UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL – UFFS
CAMPUS CHAPECÓ – SC

CURSO DE AGRONOMIA

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

EFEITOS DO CHUMBO SOBRE A GERMINAÇÃO DE SEMENTES E CRESCIMENTO INICIAL DE PLÂNTULAS DE TRIGO (*Triticum* spp var ORS Senna)

ACADÊMICO: ANDRÉ CHAGAS NASCIMENTO
ORIENTADOR Prof.: Dr. Samuel Mariano Gislon da Silva

CHAPECÓ- 2024

ANDRÉ CHAGAS NASCIMENTO

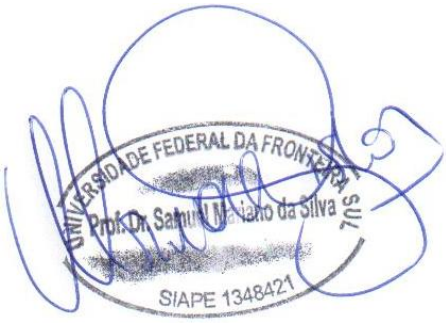
EFEITOS DO CHUMBO SOBRE A GERMINAÇÃO DE SEMENTES E CRESCIMENTO INICIAL DE PLÂNTULAS DE TRIGO (*Triticum* spp var ORS Senna)

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado como requisito para obtenção de grau de Bacharel em Agronomia da Universidade Federal da Fronteira Sul.

Orientador: Prof. Dr. Samuel Mariano Gislon da Silva

Este trabalho de conclusão de curso foi defendido e Aprovado pela banca em: 27/11/2024

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr SAMUEL MARIANO GISLON DA SILVA – UFFS

Documento assinado digitalmente
gov.br
JAMES LUIZ BERTO
Data: 27/11/2024 19:24:36-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. Dr. JAMES LUIZ BERTO – UFFS

Documento assinado digitalmente
gov.br
JORGE LUIS MATTIAS
Data: 28/11/2024 10:48:27-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. Dr. JORGE LUIS MATTIAS – UFFS

Bibliotecas da Universidade Federal da Fronteira Sul - UFFS

Nascimento, André Chagas do
Efeitos do chumbo sobre a germinação de sementes e crescimento inicial de plântulas de trigo (Triticum spp var ORS Senna) / André Chagas do Nascimento. -- 2024.
19 f.:il.

Orientador: Doutor em Agronomia Samuel Mariano Gislon da Silva

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal da Fronteira Sul, Curso de Bacharelado em Agronomia, Chapecó,SC, 2024.

1. Metais Pesados. 2. Toxicidade. 3. Trigo. 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).

SUMÁRIO

RESUMO..... 04

ABSTRACT..... 04

INTRODUÇÃO..... 05

MATERIAIS E MÉTODOS..... 07

RESULTADOS E DISCUSSÃO..... 08

FIGURA 1: Equação polinomial de segundo grau (quadrática) referente à taxa de germinação (% plântulas normais), de sementes de trigo (*Triticum* spp var ORS Senna) tratadas com diferentes doses de chumbo..... 09

TABELA 1. Taxa de germinação (% plântulas anormais), de sementes de trigo (*Triticum* spp var ORS Senna) tratadas com diferentes doses de chumbo..... 09

FIGURA 2: Equação polinomial de segundo grau (quadrática) referente à taxa de sementes duras ou mortas (%), de sementes de trigo (*Triticum* spp var ORS Senna) tratadas com diferentes doses de chumbo..... 10

FIGURA 3: Equação polinomial de segundo grau (quadrática) referente ao comprimento de raízes (cm plântula^{-1}), de plântulas de trigo (*Triticum* spp var ORS Senna) tratadas com diferentes doses de chumbo..... 11

FIGURA 4: Equações polinomiais de segundo grau referentes ao comprimento da parte aérea (cm plântula^{-1}) de sementes de trigo (*Triticum* spp var ORS Senna) tratadas com diferentes doses de chumbo..... 13

CONCLUSÕES..... 14

REFERÊNCIAS..... 14

APÊNDICES..... 18

RESUMO

EFEITOS DO CHUMBO SOBRE A GERMINAÇÃO DE SEMENTES E CRESCIMENTO INICIAL DE PLÂNTULAS DE TRIGO (*Triticum* spp var ORS Senna) - O estudo sobre a germinação de sementes e o crescimento de plântulas de trigo em solos contaminados com chumbo é uma temática que integra fatores ambientais, econômicos e sociais, sendo particularmente relevante em regiões onde a presença de metais pesados compromete a sustentabilidade agrícola. Neste contexto, este trabalho avalia os efeitos de diferentes concentrações de chumbo em relação a germinação de sementes e desenvolvimento de plântulas de trigo. O experimento foi conduzido no laboratório de Sementes e Grãos situado na Universidade Federal da Fronteira Sul *campus* Chapecó, com sementes de trigo da variedade ORS Senna. O ensaio foi conduzido em delineamento experimental inteiramente casualizado e 4 repetições. Para tal as sementes foram divididas em 4 lotes de 8 repetições de 50 sementes e cada repetição semeada em substrato de papel para germinação ,de sementes previamente umedecido com o volume de água destilada corresponde a 2,5 vezes o peso do papel. A água utilizada para a embebição dos 4 lotes foi acrescida diferentes concentrações de acetato de chumbo de maneira que as concentração finais de chumbo fossem 0,0, 200,0, 400,0 e 600,0 mg L^{-1}, gerando quatro diferentes tratamentos .Os rolos de papel foram mantidas em germinadores ,em temperatura constante de 25±2ºC e fotoperíodo constante de 24 horas. A avaliação do crescimento foi realizada no quarto e no sétimo dia após a semeadura, sendo contabilizadas as plântulas normais, anormais e sementes mortas. Com auxilio de uma régua milimétrica, foi mensurado o comprimento da raiz primária e o comprimento da parte aérea. A análise de variância (teste de F a 5 %) com uso de regressão quadrática (grau 2) foi utilizada para analisar as variáveis Diante dos resultados obtidos, é possível concluir que o chumbo ocasionou redução na viabilidade das sementes de trigo, afetando as variáveis taxa de germinação, sementes duras e mortas, tamanho da raiz e tamanho da parte aérea.
Palavras chave: toxicidade; metais pesados; plântulas de trigo.

ABSTRACT

EFFECTS OF LEAD (Pb) ON SEED GERMINATION AND INITIAL GROWTH OF WHEAT (*Triticum* spp var ORS Senna) SEEDLINGS - The study of seed germination and seedling growth of wheat in soils contaminated with lead encompasses environmental, economic, and social factors, making it particularly relevant in regions where the presence of heavy metals compromises agricultural sustainability. In this context, the present work evaluates the effects of different lead concentrations on the germination of seeds and the development of wheat seedlings. The experiment was conducted in the Seed and Grain Laboratory at the Federal University of the Southern Frontier, Chapecó campus, using wheat seeds of the ORS Senna variety. A randomized experimental design was used with four repetitions. The seeds were divided into four batches with eight repetitions of 50 seeds each, and each repetition was sown on a germination paper substrate, previously moistened with distilled water in a volume equivalent to 2.5 times the weight of the paper. The water used for soaking the four batches was supplemented with different concentrations of lead acetate, resulting in final lead concentrations of 0.0, 200.0, 400.0, and 600.0 mg L^{-1}, generating four different treatments. The paper rolls were kept in germinators at a constant temperature of 25±2ºC and a constant photoperiod of 24 hours. Growth assessment was conducted on the fourth and seventh days after sowing, counting normal, abnormal seedlings, and dead seeds. The primary root length and the shoot length were measured using a millimeter ruler. An analysis of variance (F-test at 5%) with quadratic regression (2nd degree) was employed to analyze the variables. Based on the obtained results, it is possible to conclude that lead reduced the viability of wheat seeds, affecting variables such as germination rate, hard and dead seeds, root length, and shoot length.
Keywords: toxicity; heavy metals; wheat seedlings.

INTRODUÇÃO

O trigo é um dos cereais mais consumidos no mundo, sendo essencial na produção de alimentos como pães, massas e bolos, itens que fazem parte da dieta diária da maioria dos brasileiros (Brasil, 2015). A Companhia Nacional de Abastecimento revisou os números referentes à área produtiva para a safra 2024/25. A estimativa é que sejam plantados 3.264,7 mil hectares, com uma produtividade de 2.937 kg/ha, resultando em uma colheita de 9.587,9 mil toneladas (Conab, 2024).

No Brasil, o trigo é uma cultura de grande relevância econômica e alimentar. Embora o país não seja autossuficiente, a cadeia produtiva do trigo envolve um extenso processo, que vai desde a produção de insumos até a transformação e distribuição para o consumo final. No entanto, o setor enfrenta desafios comerciais significativos (Conab, 2024).

Os produtores brasileiros, por exemplo, enfrentam dificuldades para competir com os produtores argentinos devido à falta de vantagens comparativas (Brum & Muller, 2008). Historicamente, a Argentina ocupa uma posição de destaque no mercado internacional de trigo, sendo reconhecida como um dos principais exportadores, com padrões tradicionais de comercialização que consolidam sua presença global (Patricia & Georges, 2013).

O estudo sobre a germinação de sementes e o crescimento da parte aérea e raiz de plântulas de trigo (*Triticum* spp.) em solos contaminados com chumbo é uma temática que integra fatores ambientais, econômicos e sociais, sendo particularmente relevante em regiões onde a presença de metais pesados compromete a sustentabilidade agrícola. O chumbo (Pb), um metal amplamente estudado devido à sua toxicidade, é um dos elementos mais comuns em contaminações ambientais, possuindo propriedades acumulativas e resistência à degradação, o que amplia seu impacto no ambiente e na biota (Silva & Lima, 2019). Uma das características mais preocupantes do chumbo é sua capacidade de se fixar no solo, onde pode ser absorvido pelas plantas, afetando processos fundamentais, como a germinação de sementes e o desenvolvimento inicial de culturas economicamente importantes, como o trigo (Gonçalves et al., 2021).

A presença de chumbo no solo é resultado de uma série de atividades antrópicas, incluindo indústrias, mineração, atividades urbanas, o uso de fertilizantes e resíduos de origem agropecuária. Além disso outras fontes também contribuem para o acúmulo de chumbo no solo como o uso de defensivos agrícolas, a combustão de combustíveis fósseis e a deposição de poeiras industriais são fatores adicionais que intensificam a contaminação ambiental (Almeida & Souza, 2021; Carvalho & Silva, 2022; CONAB, 2023). Dessa forma, o chumbo se incorpora ao ecossistema agrícola, afetando diretamente a saúde do solo e,

consequentemente, das culturas que dele dependem.

A semente de trigo, elemento central para a viabilidade da produção, é sensível às condições do solo e, consequentemente, à presença de contaminantes. Em solos com níveis elevados de chumbo, a toxicidade afeta a taxa de germinação, o vigor das plântulas e o desenvolvimento das raízes, comprometendo a produtividade da cultura (Pereira & Lopes, 2020). Segundo Gonçalves et al. (2021), a presença de metais pesados pode interferir em processos fisiológicos essenciais nas plantas, uma vez que esses elementos, ao serem absorvidos, desencadeiam alterações em processos bioquímicos, afetando desde a respiração celular até a fotossíntese. Isso destaca a importância de compreender o impacto desses metais no desenvolvimento inicial do trigo, a fim de identificar limites de tolerância e adotar práticas de manejo que minimizem o risco de contaminação.

Esse contexto exige que a produção de trigo no Brasil, fundamental para a segurança alimentar nacional, seja investigada sob a perspectiva da contaminação por metais pesados, avaliando como a toxicidade do chumbo afeta o desenvolvimento de uma cultura tão essencial. Com a expansão da área cultivada em regiões com possíveis focos de contaminação, torna-se crucial analisar a resposta das plântulas de trigo em solos contaminados, para garantir a sustentabilidade da produção sem comprometer a qualidade do solo e da água (Silva & Lima, 2019).

Dessa forma, esta pesquisa tem como objetivo demonstrar que a presença de chumbo afeta o desenvolvimento inicial do trigo, evidenciando sua toxicidade a partir de diferentes concentrações de exposição. O estudo se baseia nas concepções apresentadas por autores como Gonçalves et al. (2021) e Silva & Lima (2019), que discutem a dinâmica dos metais pesados no solo e sua interferência na agricultura.

Embora exista um número considerável de investigações sobre os efeitos citotóxicos e os mecanismos de estresse causados pelos metais pesados nos sistemas biológicos, os dados sobre os efeitos desse metal na germinação das plantas cultivadas ainda são escassos e pouco esclarecedores. Ainda é necessário elucidar diversos aspectos metabólicos, o que justifica a utilização dessas plantas e dos metais para aprofundar os conhecimentos existentes sobre o tema até o momento.

MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento utilizou sementes de trigo (*Triticum* spp var ORS Senna) adquiridas no mês de outubro de 2024, na Cooperativa Regional Itaipu, localizada na cidade de Pinhalzinho, no estado de Santa Catarina. Segundo as informações do lote adquirido, as sementes

apresentavam uma taxa de germinação de 99,99% e 97,7% de pureza. Inicialmente, as sementes foram colocadas em câmara BOD a 6±2ºC por 7 dias (Brasil, 2009). O experimento foi conduzido no laboratório de Sementes e Grãos situado na Universidade Federal da Fronteira Sul *campus* Chapecó. O ensaio foi realizado sob delineamento experimental inteiramente casualizado com 4 repetições (Pimentel-Gomes, 2007). Para tal, as sementes foram divididas em 4 lotes de 8 repetições de 50 sementes e cada repetição semeada entre duas folhas de substrato de papel J. Prolab® (Brasil, 2009) previamente umedecidas com um volume de água correspondente a 2,5 vezes seu peso (Brasil, 2009; Sá *et al.*, 2011).A água utilizada para a embebição dos 4 lotes foi acrescida de diferentes concentrações de acetato de chumbo ($Pb(C_2H_3O_4)_2$), de maneiras que as concentrações finais de chumbo fossem 0,0, 200,0, 400,0 e 600,0 mg L^{-1}, gerando quatro diferentes tratamentos. Os rolos de papel foram mantidos em germinadores (ELETROlab®, modelo 202/4) à temperatura de 25±2ºC 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 quarto e oitavo dias após a semeadura. A avaliação das plântulas normais, anormais e não germinadas foi realizada quantificando as plântulas e convertendo os dados para porcentagem (Brasil, 2009; Sá et al, 2011). A avaliação do crescimento foi realizada com o auxílio de uma régua milimétrica, mensurando o comprimento da raiz primária e o comprimento da parte aérea e os resultados médios expressos em cm plântula^{-1} (Brasil, 2009; Sá et al, 2011). Como foi constatada dependência entre os tratamentos (doses de chumbo), a análise de variância com uso de regressão (teste de F a 5 %) foi utilizada para analisar as variáveis (Pimentel-Gomes, 2007; Nogueira, 1997). Todas as análises estatísticas foram realizadas utilizando o programa Microssoft Excel ®.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em relação às variáveis taxa de germinação plântulas normais, taxa de sementes mortas ou duras, tamanho da raiz e tamanho da parte aérea, embora os modelos linear e quadrático sejam significantes, o modelo de regressão de segundo grau quadrática é considerado o melhor ou mais adequado para descrever a relação entre as variáveis, pois ele pode capturar mais complexidade ou curvaturas na relação entre as variáveis, em comparação com o modelo linear.

Desta maneira, de acordo com o teste de variância, (teste de F), foi possível observar significância para a regressão de primeiro grau e para a regressão de segundo grau para a variável taxa de germinação, considerando-se significativa a regressão de maior grau

(Apêndice A). A Figura 1 ilustra a relação entre as doses de chumbo (mg L^{-1}) e a variável taxa de germinação.

Observando a equação da regressão, é possível constatar que a_2 não é significativamente diferente de zero (0,0003), demonstrando que não existe uma relação curvilínea entre taxa de germinação (plântulas normais) e concentrações de chumbo. Isto demonstra que após a concentração crítica de chumbo, a taxa de germinação (plântulas normais) não vai aumentar.

O R^2 é elevado (0,9999), indicando que a regressão explica a variação observada nos dados. O vértice da parábola é igual à dose de 465,83 mg L^{-1} de chumbo, indicando que esta é a concentração crítica.

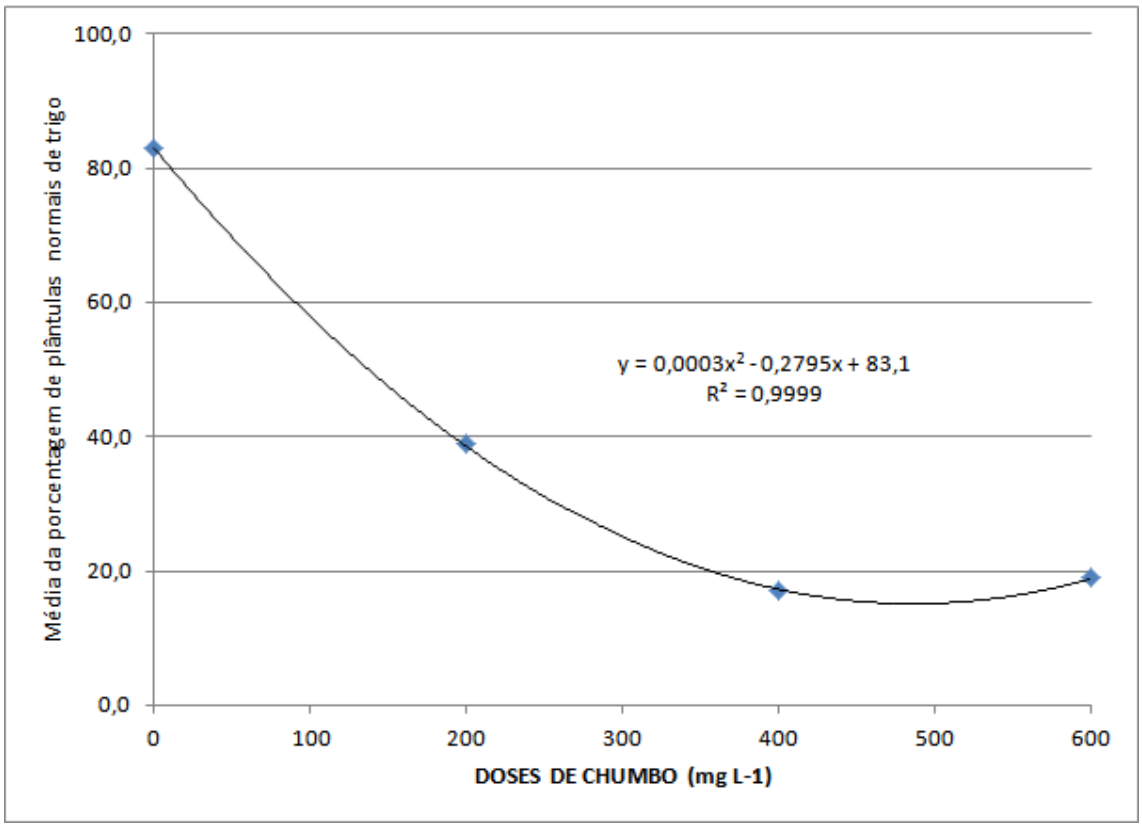


Figura 1: Equação polinomial de segundo grau (quadrática) referente à taxa de germinação (% plântulas normais), de sementes de trigo (*Triticum* spp var ORS Senna) tratadas com diferentes doses de chumbo.
Fonte: elaborado pelo autor, 2022

De acordo com o teste de variância, (teste de F), não foi possível observar significância para a regressão de primeiro grau e para a regressão de segundo grau para a variável taxa de sementes anormais (Apêndice B). As taxas de germinação (% plântulas anormais) podem ser observadas na Tabela 1.

De acordo com o teste de variância, (teste de F), foi possível observar significância para a regressão de primeiro grau e para a regressão de segundo grau para a variável sementes

duras ou mortas, considerando-se significativa a regressão de maior grau (Apêndice C). A Figura 2 ilustra a relação entre as doses de chumbo (mg L^{-1}) e a variável % de sementes duras e mortas.

Tabela 1. Taxa de germinação (% plântulas anormais), de sementes de trigo (*Triticum* spp var ORS Senna) tratadas com diferentes doses de chumbo.

..Taxa de Germinação (% plântulas anormais)				
TRATAMENTO	DOSES DE CHUMBO (g L^{-1})			
	0,0g	200	400	600
	9,5	8,0	13,0	8,0
CV = 15,865%				

Fonte: O autor, 2024.

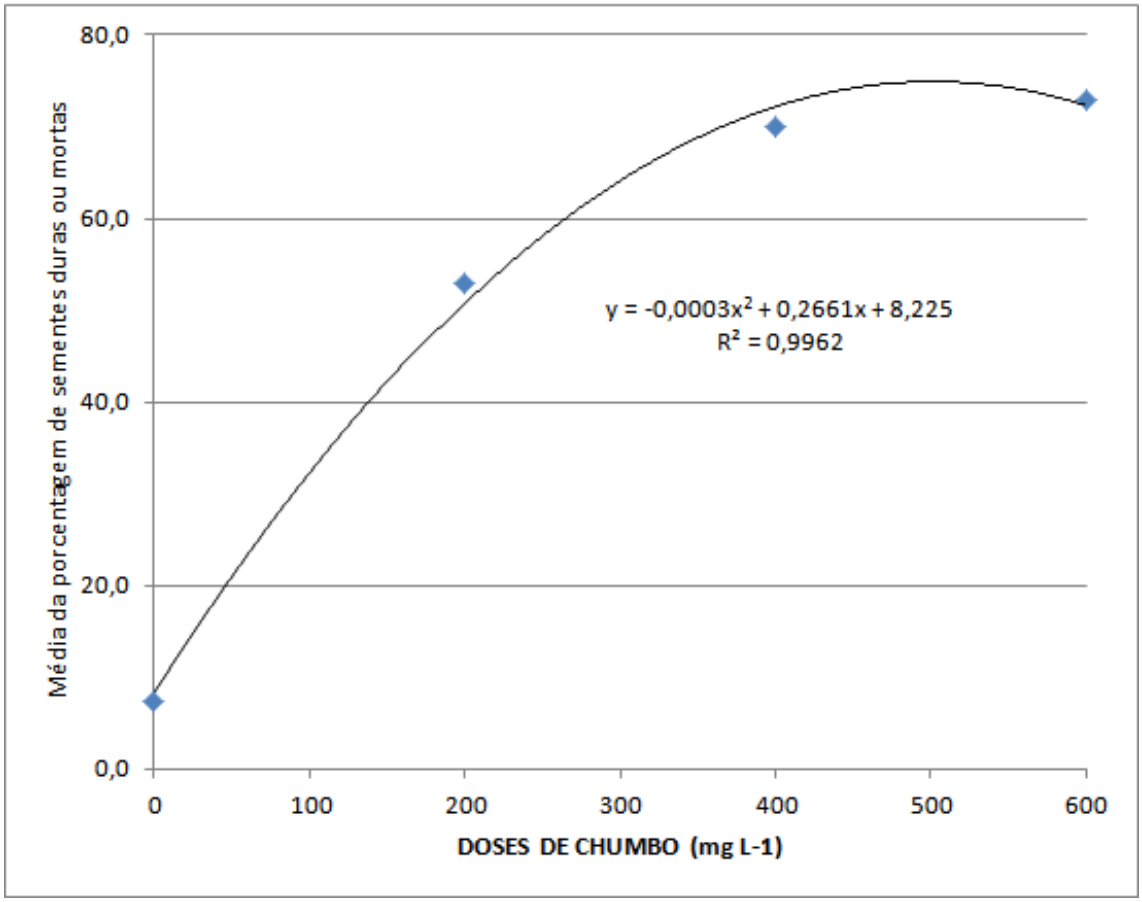


Figura 2: Equação polinomial de segundo grau (quadrática) referente à taxa de sementes duras ou mortas (%), de sementes de trigo (*Triticum* spp var ORS Senna) tratadas com diferentes doses de chumbo.

Fonte: elaborado pelo autor, 2022

Observando a equação da regressão, é possível constatar que a_2 não é significativamente diferente de zero (0,0003), demonstrando que não existe uma relação curvilínea entre taxa de

sementes duras e mortas e concentrações de chumbo. Isto demonstra que após a concentração crítica de chumbo, a taxa de sementes duras ou mortas não vai aumentar.

O R^2 é elevado (0,9962), indicando que a regressão explica a variação observada nos dados. O vértice da parábola é igual à dose de 443,5 mg L^{-1} de chumbo, indicando que esta é a concentração crítica.

Os resultados obtidos demonstraram que as concentrações de chumbo testadas provocaram uma redução drástica nos percentuais de germinação e um aumento na taxa de sementes duras ou mortas, sendo esse efeito mais intenso nas dosagens maiores.

De acordo com Kumar & Aery (2016), a exposição de plantas a ambientes contaminados com chumbo resulta em distúrbios fisiológicos e morfológicos, com consequente diminuição da taxa de germinação. Uma possível explicação para isso seria o desequilíbrio interno dos meristemas causado pela absorção excessiva de chumbo, que poderia provocar flutuações nas concentrações de metais essenciais, como cobre, zinco, ferro, manganês, molibdênio e níquel, os quais desempenham papéis significativos na bioquímica e fisiologia das plantas (Zhuang et al., 2009).

Gautam et al. (2015) demonstraram que sementes de tomateiro (*Solanurn lycopersicum* L.) e berinjela (*Solanurn lycopersicum* L.) postas a germinar sob diferentes concentrações de chumbo apresentaram resultados semelhantes aos do presente estudo, sendo que com o aumento das concentrações de chumbo houve uma diminuição da germinação, possivelmente relacionada à redução da divisão celular nos meristemas ou ao surgimento de anormalidades cromossômicas devido à quebra da homeostase celular.

Em outro estudo, Pereira et al. (2013) observaram uma queda no percentual de germinação de sementes de alface (*Lactuca sativa*), inversamente proporcional à concentração de chumbo, de forma que doses mais altas resultaram em menor taxa de germinação. A permeabilidade das sementes a metais pesados está associada à estrutura do tegumento (Wierzbicka & Obidzińska, 1998), e as sementes de alface (*L. sativa*) foram mais afetadas em concentrações maiores, pois a proteção do pericarpo e do tegumento restringe a entrada de chumbo em concentrações mais baixas..

Araújo (2014), ao utilizar sementes de gergelim (*Sesamum indicum* L.), obteve resultados semelhantes aos do presente estudo. Nas 11 concentrações testadas, a taxa de germinação caiu categoricamente.

De acordo com o teste de variância, (teste de F), foi possível observar significância para a regressão de primeiro grau e para a regressão de segundo grau para a variável tamanho da raiz, considerando-se significativa a regressão de maior grau (Apêndice D). A Figura 3

ilustra a relação entre as doses de chumbo (mg L^{-1}) e a variável tamanho de raiz.

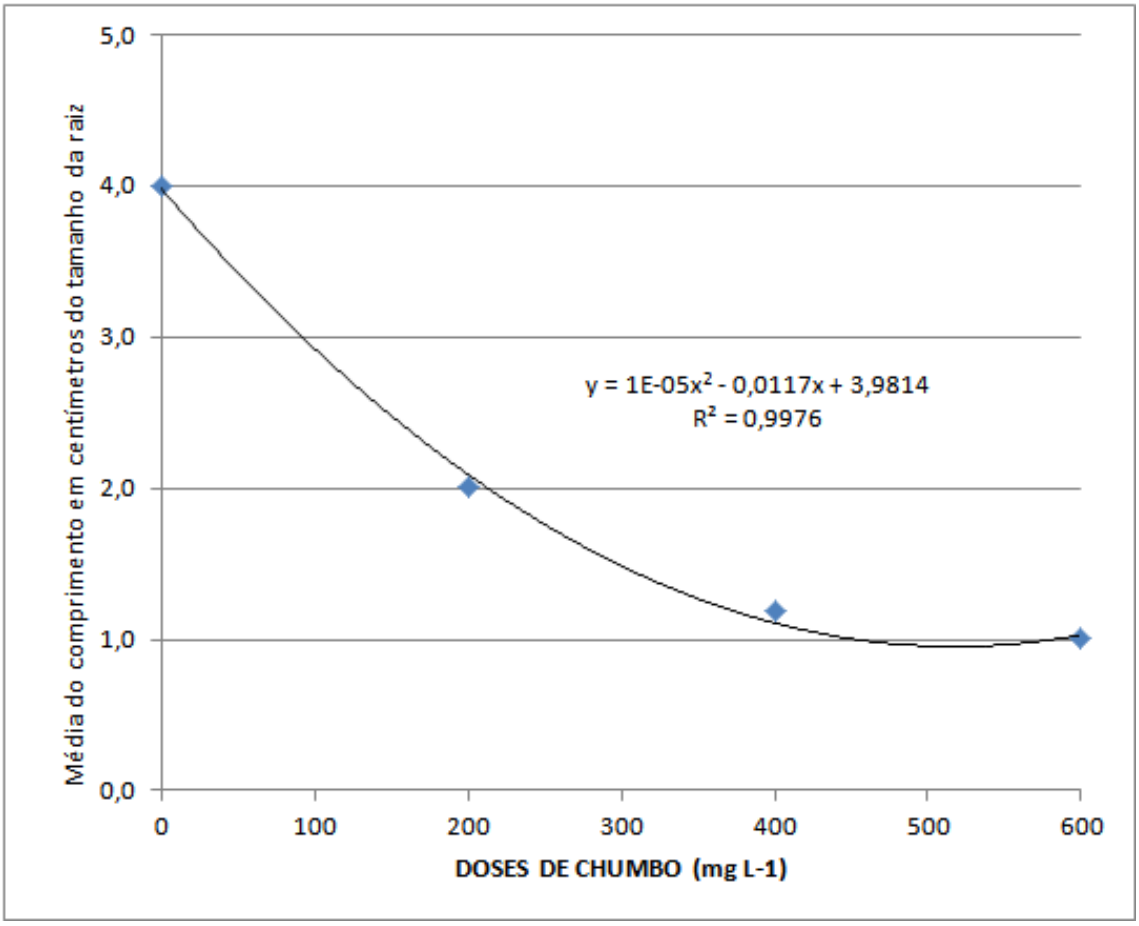


Figura 03: Equação polinomial de segundo grau (quadrática) referente ao comprimento de raízes (cm plântula^{-1}), de plântulas de trigo (*Triticum* spp var ORS Senna) tratadas com diferentes doses de chumbo.
Fonte: elaborado pelo autor, 2022.

Observando a equação da regressão, é possível constatar que a_2 não é significativamente diferente de zero (0,00001), demonstrando que não existe uma relação curvilínea entre o tamanho da raiz e concentrações de chumbo. Isto demonstra que após a concentração crítica de chumbo, o tamanho da raiz ou mortas não vai diminuir.

O R^2 é elevado (0,9976), indicando que a regressão explica a variação observada nos dados. O vértice da parábola é igual à dose de 585,0 mg L^{-1} de chumbo, indicando que esta é a concentração crítica.

Os resultados apresentados na Figura 3 demonstram claramente a alteração no comprimento das raízes causada nas plântulas de trigo, sendo que quanto maior a concentração de chumbo menor é o comprimento da raiz.

A inibição do crescimento radicular causada pelo chumbo parece resultar da supressão das divisões celulares na região do meristema radicular, levando ao escurecimento do sistema

de raízes (Eun et al., 2000; Pereira et al., 2013). Além disto, a entrada de chumbo nas células vegetais provoca alterações na permeabilidade da membrana celular, resultando em toxicidade. Essa alteração ocorre porque o chumbo reage com grupos funcionais de enzimas metabolicamente ativas, substitui íons essenciais e forma complexos com grupos fosfato do ADP e ATP (Kumar et al., 2019). Os efeitos dessa toxicidade incluem a inibição da atividade enzimática, distúrbios na nutrição mineral (quebra da homeostase), desequilíbrios hormonais, desregulação hídrica, danos ao DNA devido à superprodução de espécies reativas de oxigênio e inibição da produção de ATP, prejudicando outras funções metabólicas da planta (Sharma & Dubey, 2005; Pourrut et al., 2011; Sethy & Ghosh, 2013).

Esses efeitos deletérios têm sido relatados em várias plantas de interesse comercial. Moraes et al. (2014) observaram o impacto negativo do chumbo sobre o comprimento radicular em plântulas de tomateiro (*Lycopersicon esculentum* L.). Pereira et al. (2013) demonstraram que o chumbo causa uma queda significativa no índice mitótico, resultando em plântulas com um sistema radicular comprometido. O índice mitótico do meristema apical radicular está diretamente relacionado ao crescimento das raízes (Adam & El-Ashry, 2010). Os autores sugerem que essas alterações podem estar associadas a deformações cromossômicas (quebras de DNA), que afetam a formação adequada dos órgãos radiculares.

Mami et al. (2019) demonstraram que, em sementes de tomateiro (*Lycopersicon esculentum* L.) expostas ao chumbo, houve uma redução no comprimento das raízes conforme a concentração do metal pesado aumentava. Em comparação com o controle, uma concentração de 1% de chumbo resultou em uma redução de 16 vezes no comprimento das raízes, evidenciando a magnitude dos danos causados pela contaminação por metais pesados. Shehzad et al. (2022) relataram que três espécies de Brassica (*Brassica juncea*, *B. napus* e *B. campestris*), quando submetidas ao chumbo, apresentaram uma redução significativa no comprimento radicular.

De acordo com o teste de variância, (teste de F), foi possível observar significância para a regressão de primeiro grau e para a regressão de segundo grau para a variável tamanho da parte aérea, considerando-se significativa a regressão de maior grau (Apêndice e). A Figura 4 ilustra a relação entre as doses de chumbo (mg L^{-1}) e a variável tamanho da parte aérea.

Observando a equação da regressão, é possível constatar que a_2 não é significativamente diferente de zero (0,00001), demonstrando que não existe uma relação curvilínea entre o tamanho da parte aérea e concentrações de chumbo. Isto demonstra que após a concentração crítica de chumbo, o tamanho da parte aérea não vai aumentar.

O R^2 é elevado (0,9996), indicando que a regressão explica a variação observada nos

dados. O vértice da parábola é igual à dose de 420,0 mg L^{-1} de chumbo, indicando que esta é a concentração crítica.

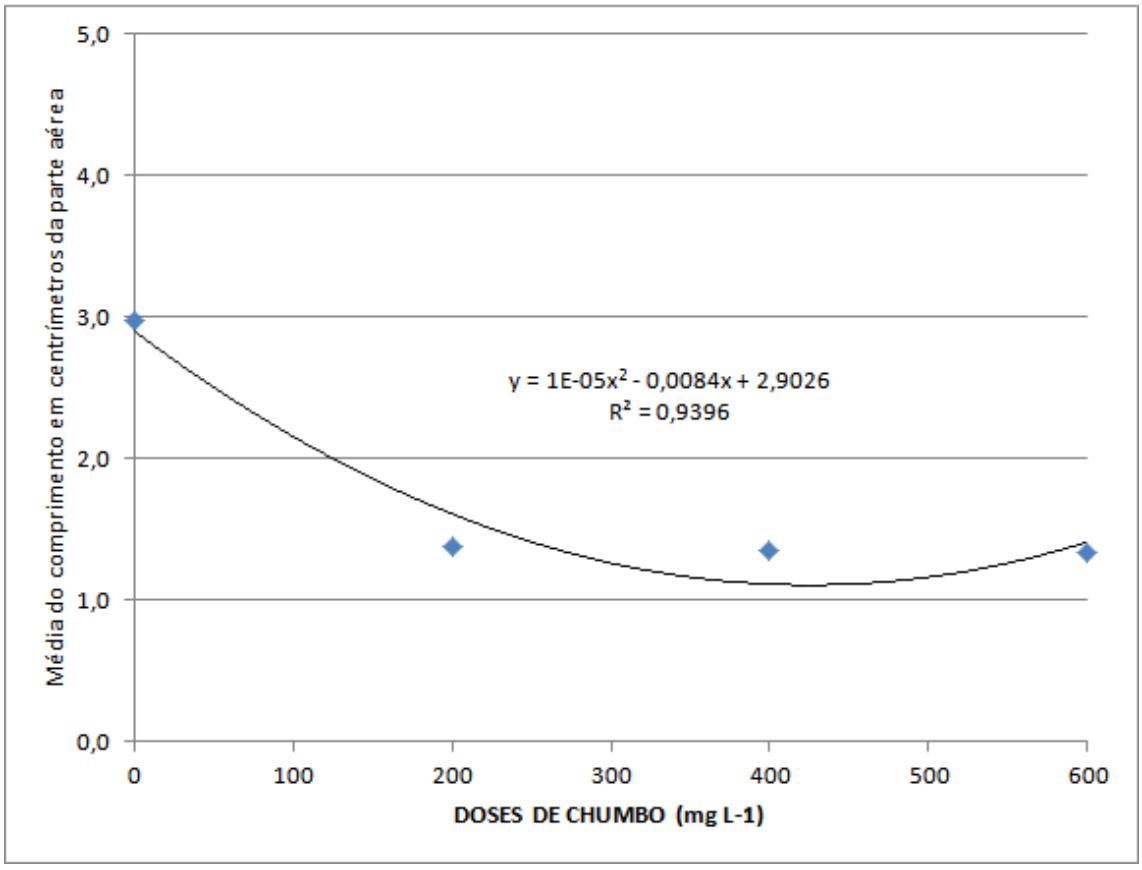


Figura 4: Equações polinomiais de segundo grau referentes ao comprimento da parte aérea (cm plântula^{-1}) de sementes de trigo (*Triticum* spp var ORS Senna) tratadas com diferentes doses de chumbo.
Fonte: elaborado pelo autor, 2022.

O chumbo, ao entrar em contato com o sistema radicular, pode se acumular nas raízes ou ser translocado para as partes aéreas da planta (Sharma & Dubey, 2005; Pourrut et al., 2011). Esta tendência varia de espécie vegetal para espécie vegetal, dependendo da fisiologia das mesmas.

Resultados semelhantes aos obtidos no presente experimento foram relatados por outros autores. Mishra et al. (1998), ao investigar os efeitos do chumbo na germinação de duas variedades de arroz (Oryza sativa), observaram que o aumento das doses do metal levou a uma redução no desenvolvimento da parte aérea das plantas. Em um estudo conduzido por Rosniecek et al. (2020), que avaliou a germinação de espécies forrageiras (*Brachiaria humidicola* cv. Tupi e *Panicum maximum* cultivares Aruana e Tanzânia) sob diferentes concentrações de chumbo, foram detectados efeitos tóxicos na parte aérea apenas na cultivar Aruana.

As plantas tendem a limitar o transporte de chumbo para a parte aérea, acumulando-o principalmente nas raízes. A endoderme também pode atuar como uma barreira parcial à translocação do metal (Eun et al., 2000). No entanto, com o aumento das doses e a prolongação do tempo de exposição, a capacidade das raízes de reter o metal é ultrapassada, resultando na sua movimentação para a parte aérea. Além disso, conforme observado por Sharma (2005), as plantas expostas ao chumbo restringem o fluxo de elementos em solução das raízes para a parte aérea, o que compromete o crescimento vegetal.

CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos, é possível concluir que o chumbo reduziu a viabilidade das sementes de trigo, impactando negativamente as variáveis de taxa de germinação, porcentagem de sementes duras e mortas, comprimento das raízes e tamanho da parte aérea.

REFERÊNCIAS

ADAM, F. I. M; EL-ASHRY, Z. M. Evaluation of genotoxicity of 4-n-nonylphenol using *Vicia faba* L**. Journal of Biological Sciences,** v.10, n.4, p.368-372, 2010.

ALMEIDA, J. R.; SOUZA, P. F. Contaminação de Solos por Metais Pesados e o Impacto na Agricultura Brasileira. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, v.15, n.2, p.100-114. 2021.

ARAÚJO L. C. P. **Biometria e avaliação dos efeitos ecotoxicológicos do chumbo na germinação do gergelim (*Sesamumindicum* L.)**. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso). Universidade Federal de Campina Grande, Campus de Patos, 2014. 51p.

BRASIL (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento) **Estatística da Produção Pecuária**. Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2015. 47p.

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

BRUM, A. L.; MULLER, C. Economia e Competitividade do Trigo no Brasil e na Argentina. **Economia Agrícola**, v.12, n.3, p.147-154, 2008.

CARVALHO, F. T., SILVA, R. M. Efeitos dos Dejetos de Suínos na Contaminação do Solo: Um Estudo de Caso na Agricultura Brasileira. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**, v.24, n.1, p.56-70, 2022.

CONAB (Companhia Nacional de Abastecimento). **Acompanhamento da safra brasileira**

de grãos, v. 1, n.3. Brasília; Conab, 2024.

CONAB (Companhia Nacional de Abastecimento). Relatório de Produção e Impactos Ambientais da Suinocultura Brasileira. Brasília: CONAB. 2023.

EUN, S. O.; YOUN, H. S.; LEE, Y. Lead disturbs microtubule organization in the root meristem of Zea mays. **Physiologia Plantarum**, v.110, p.357-365, 2000.

GAUTAM, M.; SINGH A.K.; JOHRI R.M. Effect of lead and chromium on germination and seedling growth of tomato (*Solanum lycopersicum*) and eggplant (*Solanum melongena*). **The Indian Journal of Agricultural Sciences**, v.85, n.3, 2015.

GONÇALVES, M. C. SILVA, D. M., & PEREIRA, L. P. Impacto de Metais Pesados no Crescimento de Culturas Agrícolas. **Revista de Ciências Agrárias**, v.19, n.3, p.45-58, 2021.

KUMAR, D.; MALIK, D. S.; PATEL, S. L.; GUPTA, V. Human health risk assessment and mitigation of heavy metal pollution in agriculture and environment. In: KUMAR, V.; KUMAR, R.; SINGH, J.; KUMAR, P. Contaminants in Agriculture and Environment. India: Agro Enviromental Media. cap.6, p.66-75, 2019.

MAMI Y.; AHMADI G.; SHAHMORADI M.; GHORBANI H.R. **Influence of different concentration of heavy metals on the seed germination and growth of tomato.** Global Journal of Food and Agribusiness Management. v. 3, n.4, p.1-7. 2019.

MISHRA, A.; CHOUDHURI, M. A. Amelioration of lead and mercury effects on germination and rice seedling growth by antioxidants. **Biologia Plantarum**, v. 41, p. 469-473, 1998.

PATRICIA, D.; GEORGES, M**.** Exportação e Comercialização do Trigo Argentino no Mercado Internacional. **Revista de Comércio Exterior**, v.8, n.1, p.48-49, 2013.

PEREIRA, L. A., & LOPES, V. G. Toxicidade de Metais Pesados na Germinação e Crescimento de Plantas: Um Enfoque na Agricultura Sustentável. **Cadernos de Biologia e Agronomia**, 22(4), 78-95.2020.

PEREIRA M.P.; PEREIRA F.J.; RODRIGUES L.C.A.; BARBOSA S.; CASTRO E.M. Fitotoxicidade do chumbo na germinação e crescimento inicial de alface em função da anatomia radicular e ciclo celular. **Revista Agro@mbiente On-line**, v. 7, n. 1, p.36-43, 2013.

POURRUT, B., SHAHID, M., DUMAT, C., WINTERTON, P. AND PINELLI, E. Lead uptake, toxicity and detoxification in plants. **Reviews of Environmental Contamination and Toxicology**, v.213, p.113-136, 2011.

PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 14ª Ed.Piracicaba: Livroceres,

2000, 480p.

ROSNIECEK K. S.; CAMPOS M. L.; COELHO C. M. M.; MIQUELLUTI D. J.; SCHUTZ E. L. D. **Germinação de espécies forrageiras na presença de cádmio, cobre e chumbo.** Revista de Ciências Agroveterinárias, v.19, n.3. 2020.

SÁ, M. E. OLIVEIRA, S. A. BERTOLIN, D. C. **Roteiro prático da disciplina de produção e tecnologia de sementes: análise da qualidade de sementes** São Paulo: Universidade Estadual Paulista, 2011, 112p.

SHARMA, P.; DUBEY, R.S. Lead toxicity in plants. **Journal of Plant Physiology**, v.17, p.35-52, 2005.

SETHY, S. K.; GHOSH, S. Effect of heavy metals on germination of seeds. Journal of **Natural Science, Biology, and Medicine**, v.4, n.2, p.272-275, 2013.

SHEHZAD J.; MUSTAFA G.; ARSHAD H.; ALI A.; NAVEED N.H.; RIAZ Z.; KHAN I. Morpho-physiological and biochemical responses of Brassica species toward lead (Pb) stress. **Acta Physiologiae Plantarum**, v.45, n.8, p.1-14, 2023.

SILVA, J. F., & LIMA, M. E. Impacto Ambiental dos Metais Pesados e a Segurança Alimentar no Brasil. **Revista de Meio Ambiente e Sustentabilidade**, v.17, n.1, p.101-118, 2019.

WIERZBICKA, M.; OBIDZIŃSKA, J. The effect of lead on seed imbibition and germination in different plant species. **Plant Science**, v.137, n.2, p.155-171, 1998.

ZHUANG, P., MCBRIDE, M.B., XIA, H., LI, N. and Li, Z. Health risk from heavy metals via consumption of food crops in the vicinity of Dabaoshan mine, South China. **Science of the Total Environment,** v.407, p.1551-1561, 2009.

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

ANÁLISE DE VARIÂNCIA REGRESSÃO LINEAR						
CAUSA DA VARIAÇÃO	GL	SQ	QM	F(cal)	F(tab)	(α;GL;Glres)
REGRESSÃO LINEAR	1	9159,2	9159,20	1248,98	4,75	F(0,05;1;12)
REGRESSÃO POLINOMIAL	1	2116,0	2116,00	288,55	4,75	F(0,05;1;12)
DESVIOS DA REGRESSÃO	1	0,800	0,800	0,109	4,75	F(0,05;1;12)
DOSES CHUMBO	3	11276,000				
RESÍDUO	12	88,000	7,3			
TOTAL	15	11364,000				

CALCULO DOS COEFICIENTES POLINOMIAIS					
i	Xi	p1(xi)	P2(xi)		yi
1	0	-2	1	-2	332,0
2	200	-1	-1	1	156,0
3	400	1	-1	-1	68,0
4	600	2	1	2	76,0
		0	0	0	

APÊNDICE B – Quadro de análise de variância (% de plântulas anormais)

ANÁLISE DE VARIÂNCIA REGRESSÃO LINEAR						
CAUSA DA VARIAÇÃO	GL	SQ	QM	F(cal)	F(tab)	(α;GL;Glres)
REGRESSÃO LINEAR	1	0,1	0,05	0,00	4,75	F(0,05;1;12)
REGRESSÃO POLINOMIAL	1	12,3	12,25	1,03	4,75	F(0,05;1;12)
DESVIOS DA REGRESSÃO	1	54,5	54,45	4,57	4,75	F(0,05;1;12)
DOSES CHUMBO	3	66,750				
RESÍDUO	12	143,000	11,9			
TOTAL	15	209,750				

CALCULO DOS COEFICIENTES POLINOMIAIS					
i	Xi	p1(xi)	P2(xi)		yi
1	0	-2	1	-2	38,0
2	200	-1	-1	1	32,0
3	400	1	-1	-1	52,0
4	600	2	1	2	32,0
		0	0	0	

APÊNDICE C– Quadro de análise de variância (% de sementes mortas ou duras)

ANÁLISE DE VARIÂNCIA REGRESSÃO LINEAR						
CAUSA DA VARIAÇÃO	GL	SQ	QM	F(cal)	F(tab)	(α;GL;Glres)
REGRESSÃO LINEAR	1	9116,5	9116,45	499,53	4,75	F(0,05;1;12)
REGRESSÃO POLINOMIAL	1	1806,3	1806,25	98,97	4,75	F(0,05;1;12)
DESVIOS DA REGRESSÃO	1	42,0	42,05	2,30	4,75	F(0,05;1;12)
DOSES CHUMBO	3	10964,750				
RESÍDUO	12	219,000	18,3			
TOTAL	15	11183,750				

CALCULO DOS COEFICIENTES POLINOMIAIS					
i	Xi	p1(xi)	P2(xi)		yi
1	0	-2	1	-2	30,0
2	200	-1	-1	1	212,0
3	400	1	-1	-1	280,0
4	600	2	1	2	292,0
		0	0	0	

APÊNDICE D – Quadro de análise de variância (tamanho da raiz)

ANÁLISE DE VARIÂNCIA REGRESSÃO LINEAR						
CAUSA DA VARIAÇÃO	GL	SQ	QM	F(cal)	F(tab)	(α;GL;Glres)
REGRESSÃO LINEAR	1	19,4	19,37	222,72	4,75	F(0,05;1;12)
REGRESSÃO POLINOMIAL	1	3,3	3,27	37,56	4,75	F(0,05;1;12)
DESVIOS DA REGRESSÃO	1	0,1	0,05	0,63	4,75	F(0,05;1;12)
DOSES CHUMBO	3	22,697				
RESÍDUO	12	1,044	0,1			
TOTAL	15	23,741				

CALCULO DOS COEFICIENTES POLINOMIAIS					
i	Xi	p1(xi)	P2(xi)		yi
1	0	-2	1	-2	16,0
2	200	-1	-1	1	8,1
3	400	1	-1	-1	4,8
4	600	2	1	2	4,0
		0	0	0	

APÊNDICE E– Quadro de análise de variância (tamanho da parte aérea)

ANÁLISE DE VARIÂNCIA REGRESSÃO LINEAR						
CAUSA DA VARIAÇÃO	GL	SQ	QM	F(cal)	F(tab)	(α;GL;Glres)
REGRESSÃO LINEAR	1	4,9	4,94	65,76	4,75	F(0,05;1;12)
REGRESSÃO POLINOMIAL	1	2,5	2,52	33,58	4,75	F(0,05;1;12)
DESVIOS DA REGRESSÃO	1	0,5	0,48	6,38	4,75	F(0,05;1;12)
DOSES CHUMBO	3	7,934				
RESÍDUO	12	0,901	0,1			
TOTAL	15	8,835				

CALCULO DOS COEFICIENTES POLINOMIAIS					
i	Xi	p1(xi)	P2(xi)		yi
1	0	-2	1	-2	11,9
2	200	-1	-1	1	5,5
3	400	1	-1	-1	5,4
4	600	2	1	2	5,3