

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

LAYLA FERNANDA DE OLIVEIRA

**AVALIAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE Cd E Zn NAS RAÍZES, CAULES E
FOLHAS DE *Mentha crisper* L. CULTIVADA EM SOLO CONTAMINADO**

LONDRINA

2022

LAYLA FERNANDA DE OLIVEIRA

**AVALIAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE Cd E Zn NAS RAÍZES, CAULES E
FOLHAS DE *Mentha crispa* L. CULTIVADA EM SOLO CONTAMINADO**

**EVALUATION OF Cd AND Zn CONCENTRATION IN THE ROOTS, STEMS AND
LEAVES OF *Mentha crispa* L. GROWN IN CONTAMINATED SOIL**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentada como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador(a): Profa. Dr.^a Alessandra Furtado da Silva.
Coorientador(a): Prof. Dr. Marcelo Hidemassa Anami.

LONDRINA

2022



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

LAYLA FERNANDA DE OLIVEIRA

**AVALIAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE Cd E Zn NAS RAÍZES, CAULES E
FOLHAS DE *Mentha crisper* L. CULTIVADA EM SOLO CONTAMINADO**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Nome do Engenharia Ambiental e
Sanitária da Universidade Tecnológica Federal do
Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 07/dezembro /2022

Edson Fontes de Oliveira
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Edilaine Regina Pereira
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Alessandra Furtado da Silva
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

LONDRINA

2022

Dedico este trabalho à minha família, por todo seu
apoio.

AGRADECIMENTOS

Gostaria primeiramente agradecer a Deus e ao meu anjo da guarda por sempre estarem ao meu lado, me dando toda força, me protegendo e me amparado nos momentos de dificuldade.

Também quero agradecer a minha família que sempre esteve ao meu lado e foi meu alicerce nessa caminhada, aos meus pais que me apoiaram desde o início sempre me incentivando, aconselhando e por me sustentarem de diversas formas.

Minha mãe Cirlene por estar sempre disposta a me ajudar a cuidar das plantinhas e todo apoio moral, ao meu pai Fernando que sempre me apoiou e construiu a cabine de fotos para que pudesse ter fotos mais bonitas, ao meu irmão Leonardo por escutar e aconselhar nos momentos difíceis e a minha irmã Layana que sempre esteve ao meu lado me incentivando, muito obrigado por todo amor e carinho de vocês.

Ao meu noivo Raphael que colocou a mão na massa e me ajudou desde o início sem sua ajuda não seria possível e por ter me dado todo apoio necessário.

A Valentina por ter dado toda força, durante o projeto e sempre disposta a ajudar.

A minha melhor amiga Vitoria Padilha por toda a caminhada que trilhamos juntas durante o curso e pela nossa amizade, foram momentos de muitas emoções. E aos demais familiares agradeço por todo apoio.

Agradeço a minha orientadora Profa. Dra. Alessandra Furtado da Silva, e ao Coorientador Prof. Dr. Marcelo Hidemassa Anami pela orientação, paciência, dedicação e por todo ensinamento, foram muito importantes para a realização deste trabalho. E a todos professores pelos ensinamentos durante os anos de formação, iniciação científica, viagens e nos trabalhos realizados.

Gostaria de agradecer também à CEANMED – Central Analítica Multiusuário da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Campus Medianeira, Paraná, Brasil, por nos conceder o uso do equipamento espectrofotômetro de absorção atômica com chama (AAS). Ao professor Éder Lisandro de Moraes Flores e técnica bolsista Roseleia Da Silva Rodrigues do Campus Medianeira pela atenção e a ajuda na realização das análises.

Todas as conquistas começam com o simples ato
de acreditar que elas são possíveis.
(Autor Desconhecido).

RESUMO

Como uma alternativa de baixo custo e de fácil aplicação a fitorremediação vem sendo pesquisada para tratamento de áreas contaminadas com o auxílio de plantas resistentes ao contaminante. No caso de áreas contaminadas com metais, eles podem ser absorvidos pela planta através das raízes e translocar para as partes aéreas, retirando o excesso desse metal do solo. Neste estudo, a planta *Mentha crispa L.* foi avaliada em Latossolo Vermelho contaminado com cádmio e zinco simultaneamente. O cádmio é um metal fitotóxico e o zinco é considerado um micronutriente para a planta que em excesso pode acarretar prejuízos ao seu desenvolvimento. As amostras de solo foram coletadas na região de Londrina, e as adições do cádmio e zinco foram realizadas usando 7 concentrações crescentes e um controle (sem metal adicionado) sendo C₁ referente a 1/8 da capacidade máxima, C₂ a 1/6, C₃ a 1/4, C₄ a 1/2, C₅ adsorção máxima, C₆ o dobro da máxima e C₇ o quádruplo da máxima, o tempo total do cultivo foi de 115 dias. Após o cultivo, as plantas foram coletadas e separadas em caule, raiz e folhas para a determinação da concentração de cádmio e zinco em cada parte da planta. Foi possível observar que o cádmio se concentrou mais na parte aérea e o zinco nas raízes com exceção do tratamento C₅ onde se concentrou mais nas folhas. Provavelmente a presença de zinco fez com que o cádmio fosse deslocado para a parte aérea causando pouca toxicidade haja vista que ela conseguiu se desenvolver bem. Para zinco, os fatores de bioacumulação e translocação em geral foram menores que um (1) mostrando que a planta se comportou como fitoestabilizadora e tolerante ao metal. Para Cádmio, os fatores de bioacumulação e translocação obtidos foram maiores que um (1), onde a planta se comportou como uma fitoextratora. Esses resultados indicam que a planta *Mentha crispa L.* pode ser utilizada no processo de fitorremediação, com tempo estimado de remoção do metal do solo para os tratamentos de C₁ a C₅ de 3 a 5 anos para zinco e de 3 a 11 anos para o cádmio.

Palavras-chave: Fitorremediação; Fator de Bioacumulação; Fator de Translocação; Latossolo Vermelho.

ABSTRACT

Phytoremediation uses plants as a low-cost and easy-to-apply alternative to treat contamination sites. In the case of metal contamination, the plants can absorb it through the roots and translocate it to the aerial parts, removing the excess of this metal from the soil. This study evaluated the *Mentha crisper* L. plant in an Oxisol simultaneously contaminated with Cadmium and Zinc. Cadmium is a phytotoxic metal, and Zinc is considered a micronutrient for the plant that, in excess, can harm its development. The additions of Cadmium and Zinc in the soil were carried out using seven (7) increasing concentrations and a control (no added metal) with the Maximum Adsorbed Capacity (MAC) as a reference to treatment C₅. Treatment C₁ was 1/8 MAC; C₂ 1/6 MAC; C₃ 1/4 MAC; C₄ 1/2 MAC; C₆ 2 MAC; C₇ 4 MAC. The total cultivation time was 115 days, and after cultivation, the plants were collected and separated into stems, roots, and leaves. Cadmium and Zinc concentrations were obtained in each part of the plant. It was possible to observe that Cadmium was more concentrated in the aerial part and Zinc in the roots, except for the C₅ treatment, where it was more concentrated in the leaves. The presence of Zinc probably caused the Cadmium translocation to the aerial part, causing little toxicity since it managed to develop well. The bioaccumulation and translocation factors for Zinc were generally less than one (1), showing that the plant behaved as a phytostabilizer and was tolerant to the metal. For Cadmium, the bioaccumulation and translocation factors obtained were greater than one (1), where the plant behaved as a phytoextractor. These results indicate that the *Mentha crisper* L. plant can be used in the phytoremediation process, with an estimated time of metal removal from the soil for treatments from C₁ to C₅ of 3 to 5 years for Zinc and 3 to 11 years for Cadmium.

Keywords: Phytoremediation; Translocation Factor; Bioaccumulation Factor; Red Oxisol.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Mapa dos solos do Brasil	16
Figura 2- Mapa dos solos do Paraná	17
Figura 3 - Mapa de distribuição de solos em Londrina.....	18
Figura 4 - Contaminação do meio ambiente através de atividades antrópicas.	19
Figura 5 – Mecanismos de entrada do Cd no solo.	20
Quadro 1 – Descrição dos processos da fitorremediação	23
Figura 6 - Processos de fitorremediação	24
Figura 7 - Fotografia <i>Mentha crispa L.</i>	25
Figura 8 - Mapa geográfico do local da coleta das amostras.....	27
Figura 9 - Fotografias da preparação do solo.....	29
Figura 10 - Fotografia do cultivo das mudas	31
Figura 11 - Moinho de facas	33
Figura 12 – Espectrofotômetro de absorção atômica com chama (AAS)	34
Figura 13 - Digestão ácida.....	36
Figura 14 -Fotografias do processo de preparação da amostra	36
Quadro 2 – Parâmetros de calibração do cádmio e zinco	38
Grafico 1 – Tabela de gráficos das concentração de zinco em mg kg^{-1} encontradas em <i>Mentha crispa L.</i> e comparadas com os valores obtidos por Bilmayer (2020)*.	38
Figura 15 - Imagens do desenvolvimento das folhas e raiz de <i>Mentha crispa L.</i>	41
Grafico 2- Concentração do Zinco em mg kg^{-1} na raiz e parte aérea de <i>Mentha crispa L.</i>	42
Grafico 3 – Tabela de gráficos da concentração de cádmio em mg g^{-1} encontradas em <i>Mentha crispa L.</i> e comparadas com os valores obtidos por Zemiani (2017)*.	42
Grafico 4 - Concentração do Cádmio em mg g^{-1} na raiz e parte aerea de <i>Mentha crispa L.</i>	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Propriedades físico-químicas da amostra de solo utilizado neste estudo.	28
Tabela 2 - Concentrações de metais em cada processo	30
Tabela 3 – Fator de Bioacumulação (FB) do Cd e Zn em <i>Mentha Crispa L</i> para cada tratamento	46
Tabela 4 - Fator de Translocação (FT) do Cd e Zn em <i>Mentha Crispa L</i> para cada tratamento.....	47
Tabela 5 - Taxa de extração do metal (MER) Cd para <i>Mentha crispa L.</i> e estimativa de tempo de número de ciclos e tempo de remoção da contaminação do solo.	48
Tabela 6 – Taxa de extração do metal (MER) Zn para <i>Mentha crispa L.</i> e estimativa de números de ciclos e tempo de remoção da contaminação do solo e comparadas com os valores obtidos por Bilmayer (2020) *.	48

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	OBJETIVOS	14
2.1	Objetivo Geral.....	14
3	REFERENCIAL TEÓRICO.....	15
3.2	Latossolos	16
3.3	Contaminação do solo	18
3.4	Cádmio	20
3.5	Zinco.....	21
3.6	Técnica de remediação	22
3.7	<i>Mentha crisper L.</i>	24
4	MATERIAIS E METÓDOS	27
4.1	Local de coleta das amostras	27
4.2	Análise física e química do solo e mobilidade dos metais	27
4.3	Coleta e preparação do solo	29
4.4	Contaminação do solo	30
4.5	Cultivo das mudas	31
4.6	Preparação das amostras para determinação da concentração de Cd e Zn.....	32
4.7	Fatores de bioacumulação e translocação e taxa de extração do metal....	34
4.8	Digestão das amostras de planta	35
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
5.1	Concentração dos metais Zinco e Cádmio em <i>Mentha crisper L.</i>	38
5.2	Fator de Bioacumulação, Fator de Translocação e Taxa de Extração do Metal.....	46
6	CONCLUSÃO	50
	REFERÊNCIAS.....	51
	ANEXO A - ANÁLISE QUÍMICA DO SOLO	57

1 INTRODUÇÃO

A formação do solo se deve a muitos fatores importantes que ocorreram com o passar do tempo, como o intemperismo sofrido pelas rochas, ação do clima, atuação de organismos vivos, relevo e tempo que as transformaram em um material solto conhecido como saprólito. Esse material misturado com matéria orgânica começou a dar início a formação do solo (LEPSCH, 2010).

Algumas rochas que apresentaram ser menos resistentes a ação do intemperismo formaram as argilas. Desta forma, a mistura de todo esse material sob a ação de fenômenos biológicos, físico e químicos, formou o solo que conhecemos hoje onde foi possível a sobrevivência da natureza (LEPSCH, 2010).

O solo é um componente de suma importância para a vida, pois, é através dele que conseguimos tirar nosso alimento, moradia, entre outros, mas, essas atividades com o passar dos anos estão se tornando mais intensas. O crescimento populacional, aumenta a demanda de atividades agrícolas, industriais, mineradoras, entre outras, onde a presença de metais pesados no solo está se tornando cada vez, maior, prejudicando o desenvolvimento das plantas e colocando em risco a saúde humana (SANTOS, 2018).

Os metais pesados são elementos que estão presentes no meio ambiente naturalmente, e são essenciais para funções fisiológicas nos seres vivos. Porém, possuem graus de toxicidade que podem causar grandes riscos ao meio ambiente e a saúde dos seres humanos, podendo alterar significativamente as funções químicas e físicas do meio (SOUZA; MORASSUTI; DEUS, 2018).

Cádmio (Cd) é um exemplo de metal que é tóxico para seres humanos, animais e plantas, está disponível no meio ambiente em rochas. Atualmente tem sido muito usado como componente de baterias, peças metálicas e plásticas, componentes de eletroeletrônicos, fertilizantes para correção dos teores de fósforo no solo e pesticidas, é um metal muito presente em nosso cotidiano (ALVES, 2016; NOGUEIRA, 2018).

Para os seres humanos o Cd é cancerígeno, causa problemas aos rins, pulmões, fígado, entre outros (MUNIZ; OLIVEIRA-FILHO, 2008).

O lançamento indiscriminadamente desse metal na natureza pode trazer problemas para o meio ambiente, aprofundando nos solos, sedimentos e em sistemas aquáticos, tornando assim disponível para absorção das plantas. Causando

alterações em sua morfologia e fisiologia, como redução de seu crescimento, deficiências de minerais, forte influência na produção da biomassa e interferência na atividade fotossintética e assim contaminando as plantas, animais e seres humanos. (VIEIRA et al., 2015).

Zinco (Zn) é um micronutriente essencial para vida, pois, atua como um mineral para seres humanos e para plantas auxiliando no seu desenvolvimento. No entanto, em altas concentrações se torna tóxico e danoso ao meio ambiente afetando o crescimento e metabolismo das plantas, e para os seres humanos pode interferir em processos do organismo como inibição de proteínas, resposta imune, aumento do HDL, entre outras alterações. Está presente em nosso dia a dia em alimentos, fertilizantes, resíduos ou rejeitos antrópicos, descarte de equipamentos eletrônicos, rejeitos de mineração, indústria metalúrgica entre outros (CRUZ, J.B.F. ; SOARES, 2011; DUARTE; PASQUAL, 2000; MAFRA; COZZOLINO, 2004).

Devido a essa grande problemática, busca-se alternativas para minimizar os impactos usando técnicas de remediação, dentre elas a que mais se destaca por ser um método menos invasivo e de baixo custo é a fitorremediação, que utiliza plantas para auxiliar na remoção de contaminantes no solo (ZEITOUNI, 2003).

A aplicação apropriada de algumas espécies de plantas em solo contaminado pode remover os metais através dos processos de absorção e acúmulo nas raízes e parte aérea. A planta *Mentha crispa L.* vem sendo estudada, para avaliar a sua tolerância em solo contaminado e a possibilidade de absorção do metal (BILMAYER, 2020; BOLDARINI, 2017; ZEMIANI et al., 2017). E por ser uma planta aromática, existe ainda o benefício econômico da extração de óleo essencial, pelo processo de destilação (ZEITOUNI, 2003).

O presente trabalho busca avaliar a concentração de Cd e Zn pela planta *Mentha crispa L.* cultivada em solo contaminado. A planta já foi avaliada na presença desses mesmos metais, mas aplicado individualmente no solo (BILMAYER, 2020; ZEMIANI et al., 2021), e neste trabalho o estudo foi conduzido com a aplicação simultânea dos dois metais, visando entender se os metais terão o mesmo comportamento, tendo em vista que o Zn é considerado uma micronutriente e o Cd é tóxico para as plantas.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Esta pesquisa tem como principal objetivo avaliar a concentração de Cd e Zn nas raízes e parte aérea de *Mentha crisper L.* cultivada em Latossolo Vermelho com contaminação simultânea.

2.2 Objetivo Específicos

- Contaminar o solo de forma simultânea com concentrações crescentes Cd e Zn, tendo como referências as mesmas concentrações utilizadas em outros trabalhos.
- Preparar as mudas de *Mentha crisper L.* para serem transplantadas para o solo contaminado com Cd e Zn.
- Determinar as concentrações de Cd e Zn presentes na raiz, caule e folhas por espectrometria de absorção atômica com atomização em chama.
- Calcular os fatores de bioacumulação e translocação para avaliar a possível indicação da planta para a técnica de fitorremediação e classificação do processo.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

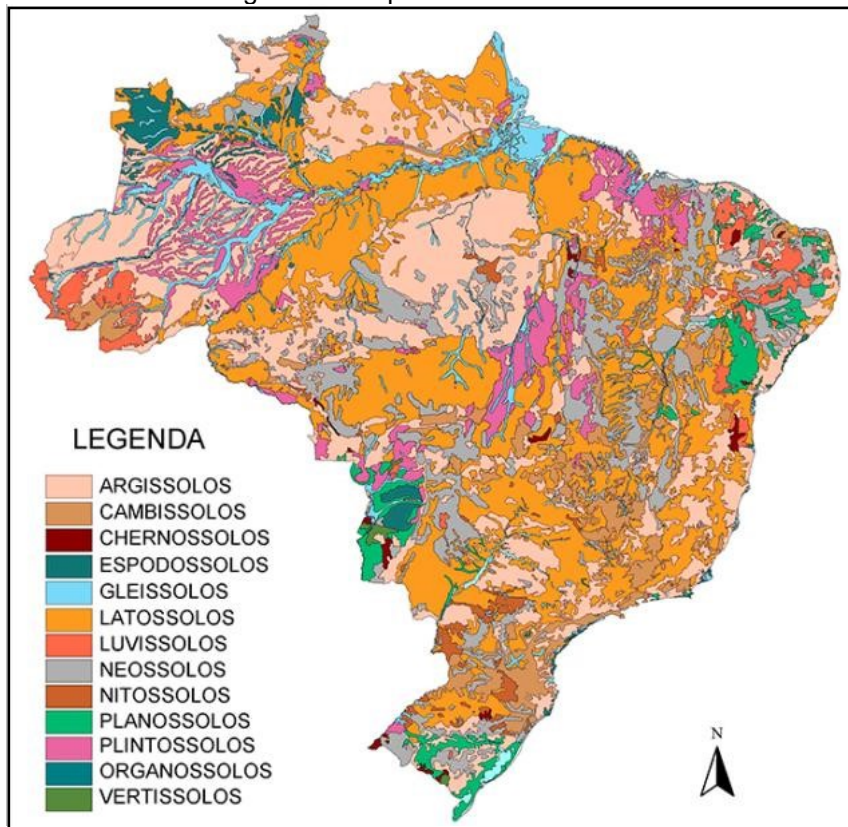
3.1 Solo

Com o passar do tempo as rochas sofreram intemperismo, ação do clima, atuação dos organismos vivos, que o transformaram em um material solto conhecido com saprólito. Esse material misturado com matéria orgânica começou a dar o início da formação do solo, onde algumas rochas que apresentaram ser menos resistentes a ações do intemperismo formaram as argilas. Desta forma, a mistura de todo esse material em conjunto com os fenômenos biológicos, físicos e químicos, formou o solo que conhecemos hoje, onde foi possível a sobrevivência da natureza (LEPSCH, 2010).

O solo é constituído por partes sólidas (argilas), líquidas (água) e gasosas (CO_2 e O_2), são dinâmicos que tem por formação partículas minerais e orgânicas, preenche a maior parte dos continentes do nosso planeta e constantemente sofre com modificações por ações antrópicas e geológicas (SANTOS, 2018).

O solo pode ser classificado devido a diversidade de rochas existentes, de acordo com suas propriedades quanto a morfologia, mineralogia, características físicas e químicas. No Brasil existem 13 divisões como demonstrado na Figura 1, que são: Argissolos, Cambissolos, Chernossolos, Espodossolos, Gleissolos, Latossolos, Luvissolos, Neossolos, Nitossolos, Organossolos, Planossolos, Plintossolos e Vertissolos (LOCATELLI, 2019).

Figura 1 - Mapa dos solos do Brasil

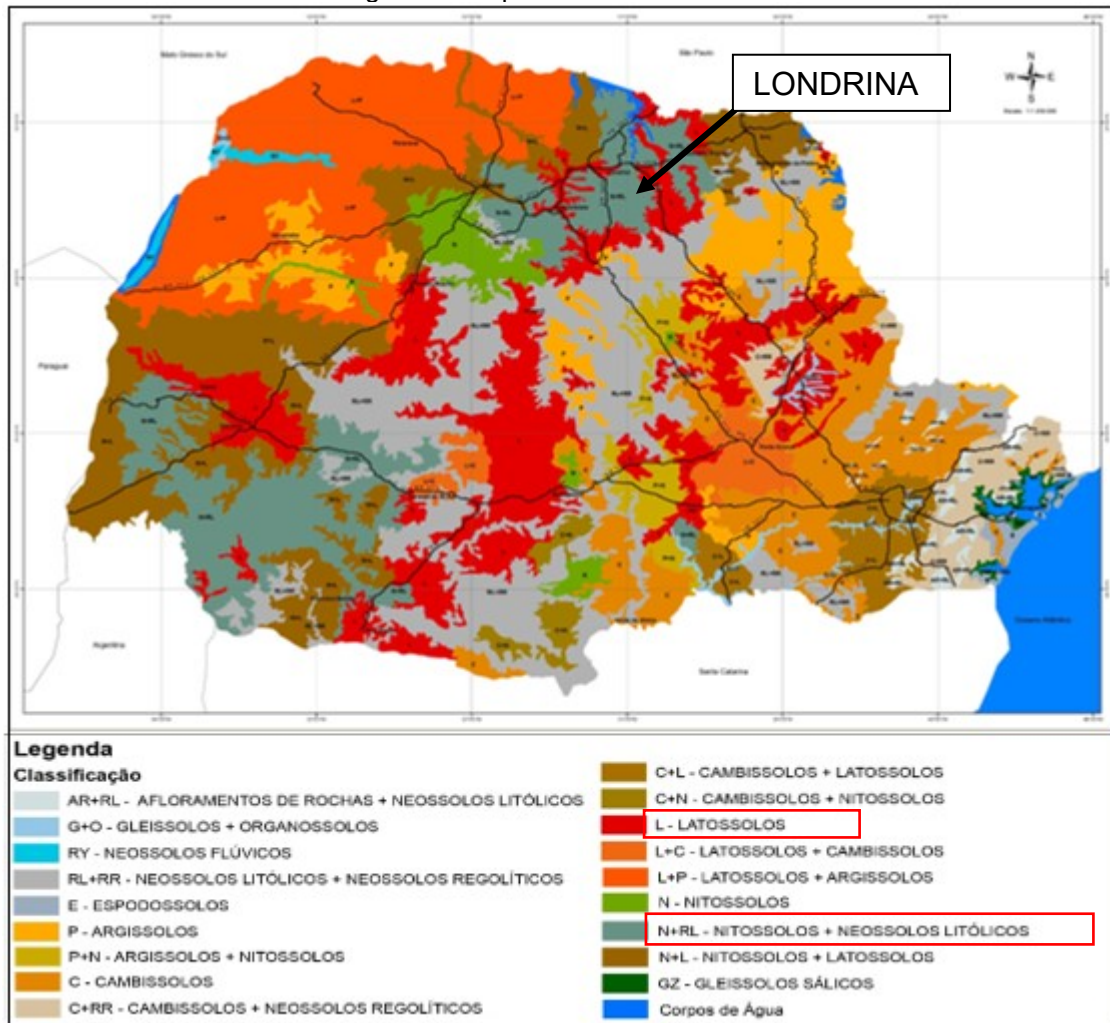


Fonte: EMBRAPA, 2014.

3.2 Latossolos

A partir da classificação dos solos é possível identificar as qualidades e limitações presentes em cada município, estado ou país, como no Paraná, onde é possível encontrar uma grande diversidade de tipos de solos (Figura 2) (LIMA, V.C.; LIMA, M.R.; MELO, 2012). O estado tem uma variedade de ocupações do uso do solo como lavouras, pastagens, silvicultura, área urbana e agricultura intensiva. Devido à grande fertilidade presente em seus diversos tipos de solo, abundância de águas e relevo relativamente plano, se tornou um dos maiores produtores de grãos do país (SECRETARIA DA EDUCAÇÃO, 2021).

Figura 2- Mapa dos solos do Paraná

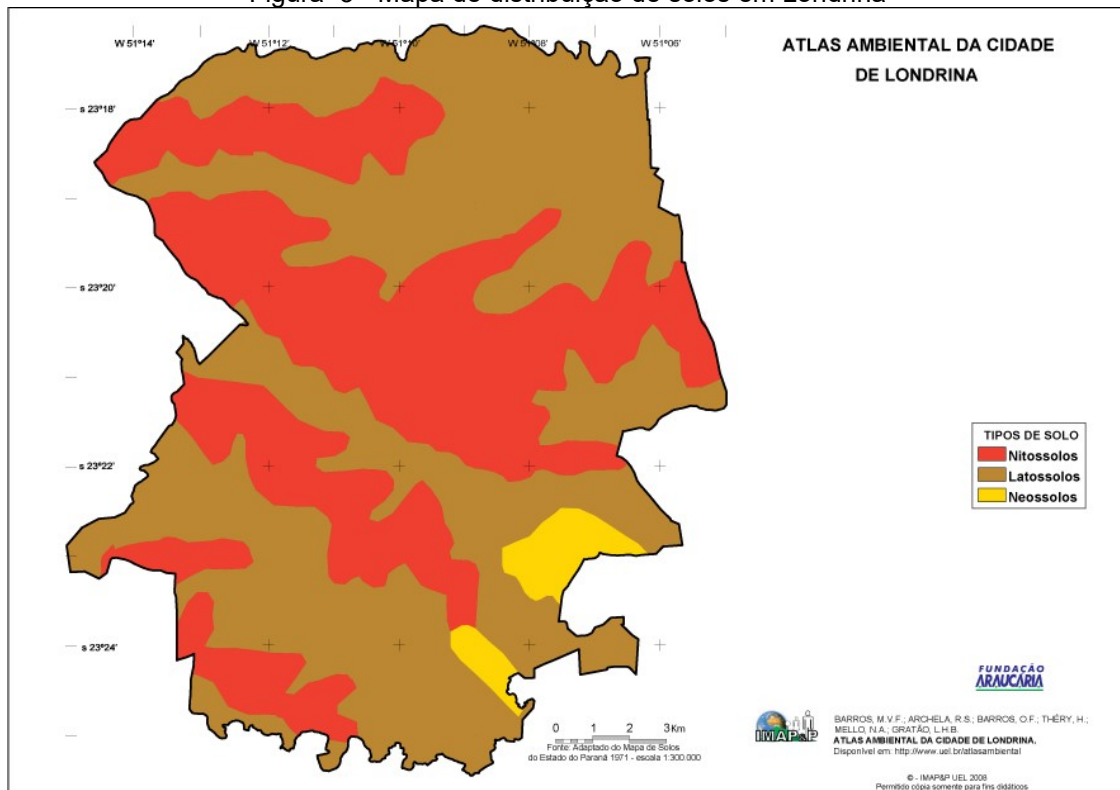


Fonte: SBCS, 2020.

Em Londrina, cidade pertencente ao norte do estado do Paraná, onde será realizado esse estudo, o Latossolo se encontra mais distribuído. Como pode ser observado na Figura 3. Por possuir uma morfologia de solos profundos, bastante intemperizados (velhos), geralmente possuem alta fertilidade e ausência de pedras, tem uma boa drenagem e permeabilidade, podendo ser caracterizado como um solo muito usado para produção agrícola.

Pode ser subdividido em Latossolo Roxo, Latossolo Vermelho-Escuro, Latossolo Vermelho-Amarelo, Latossolo Vermelho-Amarelo Húmico dependendo da região em que se encontra (LIMA, V.C.; LIMA, M.R.; MELO, 2012).

Figura 3 - Mapa de distribuição de solos em Londrina



Fonte: BARROS, (2008).

A partir de análises físico-químicas, Zemiani (2017) classificou o solo de Londrina como Latossolo Vermelho Disférrico. Esse tipo de solo apresenta cores vermelhas acentuadas, o que se deve aos altos teores de ferro presente. Caracteriza-se por ser um solo com textura muito argilosa de origem basáltica e camada superficial rica em matéria orgânica.

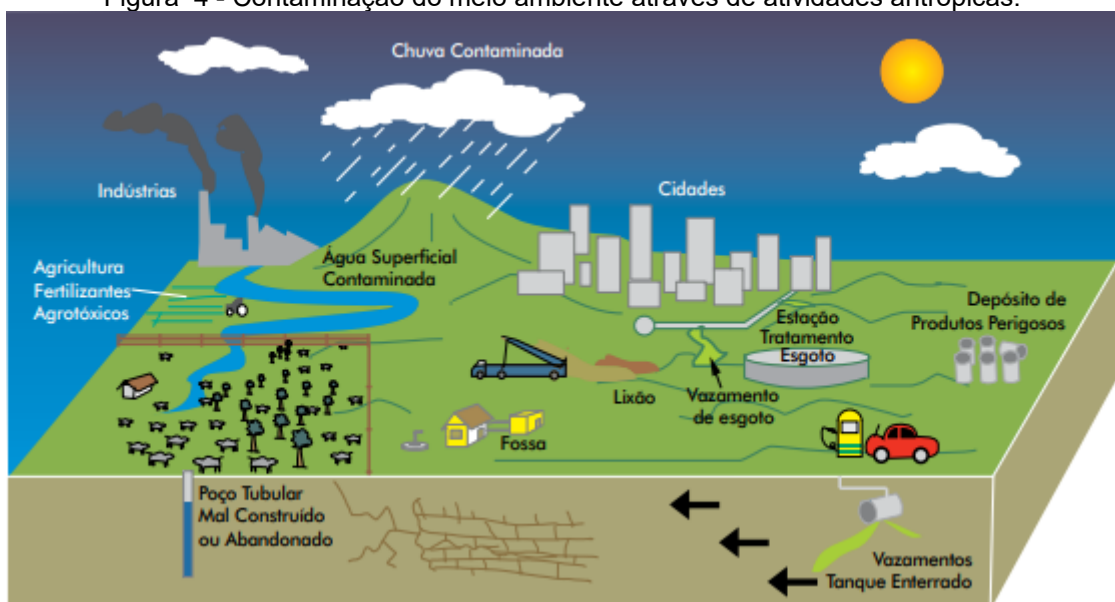
3.3 Contaminação do solo

Com o passar dos anos o ser humano foi percebendo que existem recursos naturais indispensáveis para sua sobrevivência, como o solo e a água, porém, a sua dependência se tornou cada vez maior, pois por meio de sua utilização foi possível a produção de alimentos e consumo. No entanto, isso ocasionou a introdução de sistemas agrícolas que são responsáveis por uma grande multiplicidade de substâncias sintéticas inseridas no meio ambiente. Dentre elas destaca-se os agrotóxicos que são uma preocupação cada vez mais crescente, visto que seu uso em excesso representa um risco ambiental que pode ocasionar a contaminação de água e solos (STEFFEN, G.P.K; STEFFEN, R.B; ANTONIOLLI, 2011) .

As atividades de origem geológica são outras fontes de contaminação de metais pesados no solo, passando a ficar disponíveis a partir do intemperismo, lixiviação de solos e atividades vulcânicas que ocorrem de maneira natural. As atividades de origem antropogênica como indústrias, agrícolas com uso intensivo de agroquímicos, estão aumentando os teores de metais pesados no ambiente, tais como: o Alumínio (Al), Arsênio (As), Cd, Mercúrio, Chumbo (Pb), Cromo (Cr) e entre outros elementos, os quais podem alterar significativamente as funções químicas e físicas do solo (NOGUEIRA, 2018).

Os metais pesados em contato com as plantas agravam diversos problemas, como por exemplo o Pb e Cd absorvidos pelas plantas, os quais tendem a afetar a captação de nutrientes essenciais presentes no solo como o nitrogênio (N), carbono (C) entre outros, inibem seu crescimento, tem baixo rendimento e alteram geneticamente das funções metabólicas, o que inviabiliza a venda ou consumo dessas plantas. A Figura 4 representa como ocorre a contaminação dos metais no meio ambiente por meio de atividades antrópicas (SILVA, 2021).

Figura 4 - Contaminação do meio ambiente através de atividades antrópicas.



Fonte: Ministério do meio ambiente, 2007.

Alguns metais pesados como o Pb, Cd e entre outros podem desencadear diversas doenças, como câncer, lesões no estômago e pulmões, além de afetar os sistemas imunológico e nervoso central (FERNANDO MANZINI; BATISTA DE SÁ; MARIA DE ALMEIDA PLICAS, 2010).

3.4 Cádmi

Cádmi é o elemento químico encontrado entre os metais de transição na tabela periódica. É um metal que possui alta toxicidade para seres humanos, animais e plantas (PAIS et al., 2018).

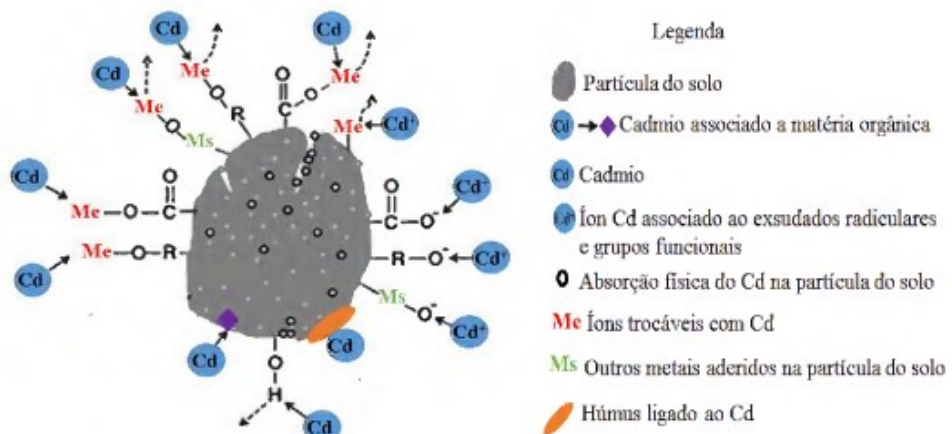
Está disponível no meio ambiente em rochas, principalmente as fosfatadas sob forma de Cd^{2+} , sulfato de cádmio (CdSO_4), cloreto de cádmio (CdCl_2) e nas águas sob forma de Cd^{2+} , carbonato de cádmio (CdCO_3), hidróxido de cádmio (Cd(OH)_2) e sulfeto de cádmio (CdS) (NOGUEIRA, 2018).

Apresentando uma coloração cinza prateada metálica, o Cd pode ser encontrado em vários estados como folha, grânulo, pellet, pó, bastão, fio, dentre outras. Muito usado em fungicidas, revestimento, produção de pigmentos, estabilizadores para plásticos e subprodutos (DUARTE; PASQUAL, 2000).

O Cd tem sido muito usado como componente de baterias, peças metálicas e plásticas, componentes de eletroeletrônicos, fertilizantes para correção dos teores de fósforo no solo e pesticidas. A entrada de Cd no meio ambiente ocorre por atividades antrópicas, pois o uso desse tipo de metal nas indústrias e na agricultura tem sido cada vez mais intenso, por exemplo quando uma bateria não tem mais uso e é descartada de maneira incorreta (ALVES, 2016).

Algumas propriedades podem intensificar a entrada do Cd no solo, como as propriedades físicas e químicas do solo, determinadas plantas, a concentração do metal, disponibilidade e o período de exposição ao metal. Quando tratamos de um solo que tem pouca presença matéria orgânica, temperatura instável e baixo pH podem afetar significativamente a disponibilidade do Cd no solo. A Figura 5 representa os mecanismos que podem influenciar na entrada do Cd no solo (JUNIOR, 2019).

Figura 5 – Mecanismos de entrada do Cd no solo.



Fonte: Junior, 2019.

De acordo com o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2009) o limite de Cd no solo é de $1,3 \text{ mg.kg}^{-1}$ de peso seco, concentrações acima pode apresentar toxicidade de Cd no solo.

Um dos principais problemas que as plantas sofrem quando expostas as altas concentrações de Cd é alterações em suas funções metabólicas e morfológicas, principalmente a diminuição de suas raízes o que dificulta o processo de absorção de nutrientes consequentemente o seu crescimento (VIEIRA et al., 2015).

Além de ser tóxico para plantas, para os animais e seres humanos o Cd é capaz de causar envenenamento, o que pode acarretar diversas doenças, como danos aos ossos, rins, afeta o sistema nervoso, pulmões, sistema reprodutor, dentre outros órgãos. Diante de todos os problemas que o Cd pode trazer, existem técnicas para a sua remoção do meio ambiente como a *ex situ*, *in situ*, fitorremediação, biorremediação entre outras, evitando que afete a cadeia trófica, desde plantas, animais e seres humanos (NOGUEIRA, 2018).

3.5 Zinco

O Zinco é um metal encontrado em muitos lugares, pois é considerado um micronutriente, se apresenta na tabela periódica como metal de transição, e em altas quantidades se torna tóxico. Sendo um dos metais mais abundante na crosta terrestre, pode ser encontrando em praticamente todos os ambientes. Ocorre em vários minerais e em formas diferentes, podendo ser usado na galvanização, em baterias, tintas, plásticos, borrachas, em alguns cosméticos como pós e bases faciais e produtos farmacêuticos, além de ter uma grande importância no uso de fertilizantes como micronutriente essencial para o desenvolvimento de plantas (DUARTE; PASQUAL, 2000).

Para as plantas esse elemento é um componente importante em seu organismo, auxiliando no crescimento, na produtividade, na qualidade e na sua estrutura morfológica. A falta desse micronutriente pode acarretar diversos problemas para o desenvolvimento das plantas. De acordo com o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2009) o limite de Zn no solo deve ser de 450 m.kg^{-1} .

Valores acima do limite podem apresentar sintomas de toxicidade do zinco nas plantas ocasionando a diminuição da produção de matéria seca na parte aérea, inibição do crescimento vegetal, deficiência de ferro, diminuição da síntese de clorofila e degradação dos cloroplastos (ALEXANDRE et al., 2012).

Algumas propriedades podem facilitar a biodisponibilidade do Zn no solo como concentração total do metal no solo, teores de calcário, matéria orgânica, tipo de argila, presença de outros metais e solo ácidos. Essas propriedades podem fazer com que o Zn esteja mais disponível para ser absorvido pela planta (ALBUQUERQUE, 2020).

Essa toxicidade no solo pode ser maléfica para os seres humanos, apesar do Zn ser um mineral essencial para a saúde e se encontra amplamente distribuído em todo o corpo humano, pois auxilia em várias funções importantes do organismo. Seu excesso pode trazer diversos problemas a saúde, levando a um quadro de intoxicação, causando vômitos, diarreias e cólicas, quando inalados causam grande irritabilidade e lesões ao sistema respiratório, quando ingeridos em grandes quantidades pode ocasionar a supressão da resposta imune, diminuição de lipoproteína de alta densidade (HDL) e a redução das concentrações de cobre no plasma, entre outros. (CRUZ, J.B.F. ; SOARES, 2011).

3.6 Técnica de remediação

A contaminação do solo por metais pesados pode ser oriunda do descarte de resíduos químicos, atividades agrícolas e industriais, ocasionando problemas ambientais e risco de saúde aos seres humanos. A recuperação dessas áreas impactadas vem sendo uma prioridade, tanto para o meio comercial quanto para o meio ambiente. A técnica de remediação é um processo de recuperação na qual o teor contaminante é reduzido a níveis seguros (TAVARES, 2013).

Essa técnica é dividida em dois processos: o processo *ex situ*, que ocorre o transporte do material contaminado até o sítio de tratamento, como as escavações, incineração, extração com solvente, oxirredução entre outros, e o processo *in situ*, que é o meio mais utilizado por apresentar baixo custo e não provocar contaminações secundárias. Este processo se subdivide em duas formas a fitorremediação que utiliza as plantas e a biorremediação que utiliza as micro-organismos (fungos, bactérias etc). São os meios mais utilizados para promover os processos biotecnológicos que removem ou reduzem a concentração dos metais no meio ambiente (TAVARES, 2013).

A fitorremediação utiliza algumas espécies de plantas que possuem uma alta tolerância e capacidade de sobreviver em condições extremas, tanto em meios aquáticos como meios terrestres, para fazer a retirada do metal presente no meio. A

remoção do metal pelas plantas nas raízes pode ser realizada pela flora microbiana responsável pela degradação e sequestro de poluentes orgânicos e inorgânicos (LAMEGO, F. P.; VIDAL, 2007).

A fitorremediação é dividida em 5 subclasses: fitoestabilização, fitoestimulação, fitodegradação, fitovolatilização e fitoextração, onde cada uma possui uma característica diferente e especializada para determinado tipo de contaminante (Quadro 1) (MEJIA, 2014).

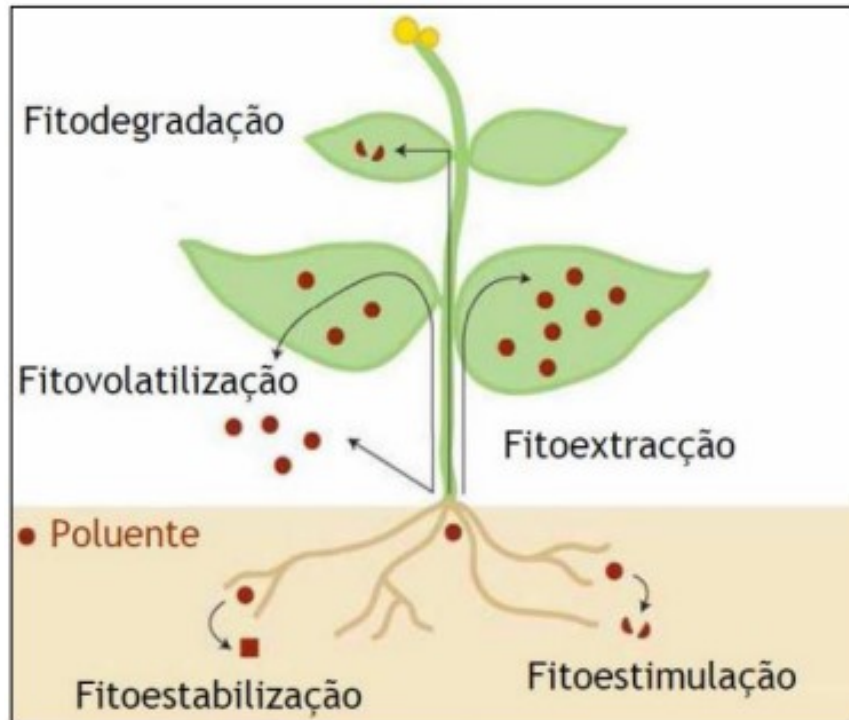
Quadro 1 – Descrição dos processos da fitorremediação

Subclasses da Fitorremediação	Processo
Fitoestabilização	Utiliza plantas tolerantes a metais pesados que irão imobilizar e estabilizar o contaminante em suas raízes, diminuindo a erosão e dispersão dele.
Fitoestimulação	Usa adição de nutrientes para que ocorra o aumento da atividade microbiana na rizosfera da planta acelerando assim a digestão dos poluentes.
Fitoextração	Usa plantas que acumulam metais em seus tecidos, onde são extraídos do solo e conseguem ser translocados para as partes aéreas.
Fitodegradação	Utiliza espécies de plantas que possuem o metabolismo rápido para que possa ocorrer a translocação dos compostos orgânicos para outras partes da planta.
Fitovolatilização	Usa plantas tolerantes a metais que tendem a estabilizar ou imobilizar os poluentes, prevenindo a imigração por meio de erosão ou lixiviação.

Fonte: Mejia (2014) e Lima (2020).

Na Figura 6 demonstra um esquema de como ocorre cada subclasse da fitorremediação.

Figura 6 - Processos de fitorremediação



Fonte: Demarco, 2016.

Existe outra subclasse adicional da fitorremediação que é conhecida como fitofiltração, onde ocorre a acumulação de contaminantes apenas nas raízes em condições hidropônicas, fazendo com que ocorra a separação dos metais da água sendo retidos e imobilizados nas raízes (LIMA, CAMILA. A.S; SANTOS. RENATA. P.S.; PERREIRA, 2020).

3.7 *Mentha crispa L.*

Mentha crispa L. (Figura 7), conhecida popularmente como hortelã, hortelã-de-folha-miúda, hortelã-panela, hortelã-rasteira, é uma planta amplamente distribuída em todo o Brasil e teve origem do cruzamento entre a *Mentha spicata L.* e a *Mentha suaveolens*. Por ser uma planta herbácea rasteira, é muito utilizada na culinária brasileira e também como planta medicinal. De acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS), uma planta pode ser considerada medicinal quando apresenta substâncias com propriedades terapêuticas ou que sejam síntese para produtos químicos e farmacêuticos (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2012). Por apresentar em suas folhas e caules uma propriedade antiparasitária, a hortelã é utilizada como um

fitoterápico, além de ser uma planta aromática, da qual é possível extrair óleo para fazer óleos essenciais (DIMECH et al., 2006).

Figura 7 - Fotografia *Mentha crispa L.*



Fonte: Nekawa, 2013.

Zemiani (2021) cultivou, a planta *Mentha crispa L.* em solo contaminado com Cd e identificou alteração em sua anatomia e tamanho como redução na altura, número de brotos e folhas. As maiores concentrações foram encontradas nas raízes, podendo então classificá-la como fitoestabilizadora.

Bilmayer (2020), cultivou a mesma planta *Mentha crispa L.* em solo contaminado com Zn e observou redução do número de folhas em todos os tratamentos comparados com o tratamento controle, suas raízes apresentaram diminuição de comprimento e coloração escurecida. As maiores concentrações do metal foram encontradas na parte aérea da planta, foi classificada como acumuladora e fitoextratora de Zn.

Sá (2015) cultivou a planta *Mentha crispa L.* em solo contaminado com Pb e observou que o comprimento da raiz e a parte aérea não foi afetada significativamente, no entanto seu número de folhas diminuíram pela influência do Pb, as maiores concentrações foram encontradas nas raízes e parte aérea, sendo classificada como fitotolerante de Pb.

Boldarini (2017), cultivou a planta *Mentha crispa L.* em solo contaminado com cobre (Cu) e identificou que em altas concentrações a planta apresentou clorose e diminuição no seu crescimento. Nas menores concentrações a planta se comportou

como tolerante ao metal ficando retido mais na raiz e nas altas concentrações a planta se mostrou fitoestabilizadora.

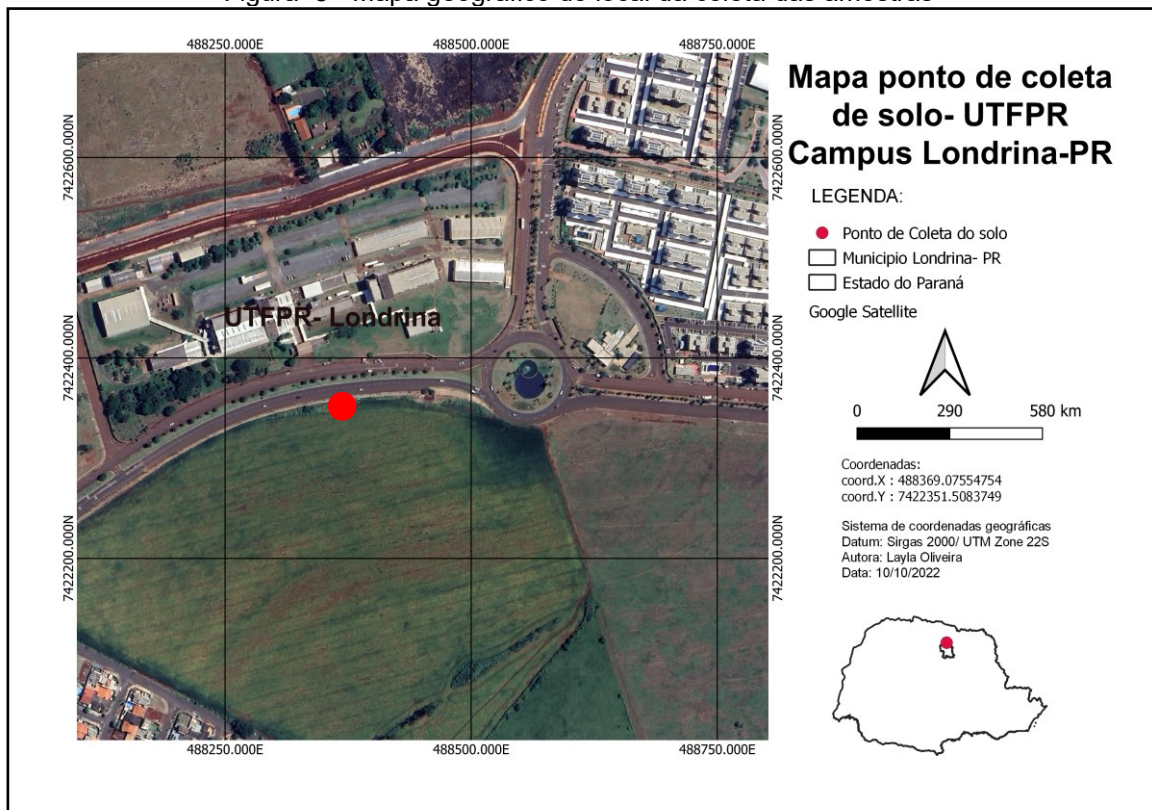
Sendo assim, alguns estudos avaliaram a tolerância de *Mentha crispera* L. em solos contaminados com metais e indicam que a planta com potencial para uso em processos de fitorremediação, devido as suas raízes serem vastamente radiculadas, auxiliando assim na remoção ou imobilização do metal no solo, além de ser uma planta que possui alta tolerância em ambientes com condições inóspitas para sua sobrevivência (BILMAYER, 2020; BOLDARINI, 2017; SÁ et al., 2015; ZEMIANI et al., 2021).

4 MATERIAIS E METÓDOS

4.1 Local de coleta das amostras

O solo foi coletado nas proximidades da UTFPR- Universidade Tecnológica Federal do Paraná na cidade de Londrina, norte do Paraná, com coordenadas $23^{\circ}18'29.74''$ S e $51^{\circ}6'49.61''$ O, representados na Figura 8. A área de coleta apresenta presença de gramíneas, com uma área de atividade agrícola e sem presença de construção civil.

Figura 8 - Mapa geográfico do local da coleta das amostras



Fonte: Autoria Própria, 2022.

O solo dessa região é classificado como Latossolo Vermelho Distroféricos com presença de acidez potencial, teores de alumínio, pH, cálcio, magnésio, teores trocáveis de potássio, sódio e fósforo (LOCATELLI, 2019).

4.2 Análise física e química do solo e mobilidade dos metais

O solo coletado da região de estudo como dito anteriormente é um Latossolo Vermelho Disférico, mas além disso ele tem outras características que pode nos ajudar a compreender como se comporta o metal pesado quando presente. De acordo com Zemiani (2021), que analisou o solo da região de estudo, identificando a sua

composição granulometria sendo de 73 % argila, 15 % silte e 12 % areia, apresentando maior proporção de argila com tamanho de partícula menor que 2 μm , o que contribui para uma maior área superficial e maior adsorção de metais. E indicou as seguintes propriedades físico- químicas na Tabela 1.

Tabela 1- Propriedades físico-químicas da amostra de solo utilizado neste estudo.

Propriedades físico-químicas	Valores
pH CaCl ₂	4,83
pH H ₂ O	5,51
Matéria Orgânica (g dm ⁻³)	24,02
Capacidade de troca catiônica (cmol _c dm ⁻³)	13,26
Soma de bases trocáveis (cmol _c dm ⁻³)	6,92
Porcentagem de bases trocáveis (%)	52,14
Teor de Fosforo (mg dm ⁻³)	7,53
Teor de Potássio (cmol _c dm ⁻³)	0,52
Teor de Magnésio (cmol _c dm ⁻³)	1,98
Teor de Cálcio (cmol _c dm ⁻³)	4,42

Fonte: Zemiani, 2021.

A presença natural de metais pesados no solo de acordo com o CONAMA 420/2009 é de aproximadamente 1,3 mg kg⁻¹ para Cd e 300 mg kg⁻¹ para Zn. Para o solo do local analisado foi cerca de aproximadamente 20,91 mg kg⁻¹ de Cd e 5,85 mg kg⁻¹ de Zn, devido a estar presente em uma área de atividade agrícola a uso de fertilizantes, pesticidas e herbicidas podem ter ocasionado essa maior concentração de Cd.

Algumas características do solo aumentam a entrada e mobilidade de metais pesado, por exemplo o Cd e o Zn em um solo com pouca matéria orgânica, baixos teores de óxidos de ferro e capacidade de troca catiônica e pH ácidos, geram bastante mobilidade e adsorção dos metais no solo (CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, 2009; SILVA, 2020; ZEMIANI et al., 2021).

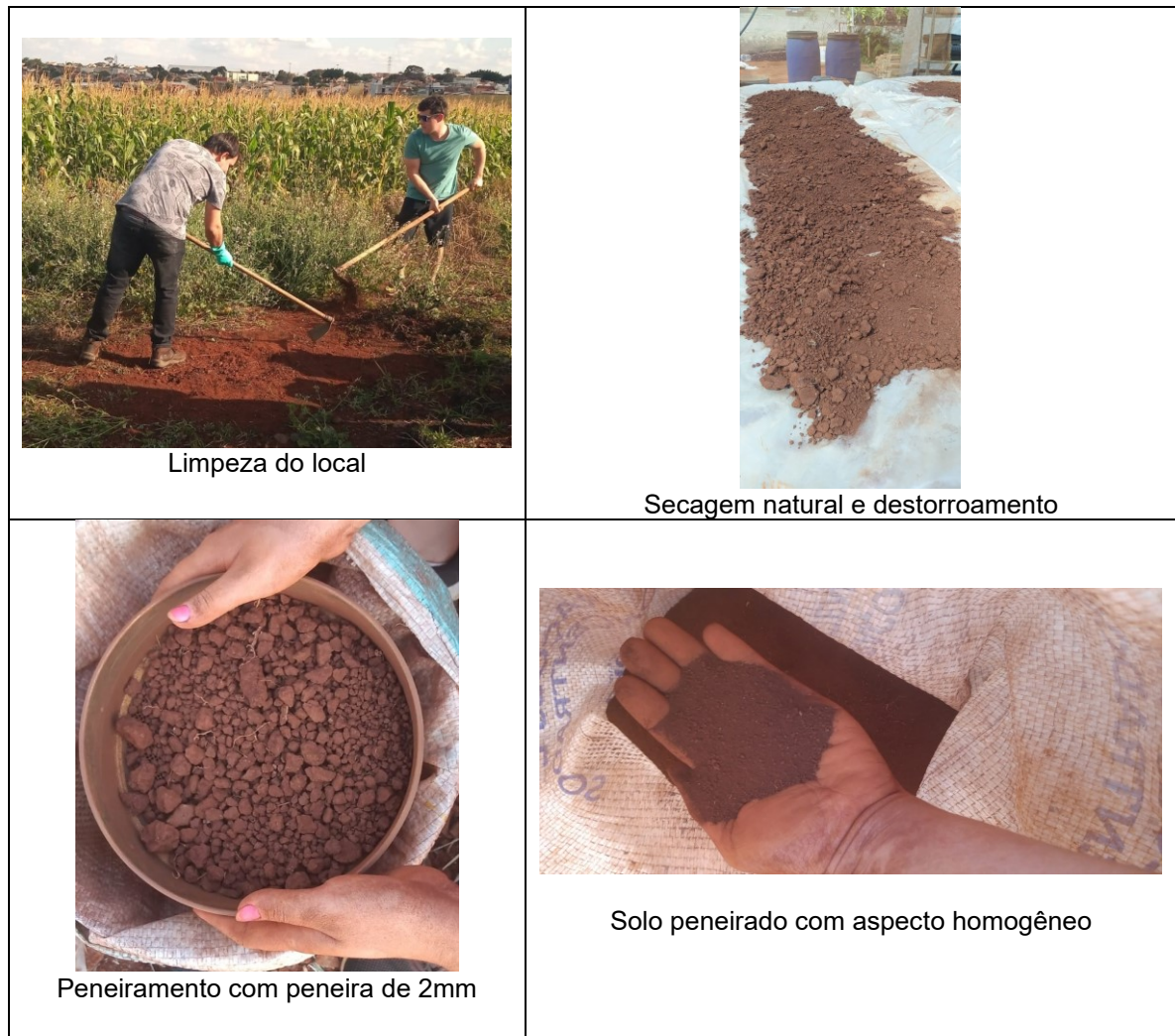
Os dados do solo da região como a matéria orgânica, e capacidade catiônica mostram valores medianos sendo 24,02 g dm⁻³ e 13,26 cmol_c dm⁻³ respectivamente, já o para o pH que se encontra em 5,51, possibilita o Cd e o Zn terem uma maior mobilidade podendo então estar disponíveis no solo para absorção da planta (SOBRAL et al., 2015).

4.3 Coleta e preparação do solo

Seguiu-se o método descrito pela Embrapa (2014) para a coleta do solo, então foi realizada a limpeza do local e depois a retirada de aproximadamente 120 kg a uma profundidade de 20 cm (superfície) com auxílio de pás e enxadas.

O solo foi armazenado em sacos de rafia e posteriormente transportados para a mesa da estufa da UTFPR- Londrina para o processo de destorroamento manual e a secagem natural (TSFA – terra fina seca ao ar). Depois de seco, o solo foi peneirado com a peneira de 2 mm de diâmetro para que o tamanho de partículas tenha aspecto mais homogêneo (BILMAYER, 2020; LOCATELLI, 2019; ZEMIANI et al., 2021). A Figura 9 representa todo o processo de preparação do solo.

Figura 9 - Fotografias da preparação do solo.



Fonte: Autoria própria, 2022.

4.4 Contaminação do solo

As concentrações dos metais utilizadas para contaminar o solo foram as mesmas usadas nos trabalhos de Zemiani (2021) e Bilmayer (2020), estabelecidas a partir da obtenção da capacidade máxima de adsorção (CMA) e são apresentados na Tabela 2. Os tratamentos, que envolvem as concentrações dos metais adicionados ao solo, vão de C₀ a C₇, onde C₀ é o tratamento sem adição de metal para efeito controle, C₁ é referente a 1/8 da capacidade máxima, C₂ a 1/6, C₃ a 1/4, C₄ a 1/2, C₅ adsorção máxima, C₆ o dobro da máxima e C₇ o quádruplo da máxima (BILMAYER, 2020; LOCATELLI, 2019; ZEMIANI et al., 2021).

Tabela 2 - Concentrações de metais em cada processo

<i>Tratamento</i>	CMA¹	Concentração de cádmio g kg⁻¹	Concentração de zinco g kg⁻¹
C₀	-	0	0
C₁	1/8 da CMA	1,15	0,060
C₂	1/6 da CMA	1,53	0,080
C₃	1/4 da CMA	2,30	0,121
C₄	1/2 da CMA	4,60	0,241
C₅	CMA	9,22	0,483
C₆	Dobro da CMA	18,25	0,965
C₇	Quádruplo da CMA	36,87	1,930

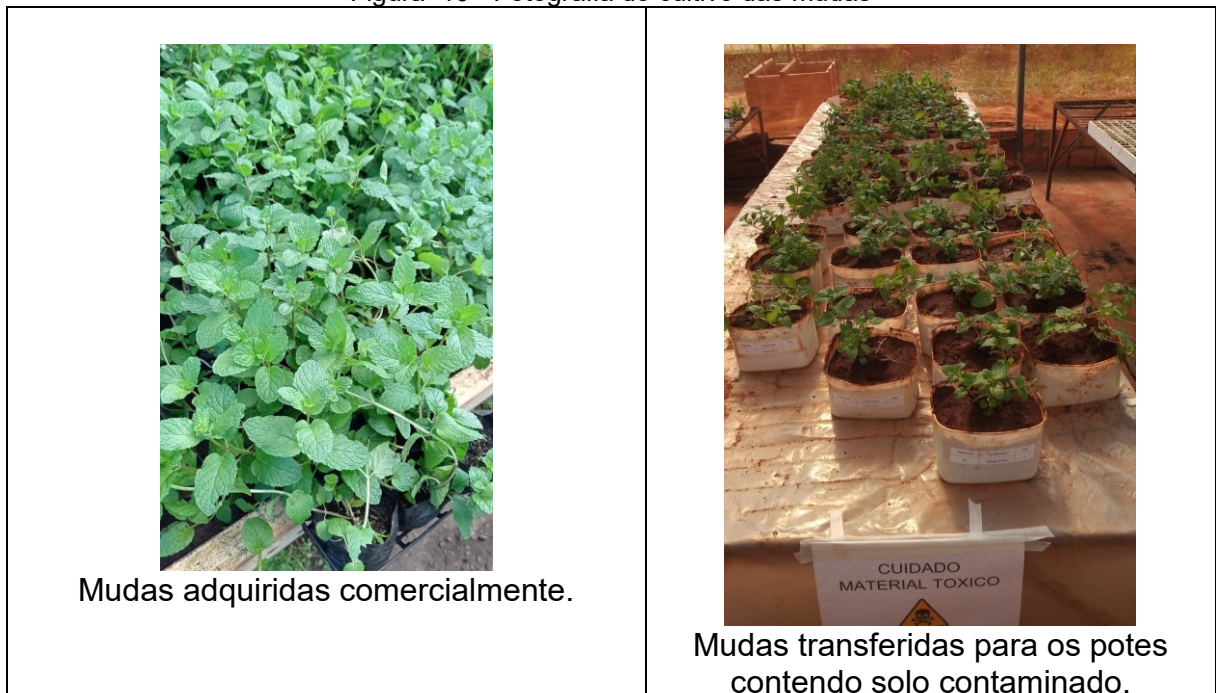
1 CMA - Capacidade Máxima de Adsorção.
Fonte: Bilmayer, 2020.

Foram realizadas cinco replicatas para cada tratamento, considerando os tratamentos de C₀ a C₇, o experimento foi conduzido com 40 potes de polipropileno. Com o solo preparado previamente, foram inseridos cerca de 1,8 kg de solo em cada pote e depois foram adicionadas soluções de Cd e Zn, foi utilizado na forma de acetado para que não agisse como nutriente para a planta como ocorre com os sais de nitrato e cloreto. Os metais foram adicionados simultaneamente para obter as concentrações da Tabela 1. O solo foi deixado na estufa durante um período de 30 dias e regado periodicamente para que a umidade ser mantida em 60% e o processo de adsorção do metal ao solo entrasse em equilíbrio ((BILMAYER, 2020; ZEMIANI et al., 2021).

4.5 Cultivo das mudas

As mudas de *Mentha crispa L.* foram adquiridas comercialmente, regadas diariamente e mantidas na estufa do Campus da UTFPR. Posteriormente elas foram transplantadas para os potes de polipropileno contendo o solo contaminado (já em equilíbrio após 30 dias), sendo 1 muda por pote e distribuídas aleatoriamente sobre a mesa na estufa da UTFPR- Londrina, representadas na Figura 10 (ZEMIANI et al., 2021).

Figura 10 - Fotografia do cultivo das mudas



Fonte: Autoria própria, 2022.

A inspeção visual foi realizada diariamente para o monitoramento de qualquer alteração que pudesse ocorrer como diferenças em sua coloração ou murchamento das folhas. A umidade foi mantida em 60 %, com reposição diária de água perdida no processo de evaporação verificada na pesagem dos vasos. Nos trabalhos de Zemiani (2021) e Bilmayer (2020) o tempo de cultivo foi de 120 dias, tempo previsto para o presente experimento, mas a colheita foi realizada após aproximadamente 115 dias do plantio, pois o tratamento C₀ apresentou sinais de redução no desenvolvimento da planta, em termos de altura, número de brotos e folhas.

A solução nutritiva contendo nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) foi adicionada em todos os potes, inclusive no tratamento controle (C₀), no início e no meio do cultivo, sendo nos 30 primeiros dias e 75 dias respectivamente. A solução nutritiva foi preparada no laboratório de solo da UTFPR- Campus Londrina com 0,99

g.L⁻¹ de sulfato de amônio [(NH₄)₂SO₄], 0,82 g.L⁻¹ de cloreto de potássio (KCl), 0,136 g.L⁻¹ de sulfato de potássio (KH₂PO₄). Foi preparada uma solução nutritiva utilizando cálcio e magnésio com um complemento de nutrientes para as plantas, sendo aplicada apenas no início do tratamento 1,11 g.L⁻¹ de cloreto de cálcio (CaCl₂) e 0,19 g.L⁻¹ de cloreto de magnésio (MgCl₂) (SILVA, 2021).

4.6 Preparação das amostras para determinação da concentração de Cd e Zn.

Após o período de aproximadamente 115 dias, a planta foi coletada e separada em três partes: raízes, caules e folhas. Em seguida realizou-se o processo de limpeza, com remoção manual de solo aparente nas raízes. Após esse processo, as raízes caules e folhas foram lavados com água ultrapura (Purelab Option Q-7, Elga, Inglaterra). As raízes passaram por uma etapa adicional de limpeza, sendo imersas em solução de ácido clorídrico 10 % v/v (destilado, subboiling BSB-939-IR, Berghof, Alemanha) por 1 minuto e em seguida foram enxaguadas com água ultrapura. As amostras foram secas com papel toalha e foram pesadas com auxílio de uma balança analítica para obtenção da biomassa fresca. Depois as amostras foram levadas para uma estufa com circulação de ar forçada a 60°C por aproximadamente 72 horas com a obtenção da massa constante. Essa metodologia está de acordo com os trabalhos de Bilmayer (2020) e Zemiani (2021).

As replicatas, no total de cinco para cada tratamento foram agrupadas, considerando a separação de caule, folha e raiz, com a finalidade de se obter concentração média dos metais em cada tratamento. O material foi triturado em um moinho de facas tipo Wilye (STAR FT 50) representado na Figura 11 e peneirado em malha de poliéster de 75 µm de diâmetro.

Figura 11 - Moinho de facas



Fonte: A autoria própria, 2022.

Em seguida as amostras foram submetidas a digestão ácida em bloco digestor, usando 0,3 g de cada amostra em triplicata com adição de 4 mL de ácido nítrico (HNO_3), sob aquecimento de 50°C por 30 minutos. Depois a temperatura foi elevada para 120°C por mais 20 minutos, e em seguida foram adicionados 4 mL de peróxido de hidrogênio (30% v/v) mantendo em 120°C por mais 20 minutos. Após esse procedimento, o material foi filtrado com papel de filtro quantitativo e transferido para tubo de polipropileno com volume final de 20 mL completado com de água ultrapura.

Para verificar a concentração natural de Cd e Zn no solo, uma amostra foi preparada em triplicata pesando 0,1 g de solo do tratamento C_0 com adição de 2 mL de ácido sulfúrico e elevou-se a temperatura para 280°C durante 60 minutos. Em seguida adicionou-se 1 mL de peróxido de hidrogênio com resfriamento por 5 minutos para depois retomar o aquecimento em 280°C por mais 30 minutos. Após esse tempo o material lixiviado foi filtrado e transferido para tubo de polipropileno e com volume final de 20 mL completado com água ultrapura (BILMAYER, 2020).

Desta forma, a concentração dos metais nas amostras foram determinadas usando um espectrômetro de absorção atômica com atomização em chama (Varian, AA 240-F, Austrália), equipado com um sistema de correção de fundo de lâmpada de deutério e chama ar-acetileno. O comprimento de onda utilizado para o Cd foi de 228,8 nm e para o Zn de 213,9 nm (BILMAYER, 2020; ZEMIANI et al., 2021). A Figura 12 apresenta o equipamento utilizado e que está localizado no Laboratório CEANMED da UTFPR Campus Medianeira.

Figura 12 – Espectrofotômetro de absorção atômica com chama (AAS)



Fonte: Autoria própria, 2022.

4.7 Fatores de bioacumulação e translocação e taxa de extração do metal

A determinação da eficiência de absorção do metal no solo pela planta pode ser determinada pelos fatores de bioacumulação e translocação. A razão da concentração do metal na planta pela concentração do metal no solo é estabelecida pelo fator de bioacumulação (FB), que atua como indicador da capacidade que planta tem em acumular metal em seus tecidos para valores de $FB > 1$ as plantas são consideradas acumuladoras e para $FB < 1$ as plantas são tolerantes ao metal. Em relação à eficiência da planta em acumular o metal em suas partes aéreas, obtém-se a razão da concentração do metal nas partes aéreas pela concentração do metal nas raízes, chamada de fator de translocação (FT) onde o $FT > 1$ tem potencial para fitoextração e $FT < 1$ tem o potencial para fitoestabilização (FIGUEIREDO DE LIMA; NUNES GUTJAHR; DE SOUZA BRAGA, 2022).

Os fatores são calculados utilizando as equações (1) FB e (2) FT , e a partir dos resultados podemos indicar se a planta *Mentha crispa L.* pode ser uma espécie tolerante ou hiperacumuladora de cádmio e zinco (SILVA, 2021).

$$FB = \frac{\text{Concentração do metal nas parte aéreas } \left(\frac{mg}{kg}\right)}{\text{Concentração do metal no solo } \left(\frac{mg}{kg}\right)} \quad (1)$$

$$FT = \frac{\text{Concentração do metal nas partes aéreas } \left(\frac{mg}{kg}\right)}{\text{Concentração do metal das raízes } \left(\frac{mg}{kg}\right)} \quad (2)$$

A taxa de extração do metal (*Metal Extraction Ratio*, MER), equação 3, expressa a capacidade de extração dos metais considerando a biomassa da planta produzida e o volume do solo a ser descontaminado (SILVA, 2021).

$$MER = \frac{\text{Concentração do metal na Mentha } \left(\frac{mg}{kg}\right) \times \text{Massa da Mentha } (kg)}{\text{Concentração do metal no solo } \left(\frac{mg}{kg}\right) \times \text{Massa do solo a ser limpa } (kg)} \times 100 \quad (3)$$

A partir dos resultados obtidos com MER (% remoção/ ciclo) e considerando o tempo de cultivo da planta que foi de 115 dias, é possível calcular o número de ciclos (equação 4) onde podemos obter o número de ciclos necessários para retirar 100% do contaminante do solo e o tempo em anos para a remoção total do metal (100%) do solo (equação 5).

$$\frac{100\%}{(MER)} = n^{\circ} \text{ de ciclos} \quad (4)$$

$$\text{Tempo de remoção} = \frac{n^{\circ} \text{ de ciclos} \times \text{tempo de cultivo}}{\text{dias do ano}} \quad (5)$$

4.8 Digestão das amostras de planta

Para a determinação de metais pela técnica de espectrometria de absorção atômica, as amostras devem estar na forma líquida sem presença de partículas, podendo ser aspiradas para a chama sem qualquer problema de entupimento.

Mas para que seja possível determinar os analitos inorgânicos, a amostra sólida pode passar pelo processo conhecido como digestão ou decomposição por via úmida, que utiliza ácidos minerais. O ácido utilizado neste experimento foi o ácido nítrico de elevada pureza (destilado). Muitas vezes esses ácidos podem ser misturados com

peróxido de hidrogênio para melhorar a sua eficiência na oxidação da matéria orgânica, e no presente trabalho utilizou-se a mistura do ácido nítrico com peróxido de hidrogênio com o auxílio do bloco digestor que pode ser observado, na Figura 13 (SOUSA; CAMPOS; ORLANDO, 2015).




Figura 13 - Digestão ácida








Fonte: Autoria própria, 2022.

Quando se trata de uma análise química, geralmente a amostra precisa ser preparada, onde se transforma a amostra original em uma amostra apropriada para análise. A amostra deve ser primeiramente pulverizadas para homogeneização posterior e estar apita a seguir com a digestão. Na Figura 14 pode ser observado o resultado de cada etapa do processo de preparação das amostras.

Figura 14 -Fotografias do processo de preparação da amostra

	Folha	Caule	Raiz
Secas			

Trituradas			
Homogeneizadas			
Digeridas			

Fonte : Autoria própria, 2022.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Concentração dos metais Zinco e Cadmio em *Mentha crispa L.*

Para a obtenção das concentrações de Cd e Zn foram utilizadas apenas amostras dos tratamentos C₁ a C₅, pois as concentrações C₆ e C₇ morreram em 24 horas depois de serem transplantadas para o solo contaminado. Isso é porque as concentrações dos metais no solo desses tratamentos foram superiores à da capacidade máxima de adsorção, proporcionando metal livre na solução do solo, sendo prontamente absorvido pela planta. Como o Cd é fitotóxico, a planta não resistiu a essa absorção após o tempo de exposição de 24 horas e as replicatas desses tratamentos foram retirados do experimento preparados para a determinação de Cd e Zn juntamente com as amostras ao final do experimento.

Os parâmetros das curvas de calibração como a equação da reta e a correlação linear para o Cd e Zn obtidos no espectrômetro de absorção atômica são apresentados no Quadro 2 .

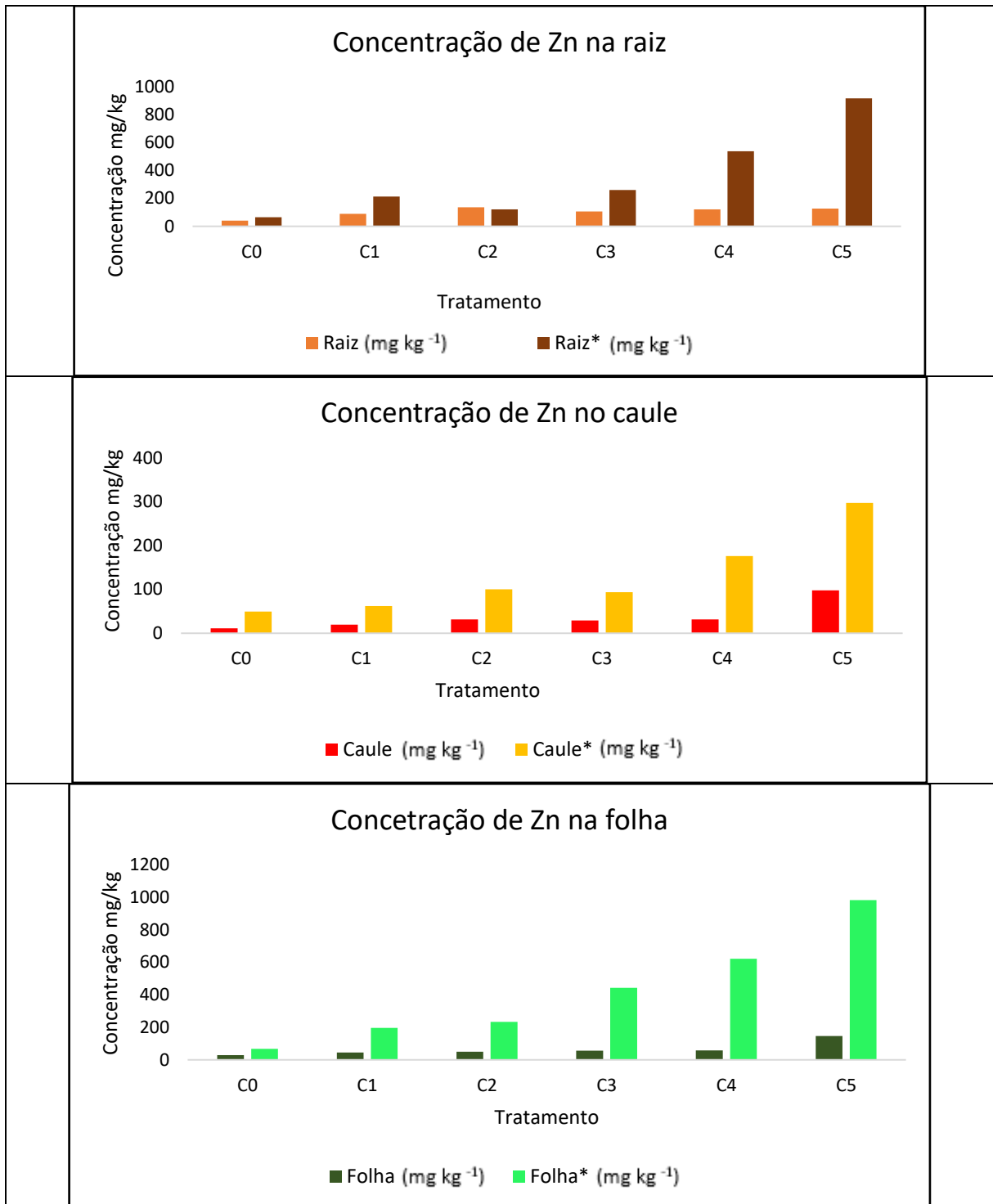
Quadro 2 – Parâmetros de calibração do cadmio e zinco

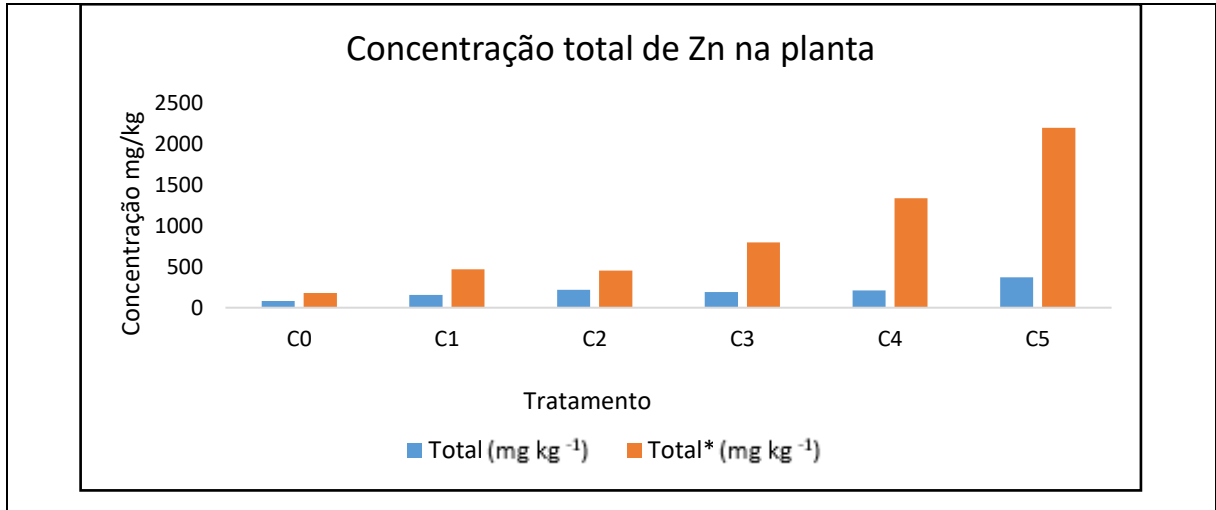
Parâmetros	
Curva de calibração zinco	Curva de calibração cadmio
$y = 0,3206x$ $R^2 = 0,992$	$y = 0,3014x$ $R^2 = 0,997$

Fonte : Autoria própria, 2022.

As concentrações de Zn que foram determinadas nas raízes, caules e folhas de *Mentha crispa L.* estão representadas no Gráfico 1. Na tabela de gráficos também contém os valores obtidos por Bilmayer (2020) para o mesmo metal e mesma planta.

Gráfico 1 – Tabela de gráficos das concentrações de Zn em mg kg⁻¹ encontradas em *Mentha crispa L.* e comparadas com os valores obtidos por Bilmayer (2020)*.





* valores obtidos por Bilmayer (2020).

Fonte : Adaptado Bilmayer, 2020.

Ao se analisar os dados obtidos no presente trabalhos vimos que o Zn aumentou nas raízes, caule e folhas de acordo com cada tratamento $C_5 > C_4 > C_3 > C_2 > C_1$ e em comparação com o controle. Mas as maiores concentrações foram vistas no tratamento C_2 e C_5 onde o Zn mais se acumulou, além de que em todos os tratamentos a raiz foi a parte da planta que mais acumulou o metal.

Já no trabalho de Bilmayer (2020), podemos observar que houve uma maior absorção de Zn em todas as partes das plantas e as maiores concentrações de Zn foram encontradas nas folhas e houve uma maior retirada do metal. No entanto, isso não aconteceu nesse estudo com o Zn em presença de Cd no solo. A maior concentração de Zn foi encontrada na raiz e apenas no tratamento C_5 que foi possível ter uma maior concentração na parte aérea e a retirada total do metal foi bem menor quando comparado. Isso pode ter ocorrido devido a diversos mecanismos que a planta pode desenvolver para sobreviver no solo contaminado.

Estudos demonstram que a planta quando em contato com metal desenvolvem mecanismo de defesa como a homeostase, este por sua vez controla a absorção, acumulação e translocação de metais tóxicos no tecido vegetal. Mas altas concentrações podem prejudicar este mecanismo, fazendo com o que a planta mude suas propriedades e assim ocorre um desequilíbrio nas concentrações de nutrientes e o seu desenvolvimento estrutural (SOUTO et al., 2020).

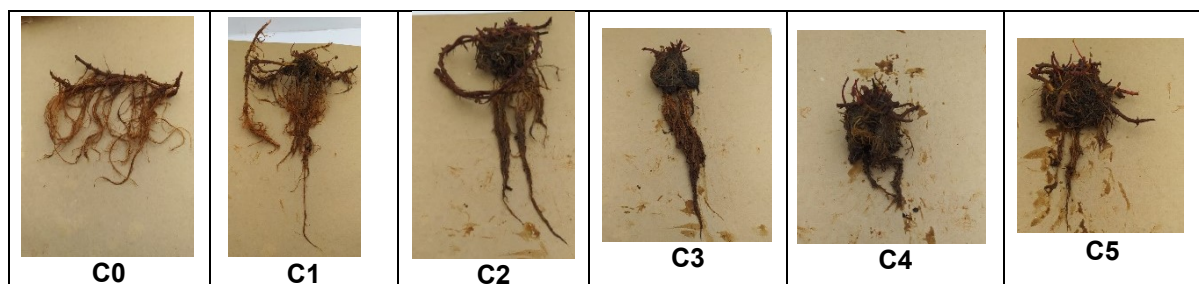
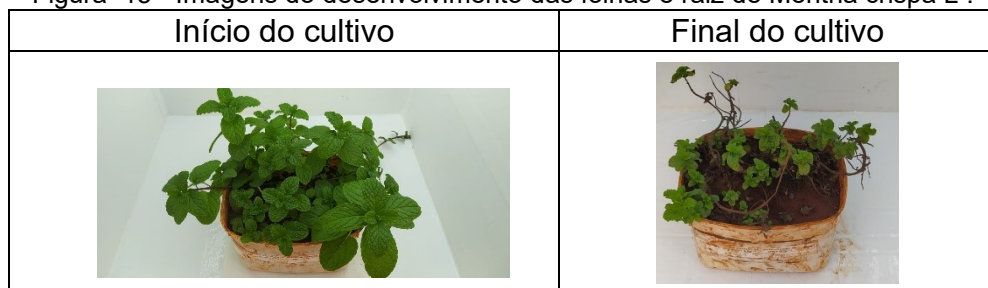
Melo et al, (2016) utilizou videiras e aveia de preta em solos com altos teores de Cu e Zn e observou um acúmulo preferencial dos metais nas raízes e apenas uma pequena quantidade na parte aérea.

As distribuições podem ocorrer por mecanismos que envolvem o transporte de membranas ou por mecanismo que potência a toxicidade e a distribuição do metal. Este acontece pela força de ligação, onde a qual interage com os ligantes duros nos tecidos vegetais. Compostos que possuem baixa polaridade, alta eletronegatividade, pequenos raios e de difíceis oxidação, são retidos nas raízes pelos por este mecanismo (MELO et al., 2016).

Vijayarengan e Mahalakshmi (2013) também observaram que na espécie *Solanum lycopersicum* L. a toxicidade do Zn reduziu o comprimento da raiz e da parte área da planta.

As concentrações de Zn de 150-300 mg/kg nos tecidos das plantas é altamente tóxicas e podem provocar redução do crescimento, clorose e reduzir a eficiência fotossintética, nos dados obtidos a planta absorveu valores maiores. As suas alterações podem ser observadas na Figura 15, onde a planta apresentou diminuição de suas folhas e redução da biomassa comparadas com o tratamento controle (ALBUQUERQUE, 2020).

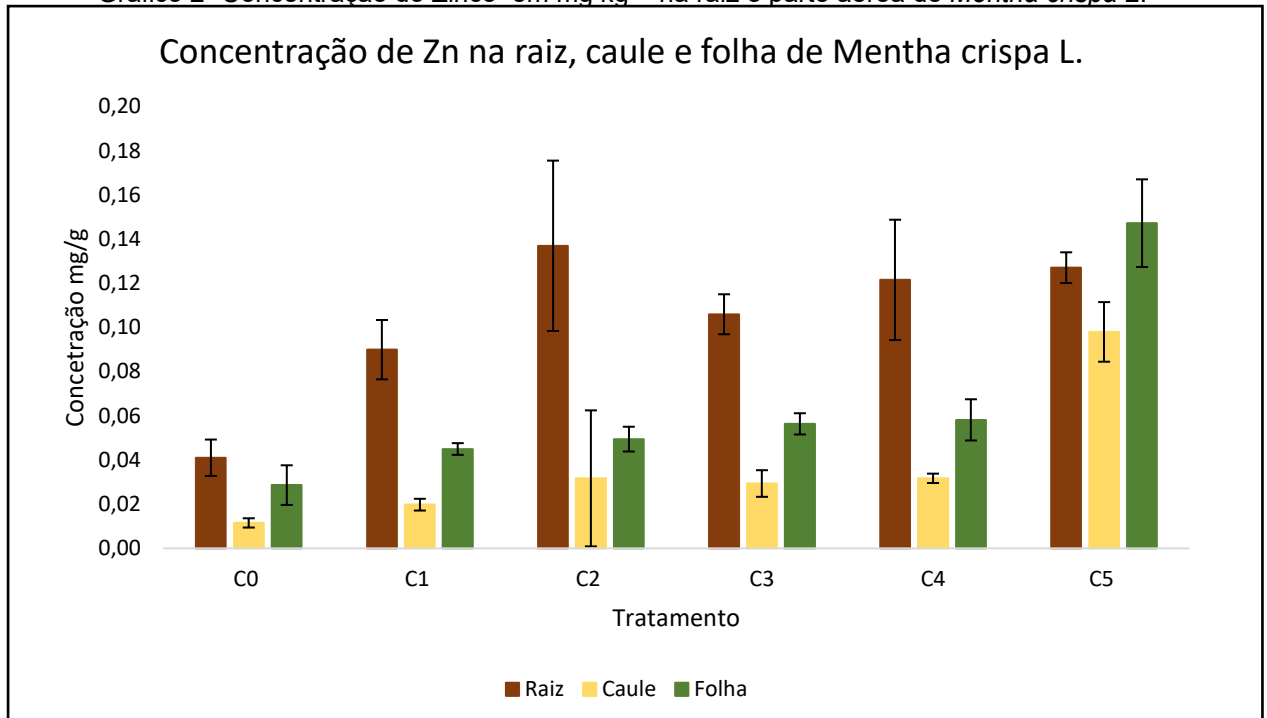
Figura 15 - Imagens do desenvolvimento das folhas e raiz de *Mentha crispa* L .



Fonte : Autoria própria, 2022.

No Gráfico 2 é possível analisar como foi a absorção do Zn pela *Mentha crispa* L. em cada tratamento e sua distribuição em cada parte da planta.

Grafico 2- Concentração do Zinco em mg kg^{-1} na raiz e parte aérea de *Mentha crispa L.*

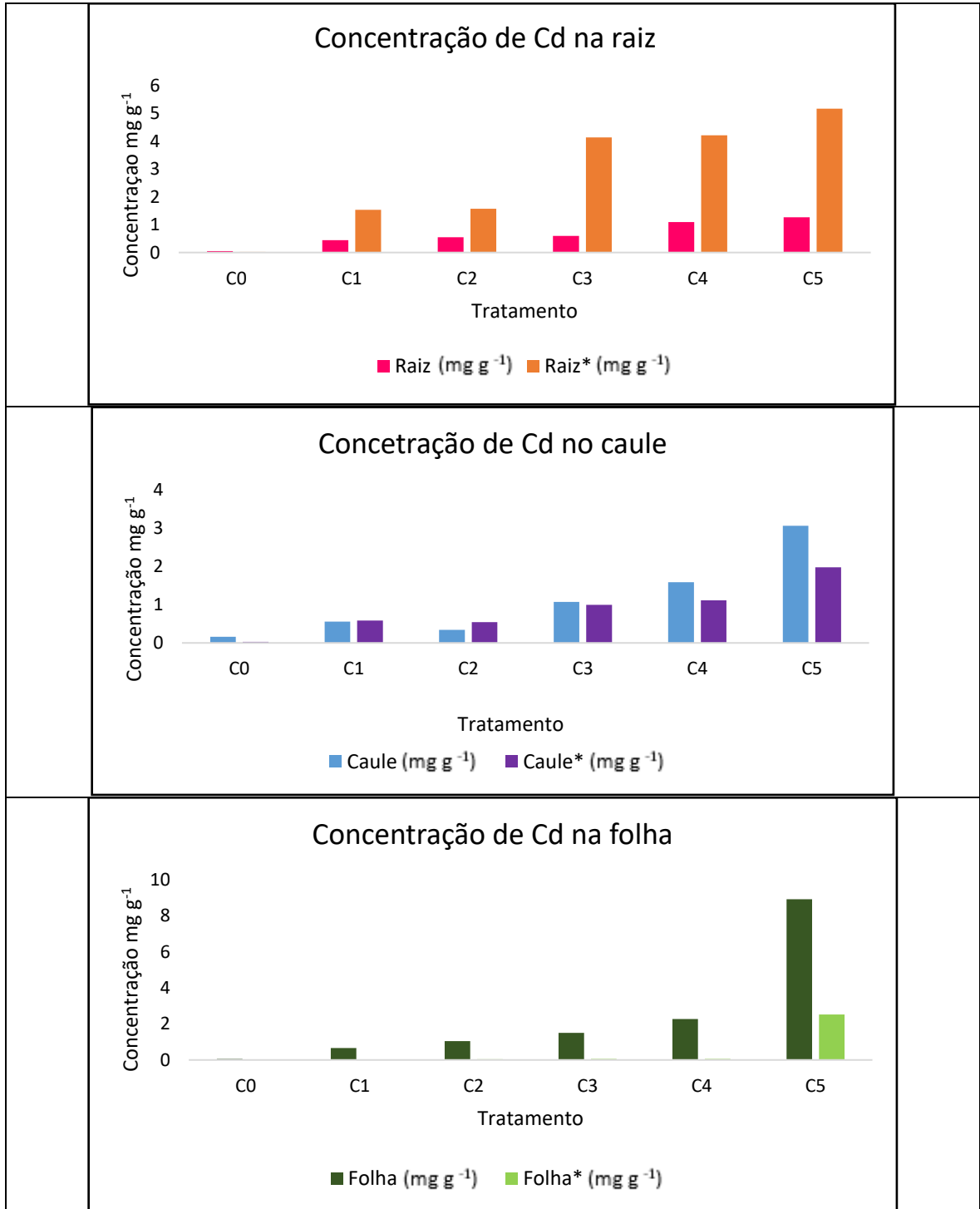


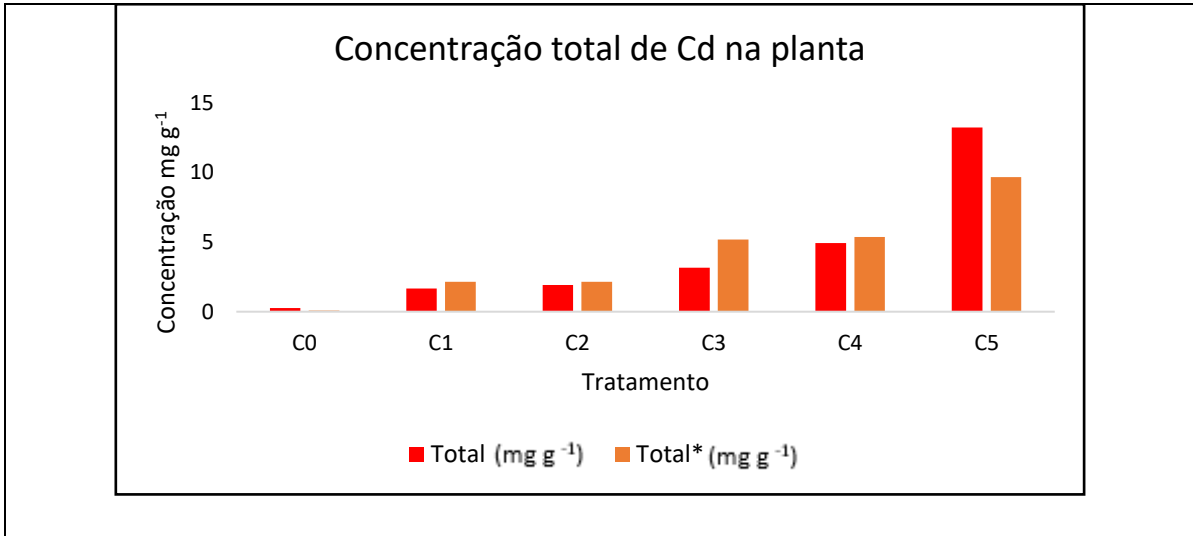
Nas concentrações dos tratamentos C₀ a C₄ a raiz teve a maior concentração de Zn, sendo uma característica de uma planta fitoestabilizadora. No tratamento C₅ as folhas obtiveram a maior concentração de Zn, sendo uma característica de plantas hiperacumuladora, pode ter acontecido uma saturação na raiz isso fez com que o Zn fosse translocado para a parte aérea (BORIN, 2010).

Assim foi possível corroborar com o que já foi retratado, onde as maiores concentrações de Zn se encontram na raiz e folhas. Já o caule teve os menores valores, pode ser devido a um mecanismo adicional o qual auxilia a imobilização do metal na planta e a protege (SOARES et al., 2001).

As concentrações de Cd determinadas nas raízes, caules e folhas de *Mentha crispa L.* estão representadas na Gráfico 3 .

Gráfico 3 – Tabela de gráficos da concentração de Cd em mg g^{-1} encontradas em *Mentha crispa L.* e comparadas com os valores obtidos por Zemiani (2017)*.





* Valores obtidos por Zemiani, (2017).

Fonte: Adaptado Zemiani, 2017.

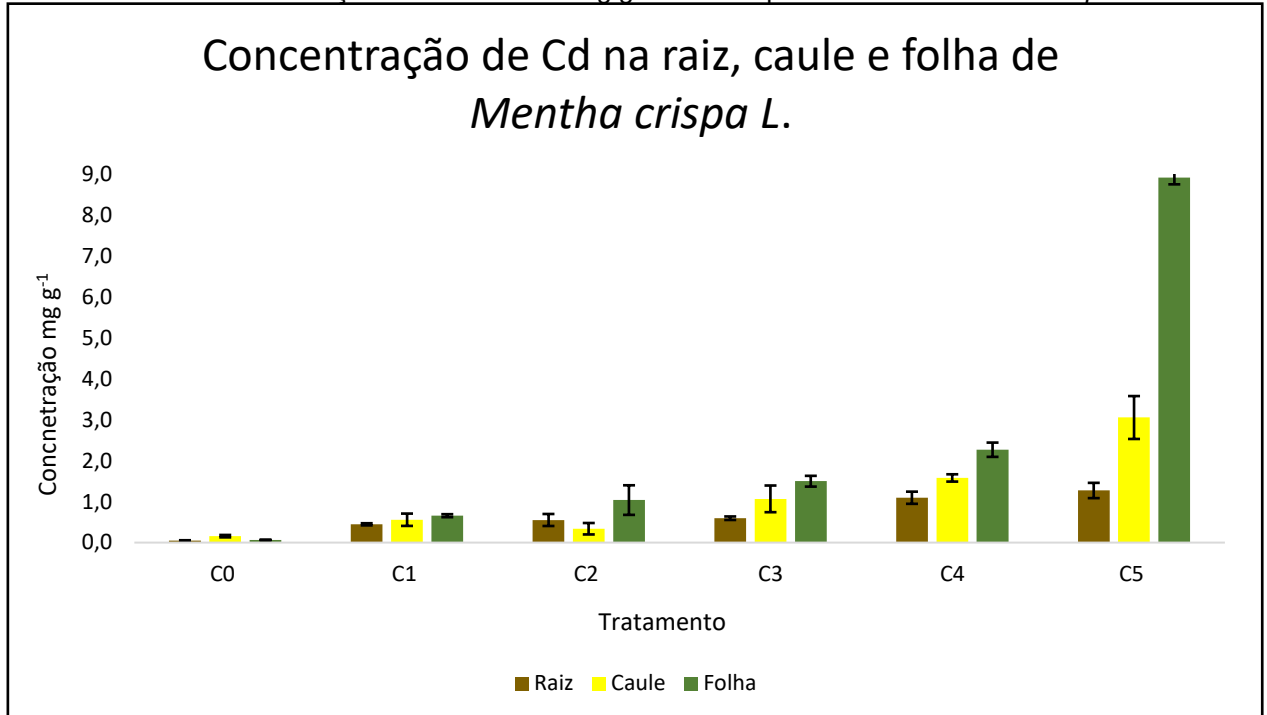
Ao se verificar os dados obtidos no presente trabalhos vimos que o Cd aumentou nas folhas, caule e raiz de acordo com cada tratamento $C_5 > C_4 > C_3 > C_2 > C_1$ e em comparação com o controle. Mas as maiores concentrações foram vistas no tratamento C_5 onde o Cd mais se acumulou, além de que em todos os tratamentos a folha foi a parte da planta que mais acumulou o metal.

Analisando os resultados obtidos no trabalho de Zemiani (2017), vimos que o metal se encontrava em maiores concentrações nas raízes. Ao se comparar com os resultados do presente trabalho verificamos que ocorreu ao contrário onde a maior concentração de Cd estava nas folhas e houve também uma maior absorção total do metal. Assim como o Zn para o Cd a planta também pode ter desenvolvido mecanismos para diminuir a toxicidade e sobreviver no solo contaminado.

Levando em conta que a planta, possui padrões de alocação e compartimentalização, ou seja, processos que a planta utiliza para lidar com a toxicidade do Cd, limitando interações do metal com outras partes da células, esses processos iram depender do tempo de exposição do cadmio e as condições ambientais que a planta está sofrendo (JUNIOR, 2019).

No trabalho de Zemiani 2021, a *Mentha crispa L.* foi contaminada apenas com o Cd, então ela pode ter apresentado um processo de defesa. O presente trabalho utilizou dois metais simultâneos, Cd e Zn na mesma planta provavelmente utilizando de outro processo de defesa para aliviar a toxicidade do metal.

O Gráfico 4 é possível analisar como foi a absorção do Cd pela planta *Mentha crispa L.* em cada tratamento e sua distribuição em cada parte da planta.

Gráfico 4 - Concentração do Cádmiio em mg g^{-1} na raiz e parte aérea de *Mentha crisper* L.

Fonte: Autoria própria, 2022.

No Gráfico 4 podemos observar que o metal obteve a maior concentração nas folhas em todos os tratamentos. O C₅ apresentou a maior concentração de Cd, tendo em vista que é o tratamento onde a concentração do metal corresponde a capacidade máxima de adsorção do metal no solo. Provavelmente houve uma maior proporção de metal livre que foi prontamente absorvido pela planta.

A tolerância do Cd tem sido observado em várias plantas, pois as mesmas desenvolvem mecanismo eficientes que restringem e neutralizam o efeito do metal. As plantas que são tolerantes a este metal tem mostrado resultados de acumulação preferencial na raiz, no entanto trabalhos vem apresentando contrastantes em relação ao acúmulo do metal na raiz, pois descrevem que a concentração maior foram nas folhas.

Solti et al., (2016) relata que a planta de álamo cultivadas hidroponicamente desenvolveu um mecanismo de aclimação ao estresse oxidativo do Cd visto houve uma restauração do seu aparato fotossintético, quando o Cd estava presente nas folhas.

Junior (2019), explica que os padrões de alocação e a compartimentalização também são processos que a planta pode desenvolver para lidar com a toxicidade do Cd na qual limita a interação do metal com as células.

Outro mecanismo importante, foi que em uma classe de plantas raras, através do mecanismo de desintoxicação por quelação no citoplasma ou armazenamento em vacuolose fez com que Cd fosse deslocado rapidamente para as folhas, causando pequenos danos nas plantas (JUNIOR, 2019).

Algumas propriedades que o Cd apresenta pode facilitar sua disponibilidade para a planta, ele é um metal que possui mobilidade em solos (CLARICE DE OLIVEIRA, 1998). Outra característica importante é que o Cd embora não seja um elemento essencial para as plantas ele possui uma semelhança química com os elementos essenciais e a sua alta solubilidade em água, fazendo com que a planta o absorva facilmente pelos canais iônicos (JUNIOR, 2019).

5.2 Fator de Bioacumulação, Fator de Translocação e Taxa de Extração do Metal

Para se avaliar o potencial de extração do metal utilizamos o fator de bioacumulação, que corresponde a eficiência da planta em absorver o metal do solo e acumular em seus tecidos. Para $FB > 1$ as espécies são consideradas acumuladoras e para $FB < 1$ são espécies tolerantes ao metal. Na Tabela 3 é possível avaliar os valores de fator de bioacumulação obtidos para Zn e Cd na planta *Mentha crispa L.*

Tabela 3 – Fator de Bioacumulação (FB) do Cd e Zn em *Mentha Crispa L* para cada tratamento .

Tratamento	FB Zn	FB Cd
C1	1,08	2,19
C2	1,01	2,14
C3	0,71	2,44
C4	0,37	2,34
C5	0,51	2,71

Fonte: Autoria própria, 2022.

Neste estudo para o fator de bioacumulação obtido para Zn pode ser observado que a planta apresentou $FB > 1$ apenas para os tratamentos de C₁ e C₂. Nas concentrações de 60 e 80 mg kg⁻¹ a planta se comportou como acumuladora do Zn, já nos tratamentos de C₃ a C₅ obteve-se $FB < 1$ onde a planta apresentou-se tolerante ao metal, em baixas concentrações de Zn a planta conseguiu absorver melhor o metal do que em altas concentrações. Para o Cd a planta apresentou em todos os tratamentos o $FB > 1$ logo a planta se comportou como acumuladora de Cd.

De acordo com Luo, (2021), com a seleção da evolução, as plantas começaram a desenvolver mecanismos que acumulam e desintoxicam os metais pesados para

que ela não seja tão afetada pelo metal. Assim o Cd pode ser absorvido pelas raízes através das vias apoplástica e simplástica pode ser translocado para a parte aérea da planta pelo carregamento do xilema. Com isso inicia-se uma série de mecanismos que visam reduzir a sua toxicidade.

Quando o Cd entra em contato com a raiz, formam-se complexos quelantes, que são imobilizados na parede celular, citoplasma ou vacúolos e assim o Cd perde a sua toxicidade. Esses mecanismos de transporte do Cd ocorrem por transportadores de elementos essenciais, e o Zn pode ser um dos transportadores regulados que auxiliam no transporte de Cd para parte aérea (LUO; ZHANG, 2021).

Para o fator de translocação (Tabela 4) onde avaliamos a eficiência em transportar o metal da raiz para a parte aérea, quando o $FT > 1$ a planta tem potencial de fitoextração e quando for $FT < 1$ tem potencial para fitoestabilização

Tabela 4 - Fator de Translocação (FT) do Cd e Zn em *Mentha Crispa L* para cada tratamento

Tratamento	FT Zn	FT Cd
C1	0,72	2,72
C2	0,59	2,49
C3	0,81	4,31
C4	0,74	3,51
C5	1,93	9,41

Fonte: Autoria própria, 2022.

Os valores obtidos de FT para Cd foram superiores a 1, logo corroboram com o que foi tratado acima por Luo, (2021) onde o Cd foi transportando da raiz para a parte aérea com o auxílio do Zn. Para o FT de Zn vimos que apenas o tratamento C₅ foi superior a 1, isso se deve ao fato de que neste tratamento a planta conseguiu translocar uma maior quantidade do metal para a parte aérea.

Sendo assim, as plantas que possuem FB e $FT > 1$ apresentam potencial para serem utilizadas em processos de fitoextração, e $FB > 1$ e $FT < 1$ para fitoestabilização. Nos resultados de FB e FT obtidos nesse estudo de podemos classificar a planta *Mentha crispa L* como fitoextratora para o Cd, desde que cultivada em Latossolo Vermelho com as mesmas concentrações adicionadas de Zn. Para o Zn a planta *Metnha crispa L*. se comportou tolerante ao metal e pode ser classificada como fitoestabilizadora, visto que seus valores de FB e FT em alguns tratamentos são menores que 1.

Em fitorremediação o processo de fitoextração consiste em absorver, translocar e acumular o contaminante na parte aérea da planta. Para isso utiliza-se a taxa de extração para estimar o número de ciclos da planta e o tempo necessários para promover a descontaminação do solo. As Tabelas 5 e 6 representam a taxa de extração, número de ciclos e tempo estimado para a remoção do Cd e Zn usando a planta *Mentha crisper* L. cultivada em Latossolo Vermelho, considerando ciclo vegetativo da planta de 115 dias.

Tabela 5 - Taxa de extração do metal (MER) Cd para *Mentha crisper* L. e estimativa de tempo de número de ciclos e tempo de remoção da contaminação do solo.

Tratamento Cadmio	MER	Nº de Ciclos*	Tempo estimado em anos para remoção
C1	9,44	11	3
C2	8,63	12	4
C3	9,84	10	3
C4	6,62	15	5
C5	7,06	14	4

*Ciclo vegetativo da planta considerado de 115 dias.

Fonte: Autoria própria, 2022.

Tabela 6 – Taxa de extração do metal (MER) Zn para *Mentha crisper* L. e estimativa de números de ciclos e tempo de remoção da contaminação do solo e comparadas com os valores obtidos por Bilmayer (2020) *.

Tratamento Zn	MER (%)	MER* (%)	Nº de Ciclos**	Nº de ciclos *	Tempo estimado em anos para remoção	Tempo estimado em anos para remoção*
C1	9,64	5,37	10	16	3	5
C2	9,72	3,89	10	22	3	7
C3	6,24	6,7	16	13	5	4
C4	2,95	9,37	34	9	11	3
C5	2,76	6,97	36	13	11	4

* Valores obtidos por Bilmayer (2020).

**Ciclo vegetativo da planta considerado de 115 dias.

Fonte: Adaptação Bilmayer, 2020.

Os resultados apresentados nas Tabelas 5 e 6 expressaram o tempo estimado de remoção Cd de no máximo 5 anos e para a remoção de Zn tendo um tempo de no máximo 11 anos. Devido ao Zn em seus tratamentos ter apresentado uma maior concentração nas raízes isto faz com que o tempo de remoção seja mais longo, pois o metal que foi translocado para parte aérea é em pouca quantidade, e irá demorar

um pouco mais comparado com o Cd que apresentou estar em maior concentração na parte aérea.

Os tratamentos C₄ e C₅ apresentaram as menores porcentagens de extração (MER) do Zn.

Ao comparar os resultados do da remoção do Zn com os valores obtidos por Bilmayer 2020 onde a planta *Mentha crispa* L. cultivada em solo contaminado apenas com Zn. Vimos que o Zn na presença de Cd, levaria mais tempo para remoção, isso se deve a planta absorver mais rapidamente o Cd elemento fitotóxico e o translocar para a parte aérea enquanto o Zn fica em maior concentração retida na raiz.

As taxas de extração para Cd já apresentaram bons valores de FB e FT o tempo de remoção está excelente. Porém isso se deve à presença do Zn que auxiliou na translocação do Cd para a folha, precisando então de poucos anos para sua remoção.

6 CONCLUSÃO

Ao se analisar os dados obtidos pode-se observar que no tratamento C5 (Capacidade Máxima de Adsorção) de ambos os metais houve a translocação para a parte aérea da planta. Isto pode ter ocorrido devido a uma possível saturação dos metais em suas raízes, fazendo com que os metais fossem translocados para a parte aérea onde teria uma rápida remoção devido a troca de folhas, retirando então o metal tóxico de *Mentha crisper* L.

Podemos concluir que os resultados foram muitos satisfatórios visto que a planta se comportou como fitoextratora de Cd uma vez que sua concentração se encontrou em maior parte nas folhas e caules, e isso pode ser possível devido a adição simultânea de Zn no solo.

Para a remoção de Zn os valores também foram satisfatórios visto que a planta se comportou tolerante e fitoestabilizadora ao metal uma vez que se encontrou a maior parte na raiz.

Tendo em vista que o Cd é um metal com alta toxicidade e a presença do Zn no solo coopera para sua remoção em pouco tempo, a planta *Mentha crisper* L. apresentou um alto potencial a ser indicada para o uso em fitorremediação em áreas contaminadas com Cd e Zn nas mesma concentrações do presente trabalho.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, G. D. P. **Silício como mitigador da toxicidade de zinco em plantas jovens de *Schizolobium amazonicum huber ex ducke***, 2020. Disponível em: <<http://clik.dva.gov.au/rehabilitation-library/1-introduction-rehabilitation%0Ahttp://www.scirp.org/journal/doi.aspx?DOI=10.4236/as.2017.81005%0Ahttp://www.scirp.org/journal/PaperDownload.aspx?DOI=10.4236/as.2012.34066%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.pbi.201>>. Acesso em: 11 out 2022.
- ALEXANDRE, J. R. et al. Zinco e ferro: de micronutrientes a contaminantes do solo. **Natureza on line**, v. 10, n. 1, p. 23–28, 2012.
- ALVES, I. S. Disponibilidade e nível crítico de cádmio, chumbo e níquel em solos contaminados e em plantas de milho. p. 1–78, 2016.
- BARROS, M. V. F. et al. **Atlas Ambiental da Cidade de Londrina: UEL**. 2008. Disponível em: < <http://www.uel.br/revistas/atlasambiental/NATURAL/SOLOS.htm> >. Acesso em: 10 novembro 2021.
- BILMAYER, A. F. Avaliação do desenvolvimento de *Mentha crispa* L. cultivada em Latossolo vermelho contaminado com zinco. p. 1–84, 2020.
- BOLDARINI, M. T. B. Avaliação dos efeitos da contaminação de cobre no solo sobre *Mentha crispa* L. p. 1–42, 2017.
- BORIN, A. L. D. C. **Fitorremediação De Cádmio e Zinco por *Amaranthaceae*** Lavras, 2010.
- CLARICE DE OLIVEIRA. Avaliação do Potencial de Contaminação de Dois Solos Agrícolas com Lodo de Esgoto Enriquecido com Cádmio , Chumbo e Zinco. p. 201, 1998.
- CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução CONAMA 420/2009. p. 20, 2009.
- CRUZ, J.B.F.; SOARES, H. F. Uma revisão sobre o zinco. **Ensaio e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde**, v. 15, n. 1, p. 207–222, 2011.

DEMARCO, C.F. **Seleção de macrófitas aquáticas com potencial de fitorremediação no arroio Santa Bárbara, município de Pelotas/RS**. Pelotas, 2016. 19p.

DIMECH, G. S. ET AL. Avaliação do extrato hidroalcoólico de *Mentha crispata* sobre a performance reprodutiva em ratos Wistar. **revista brasileira de farmacognosia**, v. 16, n. 2, p. 152–157, 2006.

DUARTE, R. P. S.; PASQUAL, A. Avaliação do cádmio (Cd), chumbo (Pb), níquel (Ni) e zinco (Zn) em solos, plantas e cabelos humanos. **Energia na Agricultura**, v. 15, n. Cd, p. 46–58, 2000.

EMBRAPA AMAZÔNIA OCIDENTAL – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Amostragem e Cuidados na Coleta de Solo para Fins de Fertilidade. 1. ed. Manaus, 2014.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Solo brasileiro agora tem mapa digital**. 2014. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/en/busca-de-noticias/-/noticia/2062813/solo-brasileiro-agora-tem-mapeamento-digital>>. Acesso em: 4 outubro 2021.

FERNANDO MANZINI, F.; BATISTA DE SÁ, K.; MARIA DE ALMEIDA PLICAS, L. Metais Pesados: Fonte E Ação Toxicológica. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 6, n. 12, p. 800–815, 2010.

FIGUEIREDO DE LIMA, W.; NUNES GUTJAHR, A. L.; DE SOUZA BRAGA, C. E. **Potencial De Bioacumulação E Translocação Da Espécie Montrichardia Linifera (Arruda) Schott, (Araceae) Em Água Contaminada Por Chumbo** *Diálogos & Ciência*, 2022.

IGO F. LEPSCH. **formação e conservação do solo**. 2010.

JUNIOR, W. V. DE A. **MECANISMO DE TOLERÂNCIA EM PLANTAS JOVENS DE UCUÚBA (*Virola surinamensis* (Rol. ex Rottb.) Warb) EXPOSTAS AO CÁDMIO E POTENCIAL PARA FITOESTABILIZAÇÃO: RESPOSTAS NUTRICIONAL E DE CRESCIMENTO FISIOLÓGICAS, BIOQUÍMICAS, BELÉM** Belém, 2019.

LAMEGO, F. P.; VIDAL, R. A. **FITORREMEDIAÇÃO: PLANTAS COMO AGENTES DE DESPOLUIÇÃO?** *Pesticidas: r. ecotoxicol. e meio ambiente*, 2007. Disponível em: <<http://revistas.ufpr.br/pesticidas/article/view/10662/7102>>. Acesso em : 10 set 2022.

LIMA, CAMILA. A.S ; SANTOS. RENATA. P.S.; PERREIRA, E. A. A. EFEITOS DAS PLANTAS FITORREMEIADORAS NO MEIO AMBIENTE. **Realize editora**, 2020.

LIMA, V.C.; LIMA, M.R.; MELO, V. F. **CONHECENDO OS PRINCIPAIS SOLOS DO PARANÁ**. [s.l: s.n.].

LOCATELLI, S. S. AVALIAÇÃO DA ABSORÇÃO DE ZINCO POR *Ocimum basilicum* L. EM LATOSSOLO VERMELHO. p. 1–59, 2019.

LUO, J. S.; ZHANG, Z. Mechanisms of cadmium phyto remediation and detoxification in plants. **Crop Journal**, v. 9, n. 3, p. 521–529, 2021.

MAFRA, D.; COZZOLINO, S. M. F. Importância do zinco na nutrição humana. **Revista de Nutrição**, v. 17, n. 1, p. 79–87, 2004.

MEJIA, P. V. L. ET AL. Metodologia para Seleção de Técnica de Fitorremediação em Áreas Contaminadas. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais – Número**, v. 31, p. 97–104, 2014.

MELO, G. W. B. DE et al. Calagem, adubação e contaminação em solos cultivados com videiras. **Documentos 100**, v. 1, p. 138, 2016.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Práticas integrativas e complementares: plantas medicinais e fitoterapia na Atenção Básica/Ministério da Saúde**. [s.l: s.n.].

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Águas Subterrâneas: um recurso a ser conhecido e protegido**. Brasília – DF, 2007. 40p.

MUNIZ, D. H. DE 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**, v. 4, n. 1, p. 83–100, 2008.

NEKAWA, J. **Meio ambiente**, 2013. Disponível em : <<http://professoralucianekawa.blogspot.com/2013/09/mentha-spp-hortela-menta.html>>

Acesso em: 10 dezembro 2021.

NOGUEIRA, G. A. D. S. Trocas Gasosas , Crescimento e Comportamento Bioquímico em Plantas Jovens de Paricá (*Schizolobium Amazonicum* Huber ex Ducke) em Diferentes Concentrações de Cádmio . p. 70, 2018.

PAIS, A. et al. Determinação De Cádmio Em Bijuterias Oriundas Da China. **Química Nova**, v. 41, n. 10, p. 1218–1225, 2018.

SÁ, R. A. et al. Phytoaccumulation and effect of lead on yield and chemical composition of *Mentha crispa* essential oil. **Desalination and Water Treatment**, v. 53, n. 11, p. 3007–3017, 13 mar. 2015.

SANTOS, H. G. S. ET AL. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. [s.l: s.n.]. SECRETARIA DA EDUCAÇÃO. **Geografia do Paraná**. 2021. Disponível em: < <http://www.geografia.seed.pr.gov.br/modules/galeria/detalhe.php?foto=1573&evento=8> > Acesso em: 14 novembro 2021.

SILVA, A. F. Plantas Aromáticas Cultivadas em Latossolo Vermelho contaminado com Metais. p. 1–30, 2021.

SILVA, L. T. M. DE S. Retenção e mobilidade de zinco e cromo num solo aluvionar do Alto do Capibaribe. 2020.

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**, v. 13, n. 3, p. 302–315, 2001.

SOBRAL, L. F. et al. Guia Prático para Interpretação de Resultados de Análises de Solo. **Embrapa Tabuleiros Costeiros-Documents (INFOTECA-E)**, p. 13, 2015.

SOLTI, Á. et al. Stress hardening under long-term cadmium treatment is correlated with the activation of antioxidative defence and iron acquisition of chloroplasts in *Populus*. **Zeitschrift fur Naturforschung - Section C Journal of Biosciences**, v. 71, n. 9–10, p. 323–334, 2016.

SOUSA, R. A. DE; CAMPOS, N. DA S.; ORLANDO, R. **Preparação de amostras para análise elementar**, 2015.

SOUTO, F. et al. Regiões Conservadas Responsáveis pela Homeostase de Metais. **Anais do Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão**, v. 5, 2020.

SOUZA, A. K. R.; MORASSUTI, C. Y.; DEUS, W. B. DE. Poluição Do Ambiente Por Metais Pesados E Utilização De Vegetais Como Bioindicadores. **Acta Biomédica Brasiliensia**, v. 9, n. 3, p. 95, 2018.

SBCS. Sociedade Brasileira de Ciencia do solo. **Mapa simplificado de solos do estado do Paraná**. 2020. Disponível em < <https://sbcs-nepar.org.br/portfolio/mapa-simplificado-de-solos-do-estado-do-parana/>> Acesso em : 15 novembro 2021.

STEFFEN, G.P.K; STEFFEN, R.B; ANTONIOLLI, Z. I. Contaminação do solo e água pelo uso de agrotóxicos. **TECNO-LÓGICA (resvista depto. quimica e fiisica do depto. de engenharia aquiterura e ciências agrarias e do mestrado em tecnologia ambiental)**, p. 15–21, 2011.

TAVARES, S. R. D. L. Técnicas de Remediação. **Remediação De Solos E Águas Contaminadas Por Metais Pesados**, p. 61–89, 2013.

VIEIRA, L. et al. **View of CADMIUM TOXICITY IN PLANTS.pdf**Resvista Eletronica em gestao, educação e tecnologia ambiental, , 2015.

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.

VIJAYARENGAN, P.; MAHALAKSHMI, G. Zinc toxicity in tomato plants. *World Applied Sciences Journal*, v. 24, n. 5, p. 649–653, 2013.

ZEITOUNI, C. F. Eficiência De Espécies Vegetais Como Fitoextratoras De Cádmio , Chumbo , Cobre , Níquel E Zinco De Um De Cádmio , Chumbo , Cobre , Níquel E Zinco De Um Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico. p. 103, 2003.

ZEMIANI, A. et al. **AVALIAÇÃO DO DESENVOLVIMENTO DE Mentha Crispa L. CULTIVADA EM SOLO CONTAMINADO COM CÁDMIO**. p. 299–309, 2017.

ZEMIANI, A. et al. Tolerance of Mentha crispa L. (garden mint) cultivated in cadmium-

contaminated oxisol. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 28, n. 31, p. 42107–42120, 2021.

ANEXO A - ANÁLISE QUÍMICA DO SOLO

SOLICITANTE		DATA ENTRADA	03/12/2015	
PROPRIETÁRIO		DATA SAÍDA	11/12/2015	
PROPRIEDADE		UTFPR	CÓD. LAB.	38727145080
MUNICÍPIO	LONDRINA - PR	CÓD. INTERES.	NÃO INFORMADO	

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 ⁺)	***			
	g/dm ³			
Mat. Org. (M.O.)	24,02	—	—	—
Nitrogênio Total (N _T)	1,20	—	—	—
	mg/dm ³			
Enxofre (SO ₄ ²⁻)	38,71	—	—	—
	mg/dm ³			
Fósforo Disponível (P)	7,53	—	—	—
Fósforo Extracionável P _{amb.}	8,09	—	—	—
	cmol _c /dm ³			
CTC (pH 7,0)	13,26	—	—	—
CTC (efeitiva)	6,82	—	—	—
	%			
Saturação por Bases (V %)	52,14	—	—	—
MICRONUTRIENTES		NÍVEL DE SUFICIÊNCIA		
ELEMENTOS	TEOR	BAIXO	MÉDIO	ALTO
	mg/dm ³			
Manganês (Mn)	505,80	—	—	—
Ferro (Fe)	148,27	—	—	—
Cobre (Cu)	18,46	—	—	—
Zinco (Zn)	7,11	—	—	—
Boro (B)	0,32	—	—	—
REAÇÃO DO SOLO				
DETERMINAÇÃO	ÍNDICE	ELEMENTOS	TEOR	
			cmol _c /dm ³	
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		EQUILIBRADO	
Mg %	14,90		LIMITE DE TOLERÂNCIA	
K %	3,95		DES-EQUILIBRADO	
Na %	***		EXCESSIVO	
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 Realize (%)	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		
EXTRATORES				
(P, K ⁺ , Na ⁺)(SO ₄ ²⁻)	MEHLICH-1 Ca (H ₂ PO ₄) ₂ 0,01 M			
(Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , Al ³⁺)	MEHLICH-3XCl 1N			
(Mn, Fe, Cu, Zn)(B)	MEHLICH-3: HO 0,05 M			

PARA SIMPLER VERIFICAÇÃO PELO SOLICITANTE, NÃO TEM VALOR OFICIAL.

Os dados deste documento HTML foram arquivados no Laboratório. Qualquer alteração nos dados pode ser detectada.