



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

**MAYRON DE ALMEIDA FRANÇA DOS REIS**

**GERMINAÇÃO DE SEMENTES E CRESCIMENTO DE PLÂNTULAS DE  
FEJJOEIRO SOB DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE COBRE**

**CHAPECÓ**  
**2023**

**MAYRON DE ALMEIDA FRANÇA DOS REIS**

**GERMINAÇÃO DE SEMENTES E CRESCIMENTO DE PLÂNTULAS DE  
FEIJOEIRO SOB DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE COBRE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de  
Agronomia da Universidade Federal da Fronteira Sul,  
como requisito para obtenção do título de Bacharel em  
Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Samuel Mariano Gislon da Silva

**CHAPECÓ**

**2023**

### **Bibliotecas da Universidade Federal da Fronteira Sul - UFFS**

Reis, Mayron de Almeida França dos  
GERMINAÇÃO DE SEMENTES E CRESCIMENTO DE PLÂNTULAS DE  
FEIJOEIRO SOB DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE COBRE / Mayron  
de Almeida França dos Reis. -- 2023.  
39 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. Phaseolus vulgaris.. 2. Toxicidade. 3. Metal  
pesado.. I. Silva, Samuel Mariano Gislon da, orient. II.  
Universidade Federal da Fronteira Sul. III. Título.

Elaborada pelo sistema de Geração Automática de Ficha de Identificação da Obra pela UFFS  
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

**MAYRON DE ALMEIDA FRANÇA DOS REIS**

**GERMINAÇÃO DE SEMENTES E CRESCIMENTO DE PLÂNTULAS DE  
FEIJOEIRO SOB DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE COBRE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Agronomia da Universidade Federal da Fronteira Sul, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Agronomia.

Este trabalho foi defendido e aprovado pela banca em 06/julho/2023.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Samuel Mariano Gislon da Silva  
Orientador

---

Prof. Dr. João Alfredo Braida – UFFS  
Avaliador

---

Prof. Dr. Siumar Pedro Tironi – UFFS  
Avaliador

Dedico este trabalho primeiramente a Deus por ter me dado força e me sustentar até aqui. Dedico também aos meus pais e toda minha família que me apoiaram em tudo.

**Mayron de Almeida França dos Reis**

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente agradeço a Deus, por ter me sustentado até esse momento, por ter me dado forças para enfrentar todos os obstáculos e concluir essa etapa da minha vida.

Quero agradecer também a todos meus familiares, minha mãe Silvana A. Reis, meu pai Rivaél F. dos Reis, meus irmãos Guilherme & Matheus e minha namorada Jéssica, que ao decorrer da minha formação, esteve sempre ao meu lado me apoiando e ajudando em tudo que foi necessário. Não poderia deixar de agradecer, especialmente minha prima Daiane Carlet, pelos conselhos e ter acreditado que seria possível.

Agradeço a todas as amigadas que construí ao decorrer desta etapa.

Agradeço também, a todos os professores e responsáveis por todo conhecimento compartilhado, nesses anos de graduação. 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.

**Mayron de Almeida França dos Reis**

## RESUMO

O feijão é um dos componentes básicos da dieta dos brasileiros, constituindo a sua principal fonte de proteína vegetal. Quando o cultivo acontece em solos com altas concentrações de metais pesados, o desenvolvimento das plantas pode ser afetado. O experimento teve como objetivo avaliar os efeitos de diferentes doses de cobre na germinação e desenvolvimento inicial de plântulas de feijão. O experimento foi conduzido no laboratório de sementes e grãos da Universidade Federal da Fronteira Sul em esquema de parcelas subdivididas em blocos ao acaso, com classificação cruzada e 5 repetições. As sementes foram divididas em 5 lotes de 20 repetições de 50 sementes e cada repetição semeada em substrato de papel para germinação de sementes (J. Prolab®) previamente umedecido com um volume de água correspondente a 2,5 vezes o peso do papel. A água utilizada para a embebição dos papéis Germitest® foi acrescida de diferentes concentrações de sulfato de cobre (0, 200, 400 e 800 mg L<sup>-1</sup>), gerando quatro diferentes tratamentos. Os rolos contendo as sementes foram mantidos em germinador à temperatura constante de 25°C com 24h de luz, sendo que as avaliações de percentual de germinação, crescimento da parte aérea, radicular e velocidade de germinação foram realizadas em 5 repetições de cada tratamento, retiradas de forma aleatória no quarto, quinto, sexto e sétimo dia após a semeadura. O cobre afetou a germinação negativamente em todos os tratamentos. As sementes expostas a dose de 800 mg/L apresentaram um alto decréscimo na germinação, do primeiro ao último dia de análise. Os comprimentos de parte aérea, raiz e o peso de massa seca também foram afetados negativamente pelo cobre, o que mostra que o metal é altamente prejudicial para o desenvolvimento inicial do feijão.

Palavras-chave: *Phaseolus vulgaris*, Toxicidade, Metal pesado.

## ABSTRACT

Beans are a basic component of the Brazilian diet, constituting their main source of vegetable protein. When cultivation takes place in soils with high concentrations of heavy metals, plant development may be affected. The experiment aimed to evaluate the effects of different doses of copper on the germination and initial development of bean seedlings. The experiment was conducted in the seed and grain laboratory of the Universidade Federal da Fronteira Sul in a subdivided randomized block design with cross classification and 5 repetitions. The seeds were divided into 5 lots of 20 repetitions of 50 seeds and each repetition was sown on paper substrate for seed germination (J. Prolab®) previously moistened with a volume of water corresponding to 2.5 times the weight of the paper. The water used to soak the Germitest® papers was added with different concentrations of copper sulfate (0, 200, 400 and 800 mg L<sup>-1</sup>), generating four different treatments. The rolls containing the seeds were kept in a germinator at a constant temperature of 25°C with 24h of light. The evaluation of germination percentage, growth of aerial and root parts and speed of germination were performed in 5 repetitions of each treatment, taken randomly on the fourth, fifth, sixth and seventh day after sowing. Copper negatively affected germination in all treatments. Seeds exposed to the 800 mg/L dose showed a high decrease in germination from the first to the last day of analysis. The aerial part, root length and dry mass weight were also negatively affected by copper, which shows that the metal is highly detrimental to the initial development of the bean.

Keywords: *Phaseolus vulgaris*; Toxicity; Heavy metal.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Esquema resumido do ensaio de germinação.	19
Figura 2. Equações lineares, referentes ao efeito das doses de cobre sobre a porcentagem (%) de germinação de feijão.	22
Figura 3: Equações lineares, referentes ao efeito das doses de cobre sobre o comprimento radicular das plântulas de feijão.	24
Figura 4: Equações lineares, referentes ao efeito das doses de cobre sobre o tamanho da parte aérea de feijão.	26
Figura 5. Equações polinomiais, dos efeitos das concentrações de cobre em cada dia sobre a massa seca de plântulas de feijão.	28

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Avaliação da germinação de feijão em porcentagem (%) de plântulas normais, em função das doses de cobre.	21
Tabela 2: Velocidade de germinação das plântulas de feijão (média de dias).	23
Tabela 3: Comprimento radicular (cm / plântulas) mensurado durante os ensaios de germinação para feijão, em função das doses de cobre.	24
Tabela 4: Comprimento da parte aérea das plântulas de feijão (cm / plântula) mensurado durante os ensaios de germinação, em função das doses de cobre.	26
Tabela 5: Peso (g) da massa seca de plântulas de feijão com diferentes concentrações de cobre.	28

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b>	<b>11</b>
<b>2. OBJETIVOS</b>	<b>13</b>
2.1 OBJETIVOS GERAIS	13
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>14</b>
3.1 CULTURA DO FEIJÃO	14
3.2 METAIS PESADOS	14
3.3 COBRE	15
3.5 EFEITOS DO COBRE NAS PLANTAS	17
<b>4. MATERIAL E MÉTODOS</b>	<b>18</b>
4.1 OBTENÇÃO DAS SEMENTES	18
4.2 ENSAIO DE GERMINAÇÃO	18
4.3 VIGOR E VIABILIDADE DAS SEMENTES	19
4.4 AVALIAÇÃO DO CRESCIMENTO	20
4.5 MATÉRIA SECA	20
4.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA	20
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>21</b>
<b>6. CONCLUSÃO</b>	<b>30</b>
<b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>31</b>
<b>APÊNDICE A</b>	<b>34</b>
<b>APÊNDICE B</b>	<b>36</b>
<b>APÊNDICE C</b>	<b>37</b>
<b>APÊNDICE D</b>	<b>38</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O feijão é um alimento consumido em todo o mundo, sendo um dos componentes-básicos da dieta dos brasileiros, constituindo a sua principal fonte de proteína vegetal, apesar da grande demanda dessa leguminosas no Brasil, o balanço de oferta e demanda tem apontado queda no consumo (CONAB, 2022).

Além do alto consumo, o Brasil é o terceiro maior produtor de feijão (*Phaseolus vulgaris*) do mundo, ficando atrás apenas de Mianmar e Índia. No Brasil, os estados que mais produzem esse grão são o Paraná, Minas Gerais, Mato Grosso, Goiás e Bahia (FAOSTAT, 2023).

Atualmente, devido aos altos preços de insumos e os custos de produção, vários produtores de diversas regiões do país têm buscado alternativas para que os custos venham a minimizar-se. Neste ponto, o uso de fertilizantes orgânicos como os dejetos de suínos, na forma líquida ou sólida, surge como alternativas de baixo custo (Diniz *et al.*, 2011)

Porém, para o uso desta modalidade de fertilizante, é necessário realizar um manejo adequado para que se possa evitar a contaminação do solo e dos lençóis freáticos. Grande parte dessas contaminações se dá pelo excesso de metais aportados no solo.

Alguns estudos já têm observado que o uso equivocado de dejetos suínos e de vários outros produtos agrícolas, vem contribuindo para essa contaminação por metais, como o cobre (Mc BRIDE, 2004).

De acordo com Marques *et al.* (2018), o cobre é um micronutriente essencial para a produtividade das plantas. Porém, apesar de sua essencialidade, altas concentrações podem influenciar negativamente as atividades biológicas e causar toxicidade. O excesso de cobre não afeta somente as plantas. Este elemento pode se tornar um problema para todo o ecossistema, devido ao fato de se acumular nos tecidos, apresentando riscos à segurança da cadeia alimentar (Farias *et al.* 2018)

Segundo Sethy & Ghosh (2013) os principais efeitos dos metais pesados na germinação das sementes são a redução do comprimento da raiz com conseqüente redução da absorção de nutrientes, diminuição da concentração de proteína solúvel e açúcar total, redução da taxa de germinação e anormalidades das plântulas por dano oxidativo.

Apesar de já terem sido realizadas várias investigações a respeito dos efeitos citotóxicos e mecanismos de estresse causados pelo cobre nos sistemas biológicos, os dados referentes aos efeitos deste metal na germinação de plantas cultivadas ainda são escassos e pouco

esclarecedores. Há necessidade de elucidar vários aspectos metabólicos, justificando a realização deste trabalho, procurando aprofundar os conhecimentos existentes.

## **2. OBJETIVOS**

Os objetivos do presente trabalho, foram divididos em geral e específicos.

### **2.1 OBJETIVOS GERAIS**

Determinar a influência do cobre na germinação de sementes e plântulas de feijoeiro submetidas a diferentes concentrações deste elemento.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Avaliar o efeito das diferentes doses de cobre na germinação de sementes e no desenvolvimento inicial das plântulas de feijoeiro, sobre:

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

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 CULTURA DO FEIJÃO

O feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris L.*) é uma leguminosa que fornece uma fonte rica em proteínas, fibras, vitaminas e minerais essenciais, sendo um dos alimentos básicos na dieta da população brasileira (VIEIRA *et al.*, 2006).

Originário das Américas, o feijão é uma planta anual e herbácea, que possui um ciclo biológico bastante variado e dependente fatores como época de semeadura e da cultivar utilizada (SANTOS; GAVILANES, 2006).

Segundo dados da Conab (2022), o país é um dos maiores produtores mundiais de feijão, com uma produção média de 3,1 milhões de toneladas. Dados do mesmo órgão, obtidos na safra 2021/2022, mostram que o Brasil possui cerca de 2,8 milhões de hectares cultivados com feijão e em termos de produtividade a região Sul tem se destacado por produzir cerca de 1.760 kg ha<sup>-1</sup>.

#### 3.2 METAIS PESADOS

Os metais pesados tem chamado a atenção de pesquisadores de todo o mundo, principalmente devido aos seus efeitos nocivos sobre as plantas. Os metais pesados são definidos como aqueles com densidade mínima superior a 5 g cm<sup>-3</sup>. 53 dos 90 elementos naturais são metais pesados, mas poucos têm importância biológica (WEAST, 1984).

Nos últimos anos, com a industrialização e outros fatores houve a dispersão de grande quantidade de elementos, em especial metais tóxicos, no ambiente. Diante disso, a maioria dos problemas ambientais pode ser vista como uma consequência direta ou indireta da poluição decorrente das necessidades do homem, acarretando em especial, a elevada geração de efluentes industriais e urbanos em face ao excessivo uso de produtos industrializados e combustíveis fósseis (MATTIAS, 2006).

Segundo Abreu *et al.*, (2002), os principais metais pesados presentes no solo e nos produtos utilizados na agricultura são o cobalto, cádmio, crômio, cobre, ferro, mercúrio, manganês, molibdênio, níquel, chumbo, estanho e Zinco. Alguns destes, em concentrações adequadas e equilibradas são essenciais às plantas (cobre, e zinco).

Resíduos orgânicos como esterco e dejetos, podem conter altas concentrações de metais pesados e o uso contínuo destes pode elevar a quantidades totais de cobre, Zinco, chumbo, cádmio e Ferro nos solos (Mc BRIDE, 2004).

Na região Sul, especialmente no Rio Grande do Sul (RS) e Santa Catarina (SC), a suinocultura é uma atividade desenvolvida em pequenas propriedades, onde o dejetos líquido suíno gerado é utilizado como fertilizante (Basso *et al.* 2012). Como resultado desta prática, devido a alta concentração de cobre e outros metais (MATTIAS *et al.*, 2010; GIROTTI *et al.*, 2010) acredita-se que com o passar dos anos ocorrerá um grande acúmulo desse metal no solo. A presença de grandes quantidades de metais pode levar a efeitos tóxicos e impactos negativos na germinação das sementes e no crescimento das plântulas (Bezini *et al.* 2019).

Segundo Alloway (1995), a poluição do solo por metais pesados tem sido reconhecida como um importante problema ambiental, podendo ocasionar riscos ainda desconhecidos para a saúde humana, afetando a sustentabilidade de alguns sistemas. Deste modo Tiller (1989) propõe que a avaliação da sustentabilidade deve ser avaliada no tempo, porque a acumulação de metais pesados é praticamente irreversível e pode causar problemas uma vez que certos níveis de concentração são atingidos.

### 3.3 COBRE

O cobre (Cu) é um micronutriente essencial, possuindo função relacionada ao crescimento das plantas, além de fazer parte estrutural de algumas enzimas. No entanto, quando em quantidades elevadas no solo, esse componente é considerado metal poluente (ZORTÉA *et al.*, 2016).

Segundo Martins (2005), a queima de combustíveis fósseis, o uso exagerado de defensivos e fertilizantes agrícolas, pode ocorrer acúmulo e posteriormente ocorrer a contaminação desse elemento no solo. Na agricultura, o uso prolongado de alguns defensivos, tais como fungicidas, inseticidas e herbicidas à base de sulfato de cobre, hidróxido de cobre, oxicloreto de cobre, tem se mostrado com uma das principais causas do acúmulo desse elemento no solo (SANTOS *et al.*, 2004).

O teor natural de cobre nos solos é muito variável e depende, principalmente, da composição do material de origem do solo e da intensidade dos processos de formação do solo sobre o material de origem (KING, 1996)



Segundo Sposito (2008), as principais formas de ocorrência de cobre no solo são em solos ácidos, como complexos orgânicos e íons livre  $\text{Cu}^{2+}$  e, em solos alcalinos, como carbonatos, boratos e complexos orgânicos).

Este elemento em altas concentrações pode causar redução da taxa fotossintética, ocorrência de clorose foliar, redução da emissão de raízes, como os pelos radiculares, reduzindo a absorção de água e nutrientes, no qual reduz a taxa de crescimento das plantas (BASSO, 2015).

O excesso de cobre provoca aumento na síntese de proteínas e enzimas envolvidas na defesa aos danos oxidativos (YANG *et al.*, 2011). Além disso, o estresse por cobre e zinco pode danificar a estrutura das raízes (BOCHICCHIO *et al.*, 2015), ocorrendo impacto na absorção de água e nutrientes minerais do solo e, com isso diminuindo o crescimento das plantas (TOSELLI *et al.*, 2009).

O interesse pela análise de metais pesados em solo tem aumentado a cada dia devido ao aumento da aplicação de resíduos ricos nestes elementos no solo, ao tempo indefinido que podem permanecer no ambiente e aos seus impactos a saúde humana e animal (ABREU; ABREU; BERTON, 2002)

No Brasil, concentrações de cobre no solo até  $60 \text{ mg kg}^{-1}$  estão dentro do valor de prevenção, sem a necessidade de intervenção, sendo que valores acima desses teores são considerados críticos para as plantas, ocasionando alguns distúrbios fisiológicos CETESB (2016). Mirlean *et al.* (2007), em estudo, encontraram elevados teores de cobre ( $2197 \text{ mg kg}^{-1}$ ) em 16 áreas de viticultura no sul do país.

Em um experimento realizado por Furtado e Silva *et al.* (2017), em área de cultivo no município de Campos Novos, Santa Catarina, foram aplicadas três doses de esterco suíno (25, 50 e  $100 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ). As aplicações aumentaram os teores de Cu principalmente na superfície dos solos (0-25 cm), tendo como destaque a aplicação de  $100 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ , que apresentou resultado de teor de cobre no solo igual a  $155 \text{ mg kg}^{-1}$ , o qual um teor bem elevado quando comparado ao teor sem aplicação de esterco ( $54 \text{ mg kg}^{-1}$ ). Os autores explicam que este aumento no teor de Cu está relacionado a ração utilizada para o trato dos animais. Ao analisar a ração, os autores apontaram a presença pronunciada de metais, dentre eles o cobre, com teor igual a  $24 \text{ mg kg}^{-1}$ .

### 3.5 EFEITOS DO COBRE NAS PLANTAS

Os sintomas de toxidez causados pelo excesso de cobre são em razão de uma série de interações em nível celular e molecular (KABALA; SINGH, 2001).

Segundo Brun *et al.* (2001), os sintomas de toxidez pelo cobre podem variar entre as plantas sendo que a toxidez é observada, principalmente, em plantas cultivadas em solos ácidos, com baixa CTC e baixo teor de matéria orgânica. Michaud *et al.* (2007) observaram uma redução no crescimento das raízes em plantas cultivadas em solos com alto teor de cobre.

A maior tolerância das plantas ao excesso de cobre está associada ao seu acúmulo nas raízes e menor transporte para a parte aérea (BRUN *et al.*, 2001; MICHAUD *et al.*, 2007). O excesso de cobre nas células da parte aérea afeta processos importantes, como o transporte de elétrons na fotossíntese, redução do conteúdo de clorofila, alterações na estrutura dos cloroplastos e na composição das membranas dos tilacóides (QUARTACCI *et al.*, 2000).

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

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

### 4.1 OBTENÇÃO DAS SEMENTES

A cultivar de feijão utilizada foi a SCS 204 Predileto pertencente a Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI). As sementes foram adquiridas na unidade da EPAGRI localizada no município de Chapecó-SC.

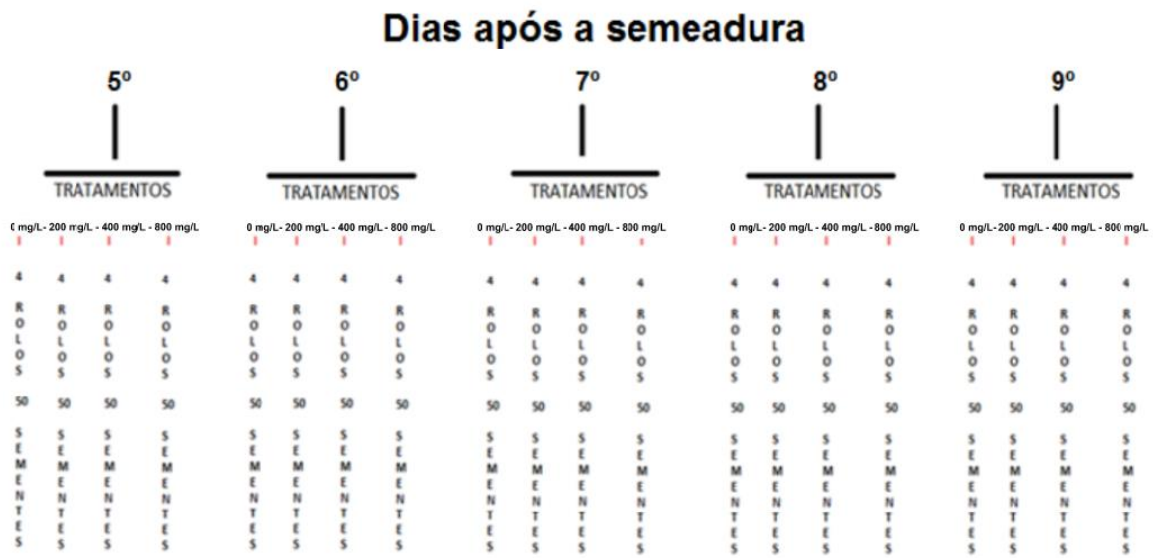
### 4.2 ENSAIO DE GERMINAÇÃO

O experimento foi conduzido no laboratório de Sementes e Grãos situado na Universidade Federal da Fronteira Sul *campus* Chapecó. O ensaio foi realizado sob esquema parcelas subdivididas no tempo em delineamento experimental blocos ao acaso, com classificação cruzada e 4 repetições (ARES & GRANATO, 2014; PIMENTEL-GOMES, 2000). Para tal, as sementes foram divididas em 5 lotes de 20 repetições de 50 sementes cada e cada repetição semeada em substrato de papel para germinação de sementes (J. Prolab<sup>®</sup>) previamente umedecido com um volume de água correspondente a 2,5 vezes o peso do papel. A água utilizada para a embebição dos 5 lotes foi acrescida de diferentes concentrações de sulfato de cobre (CuSO<sub>4</sub>), de maneiras que as concentrações finais de cobre fossem 0, 200, 400 e 800 mg/L, gerando quatro diferentes tratamentos. Os rolos de papel foram mantidos em germinadores (ELETROlab<sup>®</sup>, modelo 202/4) à temperatura constante de 25°C e fotoperíodo constante de 24 horas (BRASIL, 2009; SÁ *et al.*, 2011), sendo as avaliações realizadas em 4 repetições de cada tratamento, retiradas de forma aleatória do germinador no quinto, sexto, sétimo, oitavo e nono dias após a semeadura. Tal esquema pode ser observado na Figura 1.

### 4.3 VIGOR E VIABILIDADE DAS SEMENTES

A avaliação da germinação foi realizada no quinto, sexto, sétimo, oitavo e nono dia após a semeadura, sendo consideradas germinadas as sementes que apresentaram crescimento de radícula de 1 mm, eliminando-se as plântulas anormais e sementes duras e mortas, sendo os dados convertidos para porcentagem de plântulas normais (BRASIL, 2009; SÁ *et al*, 2011)

**Figura 1 - Esquema resumido do ensaio de germinação.**



Fonte:Elaborada pelo autor (2022).

Seguindo a metodologia proposta por SÁ *et al*, (2011), a % de germinação foi determinada utilizando a seguinte fórmula:

$$\% \text{ Germinação} = \frac{Pn}{N} \times 100$$

Onde Pn = plântulas normais

N = número total de sementes colocadas para germinar

Seguindo a metodologia proposta por SÁ *et al*, (2011), o índice de velocidade de germinação foi determinado utilizando a seguinte fórmula:

$$IVG = \frac{G1}{N1} + \frac{G2}{N2} + \dots + \frac{Gn}{Nn}$$

Onde: IVG = índice de velocidade de germinação

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

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

#### 4.4 AVALIAÇÃO DO CRESCIMENTO

A avaliação do crescimento foi realizada no quinto, sexto e sétimo, oitavo e nono dia após a semeadura, eliminando-se as plântulas anormais e as sementes mortas. Com auxílio de uma régua milimétrica, foi mensurado o comprimento da raiz primária e comprimento da parte aérea de 25 plântulas e os resultados médios expressos em cm plântula<sup>-1</sup> (BRASIL, 2009; SÁ *et al*, 2011).

#### 4.5 MATÉRIA SECA

Seguindo a metodologia proposta por SÁ *et al.* (2011), após o período previsto no germinador as plântulas normais foram separadas e, com auxílio de uma lâmina de barbear os cotilédones foram separados, e o material restante (raiz e parte aérea) foram colocados em sacos de papel previamente pesados e separados por repetição. A seguir, os sacos foram acondicionados em estufa de circulação forçada de ar regulada a 80°C durante 24 horas. Após esse período, foram colocados para esfriar em dessecador, até peso constante, quando foram pesadas em em balança de precisão de quatro casas decimais.

A matéria seca foi determinada utilizando a seguinte fórmula:

$$\text{Matéria seca} = \frac{\text{Psn}}{N} \times 1000$$

Onde: Pn = peso seco de plântulas normais naquela repetição

N = número de plântulas normais naquela repetição

#### 4.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA

A análise de variância (teste de F a 99 %) foi utilizada para analisar as variáveis. As comparações da média de cada repetição foram feitas pelo teste de comparações múltiplas de Tukey ou regressão, ambos a 99% de confiança (PIMENTEL-GOMES, 2000; ZIMMERMANN, 2004).

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com o teste de variância, (teste de F), existe interação significativa entre os fatores dias e doses de cobre em relação à variável taxa de germinação do feijão (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 cobre 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 cobre nas doses 200, 400 e 800 mg L<sup>-1</sup>, sendo que a comparação de médias entre os níveis deste fator é representada na Tabela 1. Também foi possível observar efeito significativo para o fator doses de cobre dentro de cada dia, isto é, no quinto, sexto, sétimo, oitavo e nono dias, sendo que este efeito pode ser observado através das estimativas das equações lineares apresentadas na Figura 2.

Tabela 1- Avaliação da germinação de feijão em porcentagem (%) de plântulas normais, em função das doses de cobre.

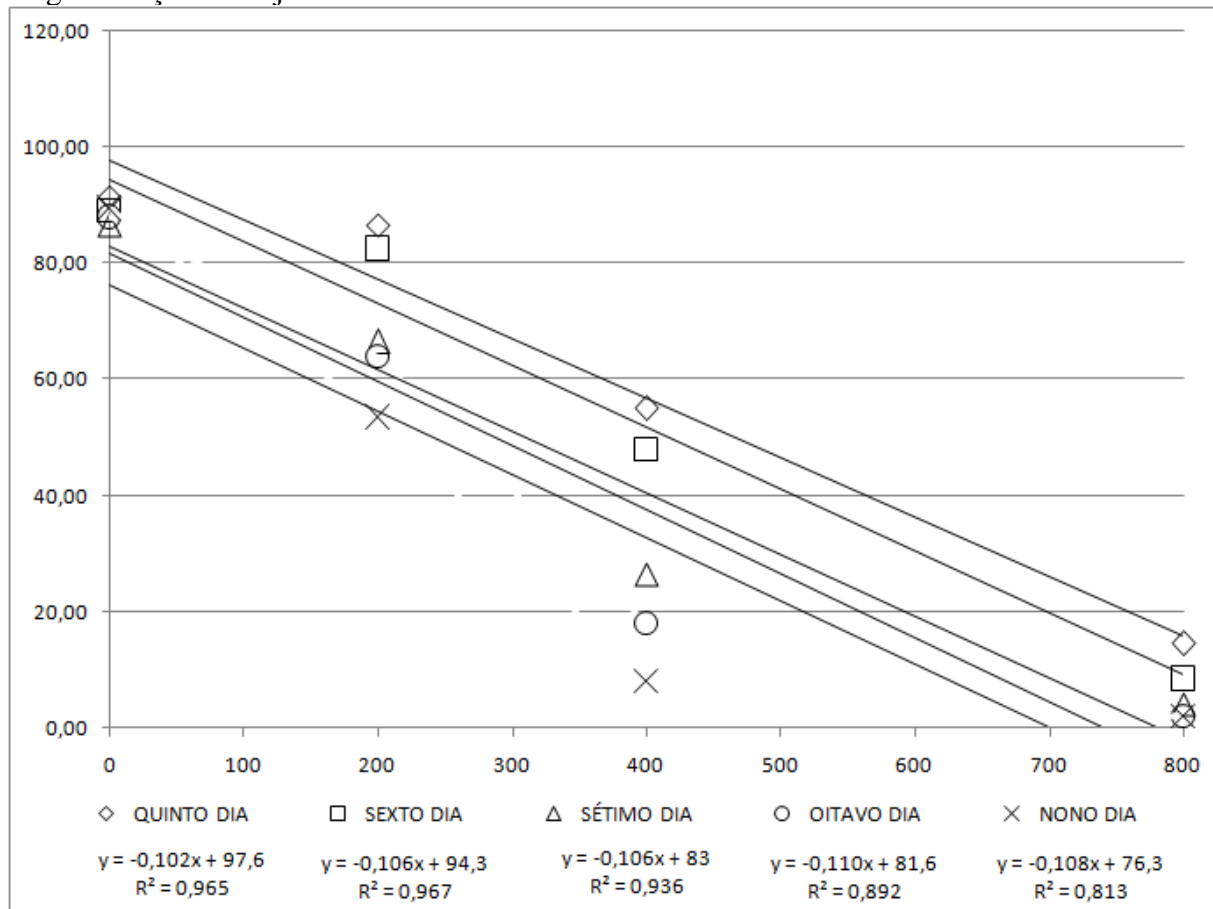
Época de avaliação (DAS <sup>1</sup> )	mg L <sup>-1</sup> de cobre								
	0	Dp	200	Dp	400	Dp	800	Dp	
QUINTO	91,50 <sup>ns</sup>	2,5981	86,50a	4,0927	55,00a	5,1962	14,50a	3,8406	
SEXTO	89,00 <sup>ns</sup>	1,7321	82,50a	5,1720	48,00a	8,1240	8,50ab	4,5552	
SÉTIMO	86,50 <sup>ns</sup>	3,2787	66,50b	5,7228	26,50b	5,3619	4,00b	2,0000	
OITAVO	88,00 <sup>ns</sup>	1,4142	64,00b	3,7417	18,00b	5,6569	2,00b	0,0000	
NONO	89,50 <sup>ns</sup>	5,7228	53,50b	3,2787	8,00b	5,0990	2,00b	0,0000	
		CV (A) = 7,3%		CV <sup>2</sup> (B) = 10,7 %					

Médias seguidas de uma mesma letra não divergem entre si, em uma mesma coluna, a 99% de confiança pelo teste de tukey.

(<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.

Figura 2. Equações lineares, referentes ao efeito das doses de cobre sobre a porcentagem (%) de germinação de feijão.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Os primeiros sintomas de toxidez do cobre nas plântulas de feijão foram observados na primeira avaliação. O cobre reduziu drasticamente a porcentagem de germinação comparado a testemunha (0 mg/L) com a maior dose do metal (800 mg/L). Na Tabela 1, notamos que quanto mais as plântulas ficavam expostas ao cobre, as mesmas vinham a necrosando, diminuindo a porcentagem de germinação com cada época de avaliação. Observando na Tabela 1 é possível notar que ao passar dos tempos a média de germinação se manteve distante entre as doses, e no último dia de análise as sementes expostas às maiores doses de cobre apresentaram um alto decréscimo em relação a testemunha.

Em um estudo com sementes de milho frente a dose de cobre, Melania-Nicoleta & Micle, (2015), utilizando concentrações entre 0 e 100 mg/L em testes de germinação similares aos deste experimento, observaram que após 7 dias algumas plantas conseguiram germinar na dose de 10 mg/L de cobre, caindo 50% com 50 mg/L e à zero com 100 mg/L, pois as sementes não germinaram.

O cobre afeta o metabolismo das plantas, interferindo na absorção de água, na síntese

de proteínas e no equilíbrio de nutrientes (Terezinha *et al.*, 2015). Esses efeitos podem levar à redução da taxa de germinação e ao crescimento anormal das plântulas.

A equação apresentada na Figura 2 é uma equação linear, o que significa que as doses de cobre apresentam efeitos decrescentes negativos à germinação do feijão. Portanto, ao aumentar a dose de cobre, podemos notar uma diminuição na % de germinação evidenciando o efeito tóxico do metal.

O índice de velocidade de germinação pode ser observado na Tabela 3.

Tabela 2. Velocidade de germinação das plântulas de feijão (média de dias).

mg L <sup>-1</sup> de cobre			
0	200	400	800
5,42 <sup>ns</sup>	5,60 <sup>ns</sup>	4,96 <sup>ns</sup>	5,11 <sup>ns</sup>

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

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

É possível observar na Tabela acima que praticamente não houve variação de dias médios para a germinação em ambos os tratamentos. Tal efeito também foi observado no estudo realizado por Mariano-da-Silva *et al.* (2022), trabalhando com semente de milho frente a diferentes concentrações de cobre. Os autores verificaram que o coeficiente de velocidade de germinação não apresentou variação ao longo do tratamento, o que condizendo com os resultados encontrados no presente estudo.

De acordo com o teste de variância, (teste de F), existe interação significativa entre os fatores dias e doses de cobre 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 cobre foram comparados dentro dos níveis do fator dias (e vice-versa), não foi possível observar efeito significativo para o fator dias dentro de cada dose de cobre. No entanto, foi possível observar efeito significativo para o fator doses de cobre dentro de cada dia, isto é, no quinto, sexto, sétimo, oitavo e nono dias, sendo que este efeito pode ser observado através das estimativas das equações lineares apresentadas na Figura 3.



Tabela 3: Comprimento radicular (cm / plântulas) mensurados durante os ensaios de germinação para feijão, em função das doses de cobre.

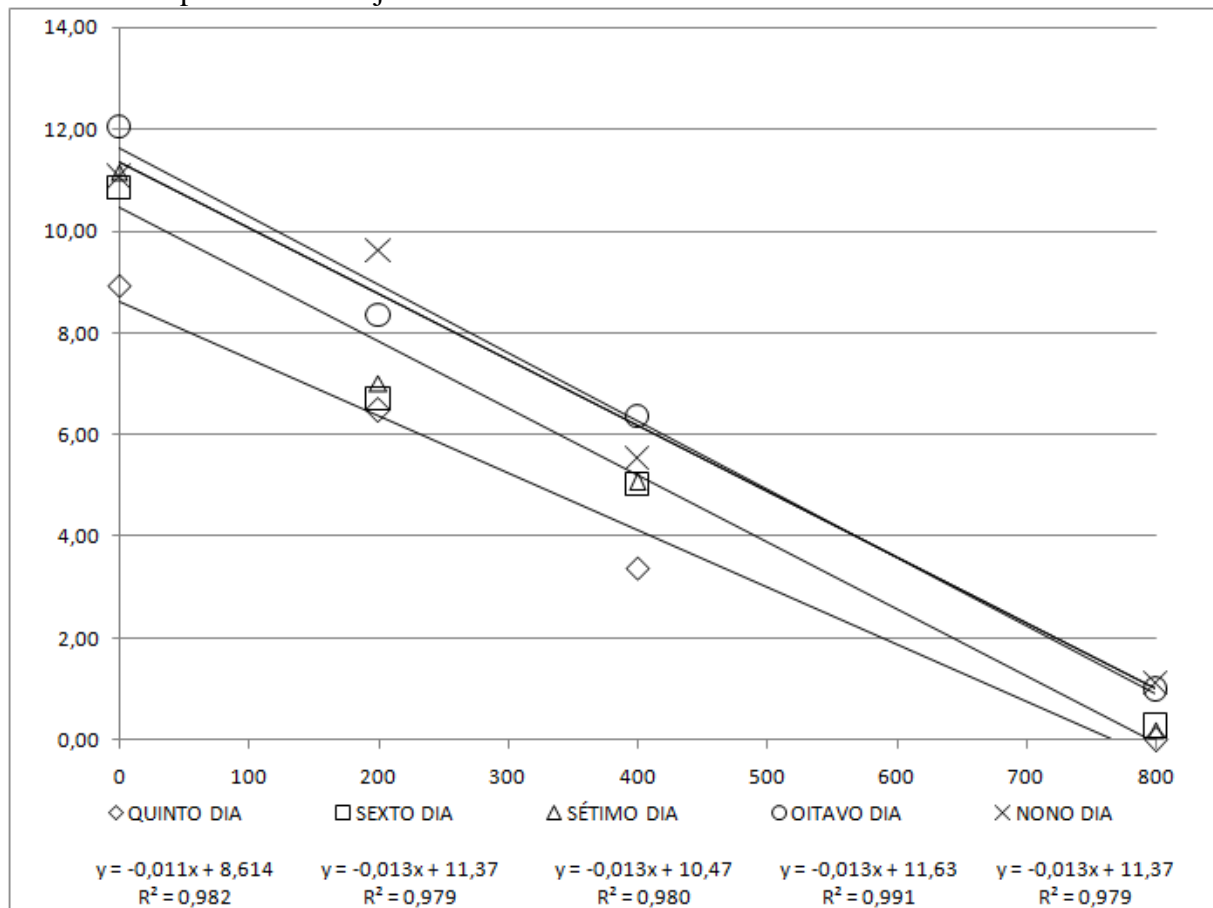
Época de avaliação (DAS <sup>1</sup> )	mg L <sup>-1</sup> de cobre							
	0	Dp	200	Dp	400	Dp	800	Dp
QUINTO	8,92 <sup>ns</sup>	2,5981	6,48 <sup>ns</sup>	4,0927	3,37 <sup>ns</sup>	5,1962	0,90 <sup>ns</sup>	3,8406
SEXTO	10,84 <sup>ns</sup>	1,7321	6,71 <sup>ns</sup>	5,1720	5,01 <sup>ns</sup>	8,1240	0,28 <sup>ns</sup>	4,5552
SÉTIMO	11,16 <sup>ns</sup>	3,2787	7,02 <sup>ns</sup>	5,7228	5,08 <sup>ns</sup>	5,3619	0,20 <sup>ns</sup>	2,0000
OITAVO	12,05 <sup>ns</sup>	1,4142	8,34 <sup>ns</sup>	3,7417	6,35 <sup>ns</sup>	5,6569	1,00 <sup>ns</sup>	0,0000
NONO	11,06 <sup>ns</sup>	5,7228	9,62 <sup>ns</sup>	3,2787	5,54 <sup>ns</sup>	5,0990	1,11 <sup>ns</sup>	0,0000

CV (A) = 21,9%    CV<sup>2</sup> (B) = 21,1 %

(<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).

Figura 3: Equações lineares, referentes ao efeito das doses de cobre sobre o comprimento radicular das plântulas de feijão.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Na Tabela 3, pode observar que o comprimento radicular do feijoeiro foi drasticamente reduzido quando submetido às doses de cobre, principalmente as doses de 400 e 800 mg/L. Já nos primeiros dias de análise foi possível detectar os sintomas de toxidez, pois as plântulas apresentaram raízes primárias pequenas e pouca ou nenhuma raiz secundária. Outros sintomas percebidos foram manchas de coloração mais escuras, com aspectos de queima das raízes nas doses mais altas.

Mariano-da-Silva *et al.* (2022), trabalhando com sementes de milho, demonstraram que a concentração de 200 mg L<sup>-1</sup> de cobre causou diminuição no tamanho das raízes das plântulas, inclusive entre a variável dias.

Melania-Nicoleta & Micle (2015) observaram que algumas plantas aumentaram seu tamanho em concentrações de cobre até 10 mg/L, porém concentrações em torno de 50 mg/L resultou condições extremas para germinação e levaram a um desenvolvimento anormal com problemas de nanismo e baixa viabilidade. Os autores observaram ainda uma maior redução no comprimento da raiz do que o tamanho da parte aérea. Provavelmente isto ocorreu porque a raiz é responsável pela absorção do cobre e reduz em dimensões tendo uma superfície de absorção menor.

Segundo Tiecher *et al.*, (2018) as raízes são fundamentais para a prevenção de teores excessivos de cobre na parte aérea, acumulando parte do metal e diminuindo sua translocação para a parte aérea da planta.

Alguns estudos mostram que, plantas cultivadas em solos com altas concentrações de metais pesados, o principal sintoma verificado é a diminuição do sistema radicular, devido principalmente à redução do índice mitótico nas regiões meristemáticas (KOPITTKKE *et al.*, (2009); LEQUEUX *et al.*, (2010). Nos resultados obtidos ficou evidente que o cobre em 200, 400 e 800 mg/L<sup>-1</sup> gerou uma redução das raízes de mais de 50% em relação à testemunha em ambos períodos de avaliação.

De acordo com o teste de variância, (teste de F), existe interação significativa entre os fatores dias e doses de cobre em relação à variável comprimento da parte aérea (Tabela 4), 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 cobre 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 cobre, sendo que a comparação de médias entre os níveis deste fator é representada na Tabela 4. Também foi possível observar efeito significativo para o fator doses de cobre dentro de cada dia, isto é, no sexto, sétimo, oitavo e nono dia, sendo que este efeito

pode ser observado através das estimativas das equações lineares apresentadas na Figura 4.

Tabela 4: Comprimento da parte aérea das plântulas de feijão (cm / plântula) mensurado durante os ensaios de germinação, em função das doses de cobre.

Época de avaliação (DAS <sup>1</sup> )	mg L <sup>-1</sup> de cobre							
	0	Dp	200	Dp	400	Dp	800	Dp
QUINTO	2,44c	0,0984	6,48 <sup>ns</sup>	0,2999	3,37 <sup>ns</sup>	0,4599	1,54 <sup>ns</sup>	0,3780
SEXTO	3,75b	0,2735	6,71 <sup>ns</sup>	0,1836	5,01 <sup>ns</sup>	0,4006	1,39 <sup>ns</sup>	1,3940
SÉTIMO	3,50b	0,3708	7,02 <sup>ns</sup>	0,1783	5,08 <sup>ns</sup>	0,2079	1,48 <sup>ns</sup>	0,2650
OITAVO	5,95a	0,3416	8,34 <sup>ns</sup>	0,5669	6,35 <sup>ns</sup>	0,3084	0,78 <sup>ns</sup>	0,7842
NONO	5,35a	0,4797	9,62 <sup>ns</sup>	0,4198	5,54 <sup>ns</sup>	0,3212	0,76 <sup>ns</sup>	1,3207

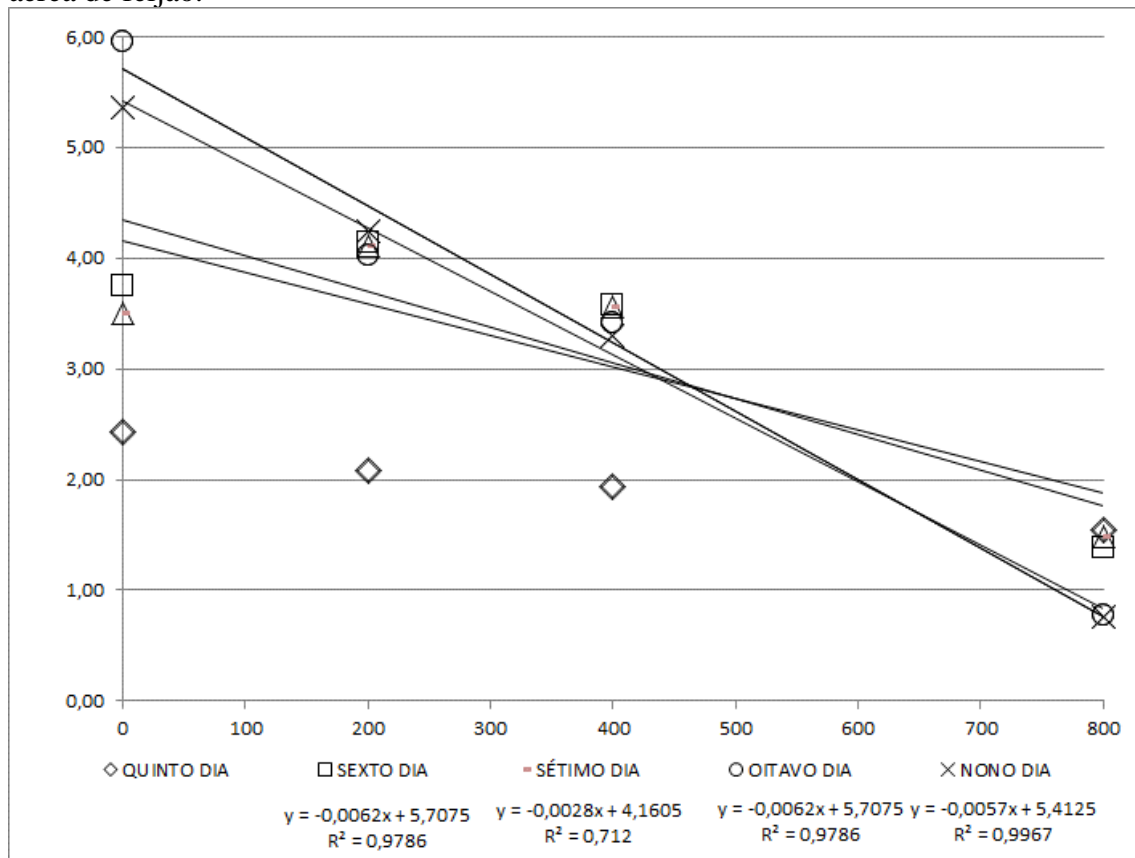
CV (A) = 11,4%    CV<sup>2</sup> (B) = 20,9 %

Médias seguidas de uma mesma letra não divergem entre si, em uma mesma coluna, a 99% de confiança pelo teste de tukey.

(<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).

Figura 4: Equações lineares, referentes ao efeito das doses de cobre sobre o tamanho da parte aérea de feijão.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Semelhante ao ocorrido no comprimento radicular, a parte aérea das plântulas de feijoeiro também foram gravemente afetadas com o aumento das doses de cobre. Na Tabela 4, é possível notar que a dose de  $800 \text{ mg/L}^{-1}$  apresentou uma redução de comprimento da parte aérea de aproximadamente 70% em relação à testemunha ( $0 \text{ mg/L}^{-1}$ ). O cobre pode afetar a capacidade das folhas de realizar a fotossíntese de forma eficiente. Isso pode levar a uma diminuição na produção de energia pelas plantas, resultando em menor crescimento e menor acúmulo de biomassa (Terezinha *et al.* 2015).

Além disso, altas concentrações de cobre inibem enzimas como as amilases, responsáveis por degradar as reservas de amido do endosperma das sementes (DAS-GUPTA & MUKHERJI, 1977).

SANDMANN & BÖGER, (1980); CISCATO *et al.*, (1997) em estudo afirmam que o excesso de cobre é conhecido por causar redução no crescimento da parte aérea, sendo que este metal pode causar distúrbios do transporte de elétrons, redução do número de cloroplastos e danos a estrutura da Membrana Tilacóides. Esses achados concordam com as observações de Chatterjee e Chatterjee (2000), que relataram efeitos semelhantes de e cobre na couve-flor.

Segundo estudo de Tiecher (2018), o excesso de metais pesados pode causar toxicidade às plantas, resultando em distúrbios que podem ser notados facilmente, como a diminuição da parte aérea. Fato esse que foi observado no presente trabalho, o qual nas doses elevadas retardou o crescimento da parte aérea.

De acordo com o teste de variância, (teste de F), existe interação significativa entre os fatores dias e doses de cobre em relação à variável matéria seca (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 cobre 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 cobre na dose  $0,0 \text{ mg L}^{-1}$ , 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 cobre dentro dos dias oitavo e nono, sendo que este efeito pode ser observado através das estimativas das equações polinomiais de grau dois apresentadas na Figura 5.

Tabela 5. Peso (g) da massa seca de plântulas de feijão com diferentes concentrações de cobre.

Época de avaliação (DAS <sup>1</sup> )	mg L <sup>-1</sup> de cobre							
	0	Dp	200	Dp	400	Dp	800	Dp
QUINTO	1,139c	1,9080	0,632 <sup>ns</sup>	2,8242	0,629 <sup>ns</sup>	11,9523	0,029 <sup>ns</sup>	0,3040
SEXTO	1,518c	3,1479	0,873 <sup>ns</sup>	4,3231	0,890 <sup>ns</sup>	2,3793	0,249 <sup>ns</sup>	0,7857
SÉTIMO	2,807c	1,9901	1,153 <sup>ns</sup>	5,0678	0,705 <sup>ns</sup>	5,1914	0,169 <sup>ns</sup>	0,8815
OITAVO	14,644b	2,0594	1,821 <sup>ns</sup>	13,7927	0,952 <sup>ns</sup>	12,8016	0,680 <sup>ns</sup>	0,9894
NONO	21,113a	3,0958	3,283 <sup>ns</sup>	6,7551	1,700 <sup>ns</sup>	11,5244	1,360 <sup>ns</sup>	1,1778

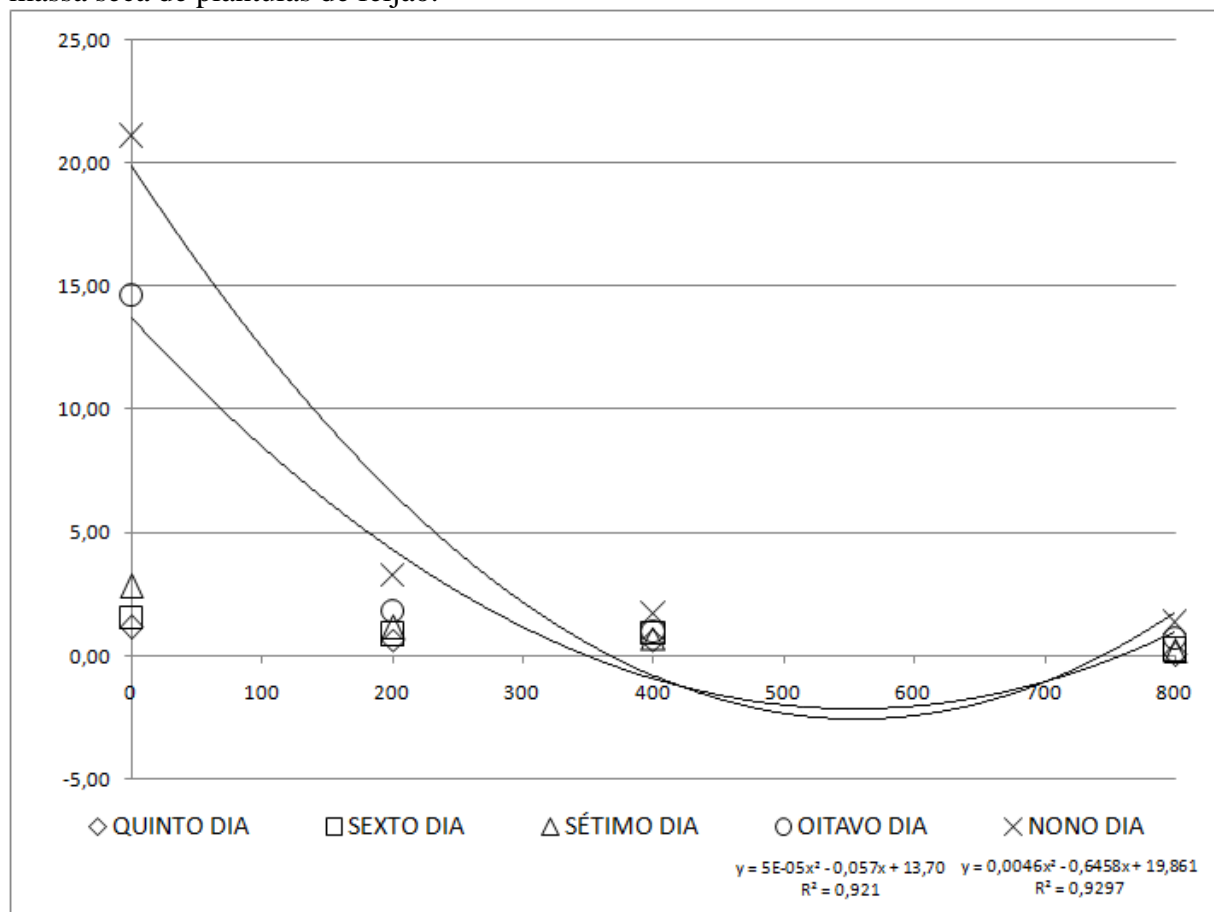
CV (A) = 12,8%    CV<sup>2</sup> (B) = 15,9 %

Médias seguidas de uma mesma letra não divergem entre si, em uma mesma coluna, a 1% de confiança.

(<sup>1</sup>) Dias após a semeadura. (<sup>2</sup>) Coeficiente de variação.

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Figura 5. Equações polinomiais, dos efeitos das concentrações de cobre em cada dia sobre a massa seca de plântulas de feijão.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Quanto à massa seca é possível observar que houve redução da mesma (Tabela 5) de acordo com as diferentes concentrações de cobre testadas. No tratamento controle se obteve os maiores índices, com um decréscimo nos tratamentos com 200mg L<sup>-1</sup>, 400 mg L<sup>-1</sup> e 800 mg L<sup>-1</sup>.

Luchese *et al.* (2004), realizando estudo com milho, observaram que a aplicação de concentrações de até  $6,0 \text{ g kg}^{-1}$  de cobre em milho não afetaram a variável massa seca das em plântulas.

Esses efeitos podem ser explicados pela alta toxicidade do metal, que foi prejudicial ao desenvolvimento das plântulas, causando redução do crescimento e, conseqüentemente, um menor peso de matéria seca.

## 6. CONCLUSÃO

Foi observado um decréscimo na porcentagem de germinação das sementes de feijão nas concentrações mais elevadas (400 e 800 mg/L), se mostrando que o cobre é um metal altamente tóxico para a planta.

Em relação aos parâmetros de avaliação de crescimento da parte aérea e da raiz, o cobre apresentou efeito de toxicidade, afetando o desenvolvimento inicial das plântulas de feijão, retardando o crescimento da parte aérea e raiz, sendo esta, a variável mais afetada pelo metal, principalmente nas dosagens de 400 e 800 mg L.

Para a variável massa seca, o tratamento com cobre, causou um decréscimo considerável nos valores obtidos, quando comparado com a testemunha

O cobre não afetou o índice de velocidade de germinação do feijão, pois não houve variação de dias médios para a germinação dos diferentes tratamentos com cobre.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

- ABREU, C. A.; ABREU, M. F. e BERTON, R. S.. **Análise química de solo para metais pesados**. In: SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. (Ed) Tópicos em Ciência do Solo. Volume 2 - 2002. Viçosa. SBCS, 2002. p. 645 - 692.
- ALLOWAY, B. J. [Editor]; **Heavy Metals in Soils**. Chapman and Hall, London, 1995.
- ARES, G.; GRANATO, D. **Mathematical And Statistical Methods in food science and technology**. Nova Jersey: John Wiley & Sons Inc, 2014. 536p.
- BASSO, Claudir José *et al.* **Teores totais de metais pesados no solo após aplicação de dejetos líquidos de suínos**. Ciência Rural, Santa Maria, v.42, n.4, p.653-659, abr, 2012
- BASSO, A. **Nutrição mineral e distribuição de cobre nas raízes de Aveia preta e videiras jovens em solo contaminado submetido à calagem**. 2015. Dissertação da Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós Graduação em Agroecossistemas. 2015. 82 p.
- BOCHICCHIO, R.; SOFO, A.; TERZANO, R.; GATTULLO, C. E.; AMATO, M.; SCOPA, A. **Root architecture and morphometric analysis of Arabidopsis Thaliana grown in Cd/Cu/Zn-gradient agardishes: A new screening technique for study in plant response to metals**. Plant Physiology and Biochemistry, v. 91, p. 20-27, Jun. 2015.
- Bezini, E., A. Abdel Guerfi, B. Nadjimi, M. Touati, B. Adli & B. Yabrir . **Revisão Científica da Agricultura**, 2019.
- BRASIL (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento). **Regras para análise de sementes**. Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2009, 399p..
- BRUN, L. A. *et al.* **Evaluation Of Copper Availability Plants in copper-contaminated vineyard soil**. Environmental Pollution, Barking, v. 111, n. 2, p. 111-293, Feb. 2001.
- Chatterjee J. e Chatterjee C., (2000). **Fitotoxicidade de cobalto, cromo e cobre em couve-flor**. Ambiente. Poluir. 109, 69-74.
- COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB. **Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo**. CETESB, São Paulo, 2016.
- CISCATO, M., R.; VALCKE, K. VAN LOVEN, H. CLIJSTER. S; NAVARI-IZZO, E.: **Effects Of in vivo copper treatment on the photosynthetic apparatus of two Triticum durum cultivar swith different stress sensitivity**. Physiol. Plant. v.100, p.901-908, 1997.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Análise Mensal: Julho de 2022**. CONAB, 2022.
- DASGUPTA, B., MUKHERJI, S.: **Effects of toxic concentrations of copper on growth and metabolism of rice seedlings**. -Zeit schrift Pflanzenphysiol.82: 95–106, 1977.



DINIZ, A. A.; CAVALCANTE, L. F.; REBEQUI, A. M.; NUNES, J.; BREHM, M. A. S. Esterco líquido bovino e uréia no crescimento e produção de biomassa do maracujazeiro amarelo. **Revista Ciência Agronômica**, v.42, n.3, p.597-604, 2011..

Farias, JG, Nunes, ST, Sausen, D., Nunes, MA, Neis, FA, Garlet, LC, Nunes, PAA, Dressler, VL, Schetinger, MRC, Rossato, LV, Giroto, E., Brunetto, G. & Nicoloso, FT 2018. **Contaminação agrícola: Efeito do excesso de cobre em parâmetros fisiológicos de genótipos de batata e segurança da cadeia alimentar. Journal Of Applied Botany And Food Quality** 91: 249-259..

FAOSTAT. Crops. Disponível em:< <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>>. Acesso em: 04 jun. 2023.

FURTADO E SILVA, J. A. M. et al. **Mitigation Of Heavy Metal Contamination in Soil via Successive Pig Slurry Application.** Soil And Sediment Contamination: An International Journal, v. 26, n. 7-8, p. 675-690, 2017

GIROTO, E. *et al.* Acúmulo e formas de cobre e zinco no solo após aplicações sucessivas de dejetos líquido de suínos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.955-965, 2010.

KABALA, C.; SINGH, B. R. Fractionation and mobility of copper, lead and zinc in soil profiles in the vicinity of a copper smelter. **Journal of Environ metal Quality**, Madison, v. 30, n. 2, p. 485-492, Mar./Apr. 2001.

KING, L. D. Soil heavy metals.In: ALVAREZ, V. H.; FONTE, L. E. T.; FONTES, M. P. H. **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado.** Viçosa: SBCS, 1996. p. 823-836. Acesso em: 10 ago. 2022.

KOPITTKE, P. M.; ASHER, C. J.; BLAMEY, F. P. C.; MENZIES, N. W. 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, n. 16, p. 4616–4621, Aug. 2009.

LEQUEUX, H.; HERMANS, C.; LUTTS, S.; VERBRUGGEN, N. 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, Aug. 2010.

LUCHESE et al. **Emergência e absorção de cobre por plantas de milho (*Zea mays*) em resposta ao tratamento de sementes com cobre. Ciência Rural**, v.34, n.6, nov-dez, 2004

Marques, DM, Júnior, VV, Silva, AB, Mantovani, JR, Magalhães, PC & Souza, TC 2018. **Toxicidade do cobre nas respostas fotossintéticas e morfologia radicular de *Hymenaea Courbaril* L. (Caesalpinioideae).** *Poluição do Solo da Água* 229: 138. Acesso em: 10 ago. 2022.

MARIANO-da-SILVA, S.; *et al.* **Seed germination and seedling growth of zea may result in various concentrations of copper.** Journal of Agricultural Sciences Research. v. 2, n. 13, 2022. 9p

MELANIA-NICOLETA, B.; MICLE, V. **EFFECTS OF COPPER-INDUCED STRESS ON SEED GERMINATION OF MAIZE (ZEA MAYS L.).** 3. ed. Cluj-Napoca: Agriculture - Science And Practice, (95-96)/2015.

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) - Curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

MATTIAS, J.L. *et al.* Copper, zinc and manganese in soils two watersheds in Santa Catarina with intensive use of pig slurry. **Revista Brasileira de Ciências dos Solos**, v.34, p.445-1454, 2010.

MARTINS, S. C. Adsorção e dessorção de cobre em solos sob aplicação de lodo de esgoto e calda bordalesa. 2005. 99 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005..

MICHAUD, A. M. *et al.* Copper uptake and phytotoxicity as assessed in situ for durum wheat (*Triticum turgidum durum L.*) cultivated in Cu contaminated, former iney ard soils. **Plant and Soil**, The Hague, v. 298, n. 1/2, p. 99-111, Sept. 2007.

McBRIDE, M.B. Molybdenum, sulfur, and other trace elements in farm soil sand forages after sewage sludge application. **Commun Soil Sci Plant Anal.** 2004; 35:517–350.

MIRLEAN, N.; ROISENBERG, A.; CHIESB, J.O. Metal contamination of vineyard soils in wet subtropics (southern Brazil). **Environmental Pollution**, Oxford, v. 149, n. 1, p. 10-17, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2006.12.024>.

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

QUARTA CCI, M. F. *et al.* Growth in excess copper induces changes in the lipid composition fluidity of PSII-enriched membranes in wheat. *Physiologia Plantarum*, **Copenhagem**, v. 108, n. 1, p. 87-93, Jan. 2000.

SÁ, M. E.; OLIVEIRA, S. A.; BERTOLIN, D. C. **Roteiro prático da disciplina de produção e tecnologia de sementes: análise da qualidade de sementes.** Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 2011.

SANTOS, J. B.; GAVILANES, M. L. Botânica. In: VIEIRA, C.; PAULA JÚNIOR, T. J.; BOREM, A. (Org.). Feijão. 2. ed. Viçosa: UFV. 2006. p. 41-65.

SANTOS, H. P. *et al.* **Comportamento fisiológicos de plantas de aveia (Avena strigosa) em solos com excesso de cobre.** Bento Gonçalves: Embrapa, 2004. 11 p. (Comunicado Técnico, 49).

Sethy, SK & Ghosh, S. 2013. **Efeito de metais pesados na germinação de sementes**. *Jornal de Ciências Naturais, Biologia e Medicina* 4: 272.

SPOSITO, G. **The chemistry of soils**. New York: Oxford University Press, 2008. 277 p.

SANDMANN, G.; BOGER, P. Copper Mediated Lipid Peroxidation processes in photosynthetic membranes. *Plant Physiol.* v.66, p.797-800 1980

TIECHER, T.L. *et al.* The interaction of high copper and zinc doses in acid soil changes the physiological state and development of the root system in young grapevines (*Vitis Vinifera*). *Ecotoxicol Environ Saf*, v. 148, p. 985-994, 2018.

TEREZINHA, Maria; VIANA, Ana; RANDI, Áurea. *Fisiologia vegetal*: Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2015. 182p

TILLER, K.G. Heavy metals in soils and their environmental significance. In: B. A. Steward (ed.). **Advances in Soil Science**. Vol. 9. Springer-Verlag, New York. p. 113-142, 1989.

TOSELLI, M.; BALDI, E.; MARCOLINI, G.; MALAGUTI, D.; QUARTIERI, M.; SORRENTI, G.; MARANGONI, B. **Response of potted grapevines creasing soil copper concentration**. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, v. 15, n. 1, p. 85-92, Feb. 2009.

VIEIRA, C. **Cultura do feijão**. 2. ed. Viçosa, MG: UFV, 146 p, 2006

West RC (1984). **Manual de química e física do CRC**, 64<sup>a</sup> ed. Boca Raton, CRC Press.

YANG, Y.; SUN, C.; YAO, Y.; ZHANG, Y.; ACHAL, V. **Growth and physiological responses of grape (*Vitis Vinifera* *Acta Physiologiae Plantarum***, v. 33, n. 4, p. 1483-1491, July 2011.

ZORTÉA, T.; TESTA, M.; SILVA, A. W. L. DA; BARETTA, D. Toxicidade do cobre em função da correção do pH em dois solos naturais – Uma abordagem com plantas e organismos edáficos. **Revista Scientia Agrária**. Versão On-line ISSN 1983-2443 Versão Impressa ISSN 1519-1125 SA vol. 17 n° 1 Curitiba jan/mar. 2016 p. 1-9.

Zimmerman, F. J. P. **Estatística aplicada à pesquisa agrícola**. Santo Antônio de Goiás: EMBRAPA Arroz e Feijão, 2004, 402p.

**APÊNDICE A –  
Quadro de análise de variância (% de germinação)**

## ANÁLISE DE VARIÂNCIA COM APLICAÇÃO DO TESTE DE F

CAUSA DA VARIACÃO	GL	SQ	QM	F(cal)	F(tab)	
BLOCOS	3	46,000				
DOSES	3	84213,200	28071,1	2148,30	6,99	F(0,01;3;9)
RESÍDUO (A)	9	156,800	13,067			
PARCELAS	15	84416,000				
DIAS	4	6254,300	1563,575	62,58	3,75	F(0,01;4;48)
DOSES X DIAS	12	3579,300	298,275	11,94	2,58	F(0,01;12;48)
RESIDUO B	48	1199,200	24,983			
TOTAL	79	95448,800				

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

CAUSA DA VARIACÃO	GL	SQ	QM	F(cal)	F(tab)	
BLOCOS	3					
DIAS	4					
RESIDUO (A)	9					
(PARCELAS)	15					
DOSES d. QUINTO DIA	3	15102,750	5034,250	201,50	3,75	F(0,01;4;48)
DOSES d. SEXTO DIA	3	16430,000	5476,667	219,21	3,75	F(0,01;4;48)
DOSES d. SÉTIMO DIA	3	16818,750	5606,250	224,40	3,75	F(0,01;4;48)
DOSES d. OITAVO DIA	3	19088,000	6362,667	254,68	3,75	F(0,01;4;48)
DOSES d. NONO DIA	3	20353,000	6784,333	271,55	3,75	F(0,01;4;48)
RESIDUO(B)	48	1199,200	24,983			
TOTAL	79					

## 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					
DOSES	3					
RESÍDUO B	48					
(SUBPARCELA)	54					
DIAS(DOSE ZERO)	4	54,800	13,700	1,05	6,99	F(0,01;3;9)
DIAS(DOSE 200)	4	2988,800	747,200	57,18	6,99	F(0,01;3;9)
DIAS(DOSE400)	4	6332,800	1583,200	121,16	6,99	F(0,01;3;9)
DIAS(DOSE 800)	4	457,200	114,300	8,75	6,99	F(0,01;3;9)
RESIDUO A	9	156,800	13,067			
TOTAL	79	79,000				

**APÊNDICE B**  
**Quadro de análise de variância (comprimento radicular)**

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

CAUSA DA VARIACÃO	GL	SQ	QM	F(cal)	F(tab)	
BLOCOS	3	7,983				
DOSES	3	1133,388	377,8	217,65	6,99	F(0,01;3;9)
RESÍDUO (A)	9	20,830	1,736			
PARCELAS	15	1162,201				
DIAS	4	54,135	13,534	9,25	3,75	F(0,01;4;48)
DOSES X DIAS	12	180,161	10,513	10,03	2,58	F(0,01;12;48)
RESIDUO B	48	70,201	1,463			
TOTAL	79	1304,698				

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

CAUSA DA VARIACÃO	GL	SQ	QM	F(cal)	F(tab)	
BLOCOS	3					
DIAS	4					
RESIDUO (A)	9					
(PARCELAS)	15					
DOSES d. QUINTO DIA	3	179,186	59,729	40,84	3,75	F(0,01;4;48)
DOSES d. SEXTO DIA	3	229,364	76,455	52,28	3,75	F(0,01;4;48)
DOSES d. SÉTIMO DIA	3	248,076	82,692	56,54	3,75	F(0,01;4;48)
DOSES d. OITAVO DIA	3	254,770	84,923	58,07	3,75	F(0,01;4;48)
DOSES d. NONO DIA	3	240,152	80,051	54,73	3,75	F(0,01;4;48)
RESIDUO(B)	48	70,201	1,463			
TOTAL	79					

**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					
DOSES	3					
RESÍDUO B	48					
(SUBPARCELA)	54					
DIAS(DOSE ZERO)	4	21,211	5,303	3,05	6,99	F(0,01;3;9)
DIAS(DOSE 200)	4	28,042	7,010	4,04	6,99	F(0,01;3;9)
DIAS(DOSE400)	4	18,986	4,747	2,73	6,99	F(0,01;3;9)
DIAS(DOSE 800)	4	4,057	1,014	0,58	6,99	F(0,01;3;9)
RESIDUO A	9	20,830	1,736			
TOTAL	79	79,000				

**APÊNDICE C**  
**Quadros de análise de variância (comp da parte aérea)**

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

CAUSA DA VARIACÃO	GL	SQ	QM	F(cal)	F(tab)	
BLOCOS	3	1,279				
DOSES	3	104,615	34,9	285,67	6,99	F(0,01;3;9)
RESÍDUO (A)	9	1,465	0,122			
PARCELAS	15	107,358				
DIAS	4	24,282	6,071	14,84	3,75	F(0,01;4;48)
DOSES X DIAS	12	32,096	2,675	6,54	2,58	F(0,01;12;48)
RESIDUO B	48	19,633	0,409			
TOTAL	79	183,369				

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

CAUSA DA VARIACÃO	GL	SQ	QM	F(cal)	F(tab)	
BLOCOS	3					
DIAS	4					
RESIDUO (A)	9					
(PARCELAS)	15					
DOSES d. QUINTO DIA	3	1,652	0,551	1,35	3,75	F(0,01;4;48)
DOSES d. SEXTO DIA	3	18,365	6,122	14,97	3,75	F(0,01;4;48)
DOSES d. SÉTIMO DIA	3	15,967	5,322	13,01	3,75	F(0,01;4;48)
DOSES d. OITAVO DIA	3	54,802	18,267	44,66	3,75	F(0,01;4;48)
DOSES d. NONO DIA	3	45,924	15,308	37,43	3,75	F(0,01;4;48)
RESIDUO(B)	48	19,633	0,409			
TOTAL	79					

**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					
DOSES	3					
RESÍDUO B	48					
(SUBPARCELA)	54					
DIAS(DOSE ZERO)	4	32,833	8,208	67,24	6,99	F(0,01;3;9)
DIAS(DOSE 200)	4	13,427	3,357	27,50	6,99	F(0,01;3;9)
DIAS(DOSE400)	4	7,714	1,928	15,80	6,99	F(0,01;3;9)
DIAS(DOSE 800)	4	2,404	0,601	4,92	6,99	F(0,01;3;9)
RESIDUO A	9	1,465	0,122			
TOTAL	79	79,000				

**APÊNDICE D**  
**Quadros de análise de variância (matéria seca)**

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

CAUSA DA VARIACÃO	GL	SQ	QM	F(cal)	F(tab)	
BLOCOS	3	19,819				
DOSES	3	244,287	81,4	15,60	6,99	F(0,01;3;9)
RESÍDUO (A)	9	62,649	5,221			
PARCELAS	15	326,755				
DIAS	4	160,699	40,175	4,94	3,75	F(0,01;4;48)
DOSES X DIAS	12	349,198	29,100	3,58	2,58	F(0,01;12;48)
RESIDUO B	48	390,383	8,133			
TOTAL	79	1227,035				

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

CAUSA DA VARIACÃO	GL	SQ	QM	F(cal)	F(tab)	
BLOCOS	3					
DIAS	4					
RESÍDUO (A)	9					
(PARCELAS)	15					
DOSES d. QUINTO DIA	3	2,475	0,825	0,10	3,75	F(0,01;4;48)
DOSES d. SEXTO DIA	3	3,220	1,073	0,13	3,75	F(0,01;4;48)
DOSES d. SÉTIMO DIA	3	15,562	5,187	0,64	3,75	F(0,01;4;48)
DOSES d. OITAVO DIA	3	23,201	7,734	0,95	3,75	F(0,01;4;48)
DOSES d. NONO DIA	3	549,027	183,009	22,50	3,75	F(0,01;4;48)
RESIDUO(B)	48	390,383	8,133			
TOTAL	79					

**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					
DOSES	3					
RESÍDUO B	48					
(SUBPARCELA)	54					
DIAS(DOSE ZERO)	4	504,407	126,102	24,15	6,99	F(0,01;3;9)
DIAS(DOSE 200)	4	3,167	0,792	0,15	6,99	F(0,01;3;9)
DIAS(DOSE400)	4	0,583	0,146	0,03	6,99	F(0,01;3;9)
DIAS(DOSE 800)	4	1,740	0,435	0,08	6,99	F(0,01;3;9)
RESIDUO A	9	62,649	5,221			
TOTAL	79					