólicos e inibição do crescimento na maioria das espécies vegetais (CLAIRE *et al.*, 1991). O zinco é o segundo metal de transição mais abundante nos organismos vivos depois do ferro (Fe). Tem papel fundamental no desenvolvimento, reprodução e sinalização das plantas devido às suas propriedades estruturais, catalíticas e ativadoras (ZHANG *et al.*, 2014). Porém quando ocorre a bioacumulação desses metais nos solos, as altas concentrações são um fator que pode influenciar diretamente, ambientalmente e no desenvolvimento vegetal, afetando o crescimento e o desenvolvimento (DUCATTI *et al.*, 2018; MARIANO-DA-SILVA *et al.*, 2022; MUNZUROGLU *et al.*, 2001).

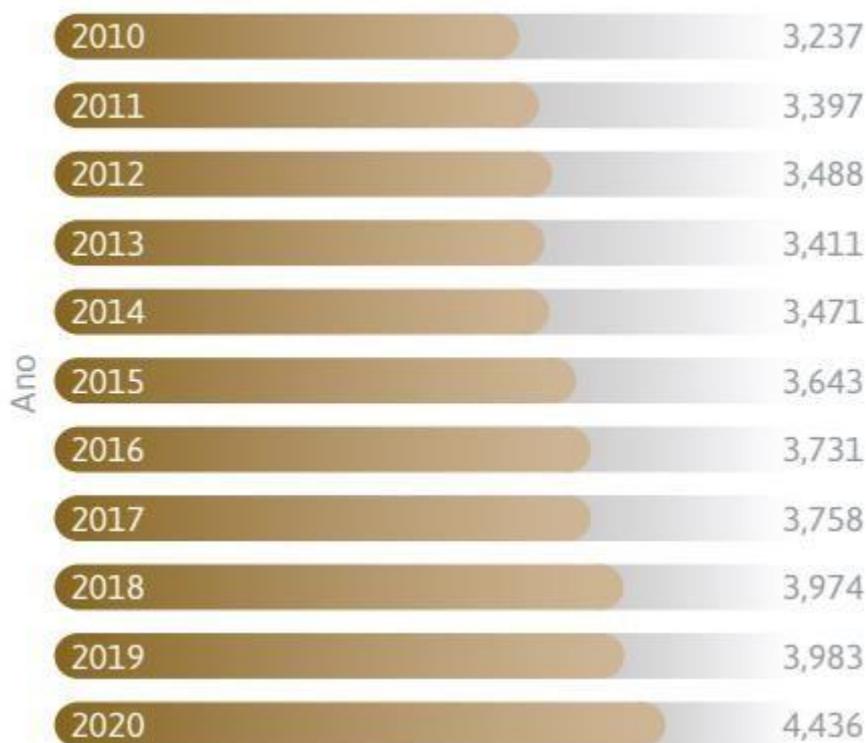
A toxicidade do zinco nos vegetais é muito menos comum que a deficiência do mesmo. Essa ocorre em solos contaminados por diversas atividades, especialmente em solos agrícolas tratados com dejetos, como os de suínos. Os sintomas da toxicidade de zinco em vegetais, geralmente se tornam visíveis, quando há uma concentração maior que  $300 \text{ mg kg}^{-1}$  folha (peso seco). No entanto existem também algumas espécies vegetais que apresentam sintomas de toxicidade em concentrações menores de  $100 \text{ mg kg}^{-1}$  folha (peso seco). Os sintomas da toxicidade do zinco nos vegetais, estão associados à redução na germinação e crescimento atrofiado, clorose induzida por deficiência de ferro através de reduções na síntese de clorofila e degradação do cloroplasto, e interferência na absorção de fósforo (P) (BROADLEY *et al.*, 2007; DUCATTI *et al.*, 2018).

### 3.3 SUINOCULTURA

A suinocultura é uma atividade que possui grande importância no que diz respeito ao desenvolvimento social e econômico de regiões que desenvolvem a atividade. No Brasil, a suinocultura, é um ramo da pecuária que ocupa um grande espaço socioeconômico. O estado de Santa Catarina, por exemplo teve um grande impulso pela atividade suinícola, para a expansão e modernização da indústria, a partir da década de 40 (COMASSETTO, 2010).

Segundo dados do IBGE (2020), o Brasil teve um aumento de 27,06% no rebanho efetivo de suínos do ano de 2002 para 2019. Este número expressa a grande importância da atividade no país, que segundo dados do Relatório Anual da Associação Brasileira de Proteína Animal (2021), é o quarto maior produtor e exportador da carne no mundo, ficando atrás somente da China, União Europeia e Estados Unidos.

Figura 1 – Histórico da produção Brasileira de carne suína (Milhões ton).



Fonte: Associação Brasileira de Proteína Animal (2021).

A produção de carne suína no Brasil, de 2010 para 2020, teve um crescimento de 37,04% (Figura 1). Isso mostra o quanto a atividade se desenvolveu no país, aumentando a produção, e conseqüentemente o número de animais no território nacional.

### 3.3.1 Dejetos suínos

A produção de suínos é uma atividade que gera grande número de empregos diretos e indiretos, contando com uma cadeia produtiva extensa, gerando grande impacto social e tendo um elevado número produtivo e de exportação (FERREIRA *et al.* 2014).

No estado de Santa Catarina, geralmente a atividade é desenvolvida em pequenas propriedades, ou seja, propriedades de agricultura familiar, onde os dejetos produzidos são utilizados para adubação direta no solo, como fertilizantes em áreas de cultivo de culturas anuais, grãos e pastagens. Essa é uma prática bem comum, levando em consideração que os nutrientes presentes nos resíduos são reutilizados na própria unidade de produção e ser uma prática considerada barata e de fácil implantação (GIROTTO *et al.*, 2010).

No entanto, não é levada em conta a destinação correta dos dejetos produzidos, sendo esses geralmente aplicados diretamente no solo, em quantidades que excedem a capacidade de suporte (PEREIRA; DEMARCHI e BUDIÑO, 2009). Esses resíduos também são lançados continuamente nas mesmas áreas, com grande frequência e quantidades excessivas em relação a capacidade de absorção dos vegetais (BASSO, 2003; BERWANGER, 2006).

Devido toda essa prática de manejo, que pode ser considerada uma alternativa para o produtor, mas levando em consideração o ambiente, pode ocorrer conseqüências, como a bioacumulação de metais, como o zinco, devido à alta concentração, e a grande frequência da aplicação direta dos resíduos no solo (GRÄBER *et al.*, 2005). Com isso, é possível que no decorrer dos anos, ocorra o acúmulo excessivo deste elemento no solo, o que é indesejável, pois pode gerar uma grande problemática para o desenvolvimento dos vegetais (GIROTTO *et al.*, 2010).

Existem trabalhos relacionados ao acúmulo de elementos em solos submetidos a alta frequência de aplicações de dejetos suínos, que apontam o zinco como o elemento com maior probabilidade de acúmulo (BASSO, 2012; MATTIAS, 2006).

Segundo Santos (2014), os dejetos líquidos suínos (DLS), são compostos pela mistura de urina, fezes, restos de alimentos, águas de bebedouros e da lavagem de baias. No entanto, os teores de zinco nos dejetos suínos podem variar de acordo com a fase de criação dos animais.

As concentrações de zinco no estudo de Santos (2014), que foram determinadas através de amostras de DLS de diferentes fases de criação, alimentados com rações de diferentes empresas integradoras, demonstraram que os DLS da fase de terminação variaram de 6 a 17 mg L<sup>-1</sup>, já os DLS da fase creche variaram de 29 a 92 mg L<sup>-1</sup>.

Mattias (2006) em seu estudo avaliou a aplicação de dejetos suínos em duas microbacias hidrográficas, onde encontrou nos dejetos da microbacia Rio Coruja, localizada em Braço do Norte – SC, concentrações de 104,9 mg L<sup>-1</sup> para as unidades produtoras de leitão, 14,3 mg L<sup>-1</sup> para as unidades de terminação e 39,0 mg L<sup>-1</sup> para as unidades de ciclo completo. Já para a microbacia de Lajeado Frágoso, localizada em Concórdia – SC, encontrou concentrações de 104,6 mg L<sup>-1</sup> para as unidades produtoras de leitão, 16,0 mg L<sup>-1</sup> para as unidades de terminação e 9,9 mg L<sup>-1</sup> para as unidades de ciclo completo. O autor ainda associa o fato de que as unidades produtoras de leitões apresentam as maiores concentrações de zinco nos dejetos ao teor de zinco presente nas dietas, pois são mais elevados do que os demais.

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

A seguir serão apresentados os materiais e métodos, que foram utilizados para a realização do presente trabalho.

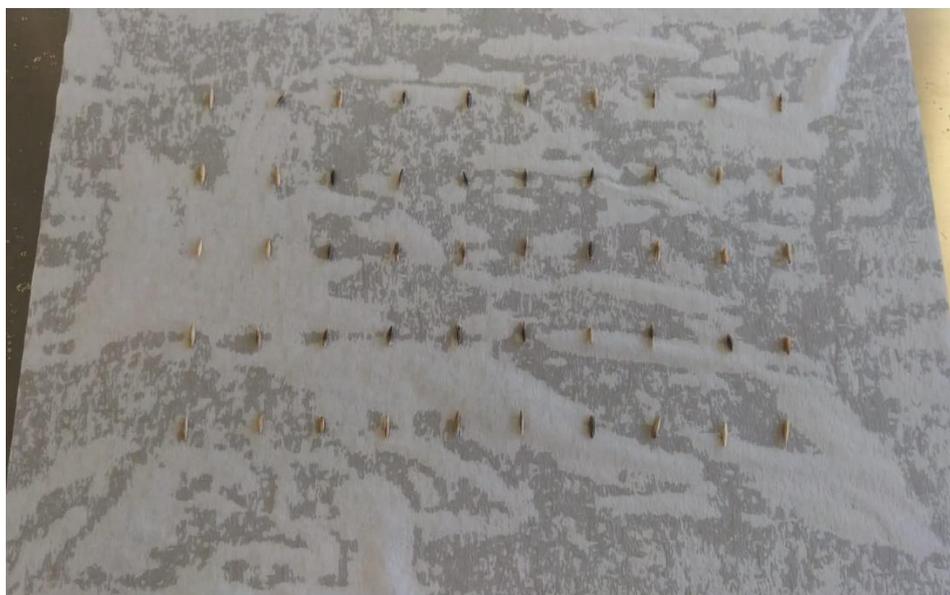
### 4.1 OBTENÇÃO DAS SEMENTES

As sementes de aveia preta (*Avena strigosa* Schreb.) que foram utilizadas na elaboração do trabalho pertencem a cultivar EMBRAPA 139, produzida pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) e foram obtidas no município de Passos Maia, Santa Catarina. O lote das sementes utilizado é resultante da safra do ano de 2021, com uma taxa de pureza mínima de 96% e com germinação mínima de 80%.

### 4.2 ENSAIO DE GERMINAÇÃO

O experimento foi conduzido do dia 07 de abril de 2022 ao dia 14 de abril de 2022, no laboratório de Sementes e Grãos situado na Universidade Federal da Fronteira Sul, *Campus* Chapecó. Os ensaios foram realizados sob esquema de parcelas subdivididas no tempo em delineamento experimental em blocos casualizados, com classificação cruzada e 4 repetições (ARES e GRANATO, 2014; PIMENTEL-GOMES, 2000). As sementes foram divididas em 4 lotes de 16 repetições de 50 sementes, e cada repetição foi semeada em substrato de papel para germinação de sementes (J. Prolab®) (Figura 2), previamente umedecido com um volume de água correspondente a 2,5 vezes o peso do papel.

Figura 2 – Sementes de aveia preta em papel para germinação de sementes (J. Prolab®), embebido com concentração de zinco



Fonte: Fotografia registrada pelo autor (2022).

A água que foi utilizada para a embebição dos 4 lotes, era água deionizada e foi acrescida com diferentes concentrações de sulfato de zinco ( $\text{ZnSO}_4$ ) (Figura 3), de maneira que as concentrações finais de zinco fossem 0, 100, 200 e 400  $\text{mg L}^{-1}$  (Figura 4), gerando quatro diferentes tratamentos. Os rolos de papel foram mantidos em germinadoras (ELETROlab®, modelo 202/4), em temperatura constante de  $\pm 25^\circ\text{C}$ , com fotoperíodo de 24 horas (Figura 5).

Figura 3 – Sulfato de zinco ( $\text{ZnSO}_4$ ) utilizado para obtenção das concentrações finais de zinco



Fonte: Fotografia registrada pelo autor (2022).

Figura 4 – Concentrações finais de zinco utilizadas no experimento



Fonte: Fotografia registrada pelo autor (2022).

Figura 5 – Câmara germinadora utilizada para armazenamento dos rolos, em temperatura e fotoperíodo constante

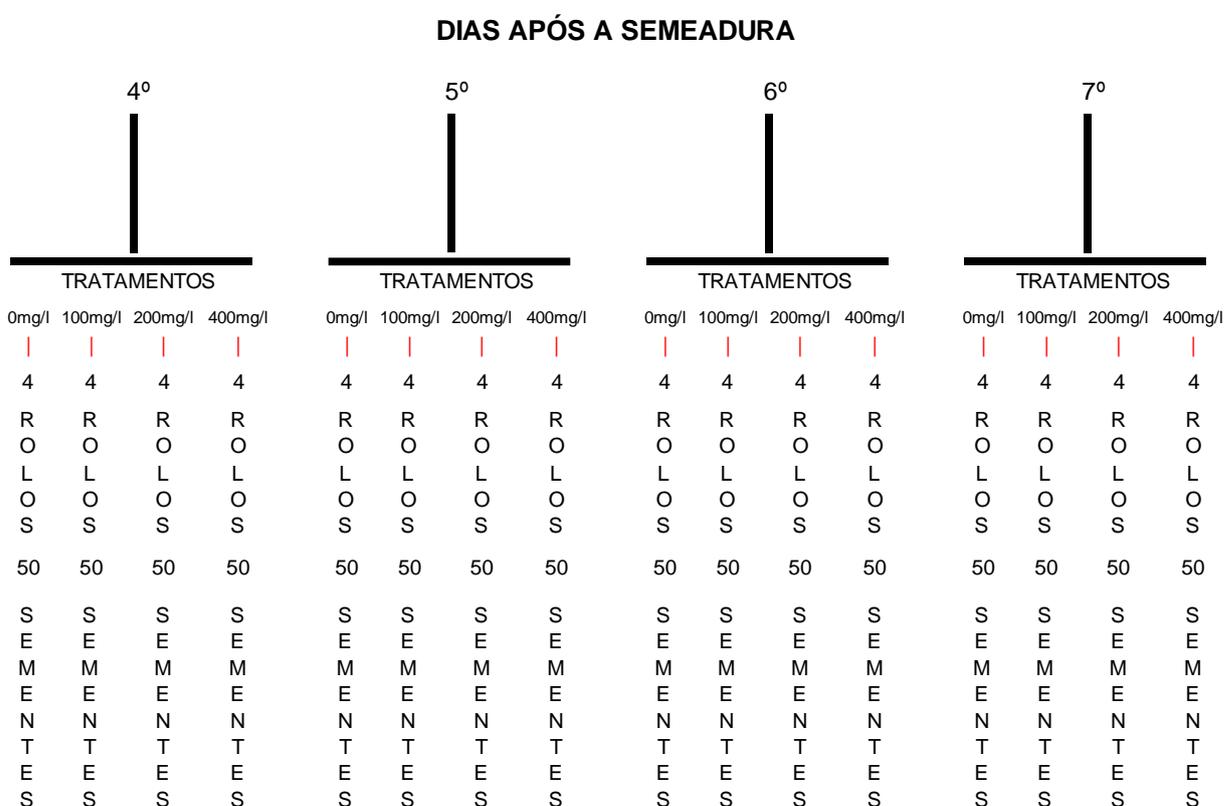


Fonte: Fotografia registrada pelo autor (2022).

### 4.3 AVALIAÇÕES DE GERMINAÇÃO E CRESCIMENTO

As avaliações de germinação das sementes e crescimento das plântulas foram realizadas no quarto, quinto, sexto e sétimo dia após a semeadura (BRASIL, 2009), sendo desconsideradas as plântulas anormais e sementes duras e mortas em cada rolo. Foram retirados de modo aleatório da germinadora 4 repetições de cada tratamento em cada dia de avaliação, conforme o esquema ilustrado na Figura 6.

Figura 6 – Esquema da avaliação do ensaio de germinação



.Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

#### 4.3.1 Potencial de germinação das sementes

A avaliação do potencial germinativo das sementes, foi realizado através da contagem das sementes germinadas (Figura 7) e a conversão dos dados para percentual de plântulas normais germinadas de cada rolo (BRASIL, 2009). Através da seguinte fórmula:

$$\text{Germinação (\%)} = \frac{P_n}{N} \times 100$$

Onde:  $P_n$  = plântulas normais.

$N$  = número total de sementes colocadas em cada rolo.

Figura 7 – Rolo do tratamento com concentração de 0 mg L<sup>-1</sup> no quarto dia de avaliação, com 42 plântulas normais



Fonte: Fotografia registrada pelo autor (2022).

#### 4.3.2 Avaliação do crescimento das plântulas

A avaliação do crescimento das plântulas, foi realizada com o auxílio de uma régua milimétrica, onde foi mensurado o comprimento da raiz e o comprimento da parte aérea (Figura 8) e os resultados foram expressos em cm plântula<sup>-1</sup> (BRASIL, 2009).

Figura 8 – Plantas de aveia preta no quarto dia de avaliação, para mensuração da parte aérea e da raiz (cm plântula<sup>-1</sup>). 0 mg L<sup>-1</sup> (A), 100 mg L<sup>-1</sup> (B), 200 mg L<sup>-1</sup> (C) e 400 mg L<sup>-1</sup> (D)



Fonte: Fotografia registrada pelo autor (2022).

#### 4.4 VELOCIDADE DE GERMINAÇÃO

A velocidade de germinação, tem como objetivo avaliar o número médio de dias necessários para a ocorrência da germinação (MAGUIRE, 1962). E foi determinado através da seguinte fórmula:

$$VG = \frac{[(N1 \cdot G1) + (N2 \cdot G2) + \dots + (Nn \cdot Gn)]}{(G1 + G2 + \dots + Gn)}$$

Onde: VG = Velocidade de germinação.

G1, G2, Gn = número de plântulas normais germinadas em cada contagem.

N1, N2, Nn = número de dias após a semeadura, em relação a contagem.

#### 4.5 ANÁLISE ESTÁTISTICA

A análise de variância (teste de F a 1 %) foi utilizada para analisar as variáveis. A comparação das médias de cada repetição foram feitas pelo teste de comparações múltiplas de Tukey ou regressão, ambos a 1% de confiança (ARES e GRANATO, 2014; PIMENTEL-GOMES, 2000).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 POTENCIAL DE GERMINAÇÃO

De acordo com o teste de variância (teste de F) (Apêndice A), existe interação significativa entre os fatores dias e doses de zinco em relação à variável taxa de germinação da aveia (Tabela 1), indicando a existência de dependência entre os fatores.

Através do desdobramento do efeito da interação, pela realização de nova análise de variância (teste de F), em que os níveis do fator doses de zinco foram comparados dentro dos níveis do fator dias (e vice-versa), foi possível observar que não existem efeitos significativos entre os dias dentro de cada dose de zinco, sendo que a as médias obtidas para os níveis deste fator é representada na Tabela 1. No entanto, observou-se efeito significativo para o fator doses de zinco dentro de cada dia, isto é, nos quarto, quinto, sexto e sétimo dia, sendo que este efeito pode ser observado através das estimativas das equações lineares polinomiais de ordem 2 apresentadas na Tabela 2.

Tabela 1 – Avaliação da germinação da aveia preta em porcentagem (%) de plântulas normais, em função das doses de zinco

Época de Avaliação (DAS <sup>1</sup> )	Dose de Zinco (mg L <sup>-1</sup> )			
	0	100	200	400
QUARTO	84,6 <sup>ns</sup>	77,0 <sup>ns</sup>	75,0 <sup>ns</sup>	73,8 <sup>ns</sup>
QUINTO	84,8 <sup>ns</sup>	78,8 <sup>ns</sup>	76,7 <sup>ns</sup>	76,4 <sup>ns</sup>
SEXTO	85,2 <sup>ns</sup>	80,1 <sup>ns</sup>	78,0 <sup>ns</sup>	77,4 <sup>ns</sup>
SÉTIMO	85,5 <sup>ns</sup>	81,1 <sup>ns</sup>	79,6 <sup>ns</sup>	78,7 <sup>ns</sup>
CV (A) = 0,5%		CV <sup>2</sup> (B) = 2,8%		

(<sup>1</sup>) Dias após a semeadura. (<sup>2</sup>) Coeficiente de Variação. (<sup>ns</sup>) Não significativo na mesma coluna.

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Tabela 2 – Equações polinomiais, referentes ao efeito das doses de zinco sobre a porcentagem (%) de germinação da aveia preta

Época de Avaliação (DAS <sup>1</sup> )	Equação polinomial de ordem 2	R <sup>2</sup>
QUARTO	$y = 0,0001x^2 - 0,0744x + 84,215$	0,9747
QUINTO	$y = 0,0001x^2 - 0,0631x + 84,632$	0,9880
SEXTO	$y = 9E-05 x^2 - 0,0542x + 85,048$	0,9920
SÉTIMO	$y = 7E-05 x^2 - 0,0447x + 85,335$	0,9867

(<sup>1</sup>) Dias após a semeadura.

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Não foi possível observar diferença estatística no percentual de germinação da aveia preta em relação a variável dias de avaliação, como apresentado na Tabela 1. Já em relação a variável doses, houve diferença estatística, como pode ser observado no Apêndice D, onde pode ser observada o gráfico das equações polinomiais de segundo grau referente às doses de zinco sobre a taxa de germinação.

Em um estudo utilizando sementes de arroz irrigado frente a doses de zinco, Ohse *et al.* (2000) demonstraram não ocorrerem decréscimos e nem acréscimos no percentual de germinação e no vigor das sementes.

Por outro lado, Mariano-da-Silva *et al.* (2022), demonstraram que em sementes de milho submetidas a diferentes doses de cobre, a germinação é afetada, principalmente no sexto e sétimo dia após a semeadura, independente da concentração utilizada. Ducatti *et al.* (2018), em um ensaio utilizando sementes de milho, constataram que o zinco, na concentração de 400 mg L<sup>-1</sup> afetou a germinação das sementes. Yagi *et al.* (2006), utilizando sementes de sorgo tratadas com diferentes doses de zinco, constataram redução no percentual de germinação conforme o aumento das doses.

Quando observamos o comportamento da variável dia, é possível observar que não houve queda no percentual de germinação. Porém, quando observamos o comportamento polinomial da variável doses, podemos notar uma diminuição no percentual de germinação, evidenciado o efeito tóxico do metal. Apesar de ser considerado um micronutriente, atuando como elemento ativador de diferentes enzimas, intensificando a respiração e por consequência gerando ATP para os processos de germinação (PLETSCH, SILVA e BEUTLER, 2014), o zinco, quando em excesso causa distúrbios fisiológicos e bioquímicos nas plantas (TIECHER, 2014;

AMBROSINI *et al.*, 2015; FERREIRA *et al.*, 2018), podendo lesar irreversivelmente proteínas, lipídeos, causando estresse oxidativo e produzindo espécies reativas de oxigênio (SIES *et al.*, 2017; TIECHER, 2014).

## 5.2 CRESCIMENTO DAS RAÍZES

De acordo com o teste de variância, (teste de F) (Apêndice B), existe interação significativa entre os fatores dias e doses de zinco em relação à variável comprimento das raízes (Tabela 3), indicando a existência de dependência entre os fatores.

Através do desdobramento do efeito da interação, pela realização de nova análise de variância (teste de F), em que os níveis do fator doses de zinco foram comparados dentro dos níveis do fator dias (e vice-versa), foi possível observar efeito significativo para o fator dias dentro de cada dose de zinco na dose 0 mg L<sup>-1</sup>, sendo que a comparação de médias entre os níveis deste fator é representada na Tabela 3. Também foi possível observar efeito significativo para o fator doses de zinco dentro de cada dia, isto é, no quarto, quinto, sexto e sétimo dia, sendo que este efeito pode ser observado através das estimativas das equações polinomiais de ordem 2 apresentadas na Tabela 4.

Tabela 3 – Comprimento das raízes (cm plântula<sup>-1</sup>) mensurados durante os ensaios de germinação para aveia preta, em função das doses de zinco

Época de Avaliação (DAS <sup>1</sup> )	Dose de Zinco (mg L <sup>-1</sup> )			
	0	100	200	400
QUARTO	1,68b	0,87 <sup>ns</sup>	0,53 <sup>ns</sup>	0,51 <sup>ns</sup>
QUINTO	2,78ab	1,04 <sup>ns</sup>	0,56 <sup>ns</sup>	0,55 <sup>ns</sup>
SEXTO	3,39ab	1,07 <sup>ns</sup>	0,69 <sup>ns</sup>	0,66 <sup>ns</sup>
SÉTIMO	4,56a	1,24 <sup>ns</sup>	0,74 <sup>ns</sup>	0,76 <sup>ns</sup>
CV (A) = 8,7%    CV <sup>2</sup> (B) = 11,5%				

(<sup>1</sup>) Dias após a semeadura. (<sup>2</sup>) Coeficiente de Variação. (<sup>ns</sup>) Não significativo na mesma coluna. Médias seguidas de uma mesma letra não divergem entre si, em uma mesma coluna. P<0,01.

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Tabela 4 – Equações polinomiais, referentes ao efeito das doses de zinco sobre ao comprimento da raiz da aveia preta

Época de Avaliação (DAS <sup>1</sup> )	Equação polinomial de ordem 2	R <sup>2</sup>
QUARTO	$y = 1E-05 x^2 - 0,0088x + 1,6569$	0,9942
QUINTO	$y = 3E-05 x^2 - 0,0176x + 2,6978$	0,9781
SEXTO	$y = 4E-05 x^2 - 0,0220x + 3,2501$	0,9532
SÉTIMO	$y = 6E-05 x^2 - 0,0314x + 4,3539$	0,9511

(<sup>1</sup>) Dias após a semeadura.

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Foi possível observar que o crescimento radicular, em relação aos dias de avaliação apresentou diferença estatística somente para a dose de 0 mg L<sup>-1</sup> (testemunha), como pode ser observado na Tabela 3. Já em relação as diferentes doses testadas, observou-se que com o aumento das doses, causou uma redução e paralisação significativa do crescimento radicular, como pode ser observado na Figura 9 e no Apêndice E, as equações polinomiais de segundo grau referente às doses de zinco sobre o tamanho da raiz.

Em plantas cultivadas em solos com altas concentrações de metais pesados, o principal sintoma encontrado é a diminuição do seu comprimento da raiz (KOPITKE *et al.*, 2009; LEQUEUX *et al.*, 2010), devido à redução do índice mitótico nas regiões meristemáticas (JIANG; LIU e LIU, 2001).

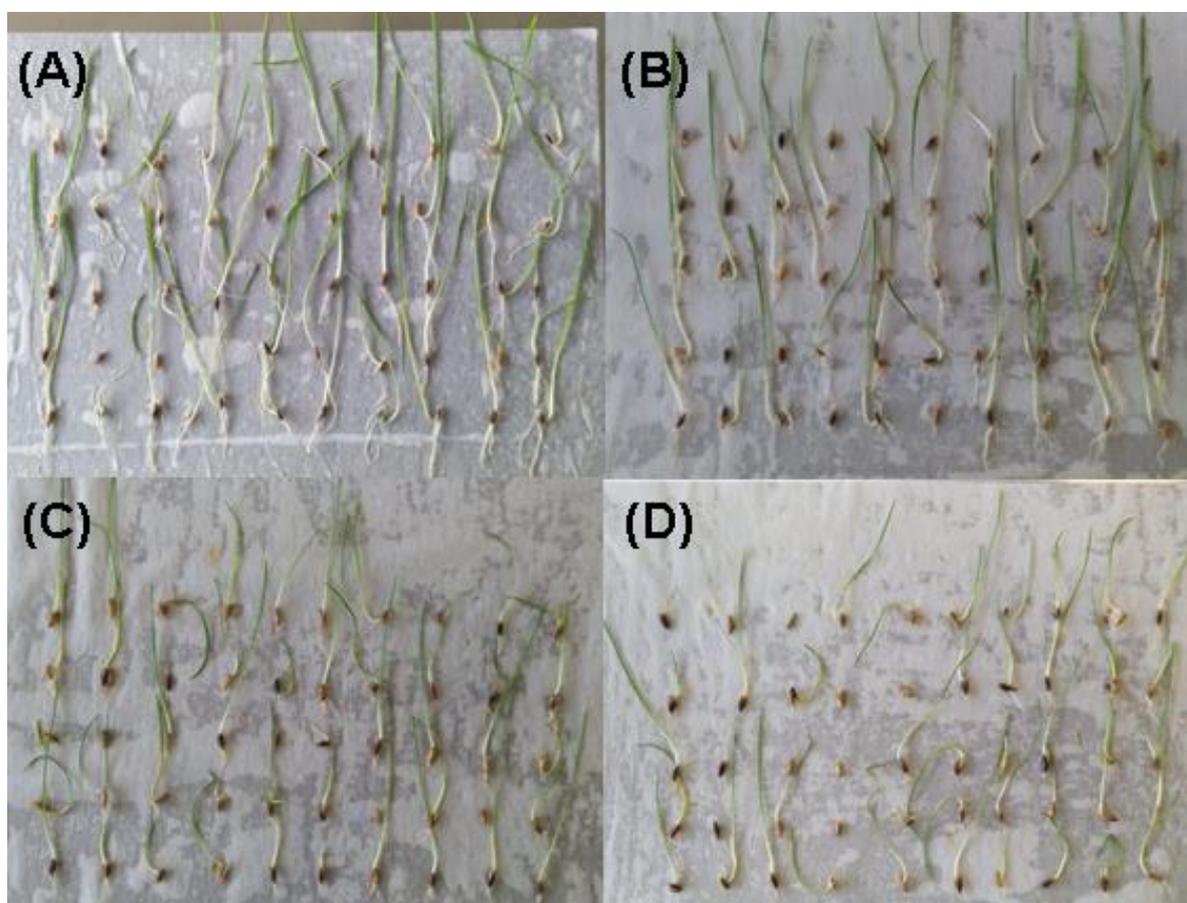
Levando em conta que o zinco absorvido pela raiz é lentamente translocado para a parte aérea da planta, em altas concentrações acaba ocorrendo um grande acúmulo na raiz, podendo afetar o crescimento e gerar o escurecimento e encurtamento das raízes, bem como outros efeitos adversos às plantas (BOCHICCHIO *et al.*, 2015; SOFO *et al.*, 2013).

Baran (2013) em seu estudo, demonstrou que aumentos de 0 para 750 mg kg<sup>-1</sup> de zinco podem reduzir o tamanho da raiz em até 29,2%. Tendência essa que foi observada no presente trabalho.

O acúmulo de zinco nas raízes está associado com a diminuição do percentual de matéria seca, mas esse fato não representa tolerância das plantas a níveis tóxicos de Zn em substrato (LONGNECKER e ROBSON, 1993), portanto acaba afetando o crescimento radicular quando a planta entra em contato com o elemento em níveis tóxicos como foi observado no presente estudo.

Portanto, pode ser considerado tóxico em todas as concentrações testadas (exceto o controle), uma vez que a Agência de Proteção Ambiental dos EUA (USEPA) considera tóxico o teor de metal que causa uma redução de 50% no crescimento (HUMPHREYS, 2021). Já para os padrões europeus, essa taxa cai para 25% (SAEFL, 1998). Nos resultados obtidos ficou evidente que o zinco em 100, 200 e 400 mg L<sup>-1</sup> gerou uma redução de mais de 50% em relação ao controle em ambos períodos de avaliação.

Figura 9 – Rolos de germinação no sétimo dia após a semeadura nas doses de 0 mg L<sup>-1</sup> (A), 100 mg L<sup>-1</sup> (B), 200 mg L<sup>-1</sup> (C) e 400 mg L<sup>-1</sup> (D)



Fonte: Fotografia registrada pelo autor (2022).

### 5.3 CRESCIMENTO DA PARTE AÉREA

De acordo com o teste de variância, (teste de F) (Apêndice C), existe interação significativa entre os fatores dias e doses de zinco em relação à variável comprimento da parte aérea (Tabela 5), indicando a existência de dependência entre os fatores.

Através do desdobramento do efeito da interação, pela realização de nova análise de variância (teste de F), em que os níveis do fator doses de zinco foram comparados dentro dos níveis do fator dias (e vice-versa), foi possível observar efeito significativo para o fator dias dentro de cada dose de zinco na dose 0 e 100 mg L<sup>-1</sup>, sendo que a comparação de médias entre os níveis deste fator é representada na Tabela 5. Também foi possível observar efeito significativo para o fator doses de zinco dentro de cada dia, isto é, no quarto, quinto, sexto e sétimo dia, sendo que este efeito pode ser observado através das estimativas das equações polinomiais de ordem 2 apresentadas na Tabela 6.

Tabela 5 – Comprimento da parte aérea das plântulas de aveia preta (cm plântula<sup>-1</sup>) mensurados durante os ensaios de germinação, em função das doses de zinco

Época de Avaliação (DAS <sup>1</sup> )	Dose de Zinco (mg L <sup>-1</sup> )			
	0	100	200	400
QUARTO	3,69c	3,01b	2,51 <sup>ns</sup>	2,04 <sup>ns</sup>
QUINTO	6,74b	4,23ab	3,69 <sup>ns</sup>	3,41 <sup>ns</sup>
SEXTO	9,69ab	5,25ab	4,75 <sup>ns</sup>	4,72 <sup>ns</sup>
SÉTIMO	11,39a	6,68a	5,44 <sup>ns</sup>	5,30 <sup>ns</sup>
CV (A) = 7,8%    CV <sup>2</sup> (B) = 18,8%				

(<sup>1</sup>) Dias após a semeadura. (<sup>2</sup>) Coeficiente de Variação. (<sup>ns</sup>) Não significativo na mesma coluna. Médias seguidas de uma mesma letra não divergem entre si, em uma mesma coluna. P<0,01. Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Tabela 6 – Equações polinomiais, referentes ao efeito das doses de zinco sobre ao comprimento da parte aérea da aveia preta

Época de Avaliação (DAS <sup>1</sup> )	Equação polinomial de ordem 2	R <sup>2</sup>
QUARTO	$y = -5E-05 x^2 + 0,0393x + 3,5858$	0,9960
QUINTO	$y = -1E-05 x^2 + 0,0132x + 3,0082$	1,0000
SEXTO	$y = -2E-05 x^2 + 0,0147x + 2,4780$	0,9978
SÉTIMO	$y = -2E-05 x^2 + 0,0180x + 1,9847$	0,9951

(<sup>1</sup>) Dias após a semeadura. Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Foi possível observar que o crescimento da parte aérea das plântulas de aveia preta foi afetado pelo zinco em relação a variável dias na testemunha (0 mg L<sup>-1</sup>) e na

dosagem de 100 mg L<sup>-1</sup>, como pode ser observado na Tabela 5. Já em relação ao fator doses, observou-se diferença estatística para ambos os dias de avaliação, principalmente durante o quinto, sexto e sétimo dia, como pode ser observado no Apêndice F, onde é possível perceber que no sétimo dia a dose de 400 mg L<sup>-1</sup> apresenta uma redução de quase 53,47% em relação a testemunha de 0 mg L<sup>-1</sup>.

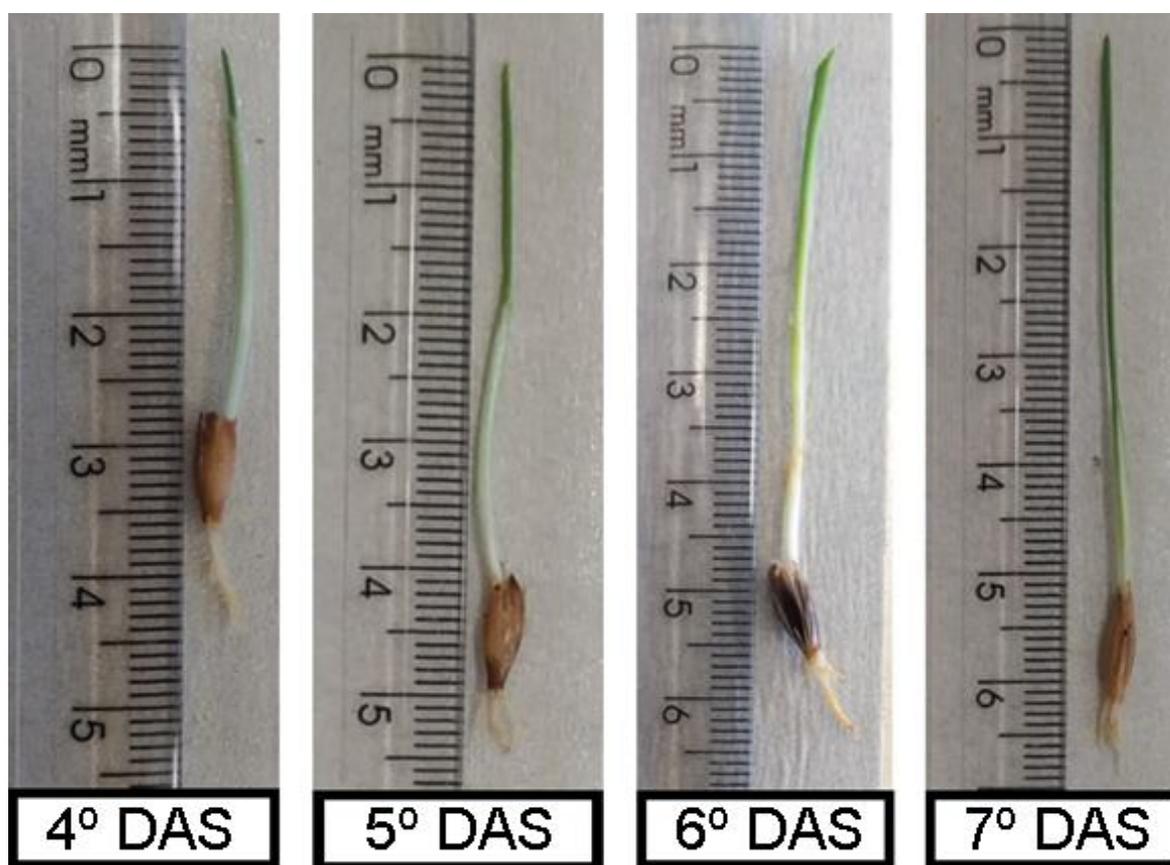
Segundo Malavolta (2006), o zinco é requerido em pequenas quantidades, existindo uma estreita faixa entre o efeito benéfico e a toxicidade.

Isto pode ser observado no trabalho de Furlani *et al.* (2005), que constataram efeitos significativos do zinco na cultura do milho, em relação ao parâmetro de altura de planta. Os mesmos observaram variações de efeitos de respostas dependendo da cultivar, efeito esse que foi positivo em baixas concentrações e em alguns casos negativo em altas concentrações do nutriente. Esta mesma tendência pode ser observada no presente trabalho, uma vez que com o aumento das doses e os dias de avaliação, o crescimento da parte aérea foi influenciado nas três dosagens de zinco (100, 200, 400 mg L<sup>-1</sup>).

Já no trabalho de Ducatti *et al.* (2018), em um teste de germinação de sementes de milho com diferentes doses de zinco, não foi constatado o efeito de fitotoxicidade, podendo associar o zinco como promotor de crescimento, fato que vai contra os resultados apresentados, onde as diferentes concentrações do mesmo afetaram o desenvolvimento aéreo em relação ao controle.

Segundo os estudos de Tiecher (2014), o excesso do zinco pode causar toxicidade, que acaba se evidenciando através de algumas desordens, como a diminuição no crescimento da parte aérea. Fato esse que foi observado no presente trabalho, que nas doses elevadas retardou o crescimento da parte aérea, como pode ser observado na Figura 10 o retardo do crescimento aéreo das plântulas submetidas a dose de 400 mg L<sup>-1</sup>.

Figura 10 – Plântulas submetidas a dose de 400 mg L<sup>-1</sup> durante os 4 dias de avaliação



Fonte: Fotografia registrada pelo autor (2022).

#### 5.4 VELOCIDADE DE GERMINAÇÃO

A velocidade de germinação pode ser observada na Tabela 7, onde foi utilizado o método de Maguire (1962), onde é realizada uma equação para obter a velocidade de germinação das plântulas. Essa equação é baseada no tempo médio de germinação das sementes, tentando reduzir as tendências na obtenção de resultados (RANAL e SANTANA, 2006).

Tabela 7 – Velocidade de germinação das plântulas de aveia preta (média de dias)

	Doses de zinco (mg L <sup>-1</sup> )			
	0	100	200	400
	5,50 <sup>ns</sup>	5,52 <sup>ns</sup>	5,52 <sup>ns</sup>	5,53 <sup>ns</sup>

(<sup>ns</sup>) Não significativo na mesma linha.

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

É possível observar na Tabela 7 que não houve variação do número de dias médios para a germinação em ambos os tratamentos, como foi observado no estudo realizado por Ducatti *et al.* (2018), trabalhando com sementes de milho e diferentes concentrações de zinco, onde o coeficiente de velocidade de germinação avaliado não apresentou variação ao longo dos tratamentos, o que condiz com os resultados encontrados no presente estudo.

Isso pode estar associado ao fato de que o zinco não é capaz de afetar a velocidade de germinação da aveia preta, uma vez que a germinação não depende do teor de nutrientes presentes no meio de estrato, mas, sim, de água, oxigênio e temperatura (SHABAN, 2013).

## 6 CONCLUSÃO

Com a realização deste trabalho, foi possível concluir que o zinco afetou o potencial de germinação das sementes de aveia preta em relação as doses testadas, o que não ocorreu em relação a variável dias de avaliação.

Em relação aos parâmetros de avaliação de crescimento da raiz e da parte aérea, o zinco apresentou efeito de toxicidade, afetando o desenvolvimento inicial das plântulas de aveia preta, retardando o crescimento da parte aérea principalmente nas dosagens de 200 e 400 mg L<sup>-1</sup> e com maiores expressões durante o quinto, sexto e sétimo de avaliação. Em relação ao crescimento radicular, a não ser na dose de 0 mg L<sup>-1</sup> ocorreu a paralisação do crescimento em ambos os dias de avaliação.

As diferentes doses de zinco testadas não afetaram o parâmetro de velocidade de germinação.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABPA (Associação Brasileira de Proteína Animal). **Relatório Anual**. São Paulo, 75p., 2021.

ALMEIDA, A. S. *et al.* Desempenho fisiológico de sementes de aveia-preta tratadas com tiametoxam. **Semina: Ciências Agrárias**, [S.L.], v. 33, n. 5, p. 1619-1628, 30 out. 2012. Universidade Estadual de Londrina.

AMBROSINI, V. G. *et al.* Reduction of copper phytotoxicity by liming: a study of the root anatomy of young vines (*Vitis labrusca* L.). **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 96, p. 270- 280, 2015.

ARES, G.; GRANATO, D. **Mathematical and statistical methods in food science and technology**. Nova Jersey: John Wiley & Sons Inc, 2014. 514p.

BALAFREJ, H. *et al.* Zinc Hyperaccumulation in Plants: a review. **Plants**, [S.L.], v. 9, n. 5, p. 562, 29 abr. 2020. MDPI AG.

BARAN, A. Assessment of Zea mays sensitivity to toxic content of Zinc in soil. **Polish Journal of Environmental Studies**, v.22, n.1, p.77-83, 2013.

BASSO, C. J. *et al.* Teores totais de metais pesados no solo após aplicação de dejetos líquido de suínos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, n. 4, p.653-659, 2012.

BASSO, C. J. **Perdas de nitrogênio e fósforo com aplicação no solo de dejetos líquidos de suínos**. 2003. 125 f. Tese (Doutorado em Agronomia), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

BERWANGER, A. L. **Alterações e transferências de fósforo do solo para o meio aquático com o uso de dejetos líquido de suínos**. 2006. 105 f. Dissertação 101 (Mestrado em Ciência do Solo). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

BOCHICCHIO, R. *et al.* Root architecture and morphometric analysis of *Arabidopsis thaliana* grown in Cd/Cu/Zn-gradient agar dishes: A new screening technique for studying plant response to metals. **Plant Physiol. Biochem.** 91, 20–27. 2015.

BRASIL (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento). **Regras para análise de sementes**. Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2009, 399p.

BROADLEY, M. R. *et al.* Zinc in plants. **New Phytologist**, [S.L.], v. 173, n. 4, p. 677-702, 7 fev. 2007. Wiley.

CHAHAL, D. S. *et al.* Distribution of Forms of Zinc and Their Association with Soil Properties and Uptake in Different Soil Orders in Semi-arid Soils of Punjab,

India. **Communications In Soil Science And Plant Analysis**, [S.L.], v. 36, n. 19-20, p. 2857-2874, out. 2005. Informa UK Limited.

CLAIRE, L. C. *et al.* **Effects of selected trace metals on germinating seeds of six plant species**. Water, Air and Soil Poll. 59, 231-240. 1991.

COMASSETTO, L. R. Associação Catarinense de Criadores de Suínos - 50 anos de história / Leandro Ramires Comassetto – Chapecó: Arcus, 2010. 167p.

COMIRAN, M. Toxidez por cobre: reflexos na qualidade de sementes e no desenvolvimento inicial de aveia preta. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, **Centro de Ciências Rurais**, Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Santa Maria, RS, 2017. 54p.

CRUSCIOL, C. A. C. *et al.* Taxas de decomposição e de liberação de macronutrientes da palhada de aveia preta em plantio direto. **Bragantia**, [S.L.], v. 67, n. 2, p. 481-489, 2008.

DUCATTI, R. B. *et al.* Kernel germination and seedling growth of corn submitted to different concentrations of zinc. **Revista Agrotecnologia**, Ipameri, v. 10, n. 1, p. 54-61, 2018.

FERREIRA, A. H. *et al.* Produção de Suínos: Teoria e prática. Associação Brasileira dos Criadores de Suínos, Brasília, 1ª ed, 908 p., 2014.

FERREIRA, P. A. A. *et al.* Soil amendment as a strategy for the growth of young vines when replanting vineyards in soils with high copper content. **Plant Physiol Biochem**, v. 126, p. 152- 162, 2018.

FONTANELLI, R. S.; PIOVEZAN, A. J. Efeitos de cortes no rendimento de forragem e grãos de aveia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, 26(5): p.691-697, Maio 1991.

FURLANI, A. M. C. *et al.* Eficiência de cultivares de milho na absorção e utilização de zinco. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 62, n. 3, p. 264-273, 2005.

GIROTTO, E. *et al.* Acúmulo e formas de cobre e zinco no solo após aplicações sucessivas de dejetos líquidos de suínos. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, [S.l.], v. 34, n. 3, p.955-965, 2010.

GONZÁLEZ, J. C. *et al.* ZINC METALLOENZYMES IN PLANTS. **Interciencia Journal**, [S.L.], v. 43, n. 4, p. 242-248, abr. 2018.

GRÄBER, I. *et al.* Accumulation of copper and zinc in Danish agricultural soils in intensive pig production areas. **Geografisk Tidsskrift-danish Journal Of Geography**, [S.l.], v. 105, n. 2, p.15-22, jan. 2005.

HUMPHREYS, E. H. The Lead and copper rule revisions. **Congressional Research Service**, Washington, 2021.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Pesquisa da Pecuária Municipal**. Brasília, 2020.

JIANG, W.; LIU, D.; LIU, X. Effects of copper on root growth, cell division, and nucleolus of *Zea mays*. **Biologia Plantarum**, v. 44, p. 105-109, 2001.

KOPITTKE, P. M. *et al.* Toxic effects of Cu<sup>2+</sup> on growth, nutrition, root morphology, and distribution of Cu in roots of Sabi grass. **Science of the Total Environment**, v. 407, p. 4616- 4621, 2009.

LEQUEUX, H. *et al.* Response to copper excess in *Arabidopsis thaliana*: Impact on the root system architecture, hormone distribution, lignin accumulation and mineral profile. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 48, n. 8, p. 673-682, 2010.

LIU, G. *et al.* Effects of erosion angle on erosion properties of Fe-B alloy in flowing liquid zinc. **Metallurgical And Materials Transactions A**, [S.L.], v. 46, n. 5, p. 1900-1907, 5 mar. 2015.

LONGNECKER, N.E.; ROBSON, A.D. Distribution and transport of zinc in plants. In: ROBSON, A.D. (Ed.). **Zinc in soils and plants**. Dordrecht: Kluwer Academic, 1993. p.79-91.

MACHADO, L. A. Z. **Aveia: forragem e cobertura do solo**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2000. 16p. (Embrapa Agropecuária Oeste. Coleção Sistema Plantio Direto, 3).

MAGUIRE, J. D. Speed of germination aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, Madison, v. 2, n. 2, p.176-77, 1962.

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

MARIANO-DA-SILVA, S. *et al.* Seed germination and seedling growth of *Zea mays* under various concentrations of copper. **Journal Of Agricultural Sciences Research (2764-0973)**, [S.L.], v. 2, n. 13, p. 2-9, 24 out. 2022.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. San Diego: Academic Press, 1995.

MATTIAS, J. L. **Metais pesados em solos sob aplicação de dejetos líquidos de suínos em duas microbacias hidrográficas de Santa Catarina**. 2006. 163 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

MCCALL, K. A. *et al.* Function and Mechanism of Zinc Metalloenzymes. **The Journal Of Nutrition**, [S.L.], v. 130, n. 5, p. 1437-1446, 1 maio 2000.

MUNZUROGLU, O. *et al.* Effects of Metals on Seed Germination, Root Elongation, and Coleoptile and Hypocotyl Growth in *Triticum aestivum* and *Cucumis*

sativus. **Archives Of Environmental Contamination And Toxicology**, [S.L.], v. 43, n. 2, p. 203-213, 17 out. 2001.

OHSE, S. *et al.* Germinação e vigor de sementes de sementes de arroz irrigado tratadas com zinco, boro e cobre. **Revista da Faculdade Zootecnia, Veterinária e Agronomia**, Uruguaiana, v. 7, n. 1, p. 73-79, 2000.

PEREIRA, E. R.; DEMARCHI, J. J. A. A.; BUDIÑO, F. E.L. **A questão ambiental e os impactos causados pelos efluentes da suinocultura**. 2009. Disponível em: <[http://www.infobibos.com/Artigos/2009\\_3/QAmbiental/index.htm](http://www.infobibos.com/Artigos/2009_3/QAmbiental/index.htm)>. Acesso em: 26 jun. 2022.

PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 14<sup>a</sup> ed, Livroceres, Piracicaba, 2000, 480p.

PLETSCH, A.; SILVA, V. N.; BEUTLER, A. N. Tratamento de sementes de canola com zinco. **Revista de Ciências Agrárias**, v.37, n.2, 2014.

RANAL, M. A.; SANTANA, D. G. How and why to measure the germination process. **Brazilian Journal of Botany**, v.29, n.1, p.1-11, 2006.

SAEFL (Swiss Agency for the Environment, Forests and Landscape). **Critical loads of acidity for forest soils**. SAEFL, Bern, 1998.

SANTOS, R. C. **Cobre, zinco, manganês e sódio em rações, dejetos líquidos de suínos e solos de áreas de uso agrícola**. 2014. 146f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

SHABAN, M. Effect of water and temperature on seed germination and emergence as a seed hydrothermal time model. **International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research**, v.1, n.12, p.1686-1691, 2013.

SIES, H. *et al.* Oxidative stress. **Annual Review of Biochemistry**, v. 86, p. 715-748, 2017.

SOFO, A. *et al.* Correlation between hormonal homeostasis and morphogenic responses in *Arabidopsis thaliana* seedlings growing in a Cd/Cu/Zn multi-pollution context. **Physiol. Plant** 149, 287–298. 2013.

TIECHER, T. L. **Alterações Fisiológicas em Milho Cultivado em Solo com Alto Teor de Cobre e Submetido à Aplicação de Zinco**. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência do Solo, Universidade Federal de Santa Maria, 2014.

WOLSCHICK, N. H. *et al.* Cobertura do solo, produção de biomassa e acúmulo de nutrientes por plantas de cobertura. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, [S.L.], v. 15, n. 2, p. 134-143, 15 ago. 2016. Universidade do Estado de Santa Catarina.

WUANA, R. A. *et al.* Heavy Metals in Contaminated Soils: a review of sources, chemistry, risks and best available strategies for remediation. **Isrn Ecology**, [S.L.], v. 2011, p. 1-20, 24 out. 2011.

YAGI, R. *et al.* Aplicação de zinco via sementes e seu efeito na germinação, nutrição e desenvolvimento inicial do sorgo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 4, p. 655-660, 2006.

ZHANG, Y. *et al.* Plant nutrition status, yield and quality of satsuma mandarin (*Citrus unshiu* Marc.) under soil application of Fe-EDDHA and combination with zinc and manganese in calcareous soil. **Scientia Horticulturae**, [S.L.], v. 174, p. 46-53, jul. 2014.

ZHI, Y. *et al.* Influence of Heavy Metals on Seed Germination and Early Seedling Growth in *Eruca sativa* Mill. **American Journal Of Plant Sciences**, [S.L.], v. 06, n. 05, p. 582-590, 2015.

## Apêndice A

### QUADRO DE ANOVA (TAXA DE GERMINAÇÃO).

#### ANÁLISE DE VARIÂNCIA COM APLICAÇÃO DO TESTE DE F

CAUSA DA VARIACÃO	GL	SQ	QM	F(cal)	F(tab)
BLOCOS	3	3,147			
DOSES DE ZINCO	3	703,213	234,4	923,35	5,42 F(0,01;3;15)
PARCELAS	9	708,645			
RESÍDUO (A)	15	2,285	0,254		
DIAS	3	115,17	38,39	280,75	4,39 F(0,01;3;36)
Zn X DIAS	9	22,737	2,526	18,48	3,16 F(0,01;15;36)
RESÍDUO (B)	36	4,923	0,137		
<b>TOTAL</b>	<b>78</b>	<b>851,475</b>			

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

#### DECOMPOSIÇÃO DOS GRAUS DE LIBERDADE DA INTERAÇÃO DOSES X DIAS + GL DO FATOR DOSES Zn

CAUSA DA VARIACÃO	GL	SQ	QM	F(cal)	F(tab)
BLOCOS	3				
DIAS	3				
DOSES (QUARTO DIA)	3	282,073	94,024	687,61	5,42 F(0,01;3;15)
DOSES (QUINTO DIA)	3	184,187	61,396	448,99	5,42 F(0,01;3;15)
DOSES (SEXTO DIA)	3	150,868	50,289	367,77	5,42 F(0,01;3;15)
DOSES (SÉTIMO DIA)	3	108,822	36,274	265,28	5,42 F(0,01;3;15)
DOSES (DIAS)	12	725,95			
RESÍDUO	15	4,923	0,137		
<b>TOTAL</b>					

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

#### DECOMPOSIÇÃO DOS GRAUS DE LIBERDADE DA INTERAÇÃO DOSES X DIAS + GL DO FATOR DIAS

CAUSA DA VARIACÃO	GL	SQ	QM	F(cal)	F(tab)
BLOCOS	3				
DIAS	3				
DIAS (DOSE ZERO)	3	1,928	0,643	0,01	4,39 F(0,01;3;36)
DIAS (DOSE 100)	3	38,04	12,68	0,13	4,39 F(0,01;3;36)
DIAS (DOSE 200)	3	46,062	15,354	0,16	4,39 F(0,01;3;36)
DIAS (DOSE 400)	3	51,877	17,292	0,18	4,39 F(0,01;3;36)
DIAS (DOSES)	12	137,907			
RESÍDUO	36	2,285	94,024		
<b>TOTAL</b>					

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

## Apêndice B

### QUADRO DE ANOVA (COMPRIMENTO RADICULAR).

#### ANÁLISE DE VARIÂNCIA COM APLICAÇÃO DO TESTE DE F

CAUSA DA VARIAÇÃO	GL	SQ	QM	F(cal)	F(tab)
BLOCOS	3	0,076			
DOSES DE ZINCO	3	67,164	22,388	917,8	5,42 F(0,01;3;15)
PARCELAS	9	67,459			
RESÍDUO (A)	15	0,22	0,024		
DIAS	3	7,245	2,415	181,43	4,39 F(0,01;3;36)
Zn X DIAS	9	10,623	1,18	88,67	3,16 F(0,01;15;36)
RESÍDUO (B)	36	0,479	0,013		
<b>TOTAL</b>	<b>78</b>	<b>85,806</b>			

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

#### DECOMPOSIÇÃO DOS GRAUS DE LIBERDADE DA INTERAÇÃO DOSES X DIAS

##### + GL DO FATOR DOSES Zn

CAUSA DA VARIAÇÃO	GL	SQ	QM	F(cal)	F(tab)
BLOCOS	3				
DIAS	3				
DOSES (QUARTO DIA)	3	3,562	1,187	89,21	5,42 F(0,01;3;15)
DOSES (QUINTO DIA)	3	13,324	4,441	333,65	5,42 F(0,01;3;15)
DOSES (SEXTO DIA)	3	20,463	6,821	512,41	5,42 F(0,01;3;15)
DOSES (SÉTIMO DIA)	3	40,437	13,479	1012,58	5,42 F(0,01;3;15)
DOSES (DIAS)	12	77,786			
RESÍDUO	15	0,479	0,013		
<b>TOTAL</b>					

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

#### DECOMPOSIÇÃO DOS GRAUS DE LIBERDADE DA INTERAÇÃO DOSES X DIAS

##### + GL DO FATOR DIAS

CAUSA DA VARIAÇÃO	GL	SQ	QM	F(cal)	F(tab)
BLOCOS	3				
DIAS	3				
DIAS (DOSE ZERO)	3	17,321	5,774	4,86	4,39 F(0,01;3;36)
DIAS (DOSE 100)	3	0,279	0,093	0,08	4,39 F(0,01;3;36)
DIAS (DOSE 200)	3	0,116	0,039	0,03	4,39 F(0,01;3;36)
DIAS (DOSE 400)	3	0,152	0,051	0,04	4,39 F(0,01;3;36)
DIAS (DOSES)	12	17,868			
RESÍDUO	36	0,22	1,187		
<b>TOTAL</b>					

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

## Apêndice C

### QUADRO DE ANOVA (COMPRIMENTO PARTE AÉREA).

#### ANÁLISE DE VARIÂNCIA COM APLICAÇÃO DO TESTE DE F

CAUSA DA VARIAÇÃO	GL	SQ	QM	F(cal)	F(tab)
BLOCOS	3	3,779			
DOSES DE ZINCO	3	165,152	55,051	193,77	5,42 F(0,01;3;15)
PARCELAS	9	171,488			
RESÍDUO (A)	15	2,557	0,284		
DIAS	3	175,622	58,541	2248,23	4,39 F(0,01;3;36)
Zn X DIAS	9	36,016	4,002	153,69	3,16 F(0,01;15;36)
RESÍDUO (B)	36	0,937	0,026		
<b>TOTAL</b>	<b>78</b>	<b>384,064</b>			

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

#### DECOMPOSIÇÃO DOS GRAUS DE LIBERDADE DA INTERAÇÃO DOSES X DIAS + GL DO FATOR DOSES Zn

CAUSA DA VARIAÇÃO	GL	SQ	QM	F(cal)	F(tab)
BLOCOS	3				
DIAS	3				
DOSES (QUARTO DIA)	3	6,04	2,013	77,32	5,42 F(0,01;3;15)
DOSES (QUINTO DIA)	3	27,712	9,237	354,75	5,42 F(0,01;3;15)
DOSES (SEXTO DIA)	3	69,329	23,11	887,52	5,42 F(0,01;3;15)
DOSES (SÉTIMO DIA)	3	98,088	32,696	1255,67	5,42 F(0,01;3;15)
DOSES (DIAS)	12	201,169			
RESÍDUO	15	0,937	0,026		
<b>TOTAL</b>					

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

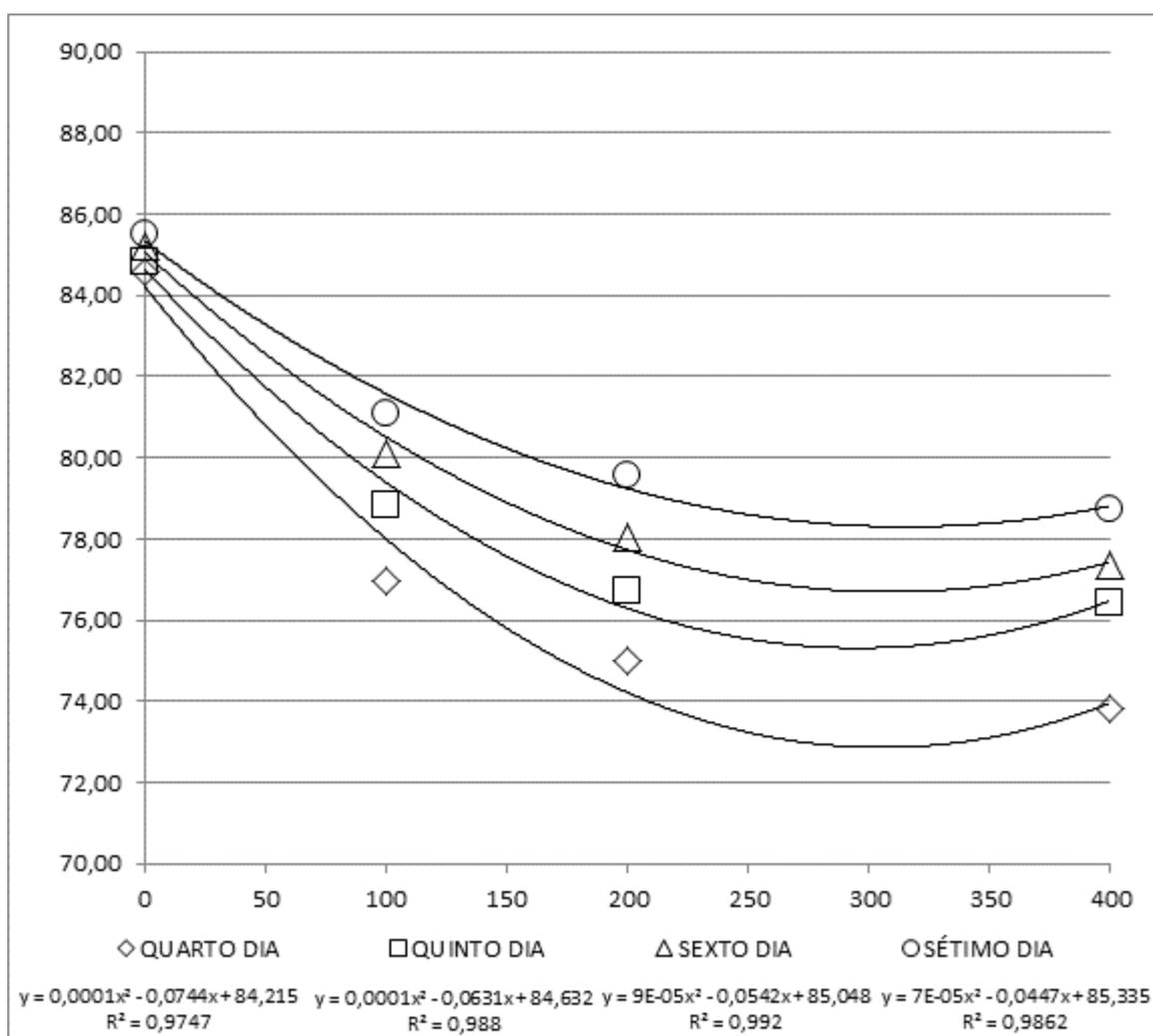
#### DECOMPOSIÇÃO DOS GRAUS DE LIBERDADE DA INTERAÇÃO DOSES X DIAS + GL DO FATOR DIAS

CAUSA DA VARIAÇÃO	GL	SQ	QM	F(cal)	F(tab)
BLOCOS	3				
DIAS	3				
DIAS (DOSE ZERO)	3	137,583	45,861	22,78	4,39 F(0,01;3;36)
DIAS (DOSE 100)	3	29,042	9,681	4,81	4,39 F(0,01;3;36)
DIAS (DOSE 200)	3	19,648	6,549	3,25	4,39 F(0,01;3;36)
DIAS (DOSE 400)	3	25,364	8,455	4,2	4,39 F(0,01;3;36)
DIAS (DOSES)	12	211,638			
RESIDUO	36	2,557	2,013		
<b>TOTAL</b>					

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

## Apêndice D

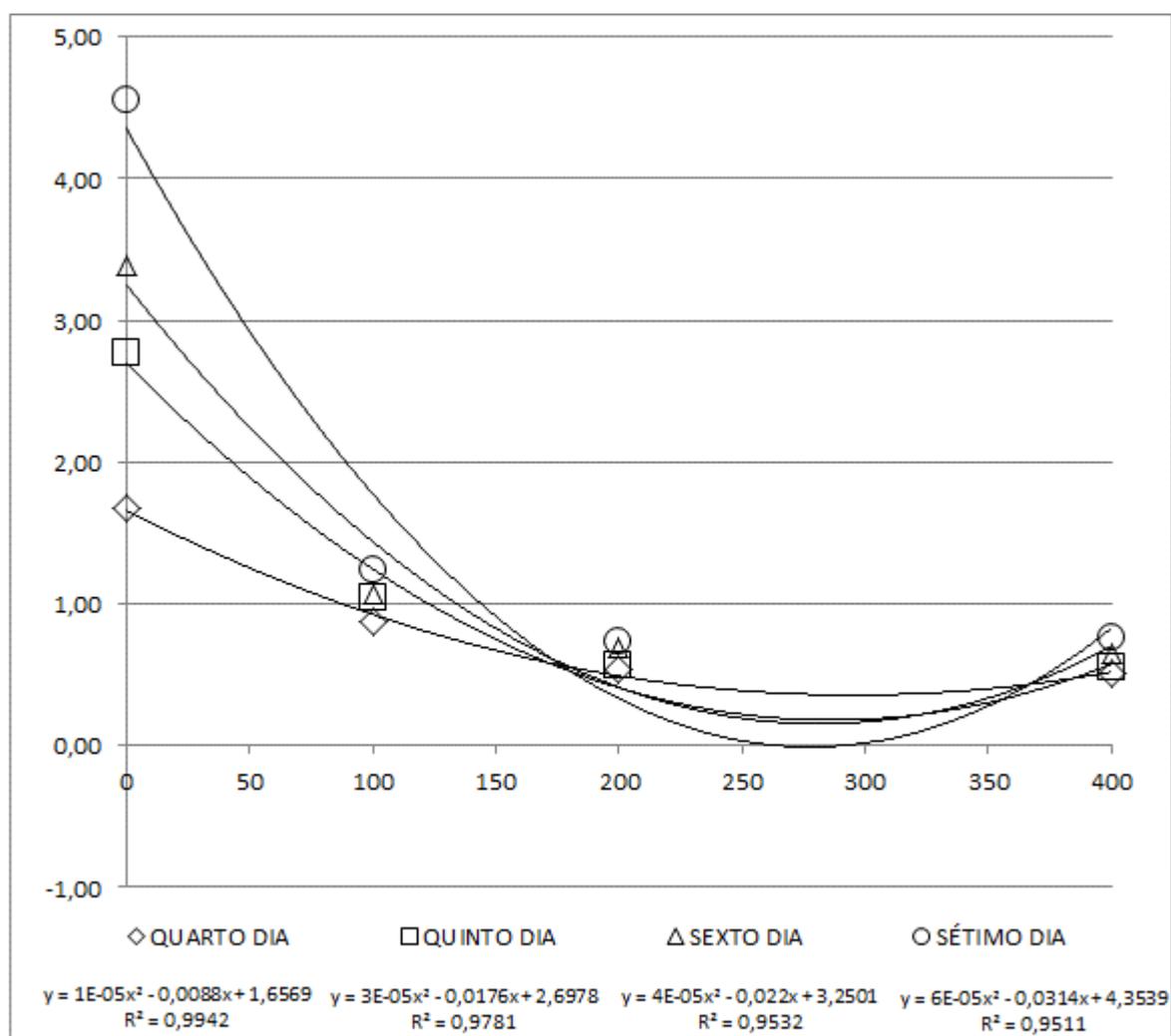
**EQUAÇÕES POLINOMIAIS DE SEGUNDO GRAU REFERENTE ÀS DOSES DE ZINCO SOBRE A TAXA DE GERMINAÇÃO.**



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

## Apêndice E

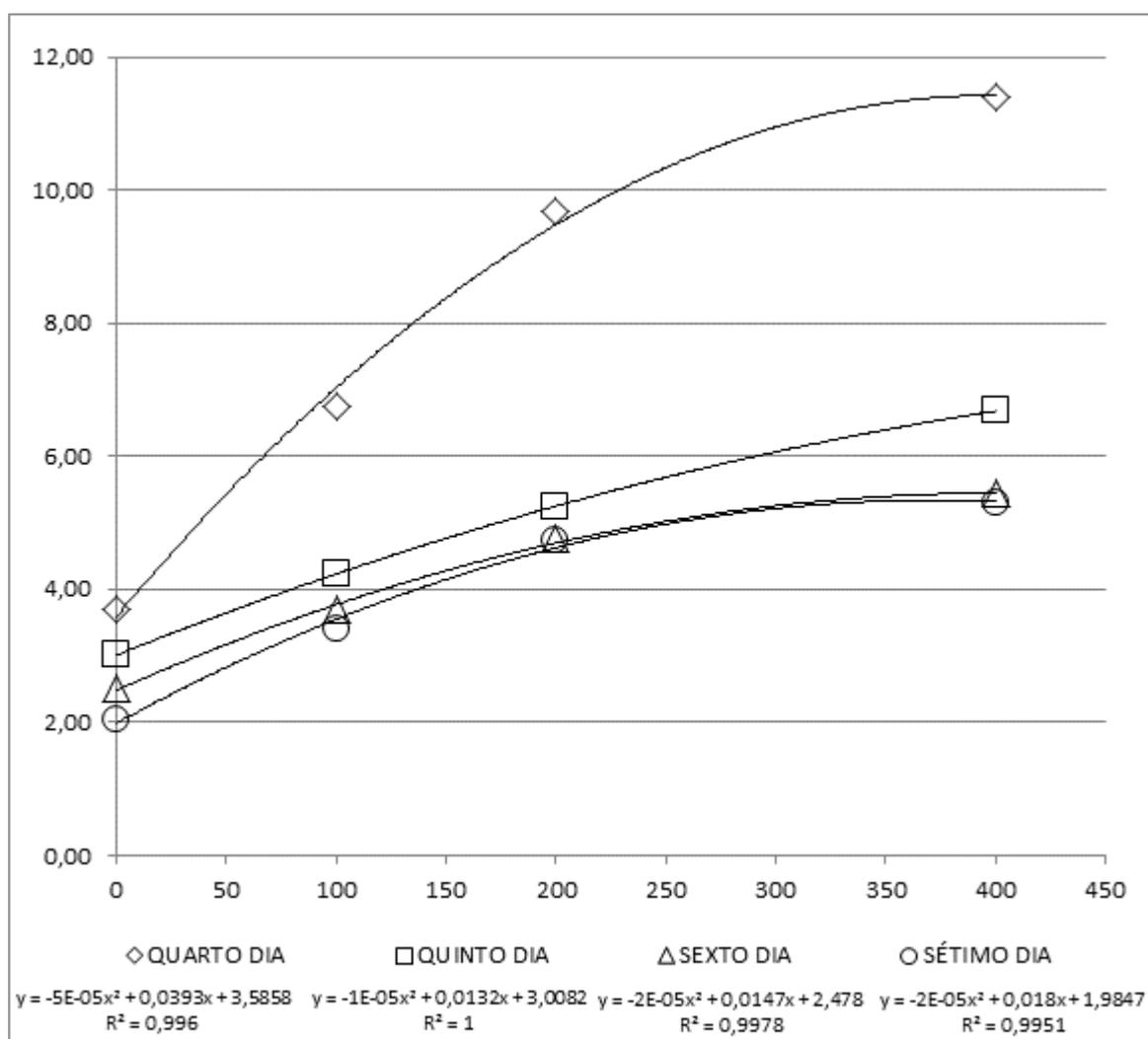
### EQUAÇÕES POLINOMIAIS DE SEGUNDO GRAU REFERENTE ÀS DOSES DE ZINCO SOBRE O TAMANHO DA RAIZ .



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

## Apêndice F

**EQUAÇÃO POLINOMIAL DE SEGUNDO GRAU REFERENTE ÀS DOSES DE ZINCO SOBRE O TAMANHO DA PARTE AÉREA.**



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).