

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AMBIENTAL
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL**

THAYNÁ FRANCYNE REIS

**AVALIAÇÃO DO DESENVOLVIMENTO DE MANJERICÃO – *Ocimum basilicum*
L. – EM LATOSSOLO VERMELHO CONTAMINADO COM ZINCO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**LONDRINA
2019**

THAYNÁ FRANCYNE REIS

**AVALIAÇÃO DO DESENVOLVIMENTO DE MANJERICÃO – *Ocimum basilicum*
L. – EM LATOSSOLO VERMELHO CONTAMINADO COM ZINCO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso Superior de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Londrina, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientadora: Profa. Dra. Alessandra Furtado da Silva
Co orientador: Prof. Dr. Marcelo Hidemassa Anami

LONDRINA

2019



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Londrina
Coordenação de Engenharia Ambiental



TERMO DE APROVAÇÃO

AVALIAÇÃO DO DESENVOLVIMENTO DE MANJERICÃO – *Ocimum basilicum* L. – EM LATOSSOLO VERMELHO CONTAMINADO COM ZINCO

por

Thayná Francyne Reis

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado no dia 02 de julho de 2019 ao Curso Superior de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Londrina. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Profa. Dra. Edilaine Regina Pereira
(UTFPR)

Prof. Dr. Maurício Moreira dos Santos
(UTFPR)

Profa. Dra. Alessandra Furtado da Silva
(UTFPR)
Orientadora

Profa. Dra. Edilaine Regina Pereira
Responsável pelo TCC do Curso de Eng. Ambiental

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me manter firme, por ter me permitido concluir este curso, por mostrar-se presente e ao meu lado todas as vezes que pensei em desistir ao longo do caminho e por me fazer acreditar que conseguiria vencer e que sempre há motivos para tentar.

Agradeço aos meus queridos pais, Sérgio e Terezinha, por depositarem toda confiança em mim, por acreditarem que eu seria capaz e por se esforçarem tanto durante esses cinco anos para que eu conseguisse concluir esta etapa. Essa conquista não é minha, é nossa! Agradeço por estarem sempre comigo, compreendendo minha ausência e partilhando de todas as minhas emoções.

À minha irmã maravilhosa, Mirella, minha filhotinha, que dividiu comigo boa parte das minhas angústias, desesperos e medos, durante a graduação. Também compartilhou o percurso de ida e vinda por todos esses anos, sempre cheia de sorrisos e palavras de amor. Você faz a minha vida ser mais leve. Junto à minha irmã, também gostaria de agradecer ao meu cunhado, Félix, por nunca medir esforços para me ajudar e por dedicar alguns domingos para me ajudar a cuidar dos manjericões.

Agradeço, em especial, aos meus avós, Amélia e Irineu, sempre tão preocupados comigo, com a minha saúde e com a vida acadêmica. Eu sei o quão orgulhosos vocês estão por me ver conquistando esse sonho, que não é só meu, é nosso. Dedico todo meu esforço a vocês.

Ao meu namorado, Guilherme, por estar sempre comigo, me apoiando, me incentivando e me motivando a ir atrás dos meus sonhos e me fazendo acreditar que tudo é possível. Obrigada por estar comigo desde o primeiro dia desses cinco anos, obrigada por me ajudar tanto no desenvolvimento desse trabalho, você é sensacional!

Agradeço à minha querida orientadora, Alessandra Furtado, por aceitar meu pedido de orientação, por ter tanta paciência e por não medir esforços para me ajudar. Agradeço, também, pela compreensão e além dos conhecimentos profissionais, as contribuições para a vida pessoal.

Não menos importante, agradeço ao Anami, meu co-orientador, sempre solícito, disposto e preocupado com o decorrer do experimento. Obrigada por me

salvar quando perdemos o telhado da estufa e por todas as vezes que me recebeu quando as dúvidas surgiam.

Agradeço, também, a minha banca examinadora, composta pelos professores: Maurício e Edilaine, pelas contribuições e todo o enriquecimento dado ao trabalho por meio das considerações.

Agradeço também a todos os professores que contribuíram para a minha formação acadêmica ao longo desses anos, em especial a professora Tatiane Dal Bosco que se mostrou muito mais que professora e se tornou uma amiga e me presenteou com muitas oportunidades ao longo da graduação. Tati, muito obrigada!

As minhas amigas de experimento e de vida, Ana Flávia Bilmayer, Martina Pomini e Stephanie Locatelli, por dividir as angústias, os medos, os dias de sol, o calor, o peso e as dores nas costas durante o desenvolvimento do trabalho. Obrigada por ouvirem minhas lamentações, pelos abraços, pelas comilanças, por dividirem o trabalho e pelas músicas que cantamos juntas no LAMA. Ana, obrigada por toda ajuda na parte estatística, por sempre ouvir meus desesperos, me acalmar e me dar sempre as melhores palavras. Marts, obrigada por descontrair os meus dias com as publicações de comidas e as risadas. Ste, obrigada pelas palavras certas nas horas em que mais preciso. Sem dúvidas, só foi possível concluir esse experimento graças a vocês, serei eternamente grata.

Também quero agradecer aos meus queridos amigos de graduação, que foram meu apoio durante esses cinco anos: Giovana Pires, Arthur Janoni, Giovanni Peixoto, Carolina Dinali, Vitória Califani e Victor Galhote. Obrigada por toda a ajuda, pelas companhias nas madrugadas e os esforços durante esses anos. Também agradeço à minha amiga de vida, que está comigo desde antes de eu nascer, Mayara, por sempre ser tão preocupada e por estar comigo, torcendo por mim, sempre.

Vocês foram essenciais, obrigada!

RESUMO

REIS, T. F. **Avaliação do desenvolvimento do manjeriço – *Ocimum basilicum* L. – em latossolo vermelho contaminado com zinco.** 2019. 54p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental). – Curso de Engenharia Ambiental – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2019.

A contaminação do solo por metais pode ocorrer por interferência natural ou antrópica. Os metais são encontrados de forma natural devido a sua presença nas rochas de origem, porém não prontamente disponível para o consumo das plantas. As ações antrópicas interferem no equilíbrio e podem tornar os metais disponíveis, contaminando o solo. Dentre os metais existentes, há os classificados como micro e macronutrientes para as plantas. O zinco é um dos metais, classificado como micronutriente essencial para as plantas mas que em elevadas concentrações se torna tóxico e pode causar danos a fisiologia da planta. O estudo desenvolvido neste trabalho teve como objetivo avaliar o crescimento e as alterações na sintomatologia visual do manjeriço - *Ocimum basilicum* L. – em solo contaminado com doses crescentes de zinco. O experimento foi realizado com oito concentrações diferentes de zinco (C₀ (controle), C₁ (0,60 g.kg⁻¹), C₂ (0,080 g.kg⁻¹), C₃ (0,121 g.kg⁻¹), C₄ (0,241 g.kg⁻¹), C₅ (0,482 g.kg⁻¹), C₆ (0,694 g.kg⁻¹) e C₇ (1,446 g.kg⁻¹)), em cinco replicatas para cada concentração, obtendo um total de 40 amostras. O estudo foi realizado em casa de vegetação, de agosto a novembro de 2018, respeitando o período de 90 dias para o crescimento do *Ocimum basilicum* L., sob condições de luminosidade e temperatura natural. Foram realizadas análises físicas e químicas do solo, onde foi possível classificá-lo como Latossolo Vermelho Distroférico. A capacidade máxima de adsorção do zinco, C₅, foi determinada por meio da aplicação da Isoterma de Freundlich. A partir da capacidade máxima, todas as demais concentrações foram estabelecidas considerando valores acima e abaixo dela. Durante o período de cultivo do experimento, foram feitas contagens quinzenais do número de folhas e medição da altura, além de observações quanto a sintomatologia visual, incluindo o surgimento de flores. Após os 90 dias, as plantas foram colhidas e prosseguiu-se com a avaliação da sintomatologia visual. Foi realizada a análise estatística ANOVA para validação dos dados encontrados com as medições das alturas e contagens das folhas e flores. Visual e estatisticamente não houve diferenças significativas nos tratamentos com concentrações crescentes de zinco no solo. Na primeira quinzena houve alteração na tonalidade da cor das folhas nos tratamentos a partir do C₅, porém, no decorrer do experimento apresentaram colorações semelhantes. Houve surgimento de flores primeiro nos tratamentos com maiores concentrações de metal no solo, indicando que o zinco pode ter acelerado o desenvolvimento da planta. As raízes dos tratamentos C₅ ao C₇ apresentaram reduções de ramificações, aumento na espessura e escurecimento das raízes principais. A altura aumentou de forma uniforme em todos os tratamentos. Os resultados encontrados indicam que o *Ocimum basilicum* L. é tolerante ao desenvolvimento em meios com contaminação por zinco.

Palavras-chave: Isoterma de Freundlich, Contaminação Ambiental, Sintomatologia Visual, Fitorremediação.

ABSTRACT

REIS, T. F. **Evaluation of the development of basil - *Ocimum basilicum* L. - in red latosol contaminated with zinc.** 2019. 54p. Course Completion Work (Bachelor of Environmental Engineering). - Course of Environmental Engineering - Federal Technological University of Paraná, Londrina, 2019.

Contamination of soil by metals may occur through natural or anthropogenic interference. Metals are found naturally due to their presence in the parent rocks, but not readily available for plant consumption. Anthropogenic actions interfere with balance and can make metals available, contaminating the soil. Among the existing metals, there are those classified as micro and macronutrients for plants. Zinc is one of the metals classified as an essential micronutrient for plants but at high concentrations it becomes toxic and can cause damage to plant physiology. The goal of this study was to evaluate the growth and alterations in the visual symptomatology of basil - *Ocimum basilicum* L. - in soil contaminated with increasing doses of zinc. The experiment was carried out with eight different zinc concentrations (C_0 (control), C_1 (0.60 g.kg^{-1}), C_2 (0.080 g.kg^{-1}), C_3 (0.121 g.kg^{-1}), C_4 (0.241 g.kg^{-1}), C_5 (0.482 g.kg^{-1}), C_6 (0.694 g.kg^{-1}) e C_7 (1.446 g.kg^{-1})), in five replicates at each concentration, yielding a total of 40 samples. The study was carried out in greenhouse from August to November 2018, respecting the period of 90 days for the growth of *Ocimum basilicum* L., under conditions of luminosity and natural temperature. Physical and chemical analyzes of the soil were carried out, where it was possible to classify it as a Red Latosol Distroferric. The maximum adsorption capacity of zinc, C_5 , was determined by adjusting using the Freundlich's Isotherm. From the maximum capacity, all other concentrations were established considering values above and below it. During the duration of the experiment, biweekly counts of leaf numbers and height measurements were made, as well as observations on visual symptomatology, including the appearance of flowers. After 90 days, the plants were harvested and removed from the containers with metal and the roots were washed and analyzed for visual symptomatology. Statistical analysis ANOVA was performed in order to validate the data found with measurements of leaf and flower heights and counts. No significant differences were found between the treatments. In the first fortnight there was alteration in the leaf tonality in the treatments from the C_5 , however, during the work presented similar tonalities. Flowers appeared earlier in treatments with higher concentrations of metal, indicating that zinc accelerated the plant development. The roots of treatments C_5 to C_7 presented reductions of branching, increase in thickness and darkening of the main roots. The height increased uniformly in all treatments. The results indicate that *Ocimum basilicum* L. is developmentally tolerant in media with zinc contamination.

Keywords: Freundlich Isotherm, Environmental Contamination, Visual Symptomatology, Phytoremediation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Processo de fitorremediação.....	21
Figura 2 - <i>Ocimum basilicum</i> L.....	22
Figura 3a - Localização geográfica do ponto de coleta do solo.....	24
Figura 3b - Localização geográfica do ponto de coleta do solo.....	25
Figura 4 - Isotermas de Langmuir e Freundlich para Zn em Latossolo Vermelho.....	34
Figura 5 - a) Replicata de concentração C_0 . b) Replicata de concentração C_7	35
Figura 6 - Imagens dos manjericões 15 dias após o plantio em solo contaminado com Zn.....	36
Figura 7 - Imagens dos manjericões 90 dias após o plantio em solo contaminado com Zn.....	37
Figura 8 - Imagens das raízes dos manjericões após o plantio em solo contaminado com Zn.....	38
Figura 9 - Número de folhas de <i>Ocimum basilicum</i> L. para cada tratamento durante a exposição ao Zn.....	40
Figura 10 – Altura de <i>Ocimum basilicum</i> L. para cada tratamento durante a exposição ao Zn.....	41
Figura 11 - Número de flores de <i>Ocimum basilicum</i> L. para cada tratamento durante a exposição ao Zn.....	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Concentrações de zinco utilizadas para contaminação.....	28
Tabela 2 - Características químicas do solo.....	32
Tabela 3 - Metais naturalmente presentes no solo.....	33
Tabela 4 - Médias do número de folhas, altura e número de flores ao fim da exposição de <i>Ocimum basilicum</i> L. em solo contaminado com Zn.....	39

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	10
2	OBJETIVOS.....	13
2.1	Objetivo geral.....	13
2.2	Objetivos específicos.....	13
3	REFERENCIAL TEÓRICO.....	14
3.1	Formação do solo.....	14
3.1.1	Latosolos.....	14
3.2	Contaminação do solo.....	15
3.3	Zinco: de micronutriente à contaminante.....	17
3.4	Técnicas de remediação do solo.....	18
3.5	Fitorremediação.....	20
3.6	<i>Ocimum basilicum</i> L.	22
4	MATERIAL E MÉTODOS.....	24
4.1	Solo e amostragem.....	24
4.1.1	Localização do ponto de coleta do solo.....	24
4.1.2	Coleta e preparação do solo.....	25
4.2	Análises físico-químicas do solo.....	25
4.3	Isotermas de adsorção para zinco.....	26
4.4	Contaminação do metal no solo.....	27
4.5	Preparação das mudas.....	29
4.6	Cultivo de <i>Ocimum basilicum</i> L. em solo contaminado e avaliação do crescimento.....	29
4.7	Análise de dados.....	31
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	32
5.1	Análises físico-químicas do solo.....	32
5.2	Isotermas de adsorção.....	34
5.3	Sintomatologia visual.....	35
5.4	Avaliação do desenvolvimento de <i>Ocimum basilicum</i> L.....	39
6	CONCLUSÃO.....	44
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	45
8	ANEXOS.....	53
	ANEXO A – ANÁLISE QUÍMICA DO SOLO.....	53

1 INTRODUÇÃO

Os solos são fundamentais para a existência da vida no planeta, é deles que saem, de forma direta ou indireta, todos os alimentos que são consumidos. Quando o solo é afetado por alguma ação antrópica, suas características físicas, químicas e biológicas sofrem interferência, de alguma forma. Com as modificações nessas características, tudo o que depende do solo para se desenvolver ou que o utiliza como suporte, passa a sofrer as consequências dessa interferência humana (ALTIERI, 2013).

A contaminação de solos por metais é mais comum e ocorrente a cada dia, seja de forma natural ou antrópica por meio de descartes de material de mineração, de indústrias que utilizam esses metais como insumos ou por meio do uso indiscriminado de fertilizantes e pesticidas químicos e até orgânicos onde há o uso de dejetos animais (KABATA-PENDIAS, 2004). O descarte de resíduos de forma inadequada, como pilhas e baterias faz com que a contaminação seja contínua (SANTANA; BARRONCAS, 2007).

Os metais são encontrados no solo em pequenas concentrações e muitas vezes, não disponíveis, prontamente, para consumo das plantas e organismos. Esses metais são encontrados no solo devido a sua presença nas rochas de origem, que formam os solos por meio do intemperismo (MELO; MELO; MELO, 2004). Os metais que estão em formas não disponíveis, quando em contato com ações antrópicas que interferem no seu equilíbrio, podem se tornar disponíveis, contaminando o solo e impedindo o desenvolvimento de algumas culturas.

A inserção de mais contaminantes por meio da interferência antrópica também contribui para esse problema. Além de os metais não serem degradados pelo ambiente, ainda podem ser transferidos para os diferentes níveis da cadeia trófica, onde ficam acumulados e causam problemas no metabolismo dos seres vivos que podem ser fatais (MUNIZ; OLIVEIRA-FILHO, 2006; NAGAJYOTI et al.; 2010).

O zinco é um metal que é comumente encontrado no solo em pequenas concentrações, uma vez que é micronutriente catiônico, porém sua disponibilidade para as plantas não está diretamente relacionada com sua presença no solo. O zinco, quando nas proporções corretas, auxilia a síntese e conversão do hormônio

vegetal do crescimento e com a deficiência do metal, conseqüentemente, as folhas ficam menores e há a presença de clorose, caracterizada por pequenas manchas brancas devido a interferência na fotossíntese (RIBEIRO; SANTOS, 1996).

Em contrapartida o excesso de zinco é prejudicial às plantas, deixando de ser micronutriente e se tornando contaminante em teores acima de 150 mg.kg^{-1} de matéria seca da planta (DECHEN; NACHTIGALL, 2006). O zinco quando se torna contaminante é altamente tóxico para as plantas, causando a diminuição das folhas, necrose da radícula, inibição do crescimento, pigmentação vermelha no pecíolo e nas nervuras (ALEXANDRE et al., 2012).

A busca por métodos de remediação do solo vem aumentando significativamente, representando grandes desafios para a pesquisa. Muitos métodos existem, porém apresentam elevados custos, estruturas relativamente grande e apresentam resultados em longo prazo, como o caso das técnicas de: *Pump and Treat* e Extração de Vapor do Solo (SVE), que demandam estrutura e transporte para tratamento do contaminante; Aeração *in situ* (Air Sparging) que demanda estrutura e alto investimento e Barreiras Reativas Permeáveis (BRPs) que é uma técnica demorada para obter resultados.

A fitorremediação é um dos métodos de remediação que busca recuperar áreas de forma simples, visual, eficiente e de baixo custo. Esse método utiliza plantas com potencial hiperacumulador ou com grandes quantidades de biomassa para extrair os metais do solo e mantê-los em sua estrutura, podendo ou não ser transportado para partes aéreas (GAAD, 2010; MUDGAL; MADAAN; MUDGAL, 2010).

O emprego de plantas herbáceas no método de fitorremediação tem se mostrado mais eficiente que plantas arbóreas, uma vez que crescem e se desenvolvem mais rápido, retirando os contaminantes em um menor período de tempo (CARNEIRO; SIQUEIRA; MOREIRA, 2002). Dentre as plantas herbáceas e da família das Lamiaceae, o *Ocimum basilicum* L. se destaca por ser uma espécie medicinal e aromática com potencial valor agregado e de rápido desenvolvimento (ZHELJAZKOV; CRAKER; XING, 2005).

Considerando o comportamento diferente que cada planta apresenta diante de contaminações por diferentes tipos de metais e as diferentes formas de transporte no interior da planta, objetiva-se avaliar, especificamente, o desenvolvimento do manjeriço (*Ocimum basilicum* L.) em latossolo vermelho

contaminado com concentrações crescentes de zinco, através de sua sintomatologia visual e análise dos parâmetros.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Este trabalho tem como objetivo principal avaliar o crescimento do *Ocimum basilicum* L. em latossolo vermelho contaminado com zinco.

2.2 Objetivos específicos

- Determinar a capacidade máxima de adsorção do zinco em latossolo vermelho por meio das isothermas de Langmuir e Freundlich;
- Contaminar o solo com concentrações crescentes de zinco, tendo a capacidade máxima como concentração intermediária e as demais concentrações adotadas acima e abaixo da capacidade máxima;
- Analisar, em ambiente controlado, o desenvolvimento da planta em solo contaminado por meio dos parâmetros: número de folhas, número de flores e altura da planta;
- Avaliar a sintomatologia visual.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Formação do solo

Os solos são formados basicamente pela decomposição e fragmentação de rochas e isso justifica a existência de um número elevado de diferentes tipos de solos, uma vez que as rochas existem em uma grande variedade na crosta terrestre. Os tipos de solos são distinguidos pelas diferentes composições dos materiais, e são classificados segundo a Embrapa (2013), como: Argissolos, Cambissolos, Chernossolos, Espodossolos, Gleissolos, Latossolos, Luvisolos, Neossolos, Nitossolos, Organossolos, Planossolos, Plintossolos e Vertissolos.

Os fatores que influenciam essa decomposição são os mais variados, partindo do clima e das intempéries e passando por relevo e organismos. Essa decomposição do material rochoso resulta em partículas inorgânicas que constituem o solo e suas camadas, já as partículas orgânicas encontradas nas camadas superficiais são resultantes dos processos de degradação de pequenos animais e plantas (COELHO et al., 2013).

A composição natural do solo sofre perturbações ao ser influenciada ou alterada de forma errônea pela ação antrópica. O homem deixa rastros de sua irresponsabilidade ao notar-se as influências que exerceu negativamente sobre um determinado espaço. Essas ações são verificadas por meio das alterações nas características morfológicas e químicas do solo (ALTIERI, 2013; REUNIÃO NORDESTINA DE CIÊNCIA DO SOLO, 2016).

3.1.1 Latossolos

Existe no Brasil sete tipos diferentes de Latossolos segundo Ker (1997), sendo eles: Ferrífero (LF), Roxo (LR), Vermelho-Escuro (LE), Vermelho-Amarelo (LV), Amarelo (LA), Bruno (LB), Vermelho-Amarelo variação Una (LU). Os Latossolos Vermelhos presentes na região Norte no Estado do Paraná são considerados um dos solos com maior potencial produtivo do país devido as suas características físicas e químicas (SILVA et al., 2001).

Os Latossolos dessa região são formados devido a decomposição de rochas básicas e apresentam quantidades significativas de micro e macronutrientes. Possuem boa fertilidade e estabilidade química (IAC, 2018).

A importância no conhecimento do tipo de solo da área se dá devido ao comportamento dos elementos químicos metálicos variarem, dentre muitos fatores, com a capacidade de troca catiônica (CTC), quantidade de matéria orgânica e pH do solo. O Latossolo é o grupo de solos mais intemperizado, constituído por solos profundos, homogêneos e apresentam pouca diversidade de minerais em sua composição. Essa classe apresenta elevada concentração de minerais resistentes ao intemperismo. São constituídos principalmente por óxidos de ferro, representados por hematita, goethita e maghemita; óxidos de alumínio em forma de gibbsita; e caulinita (VILAR, 2010).

No Latossolo Vermelho da região de Londrina encontra-se pH moderadamente ácido, variando entre 5 e 6,5. As concentrações de matéria orgânica e a CTC são consideradas médias segundo Zemiani (2017). O solo com pH ácido é mais favorável a solubilidade de metais pois ocorre menor capacidade de retenção desses elementos já que diminui a CTC.

De acordo com Vilar (2010), solos dessa ordem possuem maior porcentagem de argila do que areia e silte em sua composição, apresentando texturas muito argilosas. A fração argila é a mais fina, com partículas menores que 2 μm e que, por consequência, apresentam maiores superfícies de reação e é onde ocorre a maior parte das reações.

3.2 Contaminação do solo

A ocupação do solo deve ser feita visando a conservação ambiental da área, uma vez que as partículas que compõem o solo tem capacidade de associar e acumular espécies de microrganismos e elementos químicos resultando na alteração das características originais do solo (LUÍZ et al., 2012). Os metais contaminam uma área de forma natural ou antrópica, de forma natural quando há a entrada de materiais por meio de erosão ou atividade vulcânica (ALI; KHAN; SAJAD, 2013).

Com a busca de maior produção agrícola a consequência é o aumento no uso indiscriminado de adubos químicos, pesticidas e fertilizantes que vem sendo

cada vez mais empregado, contribuindo para a contaminação antrópica das camadas iniciais de solo, corpos hídricos e lençóis freáticos. As atividades industriais, de mineração e a urbanização também são grandes responsáveis por causar danos ao meio ambiente onde estão inseridas (CARNEIRO; SIQUEIRA; MOREIRA, 2002; CARVALHO, 2012; GIROTTO, 2010; ZEITOUNI; BERTON; ABREU, 2007).

O solo é um dos meios com maior carga de contaminantes, uma vez que grande parcela dos contaminantes que entram no ambiente acabam atingindo de forma direta o solo em primeira instância (VILLA; NOGUEIRA, 2005). Essa entrada de contaminantes modifica áreas de vegetação contínua, inserindo pontos onde a área se torna modificada e degradada química e fisicamente (ALVES, 2016). A contaminação do solo por meio de diferentes atividades, sejam elas agrícolas ou industriais, é uma das atividades que mais demonstram passivo ambiental (SÁNCHEZ, 2004).

A contaminação do solo por metais está se tornando, dia após dia, um sério problema para o meio ambiente em todo o mundo. O aumento da industrialização e os distúrbios naturais dos ciclos biogeoquímicos são fatores agravantes dessa contaminação (ALI; KHAN; SAJAD, 2013). A recuperação dessas áreas é uma das prioridades da sociedade atual resultando em grande procura por parte comercial e ambiental de metodologias que tenham poder mitigador sobre essas áreas (MAGALHÃES et al., 2011).

A contaminação por metais é uma forma de interferência extremamente prejudicial ao solo, à biota e especialmente, aos principais causadores da contaminação, os seres humanos. Quando em contato com o solo, o metal fica adsorvido nas superfícies das partículas e pode tanto interferir no desenvolvimento de determinada cultura, impedindo-a de crescer, desenvolver, produzir, quanto ser absorvido pela cadeia alimentar e ficar acumulado na mesma em diferentes níveis tróficos e concentrações. Na cadeia alimentar, os metais não são assimilados, metabolizados ou eliminados, eles ficam acumulados no organismo e causam graves problemas de saúde (FARIAS et al., 2007).

Quando trata-se de solo, os metais podem exercer efeitos toxicológicos nos microrganismos gerando, conseqüentemente, a redução da quantidade e da atividade biológica que o mesmo exercia, podendo vir a afetar os níveis tróficos superiores e causar bioacumulação do material (ALI; KHAN; SAJAD, 2013;

NAGAJYOTI; LEE; SREEKANTH, 2010), uma vez que o sistema solo-planta é o principal responsável pela construção da biosfera e da geosfera (CHEN, 2000; SOARES et al., 2001).

Os metais ficam retidos no solo por meio de adsorção da superfície nas partículas minerais, que é a forma mais comum, mas também podem ocorrer por reações de precipitação e, por último, por complexação por substâncias húmicas em partículas orgânicas (ZEITOUNI, 2003). O maior problema encontrado na retenção dos metais no solo é o fato de serem bioacumuladores, ou seja, ficam acumulados na cadeia trófica e causam distúrbios, uma vez que o início de um ciclo da cadeia alimentar é sempre iniciado a partir do solo (MONTEZ, 2014).

3.3 Zinco: de micronutriente à contaminante

Os metais podem ser classificados como essenciais e não essenciais aos organismos existentes, sejam eles plantas, animais ou seres vivos. Os metais essenciais são os que os seres precisam em quantidades mínimas para o seu desenvolvimento e sobrevivência. Já os não essenciais podem ser considerados tóxicos e não toleráveis ou prejudiciais aos seres (ALI; KHAN; SAJAD, 2013).

O descarte irregular e a conseqüente contaminação por metais causam prejuízos para o solo e o corpo hídrico, afetando toda a biota onde é depositado (SANTOS, 2007). Porém, quando há a ausência de metais considerados micronutrientes ou pouca disponibilidade dos mesmos no solo, há como conseqüências distúrbios fisiológicos e em estágios avançados, até a morte das plantas (FERRAZ et al., 2010).

O zinco é um dos metais que são considerados micronutrientes das plantas ou seja, são essenciais para o seu desenvolvimento. O fato de estar presente no solo não significa que está totalmente disponível para absorção das plantas (ALEXANDRE et al., 2012). No solo, o zinco e os demais metais podem ocorrer de forma iônica ou complexada na solução do solo. Em particular, o zinco ocorre majoritariamente na forma iônica, que por ser mais retido pelas argilas e matéria orgânica o torna quase imóvel no solo justificando a indisponibilidade total para as plantas (CHAVES, 2010; NASCIMENTO; FONTES, 2004).

O zinco é um micronutriente catiônico que segundo Tedesco et al. (1995), ocorre nos minerais primários e precipita como hidróxido, fosfato, silicato e

carbonato. A disponibilidade de zinco nas plantas depende da necessidade de zinco que a planta precisa, clima, material de origem, pH, teores de fósforo, matéria orgânica e óxidos de ferro (ALCÂNTARA, 1993).

Na planta, o zinco atua como cofator funcional, estrutural ou regulador de um grande número de enzimas. O micronutriente é um constituinte da enzima anidrase carbônica (AC) que atua no metabolismo dos carboidratos, uma vez que transporta CO₂ dentro do processo de fotossíntese. Já no metabolismo das proteínas, o zinco está relacionado com a estabilidade e função do material genético, logo, a deficiência do metal afeta a síntese da proteína. O zinco também está presente na isoenzima responsável pela proteção da membrana e das proteínas contra a oxidação. O zinco também afeta a síntese e a conservação das auxinas, que são os hormônios vegetais relacionados com o crescimento das plantas (MENGEL; KIRKBY, 1987).

Apesar das plantas tolerarem, geralmente, quantidades elevadas do metal, o excesso pode ocasionar a inibição do desenvolvimento da raiz, indução na deficiência do ferro que pode causar desde clorose nas folhas até a morte da planta. Algumas espécies de plantas ainda são capazes de armazenar o zinco nos seus vacúolos (FONTES; COX, 1998).

3.4 Técnicas de remediação do solo

Quanto trata-se de poluição de solos, existem inúmeros métodos *in situ* e *ex situ* que podem ser aplicados para permitir que o solo seja remediado, métodos esses que variam dos mais eficientes e tecnológicos aos mais simples e baratos. Os métodos *in situ* costumam ser mais baratos e não provocam contaminação secundária como costuma acontecer nos métodos *ex situ* já que o material é transportado para tratamento. Os métodos mais conhecidos são: *Pump and Treat*, Extração de Vapor do Solo (SVE), Aeração *in Situ* (Air Sparging), Barreiras Reativas Permeáveis (BRPs), Incineração, Solidificação/Estabilização, Lavagem do solo, Biorremediação e Fitorremediação (TAVARES, 2009).

O método de bombeamento e tratamento (pump and treat) é composto por um tanque e uma bomba que permitem que o solo e a água sejam remediados ao mesmo tempo. É um método que pode ser tratado no próprio sítio ou transportado para tratamento. É um tratamento lento e custoso (TAVARES, 2009).

A técnica de extração de vapor do solo (SVE) é desenvolvida para remover compostos orgânicos e voláteis da zona não saturada de um determinado solo e consiste em utilizar poços horizontais e verticais e a aplicação de vácuo para ocasionar a volatilização e remoção do contaminante que, posteriormente, é encaminhado para tratamento (ESTEVES, 2012).

A aeração *in situ* também conhecida como Air Sparging apresenta bastante semelhança com a SVE, porém é uma técnica que insere ar ao aquífero e produz borbulhamento na água, essas bolhas atravessam a coluna de solo e removem o contaminante por volatilização. Essa técnica pode favorecer a biodegradação aeróbica de determinados compostos. A restauração dura em média de um a três anos (WEBER; SANTOS, 2013).

A BRP é uma técnica de tratamento *in situ* que utiliza um reator químico ou biológico à jusante da pluma de contaminação, formando uma barreira, por onde o fluxo contaminado passa e os contaminantes vão sendo degradados (SILVA, 2009).

A incineração é utilizada em contaminantes com alto grau de periculosidade e quando há a necessidade de destruição total, pois utiliza altas temperaturas e produz outros resíduos, como os particulados (PEREIRA; FREIRE, 2005). A técnica de estabilização e solidificação consiste em adicionar um componente calcificante no contaminante, preferencialmente em hidrocarbonetos, onde o uso da técnica é mais eficiente. Essa técnica diminui a capacidade de lixiviar contaminantes (KNOP, 2003).

A lavagem do solo é uma técnica *ex situ* que inicialmente reduz a quantidade de solo a ser tratada por separação física do tamanho das partículas. Posteriormente o solo é agitado com a água de lavagem e o contaminante é transferido para a fase sólida. Ao final, a água de lavagem deverá ser tratada, tornando o custo elevado (BERNARDO, 2012).

A técnica de biorremediação é caracterizada pelas reações bioquímicas ocasionadas pelos microrganismos. De forma geral, o composto orgânico, quando oxidado, perde elétrons para um aceptor final, e o oxigênio, quando presente, é o aceptor. Entretanto, na ausência de oxigênio, os microrganismos podem usar compostos orgânicos ou íons inorgânicos, como aceptores finais de elétrons (MARIANO, 2006).

Por fim, a fitorremediação é uma das técnicas mais simples e implantadas, devido ao baixo custo e a pequena quantidade de resíduo que deve ser tratado de forma adequada ao final de sua implantação, se a planta não for capaz de

metabolizar o contaminante. A técnica consiste em utilizar espécies de plantas que sejam resistentes aos contaminantes, que podem ser orgânicos e inorgânicos, para retirar esse contaminante do solo (PIRES et al., 2003).

3.5 Fitorremediação

A fitorremediação é uma técnica de recuperação de solos contaminados que vem se mostrando eficiente por retirar os contaminantes do solo de forma relativamente rápida quando comparada a outras técnicas. É uma técnica barata pois necessita apenas do custo de investimento e operação. O volume de resíduo que precisa ser destinado para aterro industrial ao fim do processo de recuperação é muito menor quando comparado ao volume de resíduos ao utilizar técnicas de lavagem e solidificação, por exemplo, e gera mínima desestabilização e degradação da área trabalhada (VASCONCELLOS; PAGLIUSO; SOTOMAIOR, 2012).

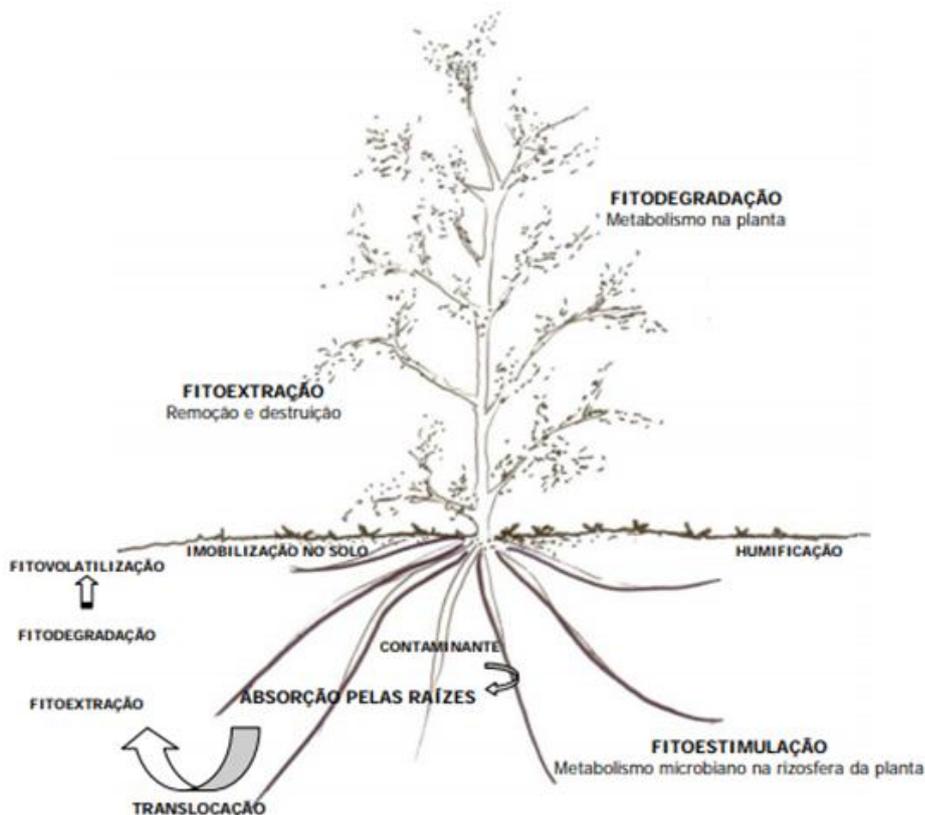
Existe uma grande quantidade e variedade de plantas que apresentam potencial hiperacumulador de metais, ou seja, retiram os metais e os mantêm concentrados em sua biomassa (YOON et al., 2005). Considerando que essas plantas concentram o metal em sua biomassa, ou seja, raiz e parte aérea, acredita-se ser mais indicado utilizar plantas que contenham maior biomassa (EBBS; KOCHIAN, 1997).

Dentre a variedade de plantas existentes, as espécies herbáceas apresentam maior resistência a níveis tóxicos de metais (SOARES, 2001). Segundo Caires (2005), a capacidade de descontaminação do solo está relacionada à sua capacidade de absorver íon metálico do solo e imobilizá-lo nos locais de acúmulo da planta. As plantas absorvem esses íons e os acumulam em suas raízes, podendo, em alguns tipos de plantas, serem transportados para outras partes da planta (CHENG, 2003).

O uso de plantas com capacidade para remover metais tóxicos do solo por meio de absorção é um método eficiente e realizado *in situ*. O sucesso do processo de fitorremediação depende da capacidade da planta escolhida de realizar a remoção e estabilização do metal em toda a sua estrutura. Algumas plantas possuem tolerância elevada na absorção de metais em relação a outras (BOLDARINI, 2017; ZEMIANI, 2017).

Os processos de fitorremediação estão embasados em mecanismos de fitoextração e fitoestabilização, conforme mostrado na Figura 1. O processo de fitoextração é subdividido em dois: a fitoextração induzida e a contínua (CAIRES, 2005). A fitoextração como um todo, envolve a absorção de metais por plantas, desde árvores até ervas e gramas e os retém em suas raízes e partes aéreas (MULLIGAN; YONG; GIBBS, 2001). A fitoextração induzida utiliza espécies com alta produção de biomassa, já a fitoextração contínua utiliza plantas hiperacumuladoras (MURZAEVA, 2004). E por fim, a fitoestabilização, onde a planta tem potencial de estabilizar os metais em sua rizosfera reduzindo o potencial de lixiviação pela adsorção dos contaminantes (GUILHERME et al., 2002).

Figura 1 – Processo de fitorremediação.



Fonte: Tavares, S. R. (2009).

O processo de fitorremediação apresenta mínima destruição e desestabilização da área visando reduzir o impacto ambiental e não afetar negativamente o aspecto visual da área, podendo até torná-la mais ornamentada

(VIANA, 2010). Além dos benefícios ambientais, a fitorremediação é um método de baixo custo que pode ser empregado em grande escala (CHANEY et al.,1997).

3.6 *Ocimum basilicum* L.

Para Gupta et al. (2013), o uso de plantas aromáticas substituindo culturas comestíveis não aromáticas para a remoção de metais do solo é uma técnica sustentável, estética e ambiental. As plantas removem esses contaminantes através de processos naturais, biofísicos e bioquímicos. As plantas aromáticas são cultivadas para extração do óleo essencial e ao que indica Gupta et al. (2013), o óleo essencial é livre de contaminação por metal, mesmo que a planta seja usada como fitorremediadora.

Estudos mostram que algumas culturas aromáticas e medicinais podem ser eficientes acumulando metais do solo contaminado, demonstrando que essas culturas podem ser eficientes na remoção desses contaminantes do solo (ZHELJAZKOV; CRAKER; XING, 2005).

O *Ocimum basilicum*, manjeriço, exposto na Figura 2, é uma herbácea aromática e medicinal, originária da Ásia e da África. Pertence à família *Lamiaceae*, é subarborescente e muito ramificada, medindo de 30 a 100 cm quando atinge sua altura máxima (MARTINS, 2016). Prefere climas mais amenos, sem frio ou calor excessivo, preferencialmente, em climas quentes e úmidos, não suportando frio.

Figura 2 – *Ocimum basilicum* L.



Fonte: Google (2019).

A planta deve ser cultivada sob sol, porém sem irradiação direta incidindo sobre a planta, solo enriquecido com matéria orgânica e drenável. Há indícios de que existam mais de 60 espécies diferentes de manjeriço, apresentando variações na cor, tamanho e formas das folhas, porte da planta e aroma. Possui dificuldades em resistir a situações climáticas extremas. É uma planta perene, desde que sejam feitas as podas das flores que precisam de mais energia para se desenvolver e acabam usando quase toda a energia da planta, impedindo-a de continuar seu ciclo (BLANK et al., 2010).

Plantas que pertencem à família *Lamiaceae*, em especial, nesse caso, o *Ocimum basilicum* L., são aromáticas e consideradas fonte de óleos essenciais. A sociedade utiliza esses óleos desde muito tempo como terapêuticos e medicinais, preservação de alimentos e aromatizantes, tanto em indústrias de produtos de limpeza como em perfumaria e cosméticos (AVETISYAN et al., 2017).

O *Ocimum basilicum* L. apresenta coloração verde clara, folha fina e ovalada e de tamanho médio, pequenas flores brancas e aroma intenso, devido a presença de óleos essenciais (FERNANDES, 2014). Esse cultivar de *Ocimum basilicum* L., também conhecido como alfavaca ou basilicão é usado como uma erva culinária seca ou *in natura* e também possui uso na indústria de cosméticos e especiarias (TANSI; NACAR, 2000).

Em estudo utilizando *Ocimum basilicum* em substratos contaminados por Cádmiio e Cobre, verificou-se que a contaminação pelos metais não alterou o crescimento e desenvolvimento da herbácea. Porém, em plantas contaminadas com Cd, observou-se a presença de cloroses devido a redução da clorofila, impulsionada pela contaminação (MONTEZ, 2014).

Segundo o estudado por Prasad et al. (2011) o *Ocimum basilicum* L. é tolerante à altas concentrações de Cu e Zn, porém, pouco tolerante à concentrações de Co e Ni. E no caso do *Ocimum basilicum* L., em específico, suas maiores concentrações de Zn encontram-se nas raízes e nas folhas durante um estudo envolvendo a análise de várias plantas sobre o mesmo contaminante (JELUSIC; LESTAN, 2014).

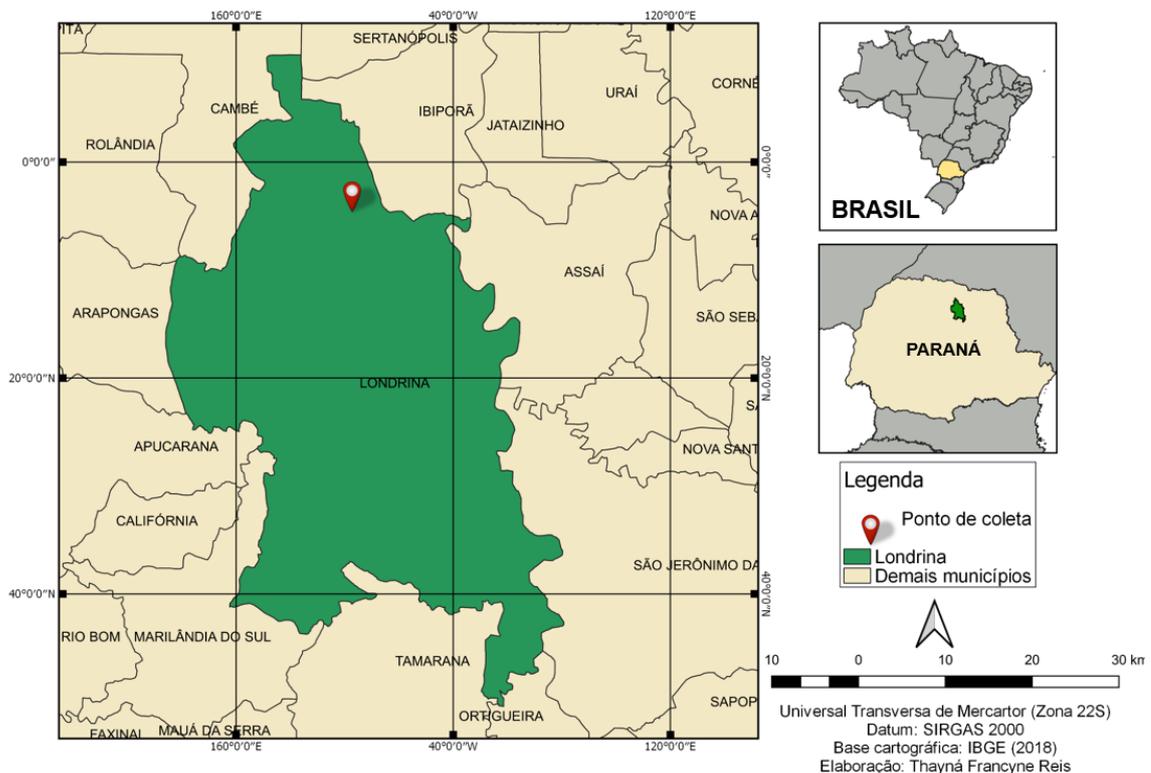
4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Solo e amostragem

4.1.1 Localização do ponto de coleta do solo

As amostras de solo foram coletadas no município de Londrina, no estado do Paraná, nas coordenadas geográficas 23°18'29,87"S, 51°6'50,64"O e altitude de 562 m, próximas ao campus da UTFPR de Londrina, conforme o ilustrado na Figura 3a e Figura 3b. A região onde o solo foi coletado e o experimento realizado apresenta temperatura média anual de 24°C, precipitação média anual de 1563 mm e clima do tipo Cfa (h), classificado como clima subtropical úmido, com média do mês mais quente superior a 22 °C segundo a classificação Köppen (BAGNOLA et al.; 2011). A área foi escolhida por não apresentar contaminação prévia por construção ou demais atividades, ou seja, era uma área cercada por árvores e sem indícios de atividades que possam influenciar a presença de contaminantes.

Figura 3a - Localização geográfica do ponto de coleta do solo.



Fonte: Autoria própria.

Figura 3b - Localização geográfica do ponto de coleta do solo.



Fonte: Google Earth (2019).

4.1.2 Coleta e preparação do solo

O solo livre foi coletado a uma profundidade de 0 - 20 cm com o auxílio de pás e enxadas, buscando retirar parte da camada superficial da vegetação situada na área. Posteriormente o solo foi colocado para secar na estufa do bloco S da UTFPR - Londrina. Após a secagem, todo o solo foi destorroado e peneirado em malha 2 mm a fim de se obter Terra Fina Seca ao Ar (TFSA). Com a TFSA, as partículas ficaram com tamanho homogêneo minimizando riscos de diferença de sorção. Depois de seco e homogêneo o solo foi armazenado em sacos plásticos até a etapa de contaminação e plantio das mudas.

4.2 Análises físico-químicas do solo

Após a finalização da homogeneização do solo coletado, amostras foram retiradas para a realização de análises físico-químicas no Laborsolo - laboratório técnico especializado em análises de solos. Os parâmetros analisados no Laborsolo foram: pH, CTC, teor de matéria orgânica e teor de micronutrientes essenciais para o desenvolvimento de plantas e culturas, seguindo a metodologia da Embrapa (1997).

Foi realizado o ensaio para determinação da composição granulométrica do solo utilizando o método do densímetro proposto pela Embrapa (1997). O ensaio de

granulometria foi feito utilizando 50g da amostra de solo acrescida de 100ml de água e 25ml de hidróxido de sódio que foi agitada e deixada em repouso durante uma noite. Após a noite o conteúdo foi transferido para o copo do agitador elétrico e o volume ajustado para 300ml e submetido a agitação por 15 minutos. Após a agitação o conteúdo foi passado em malha de 0,053mm apoiada em uma proveta de 1000ml e o material retido foi lavado. O volume foi ajustado para 1000ml.

O conteúdo foi agitado por 20 segundos com um bastão e após 90 minutos de sedimentação o conteúdo foi passado para a proveta de 250ml e agitado e ao término da agitação o densímetro foi inserido de modo a realizar a leitura.

A areia retida na malha de 0,053mm foi colocada para secar em estufa e sua massa foi determinada após a secagem. Os teores de cada um dos componentes (areia, silte e argila) foram determinados pelos cálculos expostos na metodologia.

4.3 Isotermas de adsorção para zinco

Para a obtenção das isotermas de adsorção de zinco no solo, foram utilizadas amostras de 1 g do solo seco e homogêneo em duplicata, com adição de 25 mL de solução de acetato de zinco em concentrações diferentes preparadas em CaCl_2 $0,01\text{mol L}^{-1}$ (BOLDARINI, 2017; ZEMIANI, 2017).

As soluções de zinco que foram adicionadas as amostras de solo foram preparadas nas concentrações de: 0 (solução controle), 2, 4, 6, 8, 10, 20, 40, 60, 80, 100, 120 e 140mg.L^{-1} .

O pH da solução pode influenciar na adsorção do metal pelo solo, portanto a solução controle - sem adição de zinco - serviu como parâmetro de ajuste para as demais soluções onde a quantidade de zinco foi variável, para que permaneça o pH inicial do solo sem contaminação. Foi necessário adicionar mínimas quantidades de NaOH $0,001\text{mol L}^{-1}$ para corrigir a acidez em relação ao controle. Toda a análise de pH foi feita sob monitoramento de potenciômetro equipado com eletrodo combinado de vidro.

As amostras foram agitadas por 24 horas com auxílio de um *shaker* à temperatura ambiente e após esse período foram centrifugadas por 10 minutos a 2000 rpm e posteriormente filtradas para realizar a determinação de zinco por espectrometria de absorção atômica com atomização em chama (FAAS).

As quantidades de zinco adsorvidas pelo solo foram calculadas através do resultado da diferença entre a quantidade de metal adicionada e a remanescente (sobrenadante) determinada por FAAS. Com esses dados foram construídas as isotermas seguindo as equações do modelo de Langmuir (1) e Freundlich (2), adotando o melhor ajuste para tomar como parâmetro para a execução do experimento.

$$q = \frac{k_b \times C_{eq}}{1 + k \times C_{eq}} \quad (1)$$

$$q = K_f \times C_{eq}^{1/n} \quad (2)$$

onde,

q : quantidade de metal adsorvido ($\mu\text{g.g}^{-1}$);

C_{eq} : concentração de metal na solução de equilíbrio ($\mu\text{g.mL}^{-1}$);

b : capacidade máxima de adsorção ($\mu\text{g.g}^{-1}$);

k : constante da energia de ligação do metal no solo ($\mu\text{g.mL}^{-1}$);

4.4 Contaminação do metal no solo

O solo foi colocado em vasos de polipropileno com capacidade para 2 L e contaminado com as doses crescentes de metal usando a solução de zinco na forma de acetato. O sal na forma de acetato evita o uso de nitrato ou cloreto, que podem servir como nutrientes para as plantas e interferir no crescimento do *Ocimum basilicum* L.

O experimento foi realizado com oito concentrações crescentes de zinco, tomando como parâmetro de escolha a capacidade máxima de adsorção resultada dos ajustes das isotermas. As concentrações de zinco escolhidas foram superiores, inferiores e iguais a capacidade máxima de adsorção determinada pela isoterma e respeitou-se a ordem exposta na Tabela 1, de acordo com a metodologia utilizada por Boldarini (2017) e Zemiani (2017).

Tabela 1 – Concentrações de zinco utilizadas para contaminação.

Nomenclatura	Concentração de Zn
C0	Sem adição do metal
C1	Um oitavo da capacidade máxima de adsorção
C2	Um sexto da capacidade máxima de adsorção
C3	Um quarto capacidade máxima de adsorção
C4	Metade capacidade máxima de adsorção
C5	A capacidade máxima de adsorção
C6	O dobro da capacidade máxima de adsorção
C7	O quádruplo da capacidade máxima de adsorção

Fonte: Autoria própria.

As contaminações foram reproduzidas em cinco repetições para cada concentração, resultando em quarenta vasos de solo contaminado. O experimento foi desenvolvido em casa de vegetação em condições de luminosidade e temperatura naturais.

Para permitir que o solo entrasse em equilíbrio com o metal, foi feito o cálculo para umidade de 60% no solo, a massa de água foi adicionada e os mesmos foram incubados em casa de vegetação sob condições naturais por trinta dias.

Para chegar à quantidade de água necessária para manter a umidade do solo, utilizou-se a metodologia usada e proposta por Serafim et al. (2012), onde considera-se 60% dos espaços de vazios do solo preenchidos pela água. Para o cálculo da umidade foram utilizadas as equações de volume do solo dentro do recipiente (3), da densidade do solo (4), e da porosidade do solo (5).

$$Vt = a \times b \times c \quad (3)$$

$$ds = \frac{Ms}{Vt} \quad (4)$$

$$\alpha s = 1 - \frac{ds}{dp} \quad (5)$$

onde,

Vt : volume total de solo (cm³);

a : largura do recipiente com solo (cm);

b : comprimento do recipiente com solo (cm);

c : altura de solo no recipiente (cm);
 d_s : densidade do solo (g/cm^3);
 M_s : massa de solo no recipiente (g);
 d_p : densidade da partícula (g/cm^3);
 α_s : porosidade (cm^3 água/ cm^3 solo).

Com a multiplicação da informação de porosidade e massa de solo, foi obtida a quantidade de água para preencher 100% dos espaços de vazios. Esse valor foi, então, calculado para 60% dos poros e foi obtida a quantidade de água necessária para manter a umidade do solo em 60%.

4.5 Preparação das mudas

As mudas de *Ocimum basilicum* L. foram preparadas pelo plantio de sementes adquiridas em casa de produtos agropecuários. As sementes foram semeadas no solo contido em sacos plásticos adequados e foram regadas diariamente. As mudas foram feitas 30 dias antes de serem transferidas para os recipientes onde encontrava-se o solo contaminado, para que atingissem a altura aproximada de 5 cm de caule antes de serem transplantadas.

4.6 Cultivo de *Ocimum basilicum* L. em solo contaminado e avaliação do crescimento

Antes das mudas serem transplantadas para os vasos, o solo recebeu uma solução nutritiva contendo as doses previamente calculadas de N, P e K referentes às deficiências desses nutrientes encontrados no solo, mediante análise química realizada no laboratório especializado (Anexo A), para permitir, assim, que o solo estivesse em condições ótimas de nutrientes para o desenvolvimento do *Ocimum basilicum* L.

A solução nutritiva (NPK) colocada inicialmente no solo foi elaborada utilizando como referência o Manual de Adubação e Calagem para o Estado do Paraná (PAULETTI; MOTTA, 2017). Para esse cálculo foram consideradas as

características químicas do solo e assim, estabelecidos os valores específicos para cada um dos macronutrientes: Nitrogênio, Fósforo e Potássio.

Antes de transplantar as mudas, foram feitos os ajustes de N, P e K para a quantidade de solo presente nos vasos de polipropileno e foram inseridas as quantidades de Fosfato monopotássico como fonte de fósforo e potássio, Cloreto de potássio como fonte do potássio faltante e Sulfato de amônio como fonte de nitrogênio.

As mudas transplantadas para os vasos foram inspecionadas diariamente visando avaliar o desenvolvimento da planta e sua reação quanto à perturbação com excesso de zinco. As inspeções diárias foram feitas por um período de três meses.

A inspeção visual foi registrada, por meio da câmera do celular, diariamente nos primeiros sete dias e após depois foram realizadas quinzenalmente. Também foi realizada a medição da altura com auxílio de uma régua e a contagem manual do número de folhas na mesma frequência em que foram realizados os registros fotográficos. As contagens das flores foram realizadas manualmente na metade e no fim do experimento, dias 45 e 90, respectivamente. No dia 45 os pendões de flores foram contados e podados, de modo a não interferir no desenvolvimento da planta.

Durante o experimento as mudas eram regadas diariamente, de forma controlada, ou seja, a massa faltante de água era colocada em cada um dos vasos de modo que fosse sempre mantido o valor de 60% de umidade, como forma de evitar o acúmulo de água no fundo dos recipientes.

Ao longo do desenvolvimento do experimento, foram aplicadas doses, também calculadas de acordo com Pauletti e Motta (2017), de nitrogênio (N) como forma de adubação de cobertura. As doses foram aplicadas duas vezes durante o experimento, uma com aproximadamente 30 dias e outra com aproximadamente 60 dias.

Após 90 dias a planta foi colhida e se procedeu com a higienização das raízes por meio de imersão em água ultrapura até remover todo o excesso de solo. Através de inspeção visual (registro fotográfico) as raízes foram avaliadas em diferentes concentrações de zinco no solo.

4.7 Análise dos dados

Os dados da sintomatologia visual foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias foram comparadas entre si pelo teste de Tukey, $p < 0,05$. Os resultados foram obtidos utilizando o programa computacional SISVAR 5.6.

Os dados foram analisados graficamente pelas médias simples dos parâmetros das replicatas de cada uma das concentrações, para número de folhas e altura. As quantidades de flores também foram analisadas graficamente. Por fim, os registros fotográficos também foram avaliados, de modo a demonstrar as alterações significativas na sintomatologia visual.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Análises físico-químicas do solo

O objetivo principal das análises realizadas no solo foi a caracterização química e física, referentes à composição granulométrica que faz parte das características físicas e pH, capacidade de troca catiônica (CTC) e composição como algumas das características químicas.

O solo coletado apresentou como resultado da análise granulométrica uma composição de 11,7% de areia, 14,98% de silte e 73,32% de argila. Quando ajustados ao triângulo textural, que insere as proporções de cada um dos componentes e determina a classificação granulométrica, esses resultados representam um solo com predominância de argila maior que 60%, o que define um solo com textura muito argilosa.

A composição granulométrica do solo está ligada de forma direta com a variação na adsorção dos metais. Isso ocorre porque a fração mais fina encontrada na textura do solo é a argila, composta por partículas menores que 2 μm . Quanto menor a partícula, maior a área superficial e conseqüentemente, maior a superfície de reação e maior adsorção (VILAR, 2010).

Os dados de caracterização química do solo foram obtidos por meio das análises realizadas em laboratório especializado e são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Características químicas do solo.

Característica Química	Amostra
M.O. (Matéria Orgânica)	24,02 g.dm ⁻³
pH CaCl₂	4,83
pH H₂O	5,67
S.B (Soma de bases trocáveis)	6,92 cmol _c .dm ⁻³
CTC (Capacidade de troca catiônica)	13,26 cmol _c .dm ⁻³
V (porcentagem de bases trocáveis)	52,14 %
P	7,53 mg.dm ⁻³
Mg	1,98 cmol _c .dm ⁻³
Ca	4,42 cmol _c .dm ⁻³
Al⁺³	0,00 cmol _c .dm ⁻³
K	0,52 cmol _c .dm ⁻³

Fonte: Autoria própria.

De acordo com a porcentagem de saturação de bases encontrada por meio das análises químicas, de 52,14%, classifica-se o solo como Latossolo Vermelho Distroférico. A classificação do solo da região onde foi coletado também foi realizada por Bagnola et al., (2011), confirmando se tratar de Latossolo Vermelho.

Algumas características químicas do solo influenciam de forma direta na adsorção dos metais, dentre os principais está o pH e a CTC. O solo utilizado apresentou uma capacidade de troca catiônica (CTC) de $13,26 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$, sendo considerado como nível de suficiência médio, uma vez que está entre o intervalo de 5 a $15 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$ de acordo com a Embrapa (2015). O valor de CTC indica a capacidade do solo em reter íons em condições específicas e trocar por quantidades iguais de íons do mesmo sinal (RAIJ, 1969).

Para o valor de pH da amostra de solo em água, encontrou-se um valor de 5,67, que é considerado moderadamente ácido. Solos em condições de acidez propiciam o aumento da solubilidade dos metais, uma vez que diminui a capacidade de troca de cátions e ânions, CTC e CTA, respectivamente, e como consequência há a redução na capacidade de retenção dos metais (BORGES; COUTINHO, 2004).

As concentrações de alguns metais que estão presentes no solo de forma natural foram determinadas e são apresentadas na Tabela 3, sendo considerados como micronutrientes e são fundamentais para a nutrição das plantas, quando em concentrações específicas.

Tabela 3 – Metais naturalmente presentes no solo.

Metais	Concentração
Cobre (Cu)	18,46 $\text{mg}.\text{dm}^{-3}$
Ferro (Fe)	149,27 $\text{mg}.\text{dm}^{-3}$
Manganês (Mn)	505,80 $\text{mg}.\text{dm}^{-3}$
Zinco (Zn)	7,11 $\text{mg}.\text{dm}^{-3}$

Fonte: Autoria própria.

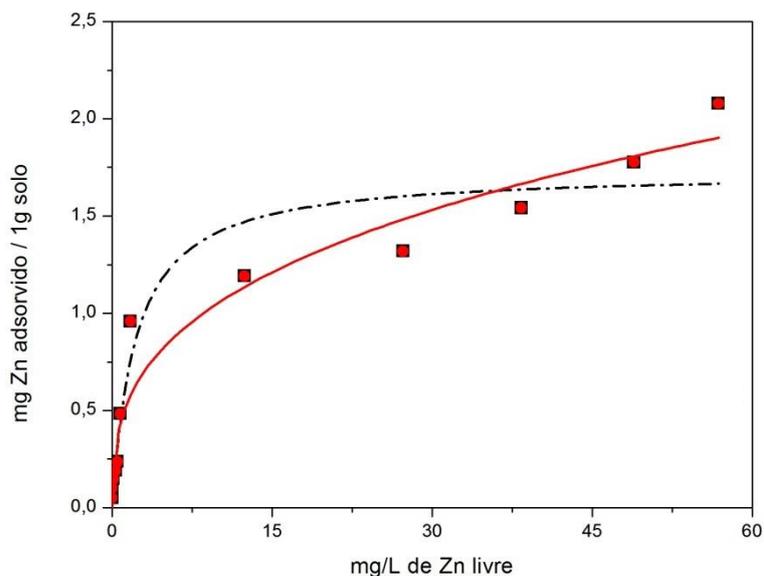
Além dos metais expostos na Tabela 3, também foi determinada na amostra a concentração de Boro de $0,32 \text{ mg}.\text{dm}^{-3}$ que é um micronutriente aniônico, ou seja, um nutriente não metal. Ferraz et al., (2010) expõe que a ausência ou baixa disponibilidade desses componentes no solo pode gerar problemas irreversíveis

para o desenvolvimento das plantas, causando desde distúrbios no crescimento e alterações fisiológicas quanto a erradicação da planta.

5.2 Isotermas de adsorção

As isotermas de adsorção obtidas para zinco em latossolo vermelho podem ser visualizadas na Figura 4. O melhor ajuste foi encontrado para a Isoterma de Freundlich, que apresentou maior coeficiente de determinação ($R^2 = 0,9478$) em relação ao ajuste de Langmuir ($R^2 = 0,9129$). Desta forma, a Isoterma de Freundlich descreve de forma mais adequada o processo de adsorção do zinco no solo. Araújo (2000) e Linhares et al. (2010) também analisaram a adsorção do zinco em latossolo vermelho e os ajustes foram mais satisfatórios para Freundlich.

Figura 4 – Isotermas de Freundlich (—) e Langmuir (---) para Zn em Latossolo Vermelho.



Fonte: Origin® - Autoria própria.

Uma das explicações para a melhor adequação do modelo de Freundlich pode ser a de que esse modelo é mais utilizado para demonstrar a adsorção de soluções sobre sólidos com superfícies heterogêneas. A Langmuir é mais utilizada para descrever a adsorção por sólidos de superfícies homogêneas (ALLEONI et al., 2005).

Em um estudo desenvolvido por Nascimento e Fontes (2004), foi observado que para a adsorção de Zn o teor de argila é mais determinante que o teor de matéria orgânica, logo, quanto mais argiloso o solo, mais propenso o solo é a

adsorção de Zn. A relação entre os parâmetros de adsorção de Zn e a CTC tornam evidente a importância da troca iônica na retenção do metal.

O valor encontrado para a capacidade máxima de adsorção de Zn na amostra de solo por meio da Isoterma de Freundlich foi de $0,482 \text{ g.kg}^{-1}$ de solo evidenciando uma alta capacidade do solo em reter o metal.

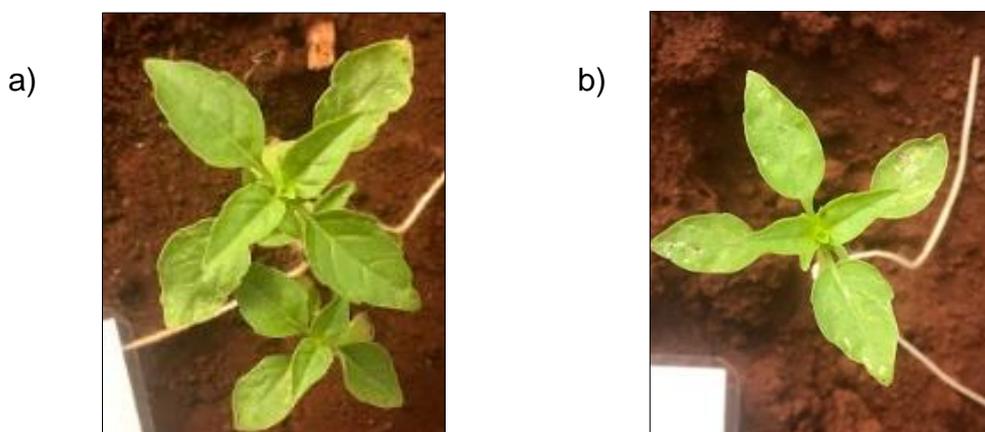
A partir desse valor é que as concentrações utilizadas na contaminação do solo foram definidas, sendo: C_0 ($0,00 \text{ g.kg}^{-1}$); C_1 ($0,060 \text{ g.kg}^{-1}$); C_2 ($0,080 \text{ g.kg}^{-1}$); C_3 ($0,121 \text{ g.kg}^{-1}$); C_4 ($0,241 \text{ g.kg}^{-1}$); C_5 ($0,482 \text{ g.kg}^{-1}$); C_6 ($0,964 \text{ g.kg}^{-1}$) e C_7 ($1,446 \text{ g.kg}^{-1}$).

5.3 Sintomatologia visual

A sintomatologia visual foi analisada por meio da inspeção visual e do registro fotográfico do desenvolvimento do *Ocimum basilicum* L. A análise da sintomatologia visual foi obtida pela comparação das amostras de todos os tratamentos (C_1 a C_7) com a amostra controle (C_0), sem a adição de zinco no solo. As amostras foram expostas ao tratamento por 90 dias e quinzenalmente as alterações na sintomatologia visual foram registradas.

Na Figura 5 é possível observar as plantas após 4 dias de exposição ao Zn. As imagens apresentadas mostram manchas com aspecto branco na folha do *Ocimum basilicum* L. submetido ao tratamento C_7 , quando comparado ao controle (C_0).

Figura 5 – a) Replicata de concentração C_0 . b) Replicata de concentração C_7 .



Fonte: Autoria própria.

A presença de manchas brancas ou variação na tonalidade verde natural da planta pode ser indicativa de clorose – disfunções na clorofila – que são normalmente ocasionadas pela deficiência de algum nutriente necessário para o pleno desenvolvimento da planta (FERRI, 1979).

Após os primeiros 15 dias do experimento foi possível observar o desaparecimento das manchas brancas das plantas, provavelmente porque os nutrientes passaram a ser absorvidos pelas plantas durante este período.

Na Figura 6 encontra-se o registro fotográfico dos tratamentos C₀ a C₇ e em geral, observou-se que a adição de zinco no solo proporcionou um maior estímulo no crescimento e desenvolvimento da planta quando comparado com o tratamento controle C₀. Visualmente, foi notado que as replicatas da concentração C₁ foram as que apresentaram folhas maiores e mais uniformes. A partir do tratamento C₅, nota-se algumas folhas amareladas e menores.

Figura 6 – Imagens dos manjericões 15 dias após o plantio em solo contaminado com Zn.



Fonte: Autoria própria.

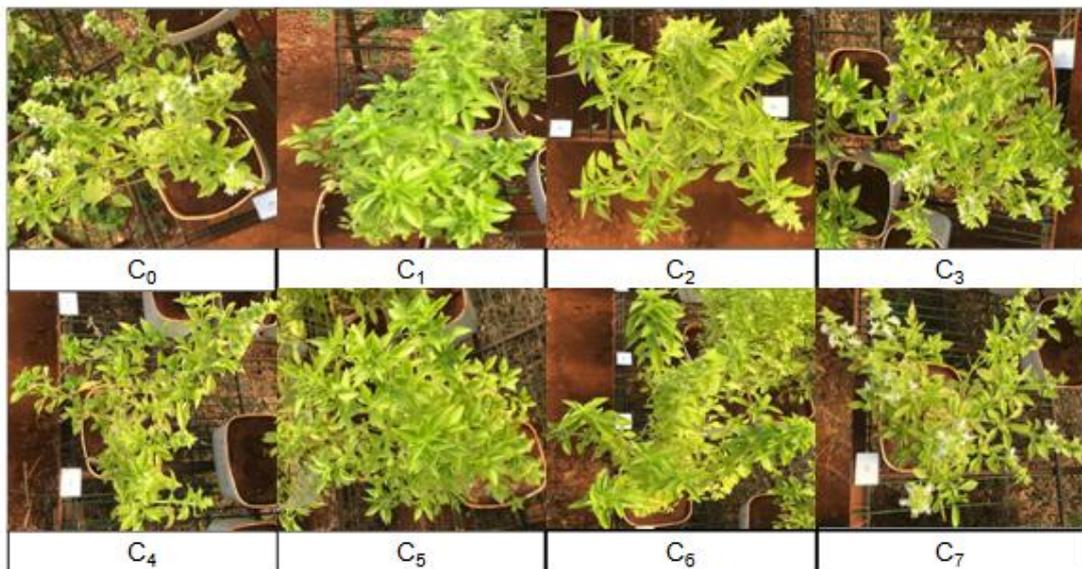
Com 30 dias de experimento foi possível observar um aumento rápido e uniforme no número de folhas, para todos os tratamentos, além da intensificação da coloração verde e erradicação de pontos amarelados nas replicatas das plantas. Notou-se, também, que os primeiros sinais de floração começaram a aparecer nos tratamentos C₆ e C₇ durante esse período, provocados provavelmente pelo excesso de Zn.

Após 45 dias do início do experimento, notou-se aumento elevado na altura das plantas. O número de folhas, com exceção do tratamento C₅, passou a tender a estabilização e depois começou a cair. Ao mesmo tempo, muitas flores começaram a surgir, indicando que a poda precisava ser realizada para conservar o crescimento da planta, uma vez que as flores funcionam como drenos e acabam consumindo muita energia, levando a falta de energia para o crescimento saudável do *Ocimum basilicum* L. Os tratamentos C₁, C₂ e C₃ apresentaram menor floração, porém, a poda foi realizada em todas as plantas.

Devido as condições climáticas (destelhamento da estufa onde as plantas estavam alocadas) entre os dias 45 e 60 foi preciso mudar as plantas emergencialmente de lugar. Nesse período, notou-se que a partir do tratamento C₄ começou a haver amarelamento e ressecamento das folhas dos manjericões, provavelmente causado por estresse da planta devido às alterações de temperatura e luminosidade. Nesse mesmo período houve a perda de quatro plantas, uma de cada dos tratamentos C₁, C₂, C₅ e C₆. Essas plantas quebraram no caule principal, não sendo possível continuar com o monitoramento delas.

Aos 90 dias de experimento, notou-se o amarelamento e consequente, aumento da perda de folhas para todos os tratamentos, resultando na estabilização do número de folhas. Nesse período as plantas também apresentavam muitas flores em todos. O resultado ao fim dos 90 dias é mostrado na Figura 7.

Figura 7 – Imagens dos manjericões 90 dias após o plantio em solo contaminado com Zn.

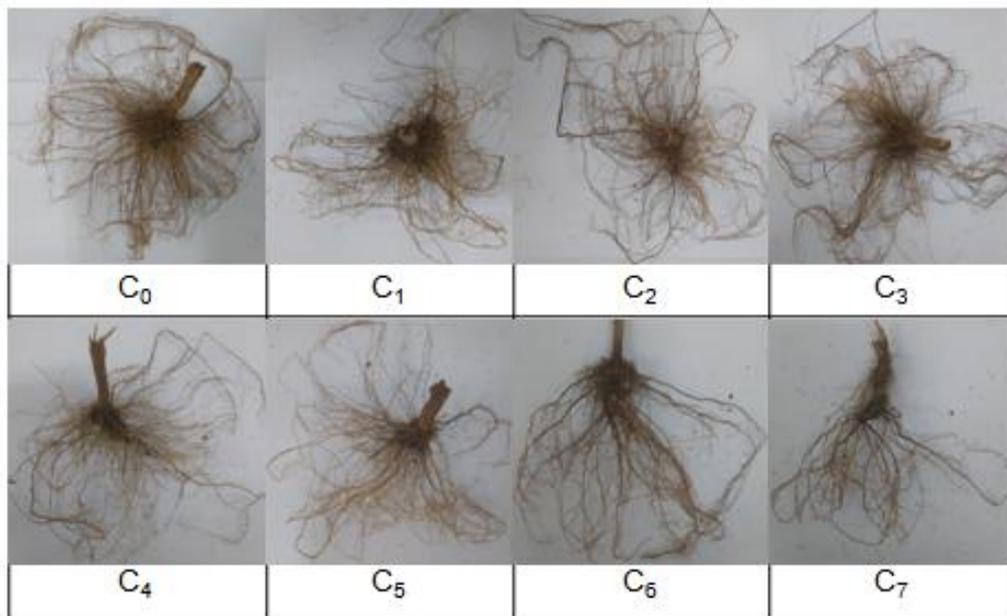


Fonte: Autoria própria.

Alguns sintomas parecidos foram observados por Ambrosini et al. (2016), em um trabalho realizado com videiras, no que se refere a clorose presente nas folhas das plantas e na alteração da tonalidade de verde nos diferentes tratamentos.

Após o período de 90 dias em que os manjericões ficaram sob monitoramento, foi realizada a retirada das plantas do solo para análise e avaliação do crescimento. As plantas devidamente lavadas, as raízes foram inspecionadas visualmente e algumas medidas de comprimento foram tomadas. As mudanças observadas nas raízes são expostas na Figura 8.

Figura 8 – Imagens das raízes dos manjericões após o plantio em solo contaminado com Zn.



Fonte: Autoria própria.

As raízes são as fontes de entrada da água, dos nutrientes e de tudo que a planta é capaz de absorver, logo, se houver a presença de contaminantes, de qualquer tipo, o meio de acesso à planta é pelas raízes, que serão as primeiras a sofrer por causa dos elementos prejudiciais (JEZLER et al., 2015). Havendo a presença de contaminantes a anatomia da raiz pode sofrer alteração.

Nota-se, nas imagens da Figura 6, que o tamanho das raízes e o número de ramificações diminuiu gradativamente da menor para a maior concentração de zinco, ou seja, de C₀ para C₇. Outro aspecto visível nas imagens é que a partir do tratamento C₅ até o tratamento C₇ algumas ramificações das raízes ficaram mais espessas e escuras e as raízes laterais ficam amareladas. Reichman (2002) e

Teicher (2014) também constataram em seus trabalhos que o excesso de zinco nas plantas é diagnosticado nas raízes devido ao encurtamento e amarelecimento das raízes secundárias, além de redução na raiz principal.

Comportamento semelhante ao encontrado nas raízes do *Ocimum basilicum* L. foi observado por Wolff et al., (2009), ao analisar o desenvolvimento da *Salvinia auriculata* em meio contaminado com zinco. Foi verificado, nesse estudo, que há alterações nos tamanhos e nas cores das raízes, da mesma forma que as alterações ocorreram nas raízes do *Ocimum basilicum* L.

5.4 Avaliação do desenvolvimento de *Ocimum basilicum* L.

Outra forma de analisar o desenvolvimento da planta em um meio atípico é por meio da medição e contagem do número de folhas, altura e número de flores para cada uma das concentrações do zinco presente no solo. A Tabela 4 apresenta os resultados das médias calculadas ao fim do período de cultivo e colheita do *Ocimum basilicum* L. Os resultados e as diferenças foram avaliados e analisados por meio do teste estatístico Tukey 5%.

Tabela 4 – Médias do número de folhas, altura e número de flores ao fim da exposição de *Ocimum basilicum* L. em solo contaminado com Zn.

Tratamento	Folhas (un.)	Altura (cm)	Flores (un.)
C ₀	569 a	34,66 a	23 a
C ₁	700 a	42,35 a	15 a
C ₂	672 a	35,45 a	20 a
C ₃	825 a	47,16 a	18 a
C ₄	511 a	33,90 a	21 a
C ₅	730 a	45,50 a	15 a
C ₆	799 a	40,90 a	18 a
C ₇	583 a	33,30 a	16 a

Fonte: Autoria própria.

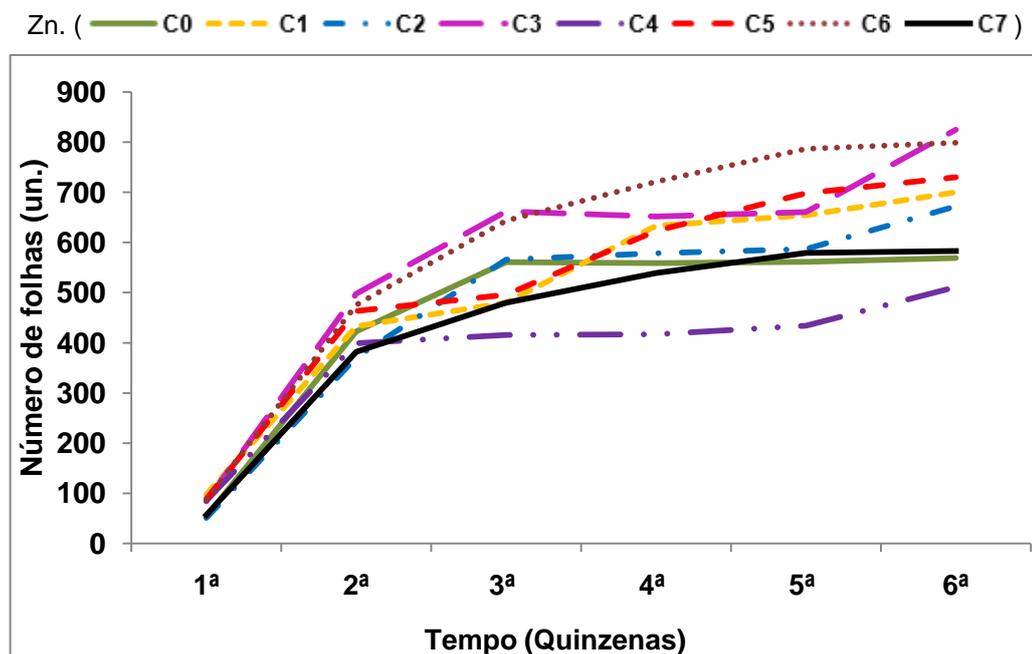
Pelo teste de Tukey 5%, empregado na Análise de Variância (ANOVA), as médias que apresentam como resultado a mesma letra não diferem entre si. Nos resultados apresentados na Tabela 4, observa-se que não há nenhum tratamento

que seja estatisticamente diferente dos outros. A grande variabilidade entre os dados das replicatas acusaram que não existe diferença significativa, uma vez que os dados não tem normalidade nem homogeneidade. Este fato demonstra que o metal acrescentado ao solo não interferiu quantitativamente no número de folhas e flores e nem interferiu na altura das plantas após 90 dias de experimento.

Ao longo do período de experimento, o teste de Tukey também foi aplicado nos resultados quantitativos obtidos em cada uma das quinzenas durante o tempo de cultivo de *Ocimum basilicum* L. no solo contaminado e não foi observada nenhuma diferença significativa entre os tratamentos.

Em relação ao número de folhas na Figura 9, observou-se que as duas primeiras quinzenas apresentaram maior produção no número de folhas, de forma uniforme, para todos os tratamentos. Após esse período observou-se uma tendência de estabilização.

Figura 9 – Número de folhas de *Ocimum basilicum* L. para cada tratamento durante a exposição ao



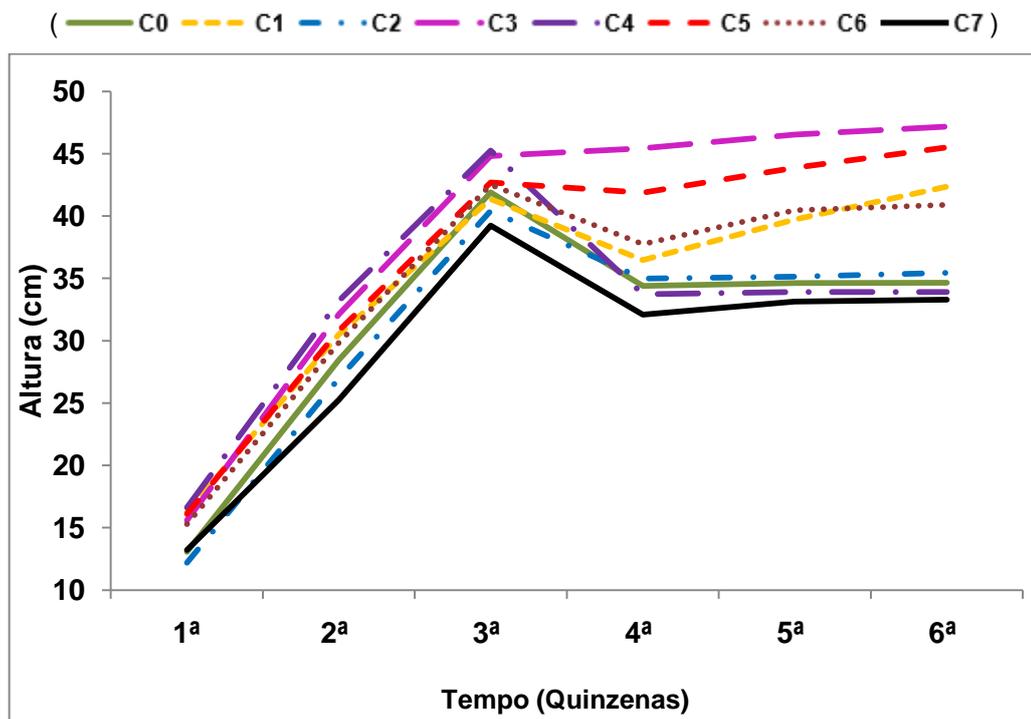
Fonte: Autoria própria.

Observa-se que entre a 3ª e a 5ª quinzena houve estabilização na quantidade de folhas em todos os tratamentos. Em meados da terceira quinzena houve o destelhamento da casa de vegetação onde as plantas estavam alocadas para desenvolvimento e acompanhamento. Com este incidente as plantas foram levadas para dentro de um laboratório e posteriormente colocadas em uma outra

casa de vegetação, com condições de luminosidade e temperatura diferentes das inicialmente criadas para o experimento. A estabilização do número de folhas provavelmente ocorreu pois as plantas foram submetidas ao estresse, mediante as alterações bruscas que ocorreram com o lugar em que estavam.

A avaliação da altura da planta é apresentada na Figura 10. Observou-se que a altura da planta aumentou de forma uniforme e constante em todos os tratamentos até a terceira quinzena. Após esse período observou-se uma diminuição na altura da planta devido à poda das flores com retirada do topo do caule para a maioria dos tratamentos. A partir da quarta quinzena as plantas apresentaram tendência de estabilização da altura. Portanto, a planta apresentou-se tolerante ao solo contaminado com altas concentrações de zinco.

Figura 10 – Altura de *Ocimum basilicum* L. para cada tratamento durante a exposição ao Zn.

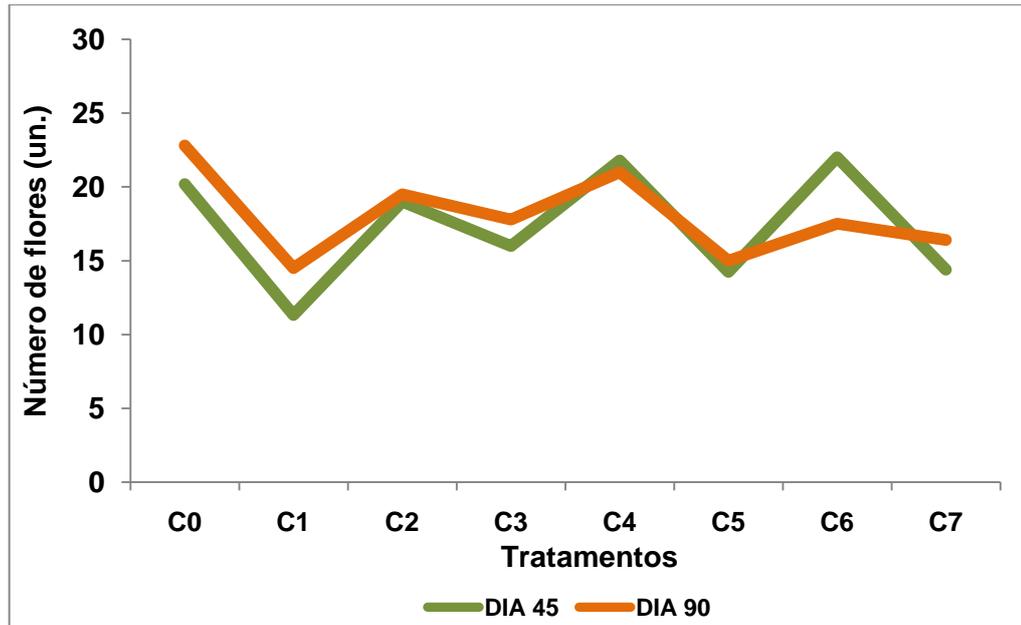


Fonte: Autoria própria.

No que diz respeito ao número de flores na Figura 11, observou-se que tanto com 45 quanto 90 dias todos os tratamentos foram significativamente semelhantes de acordo com o teste de Tukey (95% de confiança). A presença de zinco abaixo da capacidade máxima, onde os íons de zinco são fortemente retidos no solo por processo de adsorção, não causaram nenhum tipo de interferência no

desenvolvimento da planta. Nos tratamentos C₆ e C₇, apesar de serem estatisticamente iguais ao controle, observou-se uma aceleração no desenvolvimento da planta com floração precoce provavelmente devido a alta concentração de zinco no solo.

Figura 11 – Número de flores de *Ocimum basilicum* L. para cada tratamento durante a exposição ao Zn.



Fonte: Autoria própria.

De maneira geral, resultado semelhante em relação à ausência do surgimento de sintomas de toxicidade e não alteração no número de folhas e altura também foi encontrado por Gaïda et al. (2013) ao acompanhar a influência de metais, dentre eles o zinco, no crescimento da espécie *Rosmarinus officinalis* L. (alecrim), pertencente à mesma família do *Ocimum basilicum* L. onde foi possível observar que o excesso de zinco, mesmo em concentrações consideradas tóxicas, não influenciou nem alterou, significativamente, o desenvolvimento da planta.

Em outro estudo, encontrado por Parra et al. (2014) ao acompanhar a germinação das sementes, o crescimento e a tolerância das espécies de *Lavandula dentata* L. (lavanda francesa), *Rosmarinus officinalis* L. (alecrim) e *Thymus vulgaris* L. (tomilho) em solo de mina contaminado com zinco, demonstrou que as espécies selecionadas também foram tolerantes ao metal.

Apesar do excesso de zinco ser conhecido por causar redução no crescimento da parte aérea de espécies de plantas, como a *Salvinia natans*, pois afeta alguns fotossistemas (aglomerados de sistemas de clorofila e outros pigmentos) e reduzem as atividades de algumas enzimas (DHIR et al., 2008; TEICHER, 2014), este efeito não foi verificado neste ensaio, uma vez que a análise de variância e as análises quantitativas e visuais não demonstraram existirem diferenças entre os tratamentos.

A não interferência significativa das variações na concentração do metal adicionado ao solo no desenvolvimento do *Ocimum basilicum* L. pode demonstrar que, talvez, o metal possa influenciar na fisiologia do *Ocimum basilicum* L. de forma positiva, como promotor de crescimento (floração precoce neste trabalho), deixando evidente sua parcela de participação como influenciador da auxina, que é definida como o hormônio vegetal do crescimento mais conhecido (MENGEL; KIRKBY, 1987).

6 CONCLUSÃO

Conclui-se, portanto, que para este trabalho a planta *Ocimum basilicum* L. cultivada em solo contaminado com zinco apresentou-se tolerante ao metal, incluindo em doses mais elevadas que as necessárias para sua nutrição, uma vez que trata-se de um micronutriente.

Em relação às diferenças observadas nas raízes entre os tratamentos, mesmo C₆ e C₇ apresentando raízes menos ramificadas e mais espessas que tratamento C₀, as diferentes concentrações de zinco no solo não influenciaram significativamente na altura, número de folhas e quantidade de flores em comparação com o tratamento controle C₀. Isto indica que a planta pode possuir características hiperacumuladoras do metal. Estudos da absorção de zinco pela planta devem ser realizados para verificar a possibilidade de acumulação do metal em suas raízes, caules e folhas.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, M. I. de et al. Perdas de solo, água e nutrientes em sistemas agroflorestais no município de Sobral, CE. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 37, n. 3, p.270-278, 2006.

ALCÂNTARA, M. A. K. de. **Formas e disponibilidade de zinco às plantas em solos arenosos do rio grande do sul**. 1993. 117 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Porto Alegre, 1993.

ALEXANDRE, J. R. et al. Zinco e ferro: de micronutrientes a contaminantes do solo. **Natureza On Line**, Santa Teresa, v.1, n. 1, p.23-28, jan./mar. 2012.

ALI, H.; KHAN, E.; SAJAD, M. A. Phytoremediation of heavy metals—Concepts and applications. **Chemosphere**. Japan, p. 869-881. 2013.

ALLEONI, L.R.F. CAMARGO, O.A.CASAGRANDE, J.C. Atributos do solo relacionados à adsorção de cádmio e cobre em solos tropicais. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 27, n. 4, p. 729–737, 2005.

ALTIERI, M. Á. Construyendo resiliencia socio-ecológica en agroecosistemas: algunas consideraciones conceptuales y metodológicas. In: ESTRADA, Clara Inés Nicholls; OSORIO, Leonardo Alberto Ríos; ALTIERI, Miguel Ángel. **Agroecología y resiliencia socioecológica: adaptándose al cambio climático**. Medellín: Redagres, 2013. p. 94-104.

ALVES, S. B. et al. Análise dos impactos do uso do solo sobre a diversidade de besouros rola-bosta na região do caparaó capixaba. **Revista Univap**, São José dos Campos, v. 22, n. 40, p.368-371, 2016.

AMBROSINI, V. G. et al. Impacto do excesso de cobre e zinco no solo sobre videiras e plantas de cobertura. In: MELO, G. W. B. et al. **Calagem, adubação e contaminação em solos cultivados com videiras**. Bento Gonçalves, Rs: Embrapa Uva e Vinho, 2016. p. 91-110.

ARAÚJO, W. S. Influência das propriedades físicas e químicas de solos intemperizados na adsorção de chumbo, cobre e zinco. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 2, n. 1, p.167-180, jan./dez. 2000.

AVETISYAN, A. et al. Chemical composition and some biological activities of the essential oils from basil *Ocimum* different cultivars. **Bmc Complementary And Alternative Medicine**. Japan, p. 1-8, 2017.

BERNARDO, C. M. R. **Avaliação da aplicabilidade de lavagem de solos contaminados com produtos petrolíferos**. 2012. 103 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade do Porto, Porto, 2012.

BLANK, A. F. et al. Comportamento fenotípico e genotípico de populações de manjerição. **Horticultura Brasileira**, São Cristóvão, v. 28, n. 3, p.305-3010, jul./ago. 2010.

BAGNOLA, I.A., CURCIO, G.R., GOMES, J.B.V., CAVIGLIONE, J.H., UHLMANN, A., CARDOSO, A., CAVALHO, A.P. Levantamento semidetalhado de solos do município de Londrina – Londrina: IAPAR. 100p, 2011.

BOLDARINI, M. T. B. **Avaliação dos efeitos da contaminação de cobre no solo sobre *Mentha crispa* L.** 2017. 42 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2016.

BORGES, M.R., COUTINHO, E.L.M. Metais pesados do solo após aplicação de biossólido. I - Fracionamento. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 28:543-555, 2004.

CAIRES, S. M. **Comportamento de mudas de espécies florestais nativas na fitorremediação de solo contaminado com zinco e cobre.** 2005. 81 f. Tese (Doutorado) - Curso de Solos e Nutrição de Plantas, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.

CARNEIRO, M. A. C.; SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S. de. Comportamento de espécies herbáceas em misturas de solo com diferentes graus de contaminação com metais pesados. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 37, n. 11, p.1629-1638, 2002.

CARVALHO, A. L. P. de. **Revegetation of abandoned copper mines: The role of seed banks and soil amendments.**2012. 151 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Biologia, Universidade de Coimbra, Coimbra, 2012.

CHANEY, R. L. et al. Phytoremediation of soil metals. **Current Opinion In Biotechnology**. p. 279-284. jun. 1997.

CHAVES, L. H. G. et al. Crescimento, distribuição e acúmulo de cobre e zinco em plantas de pinhão-manso. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 41, n. 2, p.167-176, abr./jun. 2010.

CHEN, H. M. et al. Chemical methods and phytoremediation of soil contaminated with heavy metals. **Chemosphere**, Japan, v. 41, n. 2, p.229-234, jul. 2000.

CHENG, S. Heavy metals in plants and phytoremediation. **Environmental Science and Pollution Research**. China, p. 335-340. set. 2003

COELHO, M. R. et al. Solos: tipos, suas funções no ambiente, como se formam e sua relação com o crescimento das plantas. In: MOREIRA, Fátima M. S. et al.. **O ecossistema o solo: componentes, relações ecológicas e efeitos na produção vegetal**. Rio de Janeiro: Ufla, 2013. Cap. 3. p. 47-62.

DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R.. Micronutrientes: Zinco. In: SBCS - SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. **Nutrição Mineral de Plantas**. Viçosa - Mg: Manlio Silvestre Fernandes, 2006. Cap. 13. p. 340-343.

DHIR, B. et al. Photosynthetic performance of *Salvinia natans* exposed to chromium and zinc rich wastewater. *Brazilian Journal Of Plant Physiology*, Londrina, v. 20, n. 1, p.61-70, mai. 2008.

DIAS-JÚNIOR, H. E. et al. Metais pesados, densidade e atividade microbiana em solo contaminado por rejeitos de indústria de zinco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Lavras, v. 22, n. 4, p.631-640, 1998.

EBBS, S. D.; KOCHIAN, L. V. Toxicity of Zinc and Copper to Brassica Species: Implications for Phytoremediation. **Journal Of Environmental Quality**. Ithaca, p. 776-781, jun. 1997.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Guia prático para interpretação de resultados de análises de solo. Aracaju. 15 p. 2015.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro. 2.ed. 212 p. 1997.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2013. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/solos/sibcs/>>. Acesso em: 05 maio 2018.

ESTEVES, R. C. **MODELAGEM TEÓRICA DE ASPECTOS HIDRODINÂMICOS DA TECNOLOGIA DE EXTRAÇÃO MULTIFÁSICA**. 2012. 284 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

FARIAS, M. S. S. et al. Riscos sociais e ambientais devido a presença de metais pesados nas águas superficiais no distrito industrial de mangabeira. **Qualitas**, Paraíba, v.6, n. 2, p.1-10, 2007.

FERNANDES, A. R. **Crescimento de cultivares de manjeriço (*Ocimum basilicum* L.) cultivadas em vasos**. 2014. 49 f. Tese (Doutorado) - Curso de Fitotecnia, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2014.

FERRAZ, F. M. et al. Dinâmica de Boro, Cobre, Ferro e Manganês em Solo Submetido à Aplicação de Zinco na Cultura da Soja em Sete Lagoas, MG. In: **FERTBIO**, 29., 2010, Guarapari. Anais. p. 1 - 4.

FERRI, M. G. **Fisiologia Vegetal 1**, Editora da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP. 1979.

FONTES, R. L. F.; COX, R. Iron deficiency and zinc toxicity in soybean grown in nutrient solution with different levels of sulfur. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 21, n. 8, p. 1715-1722, 1998.

GADD, G. M. Metals, minerals and microbes: Geomicrobiology and bioremediation. **Microbiology**, v. 156, n. 3, p. 609–643, 2010.

GAÏDA, M. M. et al. Growth and photosynthesis responses of *Rosmarinus officinalis* L. to heavy metals at Bougrine mine. **African Journal Of Biotechnology**. África, p. 150-161. 09 jan. 2013.

GIROTTI, E. **Alterações fisiológicas e bioquímicas em plantas cultivadas em solos com acúmulo de cobre e zinco**. 2010. 147 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciência do Solo, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

- GUILHERME, L.R.G. et al. Elementos traços em solos, sedimentos e águas. In: **V simpósio nacional sobre recuperação de áreas degradadas – Água e Biodiversidade**. Resumos. Belo Horizonte, 18 a 22 de novembro de 2002.
- GUPTA, A. K. et al. Phytoremediation Using Aromatic Plants: A Sustainable Approach for Remediation of Heavy Metals Polluted Sites. **Environmental Science & Technology**, India, v. 47, n. 18, p.10115-10116, 2013.
- IAC, Governo do Estado de São Paulo. **Solos do Estado de São Paulo: Latossolos**. Disponível em: <<http://www.iac.sp.gov.br/solospdf/Latossolos.pdf>>. Acesso em: 05 maio 2018.
- JELUSIC, M.; LESTAN, D. Effect of EDTA washing of metal polluted garden soils. Part I: Toxicity hazards and impact on soil properties. **Science Of The Total Environment**. Slovenia, p. 132-141. 2014.
- JEZLER, C. N., MANGABEIRA, P. A. O., ALMEIDA, A. F. DE JESUS, R. M., OLIVEIRA, R. A., SILVA, D. da., COSTA, L. C. Pb and Cd on growth, leaf ultrastructure and essential oil yield mint (*Mentha arvensis* L.). *Ciência Rural*, v. 45, n. 3, p. 392–398, 2015.
- KABATA-PENDIAS, A. Soil-plant transfer of trace elements - An environmental issue. **Geoderma**, v. 122, n. 2-4 SPEC. IIS., p. 143–149, 2004.
- KER, J. C. Latossolos do Brasil: uma revisão. **Geonomos**, Minas Gerais, v. 5, n. 1, p.17-40, 1997.
- KNOP, A. **Encapsulamento de solos contaminados por hidrocarbonetos**. 2003. 80 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.
- KÖPPEN, W. Climatologia. Mexico: Fondo de Cultura Economica, 1978. 478p.
- LINHARES, L. A. et al. Utilização dos modelos de Langmuir e de Freundlich na adsorção de cobre e zinco em solos Brasileiros. **Acta Agronômica**, Palmira, v. 59, n. 3, p.303-315, mar. 2010.
- LUIZ, E. P. **Avaliação dos métodos de fitorremediação e bioissorção na remoção de chumbo, cobre e zinco**. 2016. 99 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Tecnologia Ambiental, Universidade Federal do Abc, Santo André, 2016.
- MAGALHÃES, M. O. L. et al. Potencial de duas espécies de eucalipto na fitoestabilização de solo contaminado com zinco. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 42, n. 3, p.805-812, set. 2011.
- MARIANO, A. P. **Avaliação do potencial de biorremediação de solos e de águas subterrâneas contaminados com óleo diesel**. 2006. 162 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geociências e Meio Ambiente, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2006.
- MARTINS, I. P. **Crescimento e consumo de água por manjeriço (*Ocimum basilicum* L.) sob diferentes regimes hídricos**. 2016. 54 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2016.

MELO, G. M. P.; MELO, V. P.; MELO, W. J. **Metais pesados no ambiente decorrente da aplicação de lodo de esgoto em solo agrícola**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/CB5F6214/LODOMETAL.pdf>>. Acesso em: 05 maio 2018.

MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. Principles of plant nutrition. Bern: International Potash Institute, 1987. 319p.

MONTEZ, A. C. M. **Exposição e acumulação de elementos potencialmente tóxicos em manjeriço (*Ocimum basilicum*)**. 2014. 63 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Alimentar, Universidade de Lisboa, Lisboa, 2014.

MUDGAL, V.; MADAAN, N.; MUDGAL, A. Heavy metals in plants: phytoremediation: Plants used to remediate heavy metal pollution. **Agriculture and Biology Journal of North America**, v. 1, n. 1, p. 40–46, 2010.

MULLIGAN, C.N.; YONG, R.N. GIBBS, B.F. Remediation technologies for metal-contaminated soils and groundwater: an evaluation. **Engineering Geology**. Canadá, p. 193-207. mar. 2001.

MUNIZ, D. H. F.; OLIVEIRA-FILHO, E. C. Metais pesados provenientes de rejeitos de mineração e seus efeitos sobre a saúde e o meio ambiente. **Universitas Ciências da Saúde**, Brasília, v. 4, n. 1, p.83-100, 2006.

MURZAEVA, S.V. Effect of heavy metals on wheat seedlings: activation of antioxidant enzymes. **Applied Biochemistry and Microbiology**, v.40, n.1, p. 98-103, 2004.

NAGAJYOTI, P. C.; LEE, K. D.; SREEKANTH, T. V. M. Heavy metals, occurrence and toxicity for plants: a review. **Environmental Chemistry Letters**, v. 8, n. 3, p.199-216, set. 2010.

NASCIMENTO, C. W. A.; FONTES, R. L. F. Correlação entre características de latossolos e parâmetros de equações de adsorção de cobre e zinco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 6, p.965-971, nov./dez. 2004.

PARRA, A. et al. Seedling emergence, growth and trace elements tolerance and accumulation by Lamiaceae species in a mine soil. **Chemosphere**, [s.l.], v. 113, p.132-140, out. 2014. Elsevier BV.

PAULETTI, V.; MOTTA, A. C. V.. **Manual de adubação e calagem para o Estado do Paraná**. Paraná: SbcS, 2017. 482 p.

PEREIRA, W.S.; FREIRE, R. S. Ferro zero: uma nova abordagem para o tratamento de águas contaminadas com compostos orgânicos poluentes. **Química Nova**, São Paulo, v. 28, n. 1, p.130-136, 2005.

PIRES, F. R. et al. Fitorremediação de solos contaminados com herbicidas. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 21, n. 2, p.335-341, 2003.

PRASAD, A. et al. Heavy metals and arbuscular mycorrhizal (AM) fungi can alter the yield and chemical composition of volatile oil of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.). **Biology And Fertility Of Soils**, v. 47, n. 8, p.853-861, 10 jun. 2011.

RAIJ, B. VAN. A capacidade de troca de cátions das frações orgânica e mineral em solo. **Bragantia**, v. 28, n. 8, p. 85 – 112, 1969.

REICHMAN, S. M. Responses of plants to metal toxicity: a review focusing on copper, manganese and zinc. **Australia Mineral and Energy environment Foundations**, 14, 1-54, 2002.

REUNIÃO NORDESTINA DE CIÊNCIA DO SOLO, 3., 2016, Aracaju. **Integração e uso do conhecimento para uma agricultura sustentável no Nordeste**. Aracaju: SbcS, 2016. 4 p.

RIBEIRO, N. D.; SANTOS, Osmar Souza dos. Aproveitamento do zinco aplicado na semente na nutrição da planta. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 26, n. 1, p.159-165, 1996.

ROVANI, F. F. M.; VIEIRA, M. Vulnerabilidade Natural do Solo de Silveira Martins-RS. **Revista Floresta e Ambiente**, Santa Maria, v. 23, n. 2, p.151-160, 2016.

SÁNCHEZ, L. E. Revitalização de Áreas Contaminadas. In: BRASIL, Instituto Ekos. **Remediação e revitalização de áreas contaminadas**. Ed. Signus, 2004. p. 2-14.

SANTANA, G. P.; BARRONCAS, P. de S. R. Estudo de metais pesados (Co, Cu, Fe, Cr, Ni, Mn, Pb e Zn) na Bacia do Tarumã-Açu Manaus – (AM). **Acta Amazonica**, Manaus, v. 37, n. 1, p.111-118, 2007.

SANTOS, F. S. et al. Chemical amendment and phytostabilization of an industrial residue contaminated with Zn and Cd. **Science Agriculture**. Picacicaba, p. 506-512, out. 2007.

SERAFIM, M. E. et al. Umidade do solo e doses de potássio na cultura da soja. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 43, n. 2, p.222-227, abr./maio 2012.

SILVA, H. D. et al. Recomendação de solos para Araucaria angustifolia com base nas suas propriedades físicas e químicas. **Embrapa**, Colombo, v. 1, n. 43, p.61-74, jul./dez. 2001.

SILVA, J. **Estudo da eficiência e aplicabilidade de carvão ativado resultante de pirólise de casca de arroz em barreiras reativas de remoção de contaminantes em solos**. 2009. 204 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

SOARES, C. R. F. S. et al. Acúmulo e distribuição de metais pesados nas raízes, caule e folhas de mudas de árvores em solo contaminado por rejeitos de indústria de zinco. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Lavras, v. 13, n. 3, p.302-315, abr. 2001.

TANSI, S.; NACAR, S., First Cultivation Trials of Lemon Basil (*Ocimum basilicum* var. *citriodorum*) in Turkey. **Journal Of Biological Sciences**. Pakistan, p. 395-397, 2000.

TAVARES, S. R. de L. **Fitorremediação em solo e água de áreas contaminadas por metais pesados provenientes da disposição de resíduos perigosos**. 2009.

415 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

TEDESCO, M. J. et al. **Análise de solos, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: Boletim Técnico Nº5, 1995. 170 p.

TIECHER, T. L. **Alterações fisiológicas em milho cultivado em solo com alto teor de cobre e submetido à aplicação de zinco**. 2014. 44 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência do Solo, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014.

VASCONCELLOS, M. C.; PAGLIUSO, D.; SOTOMAIOR, V. S. Fitorremediação: Uma proposta de descontaminação do solo. **Estudos de Biologia: Ambiente e diversidade**, Curitiba, v. 34, n. 83, p.261-267, jul./dez. 2012.

VIANA, E. M. **Fitoextração em solo contaminado com metais pesados**. 2011. 135 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

VILAR, C. C. **Interação entre atributos físicos, químicos e mineralógicos com a capacidade máxima de adsorção de fósforo e chumbo de amostras do horizonte A e B de Latossolos do estado do Paraná tratadas com calcário e fosfato**. 2010. 162 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2010.

VILLA, R. D.; NOGUEIRA, R. F. P. Uso de reações de fenton na remediação de solo contaminado com p,p' DDT. **Eclética Química**, São Paulo, v. 30, n. 2, p.69-75, 2005.

WEBER, B. D.; SANTOS, A. A. Utilização da biorremediação como ferramenta para o controle da degradação ambiental causada pelo petróleo e seus derivados. **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v. 10, n. 1, p.114-133, jan./fev. 2013.

WOLFF, G. et al. Effects of Zinc Toxicity on Leaves of *Salvinia auriculata* Cultivated in Nutrient Solution. **Planta Daninha**, Viçosa, MG. v. 1, n. 27, p.133-137, 2009.

YOON, J. et al. Accumulation of Pb, Cu, and Zn in native plants growing on a contaminated Florida site. **Science Of The Total Environment**. p. 456-464. set. 2005.

ZEITOUNI, C. F. **Eficiência de espécies vegetais como fitoextratoras de cádmio, chumbo, cobre, níquel e zinco de um latossolo vermelho amarelo distrófico**. 2003. 103 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Instituto Agrônomo de Campinas, Campinas, 2003.

ZEITOUNI, C. F.; BERTON, R. S.; ABREU, C. A de. Fitoextração de cádmio e zinco de um latossolo vermelho-amarelo contaminado com metais pesados. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 4, p.649-657, set. 2007.

ZEMIANI, A. **Avaliação do desenvolvimento de *Mentha crisper* L. em solo contaminado com Cádmio**. 2017. 52 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de

Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2017.

ZHELJAZKOV, V. D.; CRAKER, L. E.; XING, B. Effects of Cd, Pb, and Cu on growth and essential oil contents in dill, peppermint, and basil. **Environmental And Experimental Botany**, Canadá, v. 58, n. 3, p.9-16, dez. 2006.

8 ANEXOS

ANEXO A - ANÁLISE QUÍMICA DO SOLO

SOLICITANTE		DATA ENTRADA	02/12/2015	
PROPRIETÁRIO		DATA SAÍDA	11/12/2015	
PROPRIEDADE		UTFPR	CÓD.LAB.	30727/145090
MUNICÍPIO		LONDRINA - PR	CÓD.INTERES.	NAO INFORMADO

LABORSOLO
Laboratórios

AV. TIRADENTES, 3173 - LONDRINA - PR - BRASIL
CEP 86072-000 - FONE/FAX (43) 3338-5738
laborsolo@laborsolo.com.br - www.laborsolo.com.br

RESULTADO DE ANÁLISE QUÍMICA DA TERRA

BÁSICA		NÍVEL DE SUFICIÊNCIA		
ELEMENTOS	TEOR	BAIXO	MÉDIO	ALTO
	cmol _c /dm ³			
Cálcio (Ca ⁺²)	4,42	██████████		
Magnésio (Mg ⁺²)	1,98	██████████	██████████	
Potássio (K ⁺)	0,52	██████████	██████████	
Sódio (Na ⁺)	***			

REAÇÃO DO SOLO			
DETERMINAÇÃO	ÍNDICE	ELEMENTOS	TEOR
pH em CaCl ₂	4,83	Alumínio (Al ⁺³)	0,00
pH em SMP	5,67	Acidez Potencial (H + Al)	6,35
pH em H ₂ O	5,51	Acidez Não Trocável (H ⁺)	6,35

ÍNDICES DE SATURAÇÃO		LEGENDA
Ca %	33,29	<p>EQUILIBRADO LIMITE DE TOLERÂNCIA DESEQUILÍBRIO EXCESSIVO</p>
Mg %	14,90	
K %	3,95	
Na %	***	
H %	47,86	
Al %	0,00	

CAPACIDADE TAMPÃO			
Disponibilidade	Fósforo (P)	Enxofre (SO ₄ ⁻²)	Zinco (Zn)
Nível Crítico (mg/dm ³)	7,36	4,41	1,13
Valor Relativo (%)	102	878	628

DOSES PARA RESTITUIR O EQUILÍBRIO DE SATURAÇÃO		
cmol _c /dm ³	MÍNIMO	MÁXIMO
Potássio (K ⁺)	***	0,14
Cálcio (Ca ⁺²)	2,22	4,21
Magnésio (Mg ⁺²)	***	0,68

MICRONUTRIENTES		NÍVEL DE SUFICIÊNCIA		
ELEMENTOS	TEOR	BAIXO	MÉDIO	ALTO
	mg/dm ³			
Manganês (Mn)	505,80	██████████	██████████	
Ferro (Fe)	149,27	██████████	██████████	
Cobre (Cu)	18,46	██████████	██████████	
Zinco (Zn)	7,11	██████████	██████████	
Boro (B)	0,32	██████████		

EXTRATORES	
(P, K ⁺ , Na ⁺);(SO ₄ ⁻²)	ME-LICH-1; Ca (H ₂ PO ₄) ₂ 0,01 M
(Ca ⁺² , Mg ⁺² , Al ⁺³)	ME-LICH-3;KCl 1N
(Mn, Fe, Cu, Zn);(B)	ME-LICH-3; HCl 0,05 M