

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

VITÓRIA DE SOUZA PADILHA

**AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS DE CRESCIMENTO, ÁREA FOLIAR E
CLOROFILA DE *Mentha crispa* L. CULTIVADA EM SOLO CONTAMINADO COM
Cd E Zn**

LONDRINA

2022

VITÓRIA DE SOUZA PADILHA

**AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS DE CRESCIMENTO, ÁREA FOLIAR E
CLOROFILA DE *Mentha crispa* L. CULTIVADA EM SOLO CONTAMINADO COM
Cd E Zn**

**EVALUATION OF GROWTH PARAMETERS, LEAF AREA AND CHLOROPHYLL
OF *Mentha crispa* L. GROWN IN SOIL CONTAMINATED WITH Cd AND Zn**

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. Dra. 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.

VITÓRIA DE SOUZA PADILHA

**AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS DE CRESCIMENTO, ÁREA FOLIAR E
CLOROFILA DE *Mentha crispa* L. CULTIVADA EM SOLO CONTAMINADO COM
Cd E Zn**

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: 02/dezembro/2022

Edson Fontes De Oliveira
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Joseane Debora Peruco Theodoro
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Alessandra Furtado da Silva
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

LONDRINA

2022

Dedico este trabalho à Deus e a minha família por
todo apoio.

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer primeiramente a Deus, a Maria, São José e meu Anjo da Guarda por sempre estarem ao meu lado, me protegendo e por me ajudar a realizar este sonho.

Também quero agradecer a minha família, aos meus pais, Silvana e Ademir por todo apoio, por me sustentarem de diversas formas durante todo esse trajeto, por todo amor e paciência, e a minha irmã Valentina por sempre me ajudar no laboratório, mesmo ficando até tarde da noite, sempre estando disposta a ajudar, sem vocês esse sonho não se tornaria realidade. A minha melhor amiga Layla agradeço pela amizade, pelo apoio e por toda essa trajetória durante a universidade, foram vários momentos de choro, porém muitos de alegria. Ao Thiers, meu companheiro, agradeço pelo apoio e pela disposição de ir ao laboratório me ajudar. 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 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.

RESUMO

Algumas atividades antrópicas acabam acumulando no meio ambiente metais pesados, como o Zinco (Zn) e o Cádmio (Cd). Para a descontaminação do solo, se faz necessário aplicar técnicas de remediação, como a fitorremediação, que utiliza plantas tolerantes à contaminação para promover a remoção desses metais do solo. Deste modo o presente trabalho teve como objetivo avaliar a tolerância de *Mentha crispa* L. cultivada em Latossolo Vermelho contaminado simultaneamente com Cd e Zn. A tolerância foi avaliada através dos parâmetros de crescimento (altura, número de brotos e folhas), área foliar e concentração de clorofila *a*. O cultivo foi de 115 dias em solo contaminado com concentrações crescentes de Zn e Cd (tratamentos de C₁ a C₇) e tratamento controle (sem adição dos metais). A cada 15 dias os parâmetros de crescimento, concentração de clorofila *a* e área foliar foram medidos. As plantas cultivadas nos tratamentos C₆ e C₇ com concentrações dos metais acima da Capacidade Máxima de Adsorção (CMA) do solo não resistiram à toxicidade dos metais e morreram, sendo retiradas do experimento. O tratamento controle (C₀) apresentou melhor desenvolvimento em termos dos parâmetros de crescimento como altura, número de folhas e brotos. Os tratamentos de C₁ a C₄, abaixo da CMA, em que as concentrações de metais já são consideradas altas, a planta se apresentou bem tolerante, com discreta redução de altura, número de brotos e folhas. O tratamento C₅, que corresponde à CMA, reduziu em 38,33%, 71,32% e 33,82% para altura, número de broto e folhas, respectivamente, em comparação ao C₀, sendo o parâmetro com menor desenvolvimento, podendo indicar toxicidade dos metais. Em relação à concentração de clorofila *a* e área foliar, os valores obtidos não apresentaram anomalias quando se compara os tratamentos de C₁ a C₅ com o tratamento controle C₀. As raízes mostraram maior redução de comprimento e biomassa em relação ao aumento da concentração dos metais no solo. Houve também diminuição na biomassa da parte aérea para os tratamentos com maiores teores de metais no solo, C₃ (158,59 g), C₄ (142,49 g) e C₅ (97,88 g). Portanto este trabalho conclui que a planta *Mentha crispa* L. se apresenta ser tolerante quando cultivada em Latossolo Vermelho contaminado simultaneamente com os metais Cd e Zn até concentrações que correspondem à CMA do solo. Esta planta pode ser indicada para avaliação do processo de fitorremediação.

Palavras-chave: contaminação; plantas aromáticas; metais pesados; fitorremediação.

ABSTRACT

Some anthropic activities accumulate heavy metals in the environment, such as Zinc (Zn) and Cadmium (Cd). For soil decontamination, it is necessary to apply remediation techniques, such as phytoremediation, which uses contamination-tolerant plants to promote the removal of these metals from the soil. Thus, the present work aimed to evaluate the tolerance of *Mentha crispa* L. cultivated in an Oxisol contaminated simultaneously with Cd and Zn. Tolerance was evaluated through growth parameters (height, number of shoots and leaves), leaf area, and chlorophyll concentration. Cultivation lasted 115 days in soil contaminated with increasing concentrations of Zn and Cd (treatments from C₁ to C₇) and control treatment (without the addition of metals). Every 15 days, growth parameters, chlorophyll concentration, and leaf area were measured. Plants cultivated in treatments C₆ and C₇ with concentrations of metals above the Maximum Adsorption Capacity (MAC) of the soil did not resist the toxicity of metals and died, being removed from the experiment. The control treatment (C₀) showed better growth parameters such as height and number of leaves and shoots. In the treatments from C₁ to C₄, below the CMA, in which metal concentrations are already considered high, the plant was very tolerant, with a slight reduction in height, number of shoots, and leaves. Treatment C₅, which corresponds to CMA, reduced by 38.33%, 71.32%, and 33.82% for height, number of buds, and leaves, respectively, compared to C₀, being the parameter with less development, which may indicate metal toxicity. Regarding the concentration of chlorophyll and leaf area, the values obtained did not show anomalies when comparing the treatments from C₁ to C₅ with the control treatment C₀. Roots showed greater length and biomass reductions relative to the increase in metal concentration in the soil. There was also a decrease in shoot biomass for treatments with higher metal contents in the soil, C₃ (158.59 g), C₄ (142.49 g), and C₅ (97.88 g). Therefore, this work concludes that the *Mentha crispa* L. plant appears to be tolerant when cultivated in an Oxisol contaminated simultaneously with the metals Cd and Zn up to concentrations that correspond to the AMC of the soil. This plant can be indicated for evaluation of the phytoremediation process.

Keywords: contamination; aromatic plants; heavy metals; phytoremediation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Mapa da distribuição dos solos no Estado do Paraná.....	16
Figura 2- Mapa de solos no Paraná, com o município de Londrina em destaque.	17
Figura 3- Fontes de contaminação por metais pesados.....	18
Figura 4– Ilustração do mecanismo das técnicas de fitorremediação.	24
Figura 5 – Imagem <i>Mentha crispa L.</i>	25
Figura 6- Localização do Ponto de Coleta.....	26
Figura 7– Imagens da coleta de amostra de solo.....	27
Figura 8- Imagens do solo despejado na esteira, destorreado e armazenado..	28
Figura 9- Solo contaminado com Cd e Zn e posto na estufa durante 30 dias...	30
Figura 10– Mudas de <i>Mentha crispa L.</i> cultivadas na estufa em solo.....	31
contaminado durante 115 dias.....	27
Figura 11- Imagem representando a reposição de água para manter a umidade em 60%.....	32
Figura 12- Imagens do procedimento para determinação de clorofila nas mudas de <i>Mentha crispa L.</i>	33
Figura 13- Imagem do procedimento para análise de área foliar de <i>Mentha crispa L.</i>	34
Figura 14- Imagens das mudas nas primeiras 24 h após o cultivo.....	36
Figura 15- Imagens das mudas na 2ª quinzena.	37
Figura 16- Imagem do tratamento C ₄ apresentando arroxamento das veias foliares.	38
Figura 17- Imagens das mudas na 3ª quinzena.	39
Figura 18- Imagem da folha com colônia esbranquiçada causada pelo fungo Oídio.	40
Figura 19- Imagens das mudas na 7ª quinzena.	41
Figura 20- Distribuição da raiz de <i>Mentha crispa L.</i> no pote em cada tratamento.....	42
Figura 21- Imagens das raízes de <i>Mentha crispa L.</i> de cada tratamento após 115 dias de cultivo.	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características químicas do solo amostrado.....	27
Tabela 2- Concentrações dos metais no solo que aplicadas simultaneamente nos tratamentos.....	29

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
2	OBJETIVO	15
2.1	Objetivo Geral.....	15
2.2	Objetivos Específicos	15
3	REFERENCIAL TEÓRICO.....	16
3.1	Solo.....	16
3.2	Contaminação do solo	17
3.3	Zinco	19
3.4	Cádmio	20
3.5	Técnicas de Remediação	21
3.6	Fitorremediação.....	22
3.7	<i>Mentha crispa L.</i>	24
4	MATERIAIS E MÉTODOS	26
4.1	Local de amostragem.....	26
4.2	Coleta e preparação do solo	27
4.3	Contaminação do solo	29
4.4	Cultivo das mudas da <i>Mentha crispa L.</i>	30
4.5	Parâmetros de crescimento de <i>Mentha crispa L.</i>	31
4.6	Análise Estatística.....	35
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	36
5.1	Sintomatologia visual de <i>Mentha crispa L.</i> durante o cultivo	36
5.2	Análise dos parâmetros de crescimento de <i>Mentha crispa L.</i>	44
5.2.1	Altura	44

5.2.2	Número de brotos.....	45
5.2.3	Número de folhas	46
5.2.4	Análise da raiz.....	47
5.2.5	Produção de biomassa de <i>Mentha crispa</i> L.	50
5.3	Análise da concentração de clorofila a	51
5.4	Análise da área foliar	52
5.5	Análise exploratória dos efeitos do Cd e Zn nos parâmetros de crescimento de <i>Mentha crispa</i> L.....	53
6	CONCLUSÃO	56
	REFERÊNCIAS.....	57
	APÊNDICE A- IMAGENS COMPLEMENTARES DA ANÁLISE SINTOMATOLÓGICA DE <i>Mentha crispa</i> L.....	63

1 INTRODUÇÃO

O solo contém atividades importantes para a manutenção da vida de humanos, animais, plantas e outros organismos. Suas propriedades são influenciadas por diversos fatores, como base geológica, organismos presentes, erosão, nível de água subterrânea, vento, chuva e radiação solar. Por efeito destes fatores ocorre a formação de diferentes camadas, gerando diversos tipos e classes de solo. Devido a esta variedade, se fez necessário produzir mapas pedológicos, para determinar a distribuição, ocorrência e classificação dos solos (OLIVEIRA *et al.*, 2008).

Na cidade de Londrina, norte do Paraná, a classe de solo presente é o Latossolo, que apresenta maior profundidade quando comparados com as outras classes, condição friável, boa drenagem, argila distribuída uniformemente, baixo teor de silte, baixa capacidade de troca de cátions, alta flocculação das argilas e alta estabilidade dos agregados no solo (DEMATTE; DEMÉTRIO, 1998; EMBRAPA SOLOS, 2007; LIMA; LIMA; MELO, 2012).

Como o solo é utilizado principalmente para a agricultura e esta atividade utiliza intensivamente fertilizantes, pesticidas e herbicidas, que possuem metais pesados em sua composição, como o Zinco (Zn) e o Cádmio (Cd). Dessa forma acabam acumulando estes metais no solo, dado que uma das características do solo é reter contaminantes. Mesmo que já introduzidos no meio ambiente, além da agricultura, atividades industriais e disposição de resíduos químicos também introduzem estes metais no ambiente, afetando também o ar e a água (ALMEIDA, 2018; LOURENÇO, 2018; SUVARAPU, 2017).

O Zinco é um micronutriente, fundamental ao organismo de todos os seres vivos, mas em pequenas quantidades. Em grandes concentrações é tóxico, gerando diversos sintomas prejudiciais. A contaminação chega aos humanos por meio de alimentos e água contaminada, pois o metal percorre toda cadeia alimentar (CETESB, 2017). Setores na indústria e mineração também expõem os trabalhadores a estes contaminantes, que pode gerar várias doenças, sendo uma delas o câncer. Nas plantas, o metal chega por meio dos fertilizantes, pesticidas e herbicidas, tornando-se disponível em solos mais ácidos. Sua deficiência causa diminuição das folhas e eleva o teor de Ferro (Fe), Manganês (Mn), Fósforo (P) e Nitrato (NO_3^-) e as folhas jovens ficam necrosadas, mas em alta concentração causa folhas com pigmentação

vermelha no pecíolo e nas nervuras e clorose, ou seja, não produz clorofila apresentando coloração diferente do normal (DUARTE; PASQUAL, 2000).

O Cádmio, por sua vez, contamina os seres humanos através da cadeia alimentar, acumulando-se nas plantas, animais e nos seres humanos, e pelo cigarro, chegando pela via respiratória, causando várias doenças, além do câncer (CETESB, 2021). Em plantas, os sintomas são estresse como inibição do crescimento da raiz, diminuindo a absorção de água e nutrientes, alterando a taxa de divisão celular. Este metal atinge as plantas por água contaminada e fertilizantes, e torna-se disponível em pH ácido (ARANTES, 2016).

Portanto, se faz necessário aplicar técnicas de remediação para descontaminação de locais afetados com metais pesados, para que não haja uma propagação em plantas, animais e seres humanos. Uma das técnicas de remediação é a fitorremediação, que se utiliza de plantas para realizar a extração, acumulação e imobilização dos contaminantes no solo, apresentando como vantagens menor impacto ambiental, emprego em grandes áreas e o local recuperado pode ser reutilizado, apesar de ocorrer lentamente e demorar anos para a recuperação do meio (MENEGAES, 2015).

Estudos realizados com *Mentha crispa* L., nome popular hortelã, avaliaram seu crescimento em solo contaminado com metais pesados (Cádmio, Cobre e Chumbo) e observaram que é uma planta fitoestabilizadora (BILMAYER, 2020; SÁ *et al.*, 2014; ZEMIANI *et al.*, 2021). Esta espécie é herbácea rasteira e aromática, contém grande aplicação nas indústrias farmacêuticas, alimentícias e entre outras por seu óleo essencial, o qual é produzido nas folhas da planta. Pelo fato de *Mentha crispa* L. ser tolerante a metais e acumular em suas raízes e folhas, torna-se interessante para ser utilizada na fitorremediação de Cádmio, Cobre e Zinco, por exemplo. Outro fator importante é que mesmo que haja contaminação na parte aérea, a extração do óleo essencial por meio da destilação à vapor é realizada sem a contaminação do óleo essencial, onde o metal é retido no resíduo do extrato da planta (ZHELJAZKOV *et al.*, 2006).

Deste modo, estudos com a planta *Mentha crispa* L. para avaliar sua eficiência na remediação de solos contaminados com metais pesados se torna interessante. Neste contexto, este trabalho analisará o efeito do Latossolo Vermelho

com contaminação simultânea de Cádmio (tóxico) e Zinco (nutriente) sobre o crescimento de *Mentha crispa* L.

2 OBJETIVO

2.1 Objetivo Geral

Avaliar o crescimento, área foliar e concentração de clorofila de *Mentha crispa L.* em Latossolo Vermelho com contaminação simultânea de Cd e Zn em concentrações crescentes.

2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos são:

- Analisar os efeitos dos metais na sintomatologia das mudas de *Mentha crispa L.*;
- Avaliar a massa e comprimento da raiz após o cultivo de 120 dias de *Mentha crispa L.*;
- Verificar o efeito da contaminação simultânea dos metais, Cd e Zn, sobre os parâmetros de crescimento de *Mentha crispa L.*

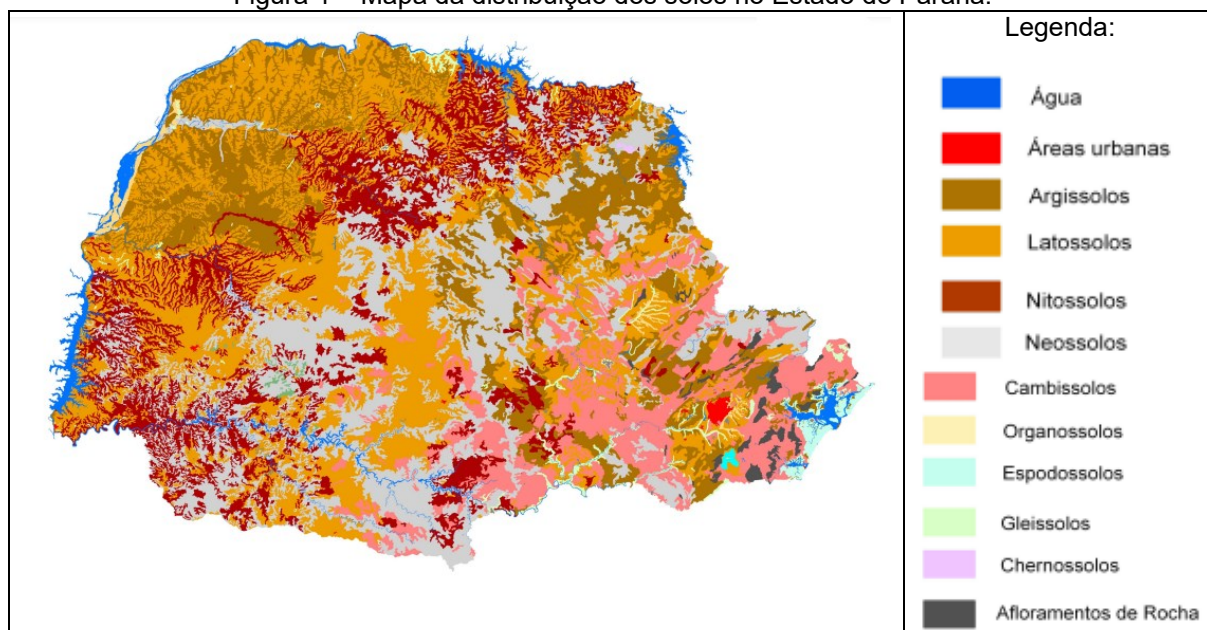
3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Solo

O solo apresenta diversas funções, sendo elas sustentação da vida e do 'habitat' de humanos, animais, plantas e outros organismos, ciclagem de nutrientes, ciclo da água, proteção da água subterrânea, conservação das reservas minerais e de matérias primas, produção de alimentos e entre outros, tornando-se importante para o aspecto ambiental, social e econômico. Suas propriedades se devem a vários fatores como fonte geológica, organismos presentes, erosão, nível de água subterrânea, vento, chuva, radiação solar, formando diferentes camadas, gerando vários tipos e classes de solo (OLIVEIRA *et al.*, 2008).

No Paraná, região sul do Brasil, o solo possui grande importância para o setor agrícola, devido a sua grande fertilidade, contribuindo para o crescimento econômico do Estado. Por este e outros fatores, se faz necessário classificar o solo para seu melhor manejo e orientar a ocupação (DEMATTE; DEMÉTRIO, 1998). Assim, estudos são realizados para o desenvolvimento de mapas pedológicos, os quais atribuem a distribuição, ocorrência e classificação dos solos (EMBRAPA SOLOS, 2007).

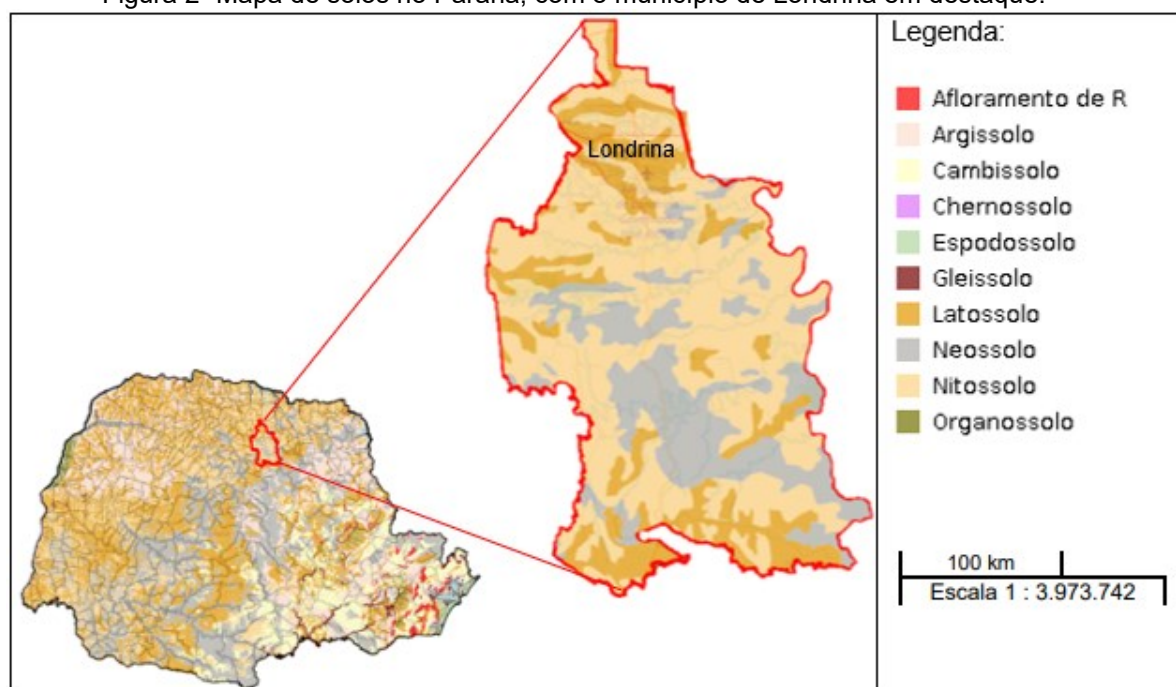
Figura 1 – Mapa da distribuição dos solos no Estado do Paraná.



Fonte: EMBRAPA, 2006.

Dentre as classes, as principais são Neossolos, Cambissolos, Argissolos, Nitossolos, Latossolos, Espodossolos, Gleissolos e Organossolos (LIMA; LIMA; MELO, 2012). Para Londrina, encontramos o Latossolo como característico da região (Figura 2), esta é a principal classe e ocupa 31% do território paranaense, contém as suas particularidades como alta profundidade, friável, alta porosidade, argila distribuída uniformemente, baixo teor de silte, baixa capacidade de troca de cátions, alta floculação das argilas e alta estabilidade dos agregados no solo, o que torna-se este solo resistente a erosão e muito utilizado no cultivo (FASOLO *et al.*, 1986).

Figura 2- Mapa de solos no Paraná, com o município de Londrina em destaque.



Fonte: Instituto de Terras, Cartografia e Geologia do Paraná (ITCG), 1999.

3.2 Contaminação do Solo

Os solos tendem a reter contaminantes a partir de sua deposição. No caso dos metais pesados, eles já estão inseridos no ambiente, mas algumas atividades antrópicas introduzem ainda mais estes elementos no meio (Figura 3). A mobilidade dos metais no solo se deve aos teores e tipos de argila, pH, capacidade de troca de cátions e teor de matéria orgânica. A contaminação chega por meio de processos naturais, como intemperismo e lixiviação, e na água por meio do arraste para os corpos d'água e percolação no perfil do solo, chegando as águas subterrâneas

(AMADO; FILHO, 2015). Algumas das fontes antrópicas de contaminação são extração, beneficiamento dos metais, queima de combustíveis fósseis, baterias, solda, rejeitos de indústrias, cerâmicas, fertilizantes, pesticidas, herbicidas, tubos de água galvanizados, efluentes domésticos, descarte de produtos comerciais e descarte de lodo de esgoto (ALMEIDA, 2018; LOURENÇO, 2018). No ar, as principais origens são queima de carvão, ferro e aço, indústrias e emissões veiculares (SUVARAPU, 2017).

Figura 3- Fontes de contaminação por metais pesados.



Fonte: Cetesb, 2014.

A contaminação nos organismos humanos por metais decorre da incorporação por alimentos e água contaminada, visto que estes percorrem a cadeia alimentar, são absorvidos pelas plantas, transferindo-se aos herbívoros, carnívoros e aos humanos. No entanto, trabalhadores de indústria e mineração são expostos a este contaminante por meio da via digestiva, respiratória e absorção cutânea. Em razão do organismo interagir com o metal, com auxílio dos agentes químicos e enzimáticos, acaba sendo difícil diagnosticar a contaminação (AMADO; FILHO, 2015).

Após a acumulação dos metais pesados no corpo humano, o sistema nervoso central, trato gastrointestinal, sistema cardiovascular, hematopoiético, renal e sistema nervoso periférico são afetados por estes, e com isso podem desencadear doenças mentais, comportamentais e degenerativas, como o alzheimer, parkinson,

depressão, problemas cognitivos, autismo, compulsão e transtornos, porém a toxicidade causada pelos metais é de acordo com o tipo de metal pesado, o nível, modo e tempo de exposição (CHRYSTIAN DE OLIVEIRA ASSUNÇÃO *et al.*, 2020; ZENDRON, 2015).

3.3 Zinco

Elemento abundante na crosta terrestre, micronutriente, de rochas ígneas, um metal brilhante e utilizado na mineração, produção de ferro e aço, corrosão de estruturas galvanizadas, combustão de carvão e outros combustíveis, eliminação e incineração de resíduos e uso de fertilizantes e agrotóxicos (DUARTE; PASQUAL, 2000).

No ar, sua circulação depende do tamanho das partículas, apresentando maior concentração em áreas urbanas (100 a 500 ng m⁻³) e menor concentração em áreas rurais (10 a 100 ng m⁻³). No solo encontra-se com teor de aproximadamente 300 mg kg⁻¹ de peso seco e no sedimento de até 100 mg kg⁻¹ de peso seco. A concentração na água superficial menor que 10 µg L⁻¹, na água do mar de 0,002 até 0,1 µg L⁻¹ e na água subterrânea de 10 a 40 µg L⁻¹ (CETESB, 2017).

O Zinco é fundamental para o organismo humano, visto que diversas enzimas o necessitam para sua funcionalidade. As funções biológicas que este metal atua são: resistência a doenças, cicatrização, digestão, reprodução, crescimento físico, controle do diabetes, paladar e olfato, pois participa das reações de metabolismo de carboidratos, proteínas, lipídeos e ácidos nucleicos (ROCHA *et al.*, 2008).

Quando há carência deste metal no corpo humano causa falta de apetite, diminuição do paladar e olfato, doenças imunológicas, cicatrização lenta, retardo no crescimento e dermatite. Contudo quando exposto a poeiras ou fumos e ingestão podem causar febre do fumo metálico, desconforto pulmonar, calafrios, gastroenterite, cólicas estomacais, náuseas, vômitos, anemia, danos ao pâncreas e diminuição do colesterol HDL. Estas doenças e sintomas dependem do tempo de exposição ao metal pesado (CETESB, 2017; DUARTE; PASQUAL, 2000).

A ingestão diária de Zinco recomendada para o corpo humano adulto, segundo o Instituto Cadeia do Zinco (ICZ) (2022) é de 12 mg dia⁻¹ para mulheres e 15

mg dia⁻¹ para homens. Concentrações acima de 5 mg L⁻¹ (Ministério da Saúde nº518/2004) em água potável e 300 mg kg⁻¹ no solo (Resolução Conama 420/2009) são consideradas prejudiciais à saúde dos seres vivos.

Para as plantas, sua disponibilidade está relacionada com o pH do solo, sendo disponível em solos ácidos agindo como ativador enzimático, cofator para atividade de regulação e estabilização da estrutura proteica das plantas, também afeta os hormônios vegetais necessários para o crescimento. Sua deficiência resulta em folhas menores, com teor elevado de Fe, Mn, P e NO_3^- e as folhas jovens ficam necrosadas. Porém, sua alta concentração causa folhas com pigmentação vermelha no pecíolo e nas nervuras, além de clorose (LABORSOLO, 2013).

3.4 Cádmio

Elemento de vida longa, encontrado na natureza integrado aos sulfetos de minérios de Zinco (Zn), Cobre (Cu) e Chumbo (Pb), o Cádmio (Cd) é utilizado na mineração, produção de baterias de níquel-cádmio, pigmentos, estabilizadores de produtos de policloreto de vinila (PVC), recobrimento de produtos ferrosos e não-ferrosos, ligas de cádmio e componentes eletrônicos (CAMPOS, 2021).

Na atmosfera é disperso por atividade vulcânica, erosão de rochas sedimentares e fosfáticas, incêndios florestais e em indústria de ferro e aço. Em água, a contaminação ocorre com os sais de Cd que se apresentam de forma solúvel e possuem mobilidade, por outro lado as formas não solúveis estão adsorvidas em sedimentos e possuem pouca mobilidade. Este pode entrar na cadeia alimentar, pois fica adsorvido no solo ou em material orgânico e acumulando nas plantas, animais e nos seres humanos (CETESB, 2021).

Além da cadeia alimentar, o metal chega aos humanos pelo ato de fumar, que devido a esta acumulação em vegetais, é encontrado em folhas de tabaco, tornando os fumantes suscetíveis à contaminação por via respiratória. O metal ataca rins e fígado, gera sintomas como náuseas, vômitos, diarreias e dores abdominais. Além de ser cancerígeno, causa doenças como a pneumonite química, edema pulmonar e Itai-Itai que causa dores, dano renal e fragilidade óssea (CETESB, 2021).

Nas plantas, o Cd gera estresse como inibição do crescimento da raiz diminuindo a absorção de água e nutrientes, altera a taxa de divisão celular, entre outros. Sua contaminação em plantas acontece por meio da irrigação com água contaminada, fertilizantes fosfatados e presença do metal no solo, visto que sua disponibilidade para as plantas está diretamente relacionada com o pH do solo, pois quanto menor o pH maior a disponibilidade (ARANTES, 2016).

Segundo a Portaria do Ministério da Saúde nº 518/2004 o valor máximo permitido de Cd em substâncias químicas é de $0,005 \text{ mg L}^{-1}$ e a Resolução Conama 420/2009 o valor de prevenção no solo é de $1,3 \text{ mg kg}^{-1}$, concentrações acima destas são consideradas prejudiciais à saúde dos seres vivos.

3.5 Técnicas de Remediação

Um dos grandes problemas ambientais na atualidade é a contaminação do solo, em razão das excessivas atividades agrícolas, industriais e disposição de resíduos químicos, que acabam depositando metais pesados em seu meio, e, como consequência, afeta as plantas, os animais e os seres humanos. Para evitar isso, são aplicadas técnicas de remediação visando a descontaminação ou controle dos poluentes no solo, ocorrendo *in situ* (no próprio local da contaminação) ou *ex situ* (fora do local de contaminação), necessitam de escavação, remoção e transporte do solo contaminado, devido a isso, técnicas *ex situ* são mais caras e pode gerar impacto ambiental (MENEGAES, 2015; SIMÕES, 2019).

As técnicas de remediação podem ser físicas, químicas e biológicas. A remediação física realiza a remoção da camada superficial do solo, movimentação da área contaminada, lavagem da terra, solidificação ou processo de escavação. A técnica química adiciona produtos químicos ao solo, de forma a estabilizar o contaminante e não ser absorvido pelas plantas (ALMEIDA, 2018). Na remediação biológica, utiliza-se microrganismos do próprio meio ou introduzidos para realizar a decomposição do contaminante e, na fitorremediação, faz-se o uso de plantas para remover o contaminante do solo (RODRIGUES, 2016).

As remediações físicas e químicas são mais caras, demandam mais mão de obra, são passíveis de contaminação de outras áreas, afetam a atividade biológica

do meio e não são recomendadas para grandes áreas (DOXOR, 2021). As técnicas de biorremediação e fitorremediação vem apresentando bons resultados para reduzir os teores de metais, ressaltando que os seus resultados progridem de maneira lenta e podem levar anos para a recuperação do meio (MEIJA *et al.*, 2014).

3.6 Fitorremediação

Os metais tendem a se acumular nas camadas superficiais do solo e, devido à baixa mobilidade, ficam disponíveis para as plantas. Estas características permitem a utilização de plantas como agentes remediadores para reduzir a concentração destes metais pesados do solo. A fitorremediação é uma técnica que promove a extração, acumulação e imobilização dos contaminantes com o uso de plantas, possui menor custo, pode ser empregada em grandes áreas, não gera impacto ao meio ambiente e a área recuperada pode ser utilizada novamente (MEIJA *et al.*, 2014; MENEGAES, 2015).

Segundo Cetesb (2001), Rodrigues (2016), Meija *et al.* (2014) e Menegaes (2015), a fitorremediação apresenta várias técnicas, sendo estas (Figura 4):

Fitodegradação: as plantas degradam os contaminantes por meio do metabolismo ou externamente por enzimas produzidas pela própria planta. Estes contaminantes podem ser de origem orgânica (solventes clorados, herbicidas, inseticidas, explosivos e fenóis) e inorgânica (nitratos) e após sua estabilização podem ficar contidos na planta. A desvantagem desta técnica é que devido a metabolização dos contaminantes pode formar elementos tóxicos.

Fitoextração ou fitoacumulação: ocorre a absorção do contaminante pela raiz, translocando-o para a parte aérea da planta, armazenando na mesma sem ocorrer a degradação. As espécies utilizadas neste método são denominadas de hiperacumuladoras por sua capacidade acumulativa. Além do solo, esta técnica também é utilizada em sedimentos e água para absorver metais como Chumbo (Pb), Zinco (Zn), Cádmio (Cd), Cobre (Cu) e Níquel (Ni). Após o tratamento as plantas devem ser retiradas para não haver contaminação em seres vivos.

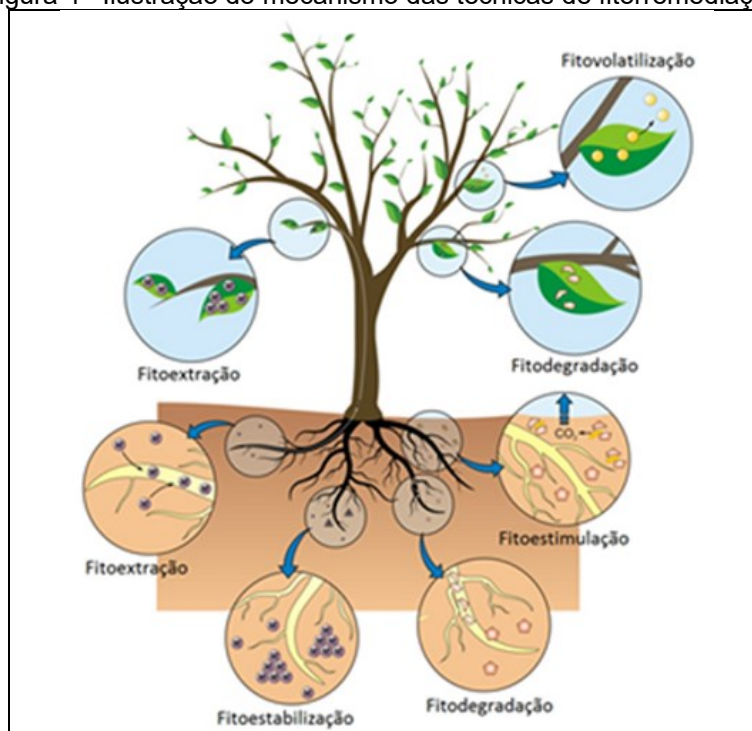
Fitovolatilização: por meio do metabolismo da planta o contaminante é volatilizado e lançado para a atmosfera pela da respiração. Essa técnica é indicada tanto para o solo, quanto sedimentos, lodo e água subterrânea para tratar solventes clorídricos, Selênio (Se) e Mercúrio (Hg). Mesmo que o contaminante acaba ficando na forma menos tóxica, em caso de alta concentração continua nocivo ao meio ambiente, pode afetar outras áreas, acumulando em plantas e frutos.

Fitoestabilização: neste mecanismo o contaminante é estabilizado por meio da absorção ou adsorção pela raiz da planta, não armazenando na parte aérea, assim diminui sua mobilidade que pode acontecer por erosão e lixiviação. Esta técnica é utilizada além do solo, em sedimento e efluentes para estabilização de metais, como Arsênio (As), Cádmio (Cd), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Mercúrio (Hg), Chumbo (Pb) e Zinco (Zn).

Rizodegradação ou fitoestimulação: nesta técnica o contaminante é degradado na rizosfera em ação conjunta da planta com os microrganismos ali presentes, onde a planta libera açúcares, aminoácidos, ácidos orgânicos e enzimas, que aumentam a atividade microbiológica fazendo com que ocorra a degradação do contaminante sem sua absorção. Esta técnica é indicada para hidrocarbonetos totais de petróleo (TPH), hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (PAHs), pesticidas, solventes clorados e surfactantes. Devido a liberação da substância favorecer o meio, microrganismos que não degradam os contaminantes podem aparecer, competindo por nutrientes com as plantas, assim é necessária a adubação do local.

Rizofiltração: ocorre a absorção, adsorção ou precipitação do contaminante pela raiz e posterior acumulação pela planta. Esta técnica não é indicada para tratamento de solo, mas de água e efluentes contaminados por metais como Pb, Cd, Cu, Ni, Zn e Cr, porém em baixas concentrações. As plantas devem ser retiradas frequentemente conforme ocorre o processo, sendo necessária a correção do pH do meio e controle do fluxo do efluente.

Figura 4– Ilustração do mecanismo das técnicas de fitorremediação.



Fonte: Medeiros, 2015.

Podemos verificar que a fitorremediação não se limita somente ao tratamento do solo, mas também de água, sedimentos, lodo e efluente. Cada técnica é indicada para algum tipo ou grupo de contaminantes. Portanto, na aplicação de cada método devem ser levados em consideração esses dois fatores, o meio o qual se está tratando e a natureza do contaminante (MEIJA *et al.*, 2014).

3.7 *Mentha crispa* L.

Na fitorremediação, as plantas tolerantes aos contaminantes atuam de diversas formas em sua atividade biológica para a extração, acumulação e imobilização dos contaminantes no solo e na água (ZEMIANI *et al.*, 2021).

Uma das plantas utilizadas na fitorremediação é a hortelã (Figura 5), de nome científico *Mentha crispa* L. Estudos realizados avaliaram seu crescimento em solo contaminado com Cádmio, Cobre, Chumbo, Zinco entre outros metais. Zemiani (2021), observou que o Cádmio ficou a maior parte retido nas raízes de *Mentha crispa* L. e uma pequena parte translocada para a parte aérea (caule e folhas), Boldarini (2017) em sua pesquisa também observou que o cobre acumulou nas raízes da

hortelã. Sá *et al.* (2014), notou em seu trabalho que o chumbo acumulou tanto nas raízes quanto na parte aérea, enquanto Bilmayer (2020) verificou que maiores concentrações de Zinco foram translocadas para as folhas, posteriormente na raiz e no caule da planta. Nos trabalhos supracitados utilizando os metais Cádmio, Cobre e Chumbo, os autores concluíram que *Mentha crispa* L. é uma planta fitoestabilizadora e para o Zinco a planta é caracterizada como acumuladora e fitoextratora deste metal.

Figura 5 – Imagem *Mentha crispa* L.



Fonte: Oficina de Ervas, 2022.

A *Mentha crispa* L. possui nomes populares como “hortelã-da-folha-miúda”, “hortelã-panela” ou “hortelã rasteira”, é uma planta originada do cruzamento entre *Mentha spicata* L. e *Mentha suaveolens* Ehlh. Esta espécie é herbácea rasteira, aromática, encontrada em todo território nacional (DIMECH *et al.*, 2006).

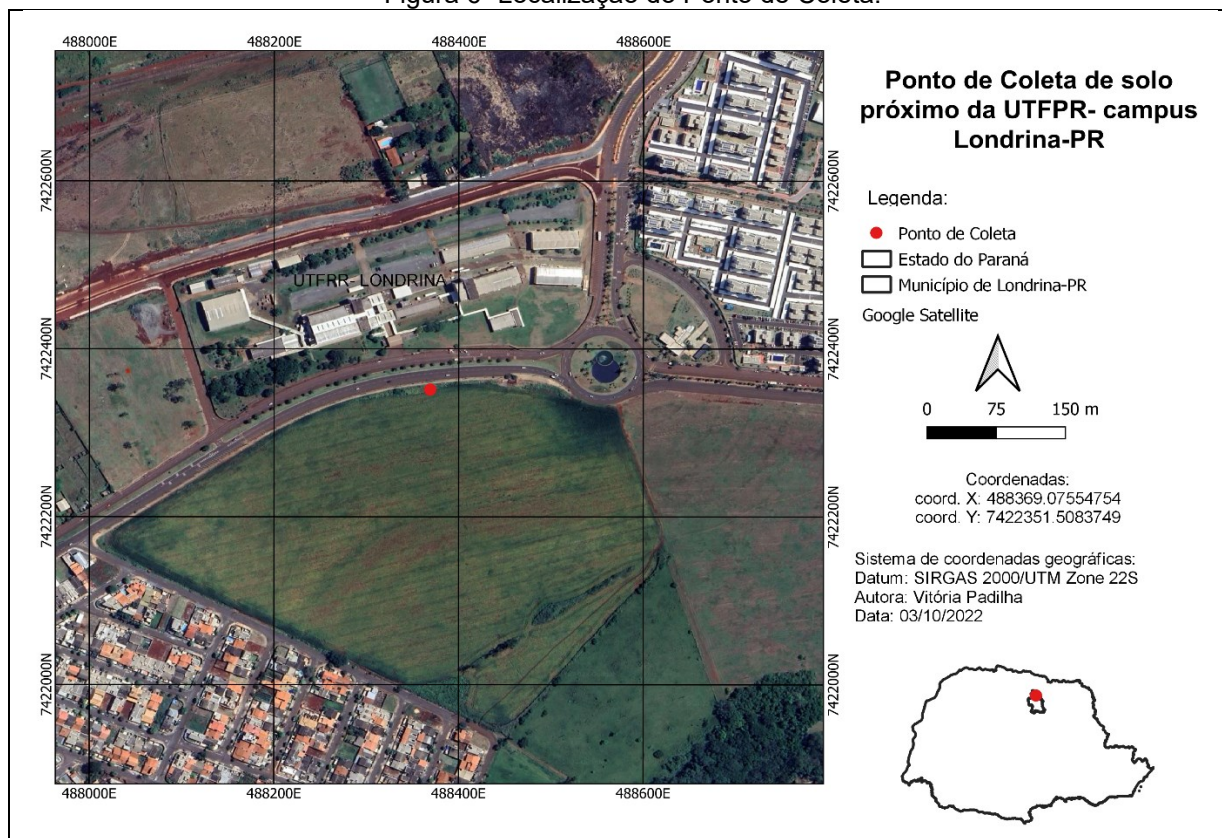
Esta espécie possui várias aplicações, devido ao seu óleo essencial, o qual é utilizado nas indústrias químicas, farmacêuticas, de alimentos, higiene, limpeza e na composição de perfumes e aromatizantes (PAULUS *et al.*, 2005). A composição do óleo é afetada pela temperatura e nutrição da planta, possui como principal composto o mentol, que está diretamente relacionado à sua qualidade (PAULUS *et al.*, 2007).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Local de amostragem

O estudo foi realizado na cidade de Londrina, estado do Paraná, região sul do Brasil. O ponto de coleta está a uma distância 51,33 m da UTFPR- Campus Londrina (Figura 6), com Latitude 23°18'29.71"S e Longitude 51° 6'49.51"O e altitude de 561 m.

Figura 6- Localização do Ponto de Coleta.



Fonte: Autoria Própria, 2022.

Segundo Zemiani (2021) o solo deste local é Latossolo Vermelho Distroférico, conforme as análises realizadas de acidez potencial, teores de Alumínio (Al^{3+}), pH, Cálcio (Ca^{2+}), Magnésio (Mg^{2+}), teores trocáveis de Potássio (K^+), Sódio (Na^+) e Fósforo (P), capacidade de troca catiônica (CTC) e Carbono orgânico (C), apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Características químicas do solo amostrado.

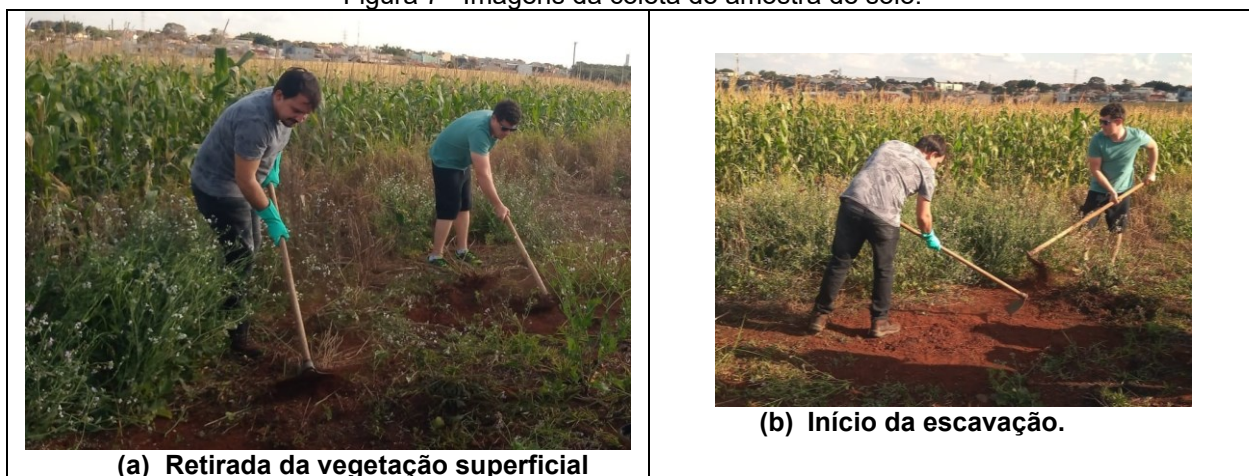
Características Química	Amostra
M.O (Matéria orgânica)	24,02 g dm ⁻³
pH CaCl ₂	4,83
pH H ₂ O	5,67
S.B (Soma de bases trocáveis)	6,92 cmol _c dm ⁻³
CTC (Capacidade de troca catiônica)	13,26 cmol _c dm ⁻³
V (porcentagem de bases trocáveis)	52,14 %
P	7,53 mg dm ⁻³
Mg	1,98 cmol _c dm ⁻³
Ca	4,42 cmol _c dm ⁻³
Al ⁺³	0,00 cmol _c dm ⁻³
K	0,52 cmol _c dm ⁻³

Fonte: Zemiani, 2021.

4.2 Coleta e preparação do solo

Seguindo a metodologia de amostragem de coleta de solo da Embrapa (2014), no local, primeiramente retirou-se a vegetação superficial e o solo foi coletado a uma profundidade de 0-20 cm com o auxílio de enxadas e pás (Figura 7).

Figura 7– Imagens da coleta de amostra de solo.





(c) Amostra de solo coletado.

Fonte: Autoria Própria, 2022.

Em seguida o solo foi despejado em esteiras na estufa em condições naturais de temperatura ambiente por 24 horas, para obter a Terra Fina Seca ao Ar (TFSA). Posteriormente foi destorroado e passado na peneira com malha de 2 mm, com intenção de obter tamanho de partículas mais homogêneas e depois armazenado em saco plástico para depois ser distribuído em potes de polipropileno de 2 kg e ser contaminado com Cd e Zn (Figura 8).

Figura 8- Imagens do solo despejado na esteira, destorroado e armazenado.



(a) Solo disposto na esteira por 24 h para obter TFSA.



(b) Solo sendo destorroado em peneira de 2 mm.



(c) Solo destorroado e armazenado em sacos plásticos.

Fonte: Autoria Própria, 2022.

4.3 Contaminação do solo

As concentrações de Cd e Zn no solo foram estabelecidas a partir da capacidade máxima de adsorção (CMA) de cada metal no solo previamente determinada pelas isotermas de Cd (CMA= 9,22 g kg⁻¹) e Zn (CMA= 482,6 mg kg⁻¹) nos trabalhos de Zemiani (2021) e Bilmayer (2020), respectivamente. Foram usadas sete concentrações crescentes dos metais mais o controle (C₀, sem adição de metal no solo), contendo oito replicatas de cada concentração, totalizando em sessenta e quatro potes de polipropileno. Os valores das concentrações são apresentados na Tabela 2 e são as mesmas utilizadas nos trabalhos de Bilmayer (2020) e Zemiani (2021).

Tabela 2- Concentrações dos metais no solo que aplicadas simultaneamente nos tratamentos.

Tratamento	Concentração de Cd (g kg ⁻¹)	Concentração de Zn (g kg ⁻¹)
C ₀ (sem adição de Metal)	0,0	0,0
C ₁ (1/8 da CMA)	1,15	0,0603
C ₂ (1/6 da CMA)	1,53	0,0804
C ₃ (1/4 da CMA)	2,30	0,1205
C ₄ (1/2 da CMA)	4,60	0,2413
C ₅ (CMA)	9,22	0,4826
C ₆ (dobro da CMA)	18,25	0,9652
C ₇ (quadruplo da CMA)	36,87	1,9304

Fonte: Bilmayer (2020) e Zemiani (2021).

Com o solo já seco, destorroado e peneirado, transferiu-se 1,8 kg para os potes de polipropileno com capacidade de 2 kg, para não ocupar a capacidade máxima. Em cada replicata, exceto o tratamento controle (C₀), adicionou-se as concentrações crescentes de Cd e Zn, conforme a Tabela 2. Os sais dos metais utilizados foram na forma de acetato para não atuar como nutriente para a planta, como é o caso de sais de nitrato e cloreto. Deixou-se o solo contaminado na estufa por 30 dias sob condições naturais de luz e temperatura ambiente, para atingir o equilíbrio antes do cultivo da planta (Figura 9). Durante este período a umidade do solo foi mantida a 60%.

Figura 9- Solo contaminado com Cd e Zn e posto na estufa durante 30 dias.

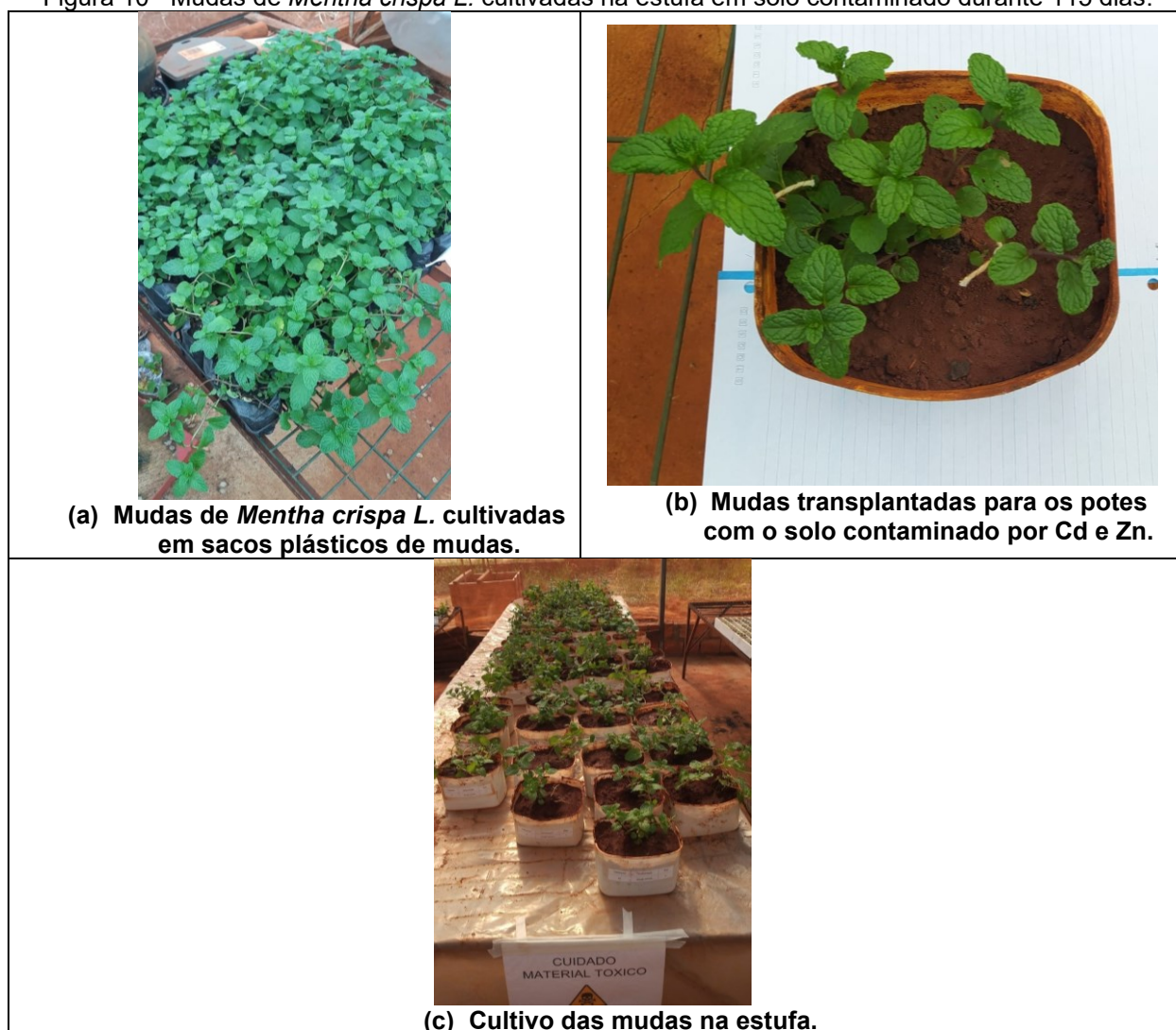


Fonte: Autoria Própria, 2022.

4.4 Cultivo das mudas da *Mentha crispa* L.

As mudas de *Mentha crispa* L. foram obtidas comercialmente com aproximadamente 10 cm de altura, transportou-se as mesmas para os potes de polipropileno contendo 1,8 kg de solo contaminado (Figura 10). Sendo plantado 1 muda por pote nos 5 primeiros para realizar análise dos parâmetros de crescimento (altura, número de folhas/brotos) e 2 mudas nos 3 últimos potes para determinar a concentração de clorofila e área foliar. O cultivo foi de aproximadamente 115 dias, tempo em que ocorre a produção máxima de o óleo essencial, o que torna de interesse para ser extraído, destilado e comercializado após o experimento (BILMAYER, 2020).

Figura 10– Mudas de *Mentha crispa* L. cultivadas na estufa em solo contaminado durante 115 dias.



Fonte: Autoria Própria, 2022.

4.5 Parâmetros de crescimento de *Mentha crispa* L.

A inspeção visual foi realizada diariamente, para identificar qualquer alteração como diferenças na coloração ou murchamento das folhas. Também realizou-se a reposição de água, mantendo sempre a umidade em 60% (Figura 11) (SILVA, 2021). Após 30 e 75 dias do início do cultivo das mudas no solo contaminado, adicionou-se uma solução nutritiva contendo Potássio (K), Fósforo (P), Enxofre (S), Nitrogênio (N), Cálcio (Ca) e Magnésio (Mg) para adubação e calagem do solo, com 0,136 g L⁻¹ de Fosfato Monopotássico (KH₂PO₄), 0,818 g L⁻¹ de Cloreto de Potássio

(KCl), 0,990 g L⁻¹ de Sulfato de Amônio [(NH₄)₂SO₄], 1,107 g L⁻¹ de Cloreto de Cálcio (CaCl₂) e 0,188 g L⁻¹ de Cloreto de Magnésio (MgCl₂) (MAIA, 1998).

Figura 11- Imagem representando a reposição de água para manter a umidade em 60%.



Fonte: Autoria Própria, 2022.

A cada 15 dias, além do registro fotográfico com câmera digital, foram medidos os parâmetros de crescimento como altura, o número de brotos e de folhas em todas as cinco replicatas de cada tratamento contendo uma muda por pote. Para medir a altura, marcou-se com barbante dois caules no primeiro dia de plantio, estes então foram medidos com auxílio de uma régua, a partir da folha mais alta até o solo. O número de folhas e brotos contou-se manualmente (BILMAYER, 2020; SÁ *et al.*, 2014; ZEMIANI *et al.*, 2021).

Nas três replicatas restantes de cada tratamento (duas mudas por pote), foram realizadas a análise de área foliar e a determinação de concentração de clorofila. As concentrações de clorofila *a* que é o tipo mais abundante nas plantas foram determinadas por Espectrofotometria no Ultravioleta Visível (UV-Vis) usando a extração com acetona. O procedimento de extração foi realizado em triplicata com uma massa de aproximadamente 1,0 g de folha fresca da planta, seguida de maceração com 2 mL de acetona (80% Acetona/20% H₂O v/v). Depois as folhas maceradas foram transferidas para um sistema de filtração contendo papel filtro quantitativo com porosidade de 150 mm, adicionando-se acetona (80% Acetona/20%

H₂O v/v) e coletando o extrato de clorofila em balão volumétrico de 25 mL (Figura 12) (HENDRY; PRICE, 1993). A concentração de clorofila a foi determinada utilizando a equação de MacKinney (Equações 1):

$$\text{Clorofila } a \text{ (mg.g}^{-1}\text{)} = [(12.7 * A_{663}) - (2.69 * A_{663})] * (VW/1000) \quad (1)$$

Sendo:

V= volume do extrato da folha (mL);

W= massa da folha fresca (g);

A₆₆₃= valor de absorvância encontrada próximo a 663 nm;

Figura 12- Imagens do procedimento para determinação de clorofila nas mudas de *Mentha crisper* L.



Fonte: Autoria Própria, 2022.

Para a análise da área foliar foi utilizado o programa computacional ImageJ®. As folhas foram retiradas aleatoriamente e colocadas em uma folha de

papel branca tamanho A4, e junto uma régua graduada para calibrar o programa. Uma placa de vidro também foi colocada sobre as folhas para que ficassem totalmente abertas (Figura 13). Posteriormente realizou-se registro fotográfico para obtenção dos valores da área foliar pelo programa (GOMES, 2018; NEWTON MARTIN *et al.*, 2013).

Figura 13- Imagem do procedimento para análise de área foliar de *Mentha crispa* L.



Fonte: Autoria Própria (2022).

Após 115 dias de cultivo, as plantas foram coletadas e passaram pelo procedimento de limpeza com remoção manual de solo das raízes e foram pesadas para obtenção da biomassa produzida em cada tratamento. Depois as plantas foram separadas em raízes, caules e folhas, sendo que as raízes passaram por uma etapa de limpeza com água e depois imersão em solução de ácido clorídrico 10% v/v por aproximadamente um minuto (EMBRAPA, 2009). Em seguida as raízes foram limpas com água ultrapura, secas com papel absorvente e pesadas com o auxílio de uma balança analítica para obtenção da biomassa. O comprimento das raízes foi medido com auxílio de uma régua com o intuito de avaliar o efeito do Cd e Zn sobre a raiz. Todos os parâmetros foram comparados com ao tratamento controle (sem adição de metal no solo) (BILMAYER, 2020; ZEMIANI *et al.*, 2021). As partes aéreas da planta (caule + folha) também foram limpas com água ultrapura e secas com papel absorvente, sendo depois pesadas em balança analítica para a obtenção da biomassa da parte aérea para cada tratamento e comparadas ao tratamento controle, avaliando o efeito dos metais sobre a produção de biomassa aérea da planta (redução ou aumento) (BILMAYER, 2020).

4.6 Análise Estatística

A fim de testar a hipótese de que há diferença significativa entre as variáveis de crescimento das mudas de *Mentha crispa* L. em relação à concentração e ao longo do tempo de exposição aos metais, realizou-se Análise Multivariada de Variância (MANOVA) nos parâmetros de altura, número de brotos e de folhas, aplicando-se juntamente o teste de Wilks com nível de significância $P < 0,05$.

Após a construção do modelo da MANOVA foi aplicada a Análise Discriminante Canônica (ADC). Esta análise é uma técnica da estatística multivariada que reduz a dimensionalidade de dados, a qual é aplicada em análises discriminantes de amostras com observações repetidas (VARELLA, 2004). Sendo assim a ADC foi aplicada para avaliar a respostas dos parâmetros de crescimento das mudas expostas aos metais em quinzenas e tratamentos. O *software* RStudio® foi utilizado para processamentos dos dados.

Também foram construídos gráficos com a média das replicatas em cada tratamento para os parâmetros de crescimento, concentração de clorofila, área foliar, biomassa da parte aérea, biomassa e comprimento da raiz.

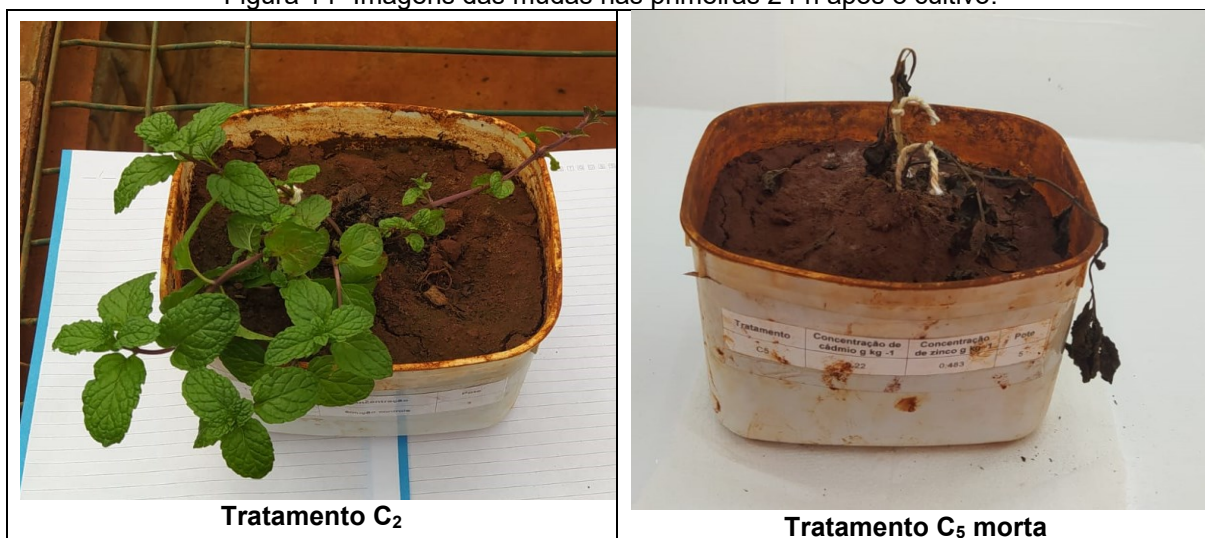
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

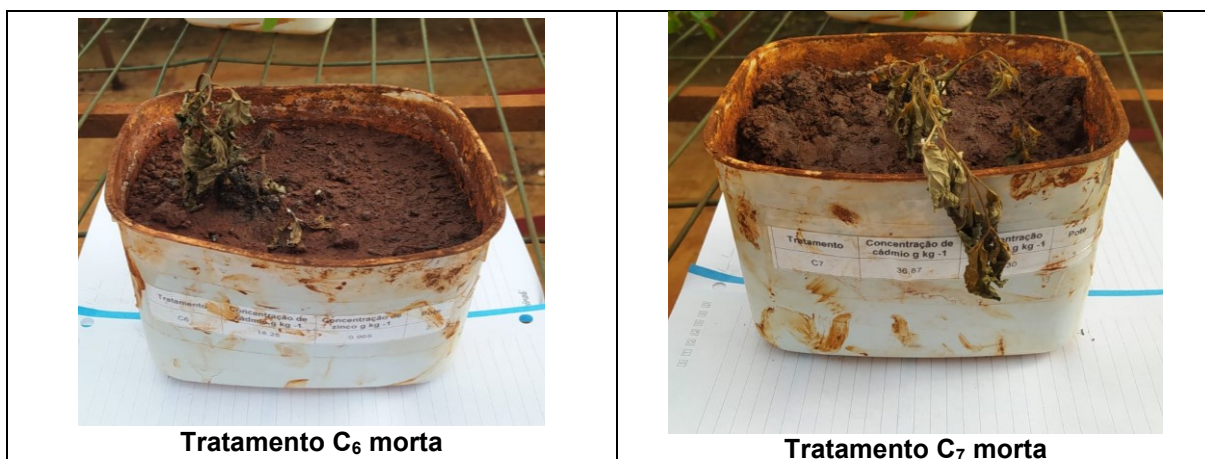
5.1 Sintomatologia visual de *Mentha crispa* L. durante o cultivo

Durante o experimento, realizou-se diariamente inspeção visual das mudas de *Mentha crispa* L. para averiguar quaisquer modificações, sempre comparando os tratamentos de C₁ a C₇ com o tratamento controle C₀. Foram realizados registros fotográficos a cada 15 dias para acompanhamento.

No dia 15 de maio do presente ano iniciou-se o cultivo das mudas em Latossolo Vermelho contaminado com os metais Cd e Zn, porém nas primeiras 24 horas observou-se que todas as folhas das replicatas do tratamento C₆, C₇ e uma replicata do tratamento C₅ escureceram, ressecaram e caíram. Posteriormente morreram (Figura 14) e isto se deve provavelmente aos tratamentos C₆ e C₇ apresentarem concentração de Cd e Zn acima da CMA do solo, onde a disponibilidade de Cd livre é maior, sendo prontamente absorvido pela planta, causando fitotoxicidade. Assim as replicatas destes tratamentos foram retiradas do experimento por inviabilidade de análise.

Figura 14- Imagens das mudas nas primeiras 24 h após o cultivo.

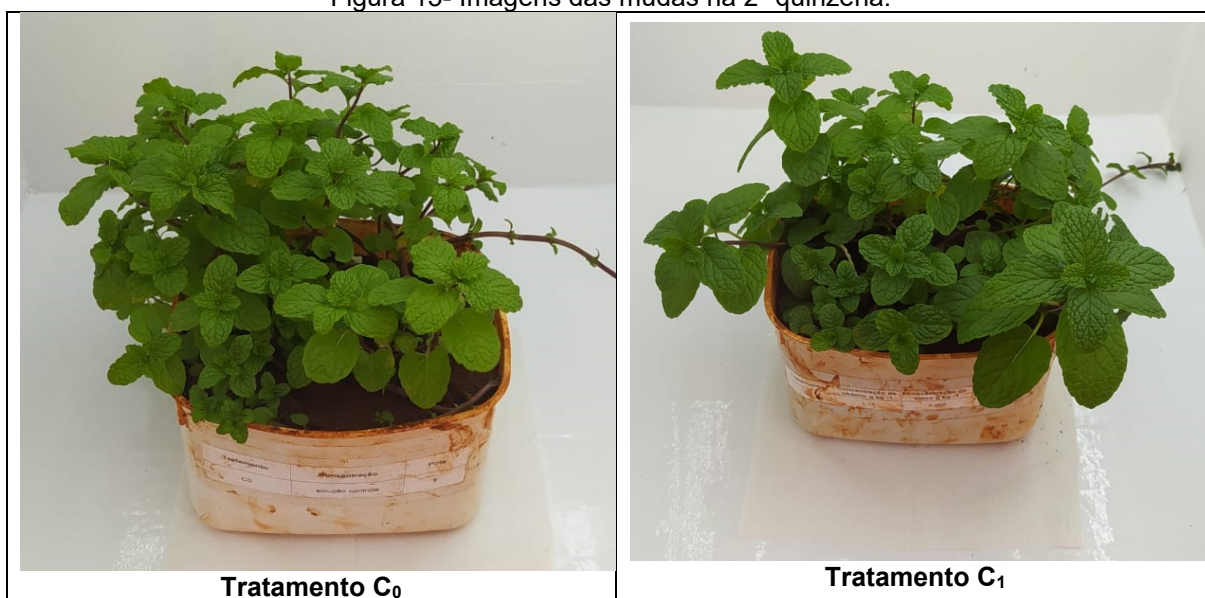


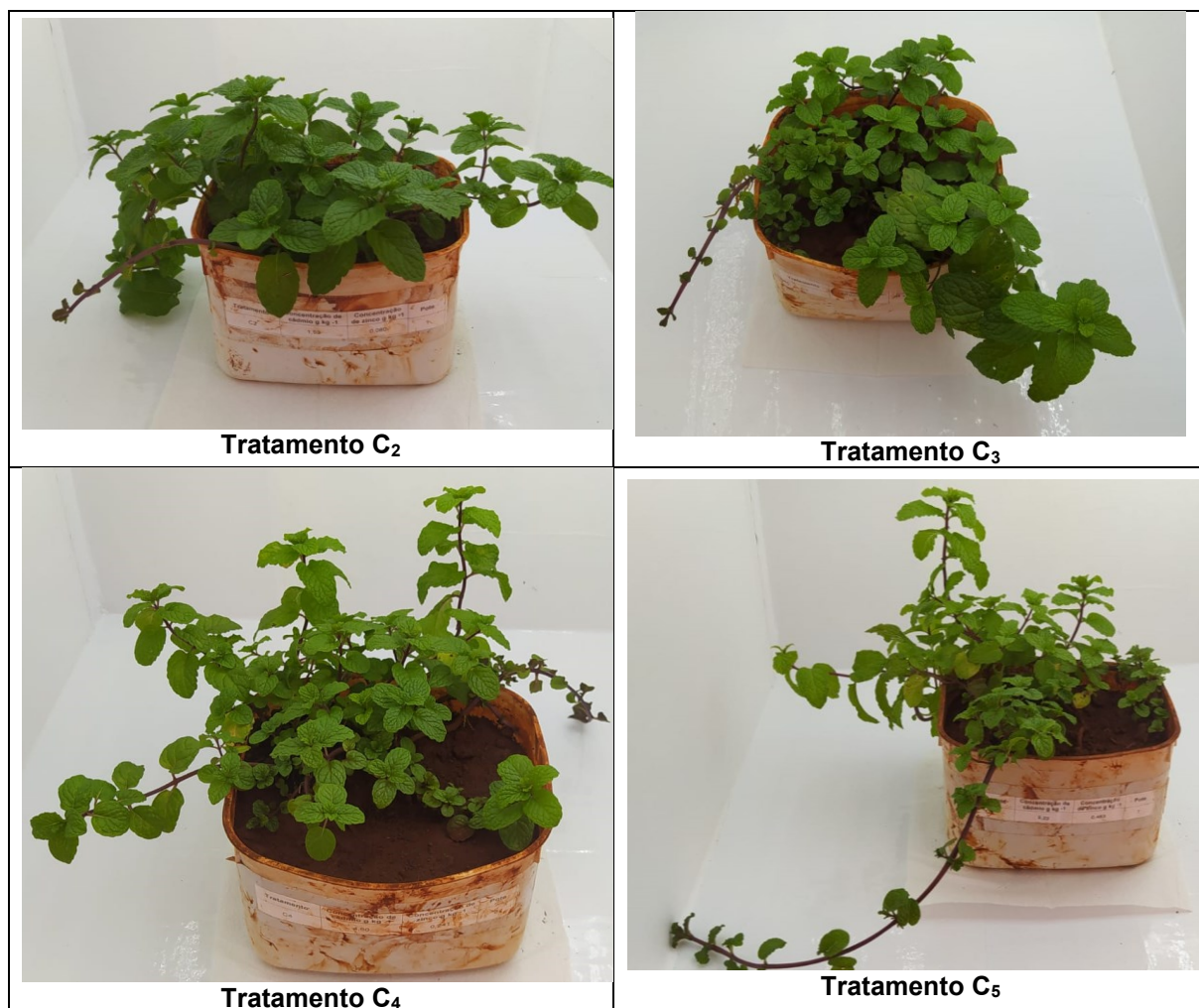


Fonte: Autoria Própria, 2022.

Na segunda quinzena, as mudas de todos os tratamentos apresentaram aumento da altura, número de brotos e folhas, ocupando todo o pote, como observado na Figura 15. Os tratamentos C₃, C₄ e C₅ apresentaram maior ramificação em comparação ao C₀. Além do aumento nos parâmetros de crescimento, também foi observado nos tratamentos C₂ a C₅ vermelho-arroxeadado das veias foliares, podendo ser sinal de toxicidade do Zn, como também foi observado no trabalho de Bilmayer (2020) (Figura 16).

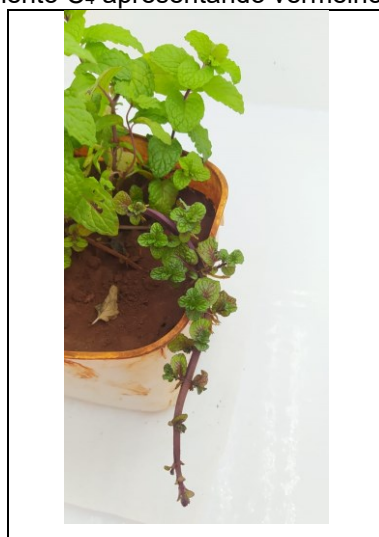
Figura 15- Imagens das mudas na 2ª quinzena.





Fonte: Autoria Própria, 2022.

Figura 16- Imagem do tratamento C₄ apresentando vermelho-arroxeadado nas veias foliares.

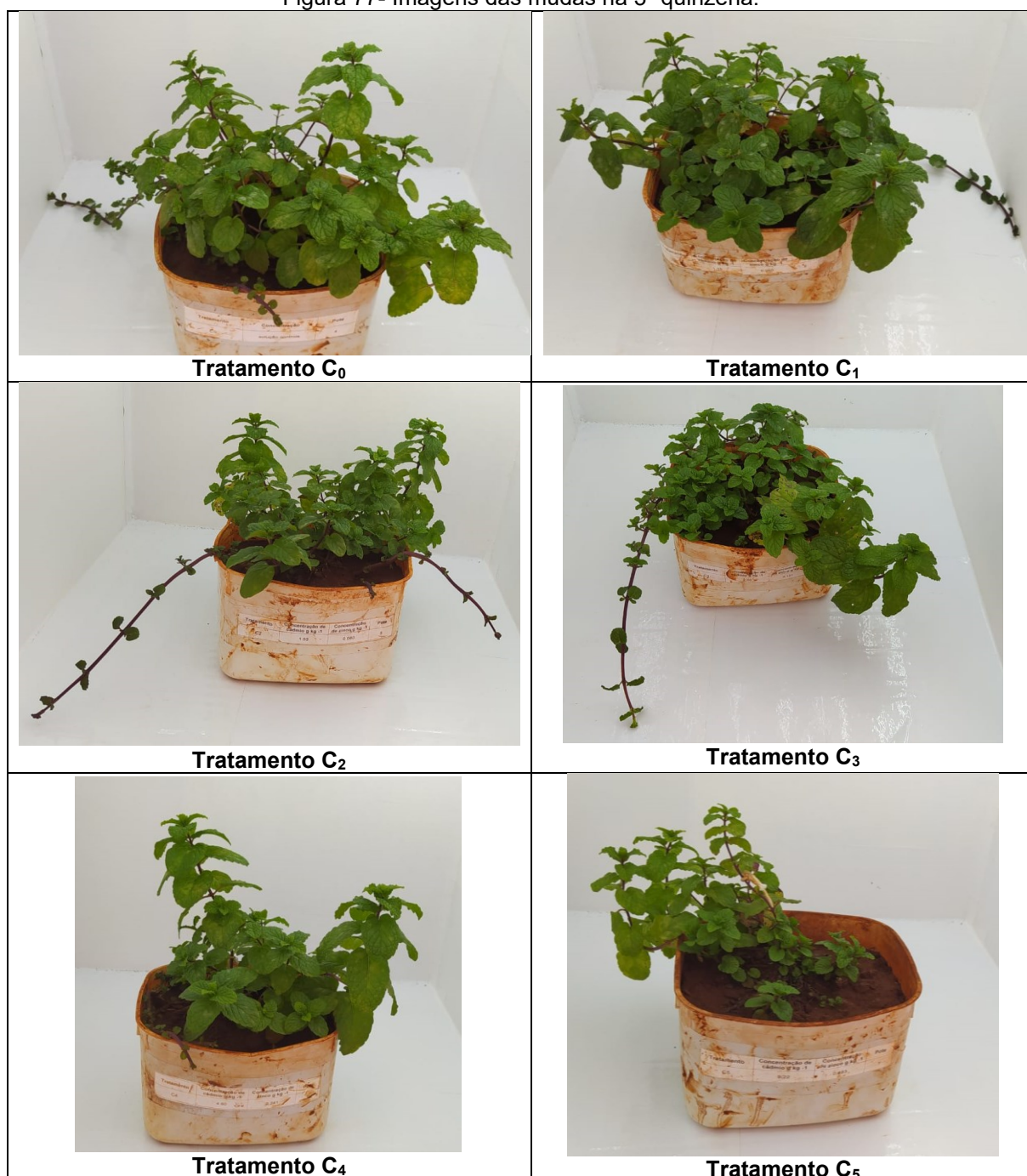


Fonte: Autoria Própria, 2022.

No 45° dia de cultivo (terceira quinzena) observou-se em todos os tratamentos, maior quantidade de brotos e pouca variação na altura (Figura 17).

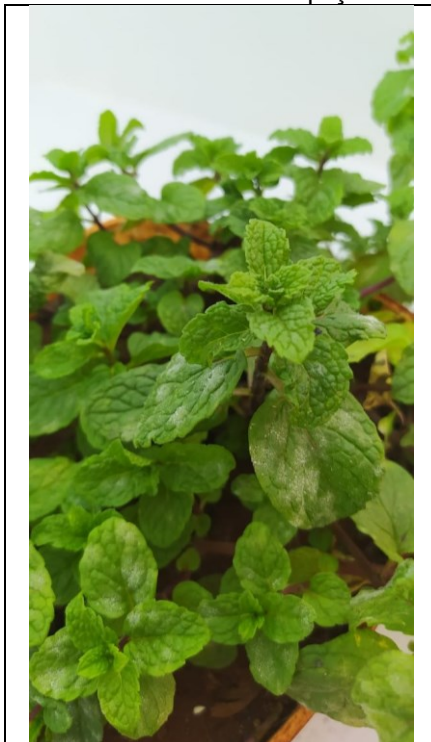
Também notou-se o aparecimento de uma mancha esbranquiçada nas folhas das mudas (Figura 18), sendo identificado como fungo Oídio (*Sphaerotheca fuliginea*) que pode surgir em época de seca, condições de baixa umidade relativa do ar e temperaturas amenas. Portanto, para o controle do fungo foi utilizada uma solução com concentrações de 5% de leite de vaca cru e 10% de água destilada, e a mistura foi pulverizada uma vez por semana até o desaparecimento do Oídio (BETTIOL, 2004).

Figura 77- Imagens das mudas na 3ª quinzena.



Fonte: Autoria Própria, 2022.

Figura 18- Imagem da folha com colônia esbranquiçada causada pelo fungo Oídio.



Fonte: Autoria Própria, 2022.

Na 4^a quinzena (60° dia), houve uma diminuição do fungo nos tratamentos, porém como efeito do Oídio ocorreu uma redução no número de folhas de todas as mudas, além de apresentar clorose e diminuição da área foliar. Mesmo com menor quantidade de colônias do fungo nas folhas, continuou-se a pulverizar a solução (leite de vaca cru com água destilada) até a cessão da doença.

Na 7^a quinzena, várias replicatas do tratamento controle (C₀) começaram a diminuir a altura, número de brotos e folhas. No entanto, os tratamentos C₁ a C₅ apresentaram pouca variação nos parâmetros de crescimento (Figura 19). O tratamento controle foi afetado com 105 dias de cultivos provavelmente pela falta de nutriente.

Figura 19- Imagens das mudas na 7ª quinzena.



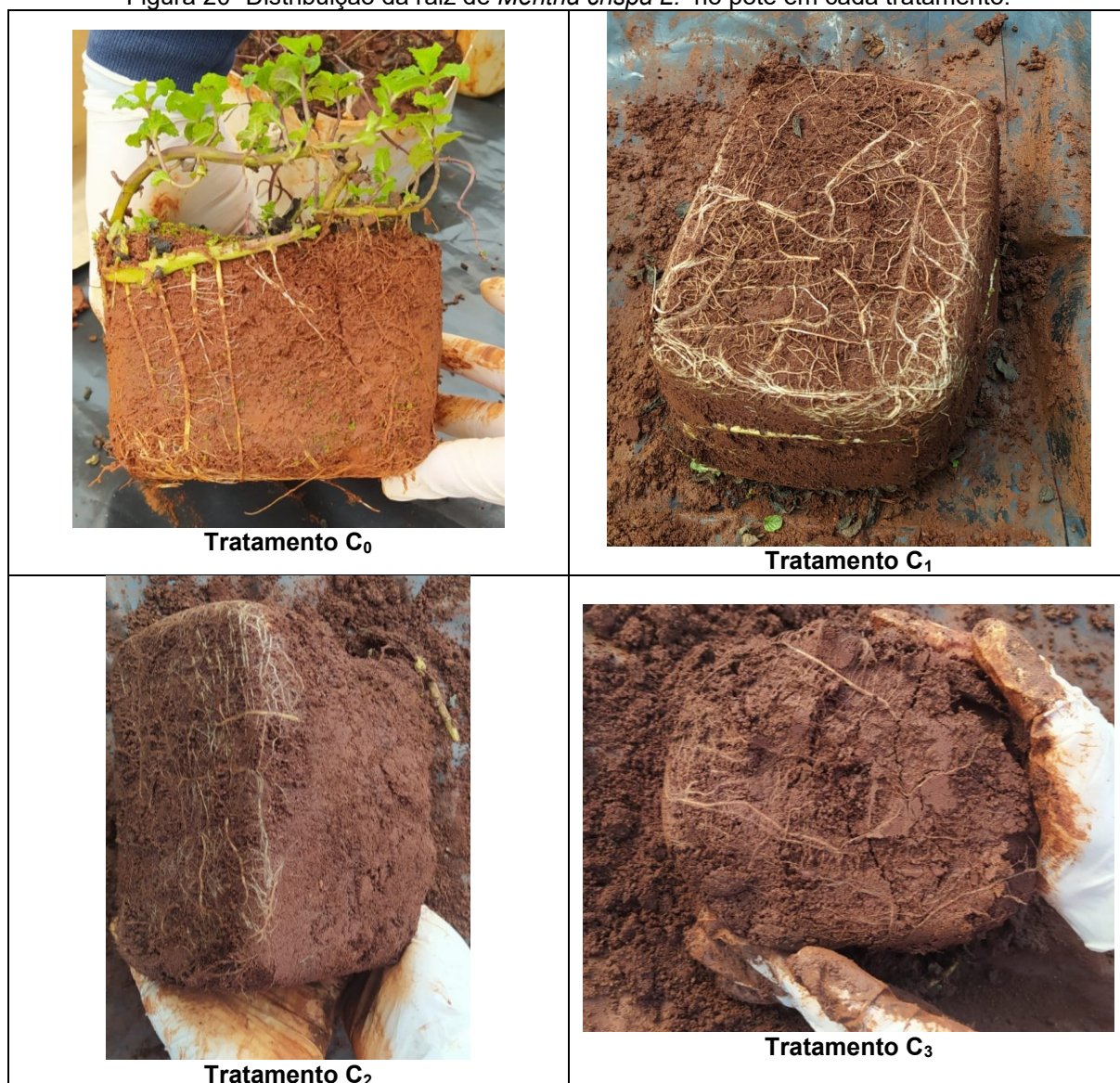
Fonte: Autoria Própria, 2022.

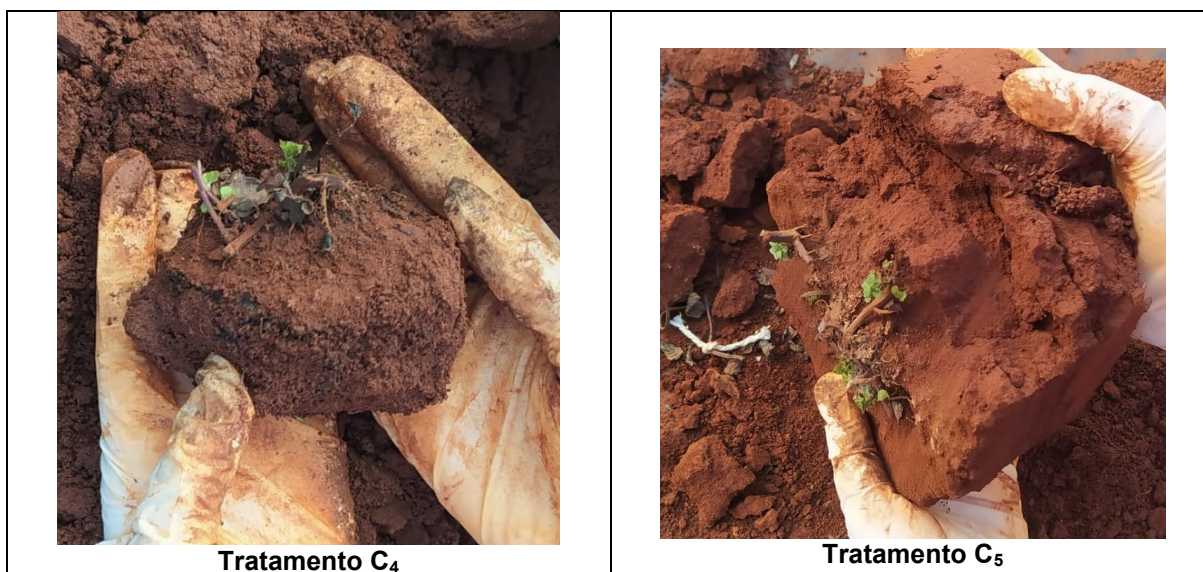
Em decorrência da morte de várias replicatas do tratamento C₀, no 115º dia de cultivo retirou-se as mudas de todos os tratamentos dos pots, porém as

plantas dos tratamentos C₁ a C₅ apresentaram sinais de brotamento em solo contaminado com Cd e Zn.

O aspecto visual das raízes também foram observados nos potes de cada tratamento, e constatou-se que conforme a concentração dos metais aumentou no solo, a raiz diminui seu comprimento, sendo os tratamentos C₀ e C₁ com melhores desenvolvimento (Figura 20).

Figura 20- Distribuição da raiz de *Mentha crispa* L. no pote em cada tratamento.





Fonte: Autoria Própria, 2022.

Analisando de modo geral os 115 dias de cultivo, nas 1^a e 2^a quinzenas as mudas de *Mentha crispa* L. se desenvolverem rapidamente, aumentando visualmente os parâmetros de crescimento (número de brotos, número de folhas e altura).

Após 45 dias de cultivo, as mudas foram prejudicadas pelo fungo Oídio, o qual fez esta perder suas folhas, porém mesmo controlando o fungo, a partir da 5^a quinzena, as mudas não se desenvolveram muito. Para o tratamento controle, os brotos foram se desenvolvendo de forma lenta e houve pouco aumento da altura. Nos tratamentos de C₁ a C₅, os brotos também apresentaram crescimento lento, porém a altura sem variação aparentemente.

Os efeitos dos metais Cd e Zn no organismo da planta começaram a ser observado partir da 5^a quinzena. Com o tempo de exposição e a alta concentração dos metais, o Cd e Zn podem afetar na absorção e translocação dos nutrientes e na atividade fotossintética da planta (GUIMARÃES *et al.*, 2008; MELO *et al.*, 2016).

Outro parâmetro afetado pelos metais foi o comprimento da raiz, como pode ser observado no dia de retirada das mudas de *Mentha crispa* L., a raiz se desenvolveu por todo o pote nos tratamentos C₀ e C₁. No entanto, o crescimento da raiz diminuiu nos tratamentos de C₂ a C₅, principalmente em C₄ e C₅, ficando com raízes mais localizadas, sem muitas ramificações. Este efeito da diminuição das raízes também foi observado nos trabalhos de Bilmayer (2020), que avaliou o efeito do Zn, e Zemiani (2021), que avaliou o efeito do Cd na mesma planta. Nestes estudos as

raízes diminuíram com aumento das concentrações destes metais no solo e a coloração tornou-se mais escura. Essa diminuição da raiz pode ser uma estratégia da planta para sair da zona de influência dos metais, porém como já mencionado isto influencia na absorção de nutrientes e água (MELO *et al.*, 2016).

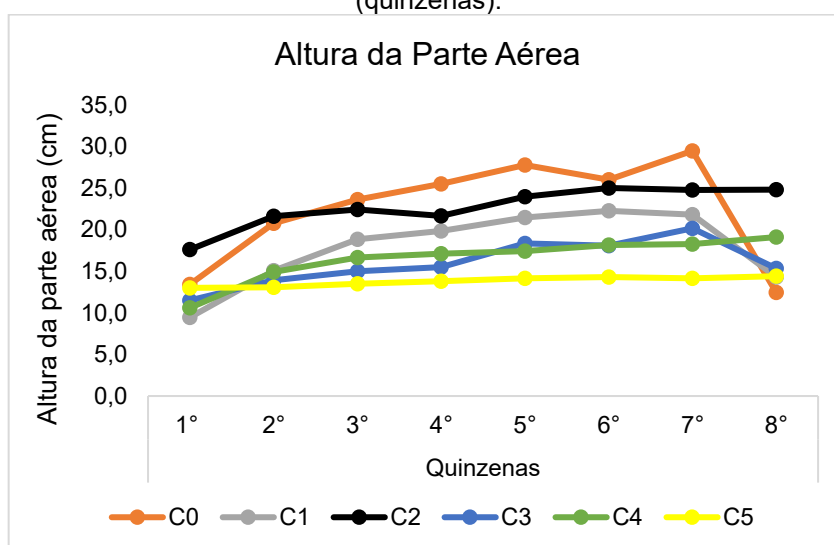
5.2 Análise dos parâmetros de crescimento de *Mentha crispa L.*

A altura, número de brotos e número de folhas foram medidos a cada 15 dias nos tratamentos de C₀ a C₅, a fim de verificar o efeito dos metais nestes parâmetros de crescimento da planta. Como os tratamentos C₆ e C₇ morreram nas primeiras 24 horas, estes não foram analisados.

5.2.1 Altura

A altura da planta foi medida quinzenalmente com uma régua, a partir da folha mais alta até o solo, sempre no mesmo caule. Após a obtenção das medidas das replicatas, foi calculada a média para cada tratamento, em cada quinzena, e os resultados são apresentados no Gráfico 1.

Gráfico 1- Evolução da altura de *Mentha crispa L.* em cada tratamento ao longo do tempo (quinzenas).



Fonte: Autoria Própria (2022).

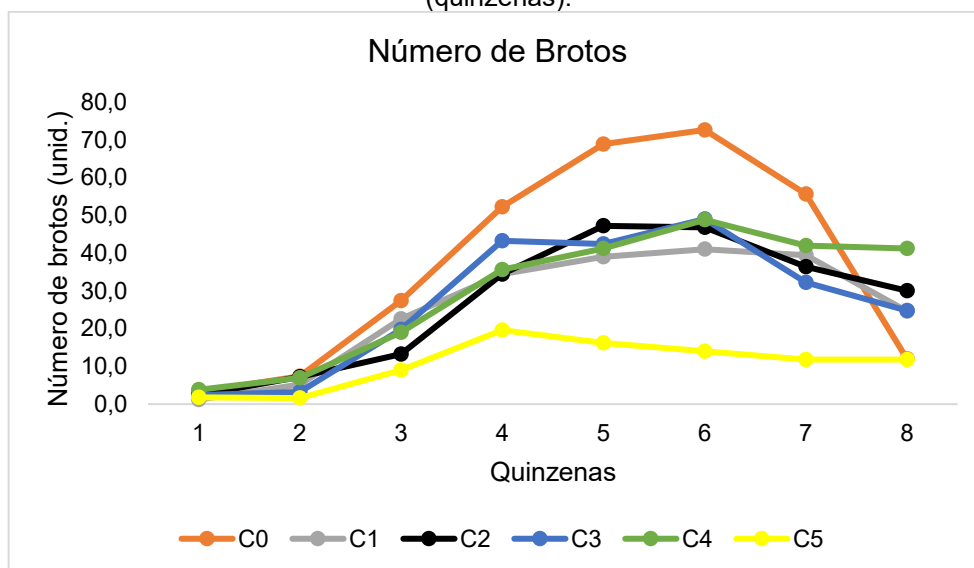
O tratamento C₀ e os tratamentos com concentrações mais baixas dos metais (C₁ e C₂) foram os que apresentaram as maiores alturas médias. O tratamento C₂ em comparação ao controle foi o que mais se desenvolveu, e o tratamento C₅ foi o que apresentou menor crescimento ao longo do tempo.

A partir da 7^a quinzena o declínio no crescimento do C₀ se deve provavelmente ao final do ciclo vegetativo da planta (INNECCO *et al.*, 2003). Para os tratamentos de C₁ a C₄, a absorção de Zn adicionado ao solo e a solução nutritiva podem ter influenciado no crescimento da planta nas primeiras quinzenas. O Zn é considerado como micronutriente, possuindo função estrutural e de ativação enzimática (MELO *et al.*, 2016). Porém em altas concentrações se torna prejudicial, como foi possível observar no C₅, e tendo que considerar também o efeito tóxico do Cd. Vale ressaltar que a toxicidade do Cd provavelmente foi minimizada pela presença da concentração de Zn nos tratamentos com concentrações menores dos metais (LUO; ZHANG, 2021).

5.2.2 Número de brotos

A contagem do número de brotos foi realizada manualmente nas replicatas, com a média calculada para cada tratamento durante as oito quinzenas de cultivo. Os dados são apresentados no Gráfico 2.

Gráfico 2- Evolução do número de brotos de *Mentha crispa* L. de cada tratamento ao longo do tempo (quinzenas).



Fonte: Autoria Própria, 2022.

O tratamento controle novamente apresentou melhores resultados. O crescimento acentuado em todos os tratamentos se deu a partir da 2ª quinzena mostrando que a planta se desenvolveu e se adaptou à contaminação dos metais no solo. O tratamento com menor crescimento foi o C₅, quando comparado com o tratamento controle houve uma redução média de 71,32%, provavelmente devido ao estresse causado pela toxicidade do Cd, impedindo o desenvolvimento da planta em termos de número de brotos.

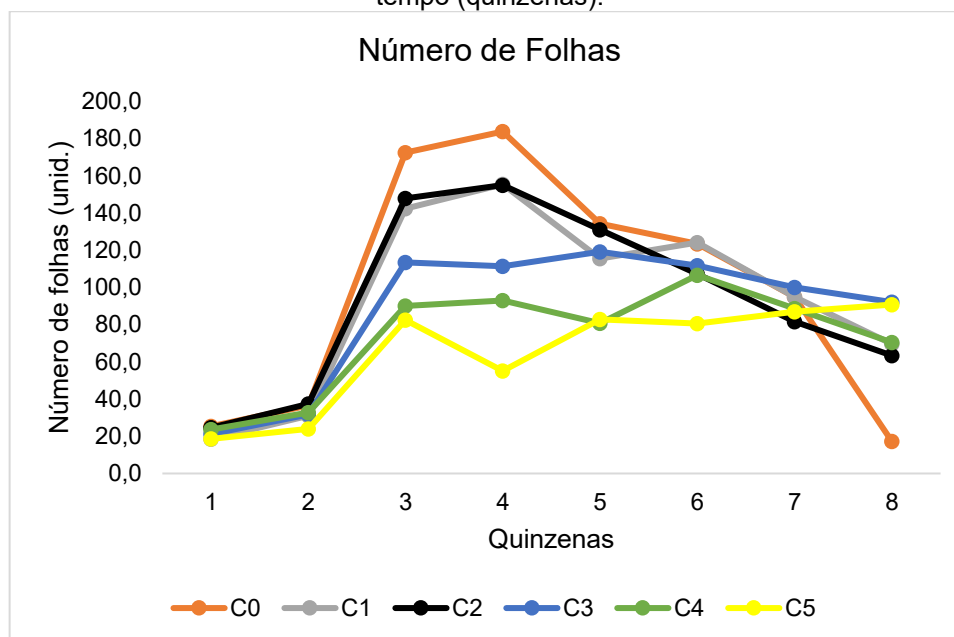
Algumas replicatas do tratamento C₀ começaram a morrer a partir da 7ª quinzena, diminuindo o número de brotos, e pode estar relacionado com o fim do ciclo vegetativo da planta (INNECCO *et al.*, 2003).

Bilmayer (2020) em seu trabalho observou que o número de brotos de *Mentha crispa L.* aumentou em função do tempo de exposição ao Zn para todos os tratamentos, e Zemiani (2021) verificou que o número de brotos de *Mentha crispa L.* reduziu com o aumento das concentrações do metal Cd. Sendo assim, como já mencionado, a toxicidade do Cd foi observada no tratamento C₅ e nos tratamentos C₁ a C₄ o efeito do Cd possivelmente foi reduzido pela presença de Zn.

5.2.3 Número de folhas

O número de folhas foi contado manualmente e com os dados das replicatas, foi calculada a média de cada tratamento para cada quinzena, para então gerar o Gráfico 3.

Gráfico 3- Evolução do número de folhas de *Mentha crispa* L. para cada tratamento ao longo do tempo (quinzenas).



Fonte: Autoria Própria, 2022.

Nas primeiras quinzenas o tratamento controle apresentou maior número de folhas em comparação aos demais tratamentos, e conforme a concentração dos metais aumentou, o número de folhas diminuiu. Os tratamentos C₁ e C₂ apresentaram comportamento mais semelhante ao tratamento C₀, com diferença de 4,62% e 5,05% respectivamente. O crescimento deste parâmetro foi acentuado da 2ª a 3ª quinzena e decaimento da 4ª a 5ª quinzena. Esta diminuição de número de folhas em todos os tratamentos pode ser devido ao fungo Oídio, em que esse diminui a biomassa aérea da planta (BETTIOL, 2004). A diminuição deste parâmetro entre a 5ª e 8ª quinzena pode ser a o fim do ciclo vegetativo da planta.

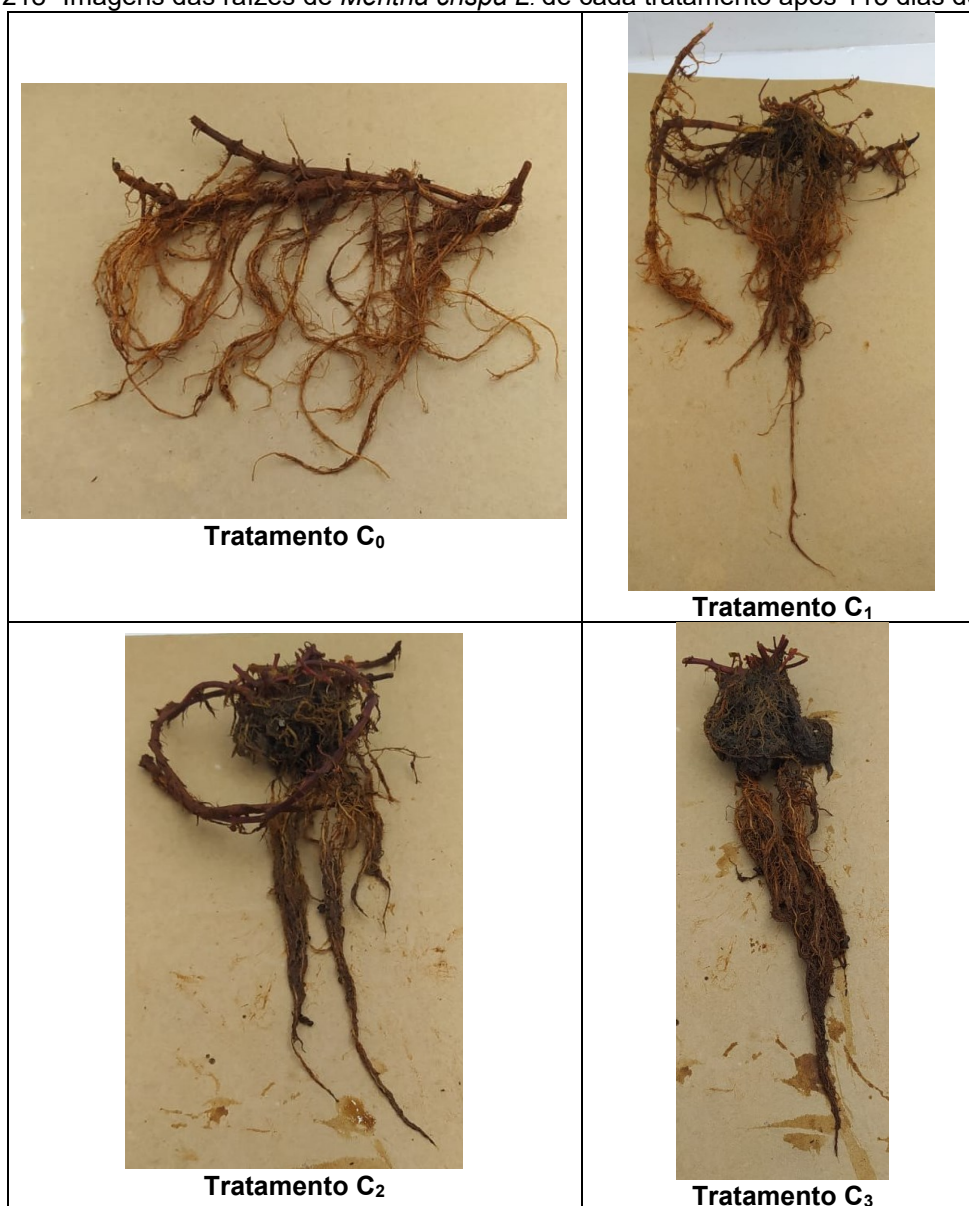
Nos trabalhos de Bilmayer (2020) e Zemiani (2021), estas verificaram que o número de folhas da planta reduziu com o aumento das concentrações de Zn e Cd no solo, respectivamente, como também foi observado no presente trabalho.

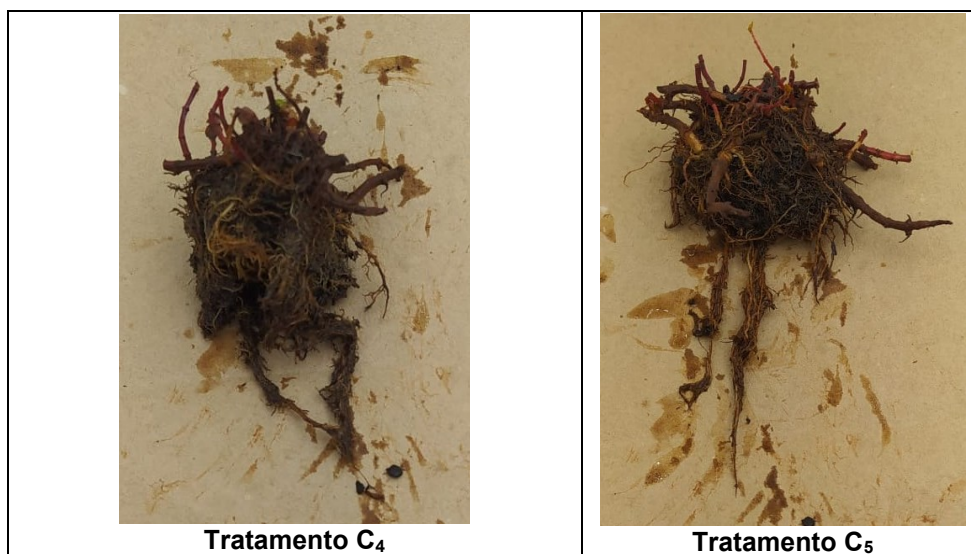
5.2.4 Análise da raiz

O comprimento e biomassa da raiz foram obtidos após os 115 dias de cultivo, onde retirou-se as mudas dos potes e mediu-se o comprimento com uma régua e a biomassa com auxílio de uma balança analítica.

A Figura 21 mostra como as raízes ficaram após o cultivo e pode-se observar que conforme a concentração dos metais aumentou, menor foi a ramificação e o comprimento da raiz, apresentando coloração mais escura. Isto provavelmente deve ser devido aos metais Cd e Zn, que em altas concentrações no solo inibem o crescimento da raiz. Este efeito também foi verificado por Bilmayer (2020) e Zemiani (2021) onde a planta *Mentha crispa* L. foi considerada acumuladora e fitoextratora para o Zn, acumulando este metal nas folhas e posteriormente nas raízes, e fitoestabilizadora para o Cd, com acúmulo do metal nas raízes.

Figura 218- Imagens das raízes de *Mentha crispa* L. de cada tratamento após 115 dias de cultivo.

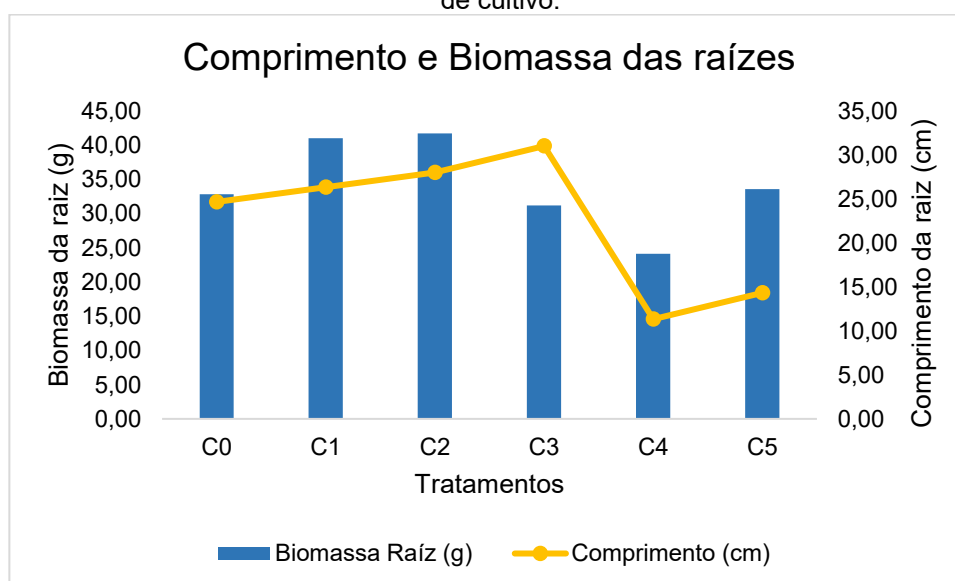




Fonte: Autoria Própria, 2022.

O acúmulo dos metais se dá pela interação com os ligantes presentes nas raízes, assim o Cd por maior interação fica na raiz e o Zn maior parte é transportado para a parte aérea. Desse modo, a diminuição do alongamento radicular pode ser devido ao acúmulo destes metais nas raízes, e como já citado anteriormente, a diminuição do alongamento pode ser um mecanismo de defesa da planta (MELO *et al.*, 2016), e como consequência reduz a absorção de nutrientes e a produção de biomassa. Os resultados de comprimento e biomassa das raízes são apresentados no Gráfico 4.

Gráfico 4- Comprimento e biomassa da raiz de *Mentha crispera* L. para cada tratamento após 115 dias de cultivo.



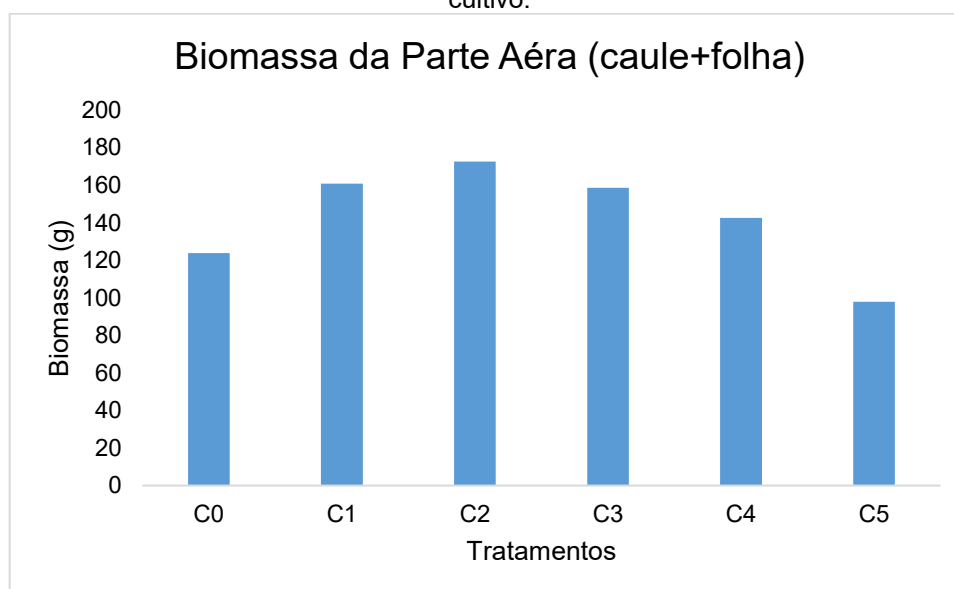
Fonte: Autoria Própria, 2022.

Os tratamentos com concentrações mais baixas dos metais (C₁ a C₃) apresentaram aproximadamente o mesmo comportamento do tratamento controle C₀. No entanto, observou-se uma tendência à diminuição para o comprimento nos tratamentos C₄ e C₅. Esses resultados podem ser complementados com as imagens da Figura 15, onde é nítida a diminuição das ramificações das raízes. Quanto a biomassa das raízes, os tratamentos C₃ e C₄ mostraram-se com menores valores, o tratamento C₅ apresentou um leve aumento em decorrência da presença de solo agregado a raiz, o qual não foi possível remover tudo na limpeza.

5.2.5 Produção de biomassa de *Mentha crispa* L.

Após a retirada das mudas dos potes, separou-se as plantas em raízes, caules e folhas. Para a obtenção da biomassa da parte aérea, caules e folhas foram pesados com uma balança analítica, e os valores para cada tratamento são apresentados no Gráfico 5.

Gráfico 5- Valores de biomassa da parte aérea das mudas de *Mentha crispa* L. após 115 dias de cultivo.



Fonte: Autoria Própria, 2022

Para a produção de biomassa da parte aérea, o tratamento controle obteve o segundo menor resultado, de 123,79 g, isto foi influenciado pela morte de algumas replicatas, devido ao fim do ciclo vegetativo da planta. Mas se verificarmos os

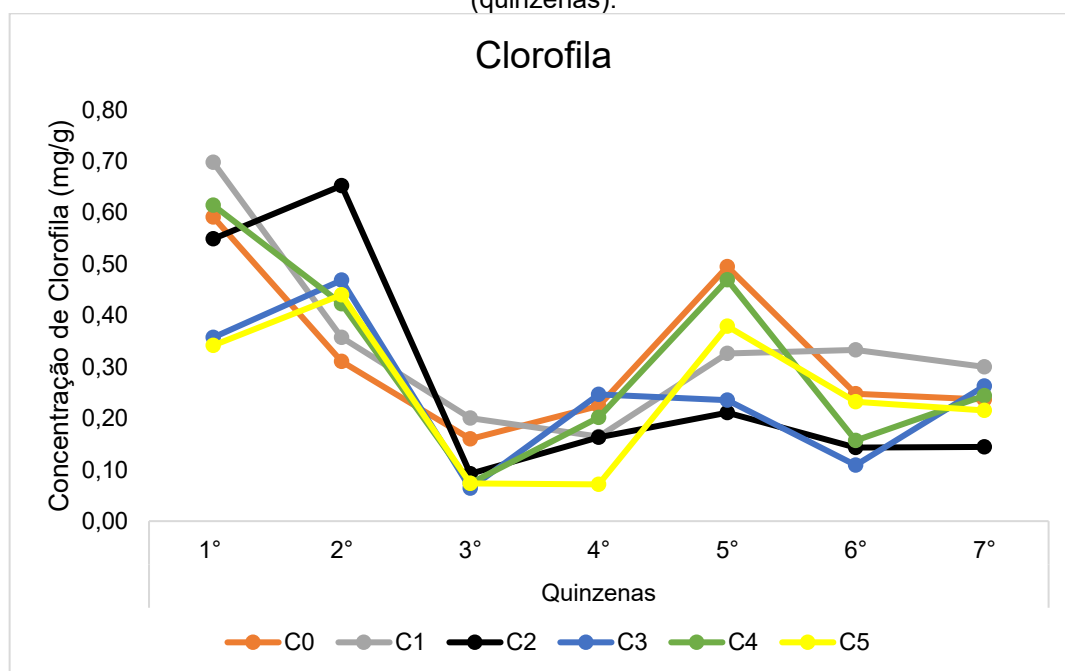
parâmetros de crescimento, o tratamento C₀ foi o tratamento que melhor apresentou resultados e se desenvolveu mais.

Sendo assim, no Gráfico 5, os menores valores de biomassa foram para os tratamentos C₃ (158,59 g), C₄ (142,49 g) e C₅ (97,88 g), que provavelmente foi devido à toxicidade causada pelos metais, afetando as atividades enzimáticas, síntese de proteínas e diminuição do comprimento da raiz que é a principal via de entrada dos nutrientes e água, desta forma a planta não absorveu os nutrientes, o que também é um efeito adverso causado pelo Cd presente na raiz, e como consequência ocorreu a inibição do crescimento das mudas e redução da biomassa (GUIMARÃES *et al.*, 2008; MELO *et al.*, 2016).

5.3 Análise da concentração de clorofila a

A concentração de clorofila *a* foi medida a cada 15 dias nas folhas de cada tratamento (C₀ a C₅) e foi determinada por Espectrofotometria no Ultravioleta Visível (UV-Vis), a fim de verificar o efeito dos metais neste parâmetro. Como os tratamentos C₆ e C₇ morreram nas primeiras 24 horas, estes não foram analisados. Os resultados da concentração de clorofila podem ser visualizados no Gráfico 6.

Gráfico 6- Concentração de clorofila *a* de *Mentha crispata* L. de cada tratamento ao longo do tempo (quinzenas).



Fonte: Autoria Própria, 2022.

No gráfico da concentração de clorofila *a*, obteve-se dois picos, na 2ª e 5ª quinzenas, que coincidiu com a adição de solução nutritiva em todos os tratamentos.

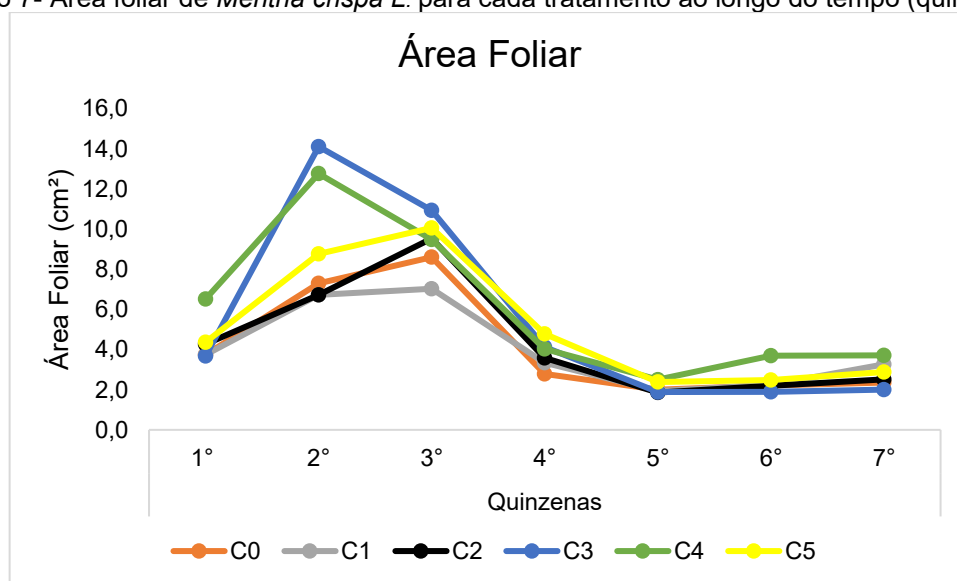
Os valores mais baixos obtidos na 3ª quinzena, podem ser devido à presença do fungo como foi citado anteriormente, o qual alterou a coloração das folhas (clorose), diminuindo a produção de clorofila.

O Cd e o Zn em excesso na planta reduzem a eficiência fotossintética, devido à inibição da biossíntese de clorofila, diminuem a assimilação de carbono e afeta a cadeia transportadora de elétrons, como resultado destes fatores reduz a concentração de clorofila (MELO *et al.*, 2016). Esses fatores poderiam explicar a redução de concentração de clorofila *a* ao longo do tempo de exposição aos metais no solo. No entanto, não foi observada diferença no perfil da concentração de clorofila *a* no Gráfico 6 quando comparada ao tratamento controle C₀.

5.4 Análise da área foliar

A área foliar foi medida a cada 15 dias nas folhas de cada tratamento (C₀ a C₅) e utilizou-se o programa computacional ImageJ®, a fim de verificar o efeito dos metais neste parâmetro. Como os tratamentos C₆ e C₇ morreram nas primeiras 24 horas, estes não foram analisados. Os resultados da área foliar para cada tratamento, são apresentados no Gráfico 7.

Gráfico 7- Área foliar de *Mentha crispá* L. para cada tratamento ao longo do tempo (quinzenas).



Fonte: Autoria Própria (2022).

Observou-se que na 2ª e 3ª quinzenas houve um aumento da área foliar para todos os tratamentos e a partir da 4ª quinzena esse parâmetro se tornou constante, sem apresentar diferenças. O aumento nas primeiras quinzenas se deve ao desenvolvimento da planta, que aumentou também em número de brotos e folhas nesse mesmo período.

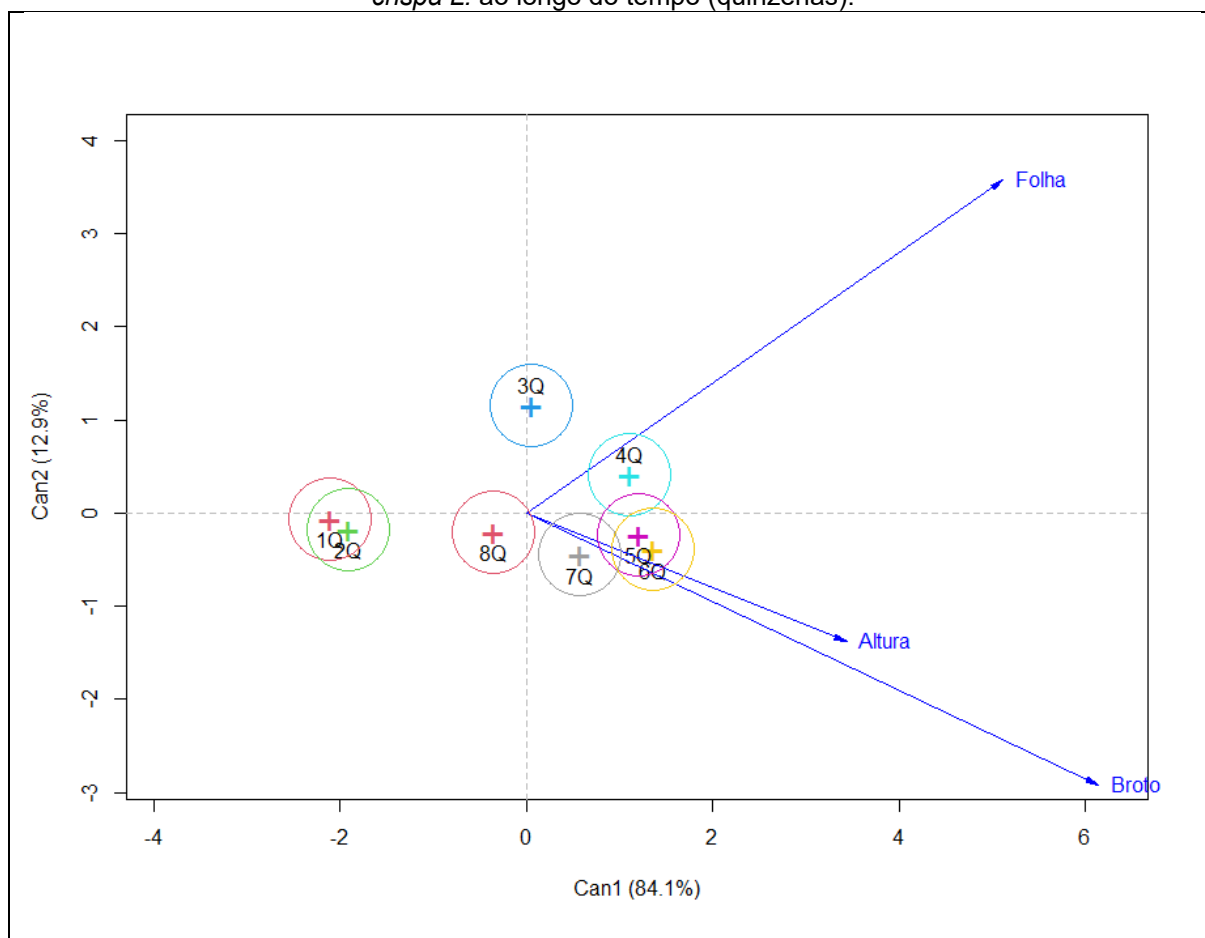
Em relação ao tratamento controle C₀, os tratamentos com os metais não apresentaram um comportamento anômalo. Destaca-se, na 2ª quinzena, os tratamentos C₃ e C₄ que apresentaram as maiores áreas foliares, onde as concentrações de Zn foram provavelmente favoráveis para a nutrição da planta, pois o Zn tem função estrutural de enzimas, síntese de proteínas e metabolismo de carboidratos (GUIMARÃES *et al.*, 2008; MELO *et al.*, 2016). A perda foliar que correu a partir da 3ª quinzena por causa da presença do fungo pode ter relação com a diminuição deste parâmetro, que depois se manteve menor constante até o fim do cultivo.

5.5 Análise exploratória dos efeitos do Cd e Zn nos parâmetros de crescimento de *Mentha crispa* L.

Aplicando a MANOVA nas variáveis de crescimento (altura, número de brotos e de folhas) das mudas de *Mentha crispa* L. em relação aos tratamentos e quinzenas, analisou que houve diferença significativa entre estes parâmetros. O teste de Wilks apresentou p-valor<0,001, com nível de significância P-valor<5%.

A Análise Discriminante Canônica (ADC) permitiu avaliar os efeitos dos metais presentes no solo sobre os parâmetros de crescimento das mudas ao longo do tempo de exposição (quinzenas) e tratamentos (C₀, C₁ a C₅). Sendo assim, primeiro foi realizado uma correlação entre a altura, número de brotos e folhas com as quinzenas (Gráfico 8), onde o eixo Can1 explica 84,1% da variabilidade dos dados, mostrando que o tempo de exposição aos metais pode influenciar nestes parâmetros.

Gráfico 8- Análise Discriminante Canônica da correlação dos parâmetros de crescimento de *Mentha crispa* L. ao longo do tempo (quinzenas).

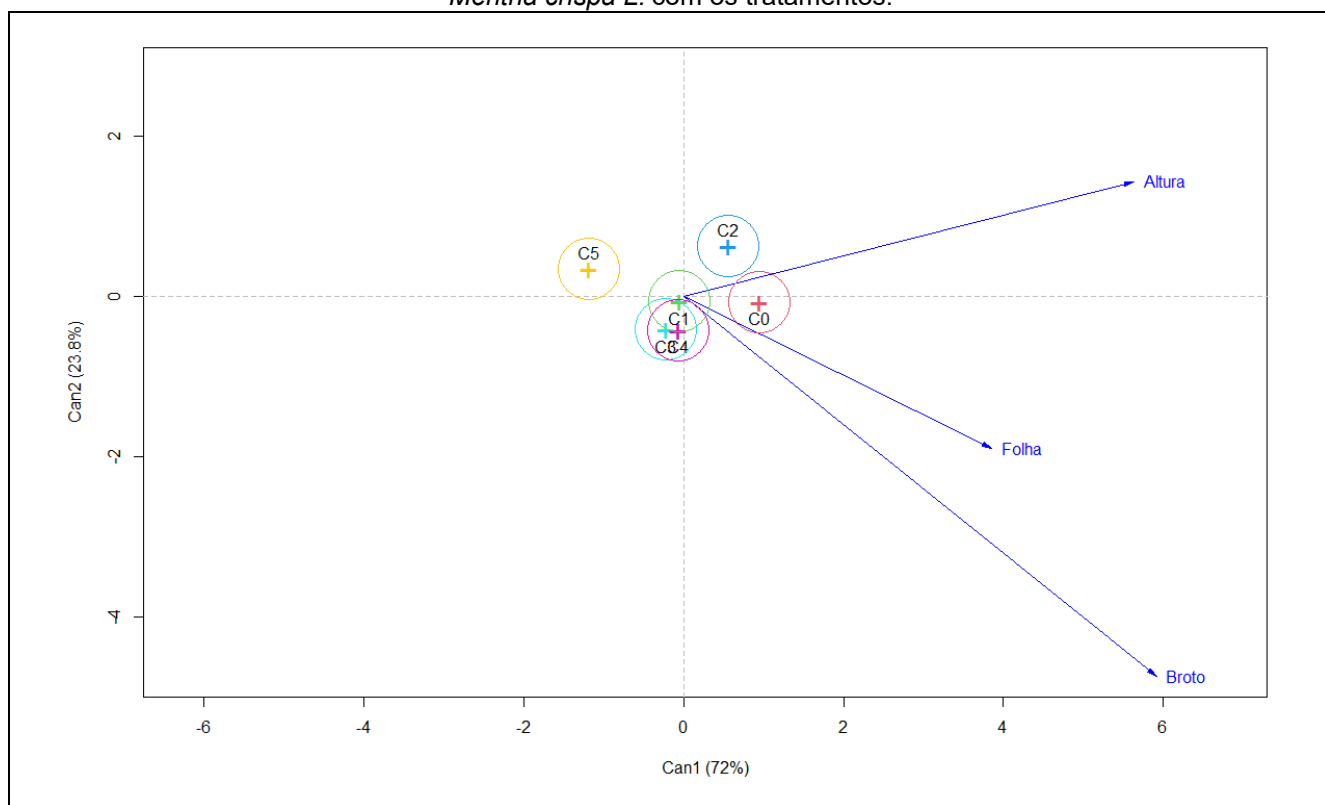


Fonte: Autoria Própria, 2022.

Ao analisar o eixo Can1 do Gráfico 8, para interpretação dos resultados, percebemos que a 1ª e a 2ª quinzenas ainda estavam em desenvolvimento e não influenciaram muito no aumento dos parâmetros de crescimento. Na 3ª e 4ª quinzenas os metais influenciaram no aumento de número de folhas, podendo ser um efeito do Zn. A 5ª, 6ª e 7ª quinzenas apresentaram comportamento semelhantes, podendo ser o Zn influenciando em maior altura e número de brotos. E a 8ª quinzena começou a diminuir todos os parâmetros, possivelmente pelo final do ciclo vegetativo da planta. O parâmetro mais influenciado pelos metais foi o número de brotos nas últimas quinzenas.

E por fim, realizou-se uma correlação entre os parâmetros de crescimento com os tratamentos (C₀ a C₅) que é representado no Gráfico 9, onde o eixo Can1 explica 72% da variabilidade dos dados, mostrando que a concentração dos metais pode influenciar nestes parâmetros.

Gráfico 9- Análise Discriminante Canônica da correlação entre os parâmetros de crescimento de *Mentha crisper* L. com os tratamentos.



Fonte: Autoria Própria, 2022.

Analisando o eixo Can1 no Gráfico 9 para explicar os comportamentos dos dados, verificamos que a altura e número de folhas foram maiores no tratamento C₀. No tratamento C₁, todos os parâmetros foram influenciados pelos metais, aumentando-os, e para o tratamento C₂ os metais influenciaram na maior altura da planta. Para C₃ e C₄, os quais se comportaram semelhantes, o número de brotos aumentou nestes tratamentos. E para o tratamento C₅, este se afastou dos vetores dos parâmetros, mostrando que nesta concentração as mudas não se desenvolveram muito. O parâmetro mais afetado pelos metais foi o número de brotos nas maiores concentrações de metais no solo.

6 CONCLUSÃO

Neste trabalho observou-se que a planta *Mentha crispa* L. cultivada em Latossolo Vermelho contaminado com Cd e Zn se apresentou ser tolerante a toxicidade dos metais até a concentração do tratamento C₅, equivalente à capacidade máxima de adsorção (CMA) do solo. Para concentrações dos metais superiores à CMA (tratamento C₆ e C₇), a toxicidade do Cd prevaleceu sobre a tolerância da planta.

Em geral, o tratamento controle C₀ apresentou melhor desenvolvimento da planta em termos dos parâmetros de crescimento como altura, número de folhas e brotos. Isso demonstra que a presença dos metais Cd e Zn no solo, principalmente em altas concentrações, interferiram negativamente. A atuação simultânea de Cd e Zn no solo não diferiu dos efeitos individuais observados nos trabalhos de Bilmayer (2020) e Zemiani (2021).

A concentração de clorofila *a* e área foliar medidos quinzenalmente durante todo o cultivo não apresentaram anomalias quando se compara os tratamentos de C₁ a C₅ com o tratamento controle C₀. O parâmetro de desenvolvimento da planta mais afetado pelos metais Cd e Zn no solo foi a raiz. Foi observado que quanto maior a concentração dos metais, menor o comprimento e as ramificações da raiz, e como consequência a dificuldade de absorção de nutrientes e de água, prejudicando a produção de biomassa da parte aérea (caule e folhas).

Este trabalho aponta a tolerância da planta *Mentha crispa* L. quando cultivada em Latossolo Vermelho contaminado simultaneamente com os metais Cd e Zn até concentrações que correspondem à CMA do solo. Esta planta pode ser indicada para avaliação do processo de fitorremediação.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, R. **Fitoextração de metais pesados em solo contaminado por escória de minério de chumbo, no município de Santo Amaro-BA**. 2018. Dissertação (Mestrado) – Desenvolvimento Regional e Meio-Ambiente. Faculdade Maria Milza, Governador Mangabeira-BA, 2018.

AMADO, S.; FILHO, J. TEIXEIRA C. Fitorremediação: uma alternativa sustentável para remediação de solos contaminados por metais pesados. **Natureza on line**, v.13, n. 4, p. 158-164. Jul 2015.

ASSUNÇÃO, I. C. O.; BELO, I. C. B.; MUNIZ, A. C. M.; SOUZA, J. E. F. A ação de metais pesados no organismo e a presença do material em cosméticos do cotidiano. *Consciência: alunos (des)conectados, professores em conexão*, p. 1-6, nov, 2020.

ARANTES, J. T. **O impacto de metais tóxicos na produtividade agrícola**, 2016. Disponível em: <<https://agencia.fapesp.br/o-impacto-de-metais-toxicos-na-produtividade-agricola/22617/>>. Acesso em: 04 jan 2022.

BETTIOL, W. Leite de Vaca Cru para o Controle de Oídio. Embrapa Meio Ambiente, p. 1–3, abr, 2004.

BILMAYER, A. F. **Avaliação do desenvolvimento de *Mentha crispa* L. cultivada em latossolo vermelho contaminado com Zinco**. 2020. Dissertação (Mestrado) – Engenharia Ambiental. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina e Apucarana- PR, 2020.

BOLDARINI, M. T. B. **Avaliação dos efeitos da contaminação de Cobre no solo sobre *Mentha crispa* L.** 2017. Dissertação (Mestrado) - Engenharia Ambiental. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina e Apucarana-PR, 2017.

CAMPOS, M. J. A. **Cádmio (Cd)**, 2022. Disponível em: <http://www.icb.usp.br/bmm/mariojac/index.php?option=com_content&view=article&id=42&Itemid=49&lang=br>. Acesso em: 05 jan 2022.

CETESB- Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Cádmio e seus compostos**, 2021. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/laboratorios/wp-content/uploads/sites/24/2021/05/Ca%CC%81dmio.pdf>>. Acesso em: 05 jan 2022.

CETESB- Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Valores orientadores para solos e águas subterrâneas**, 2014. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/blog/2014/02/27/cetesb-revisa-os-valores-orientadores-para-solos-e-aguas-subterraneas/>>. Acesso em: 04 jan 2022.

CETESB- Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Zinco**, 2017. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/laboratorios/wp-content/uploads/sites/24/2021/05/Zinco.pdf>>. Acesso em: 04 jan 2022.

CONAM. **Fitorremediação**, 2022. Disponível em: <<http://www.conam.eng.br/fitorremediacao>>. Acesso em: 10 jan 2022.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº. 420, de 28 de dezembro de 2009. Diário Oficial da União, 2009. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/areas-contaminadas/wp-content/uploads/sites/17/2017/09/resolucao-conama-420-2009-gerenciamento-de-acas.pdf>>. Acesso em: 21 jul 2022.

DEMATTE, J. A. M.; DEMÉTRIO, V. A. Caracterização de Solos por Padrões de Drenagem e sua Relação com Índices de Intemperismo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, n. 1, p. 87-95. Jan 1998.

DIMECH, G. S. *et al.* Avaliação do Extrato Hidroalcoólico de *Mentha crisper* sobre a Performance Reprodutiva em Ratos Wistar. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 16, n. 2, p. 152-157. Abr/Jun 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. 1, 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 SOLOS- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2 ed., 627 p., Rio de Janeiro, 2009.

EMBRAPA SOLOS- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Mapa de solos do Estado do Paraná**. 1. ed. Rio de Janeiro, 2007.

FASOLO, P. J. *et al.* **Guia para identificação dos principais solos do Estado do Paraná**. Brasília. EMBRAPA-DDT, 1986.

GOMES, M. C. **Adubação com vinhaça e sistemas de cultivo para rúcula**. 2018. Dissertação (Mestrado) – Ciências Agrárias. Universidade Federal do Piauí, Bom Jesus- PI, 2018.

GUIMARÃES, M. DE A. *et al.* Cadmium toxicity and tolerance in plants. Revista Trópica- Ciências Agrárias e Biológicas, v. 2, n. 2, p. 58–68, 2008.

ICZ- Instituto Cadeia do Zinco. **O Zinco e a Saúde**, 2022. Disponível em: <<http://www.icz.org.br/zinco-saude.php>>. Acesso em: 20 jul 2022.

INNECCO, R.; CRUZ, G. F.; VIEIRA, A. V.; MATTOS, S. H.; CHAVES, F. C. M. Spacing, cut time and harvest number in *Mentha x villosa* Huds. Revista Ciência Agronômica, v. 34, n. 2, p. 247-25, 2003.

ITCG- Instituto de Terras, Cartografia e Geologia do Paraná. **Mapa**, 2021. Disponível em:

<http://www.geoitcg.pr.gov.br/geoitcg/pages/templates/initial_public.jsf?jsessionid=kYhwBSHCy76KHlxFJgklQOqN-5amteph21k0qriX.scelepar75028?windowId=bae>.

Acesso em: 22 dez 2021.

LABORSOLO. **Micronutrientes: conhecendo o Zinco**, 2013. Disponível em: <<https://laborsolo.com.br/analise-quimica-de-solo/micronutrientes-conhecendo-o-zinco>>. Acesso em: 04 jan 2022.

LIMA, V. C.; LIMA, M. R.; MELO, V. F. **Conhecendo os principais solos do PARANÁ: abordagem para professores do ensino fundamental e médio**. 1. ed. Curitiba. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo / Núcleo Estadual Paraná, 2012.

LOURENÇO, L. F. A. **Agricultura Urbana: guia de boas práticas**. São Paulo. Instituto de Estudos Avançados, 2018.

LUO, J. S.; ZHANG, Z. Mechanisms of cadmium phytoremediation and detoxification in plants. **The Crop Journal**, n. 9, p. 521-529, 2021.

MEIJA, P. V. L. *et al.* Metodologia para Seleção de Técnica de Fitorremediação em Áreas Contaminadas. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, n. 31, p. 97-104. Mar 2014.

MELO, G. W. B.; ZALAMENA, J.; BRUNETTO, G.; CERETTA, C. A. Calagem, adubação e contaminação em solos cultivados com videiras. Embrapa Uva e Vinho, p. 1–140, ago, 2016.

MENEGAES, J. F. **Avaliação do potencial fitorremediador de plantas floríferas em solo contaminado com Cobre**. 2015. Dissertação (Mestrado) - Engenharia Agrícola. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria- RS, 2015.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. Portaria nº 518 de 2004. Disponível em: <https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/portaria_518_2004.pdf>. Acesso em: 21 jul 2022.

NEWTON MARTIN, T. *et al.* Uso o Software ImageJ na estimativa de área foliar para a cultura do feijão. **Interciencia**, v. 38, n. 12, p. 843-848. Dez 2013.

OFICINA DAS ERVAS. **Mentha crispa L.**, 2022. Disponível em: <<https://www.oficinadeervas.com.br/busca/?termo=mentha%20crispa>>. Acesso em: 11 jan 2022.

OLIVEIRA, S. D. DE *et al.* **Emprego de fungos filamentosos na biorremediação de solos contaminados por petróleo: estado da arte.** Rio de Janeiro. CETEM/MCT, 2008.

PAULUS, D. *et al.* Substratos na produção hidropônica de mudas de hortelã. **Horticultura Brasileira**, v.23, n.1, p.48-50. Jan - Mar 2005.

PAULUS, D. *et al.* Teor e qualidade do óleo essencial de menta (*Mentha arvensis* L.) produzida sob cultivo hidropônico e em solo. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v.9, n.2, p.80-87, 2007.

RODRIGUES, R. M. **Fitorremediação por meio de plantas ornamentais para recuperação de áreas urbanas contaminadas com Chumbo.** Dissertação (Mestrado) – Tecnologias Limpas do Centro. Unicesumar, Maringá-PR, 2016.

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. 1-11, 2014.

SILVA, A. F. **Plantas Aromáticas cultivadas em Latossolo Vermelho contaminado com Metais.** Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2021.

SIMÕES, V. PEREIRA. **Efeito do uso de agrominerais silicáticos no comportamento do Cádmio em solos contaminados e em plantas cultivadas.** Dissertação (Mestrado) – Ciências Ambientais. Universidade de Brasília, Brasília-DF, 2019.

SUVARAPU, L. N. Determination of heavy metals in the ambient atmosphere: A review. **Toxicology and Industrial Health**, v. 33, n. 1, p. 79–96, 2017.

TAVARES, S. R. DE L. **Fitorremediação em solo e água contaminadas por metais pesados provenientes da disposição de resíduos perigosos.** Tese (Doutorado) – Curso de Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

TAVARES, S. R. L.; OLIVEIRA, S. A.; SALGADO, C. M. Avaliação de espécies vegetais na fitorremediação de solos contaminados por metais pesados. **Holos**, v. 5, n. 29, p. 80-97, 2013.

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.

ZENDRON, R. Mecanismo de neurotoxicidade e doenças neurológicas relacionadas à intoxicação por metais pesados. **Revista Brasileira de Nutrição Funcional**, n. 64, p. 45–51, 2015.

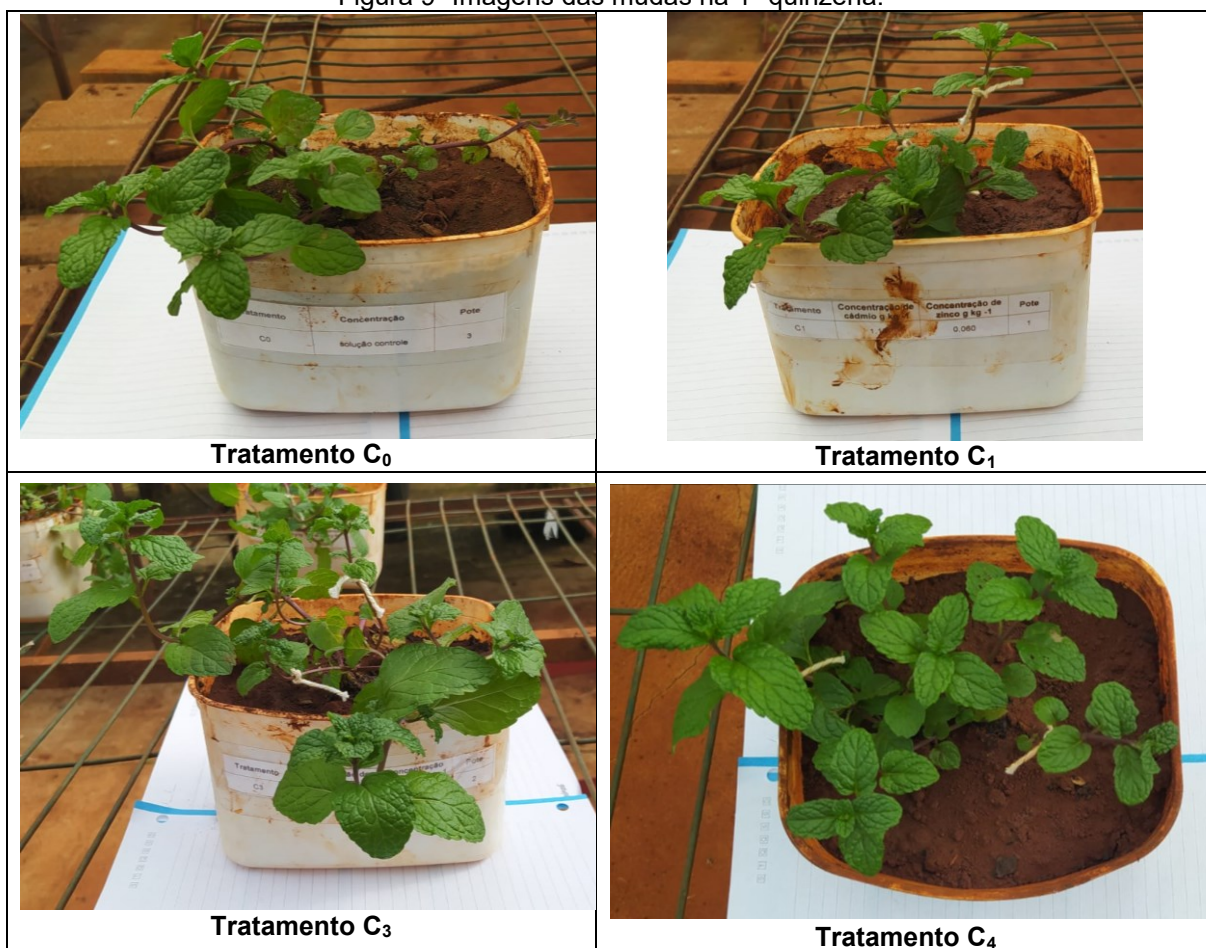
ZHELJAZKOV, V. D.; CRAKER, L. E.; XING, B. Effects of Cd, Pb, and Cu on growth and essential oil contents in dill, peppermint, and basil. **Environmental and Experimental Botany**, v. 58, n. 1–3, p. 9–16, 2006.

APÊNDICE A- IMAGENS COMPLEMENTARES DA ANÁLISE SINTOMATOLÓGICA DE *Mentha crispa* L.

Este apêndice aborda algumas quinzenas que não foram discutidas no Item 5.1.

Na primeira quinzena verificamos que as mudas dos tratamentos C₂ a C₅ já apresentaram diferença na área foliar quando comparadas ao controle, mostrando-se maiores, esse aumento pode ser explicado pelas plantas terem absorvido o Zn, este então atuou como micronutriente favorecendo seu desenvolvimento. Para todos os tratamentos as mudas eram de aparência saudável (Figura 1).

Figura 9- Imagens das mudas na 1ª quinzena.





Tratamento C₅

Fonte: Autoria Própria, 2022.

Na Figura 2, podemos verificar que na 4^a quinzena uma diminuição do fungo Oídio, sendo que as manchas esbranquiçadas diminuíram nas folhas das mudas.

Figura 2- Imagens das mudas na 4^a quinzena.



Tratamento C₀



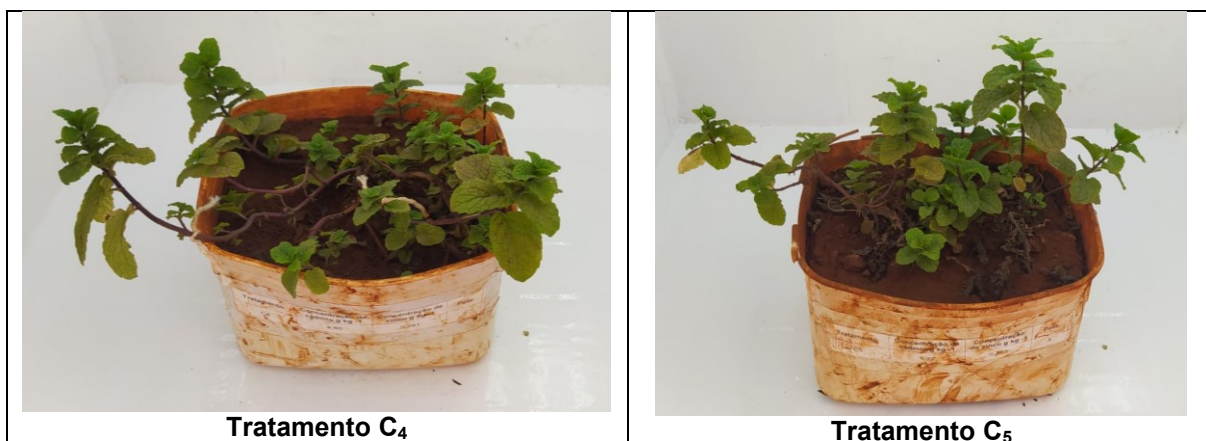
Tratamento C₁



Tratamento C₂



Tratamento C₃

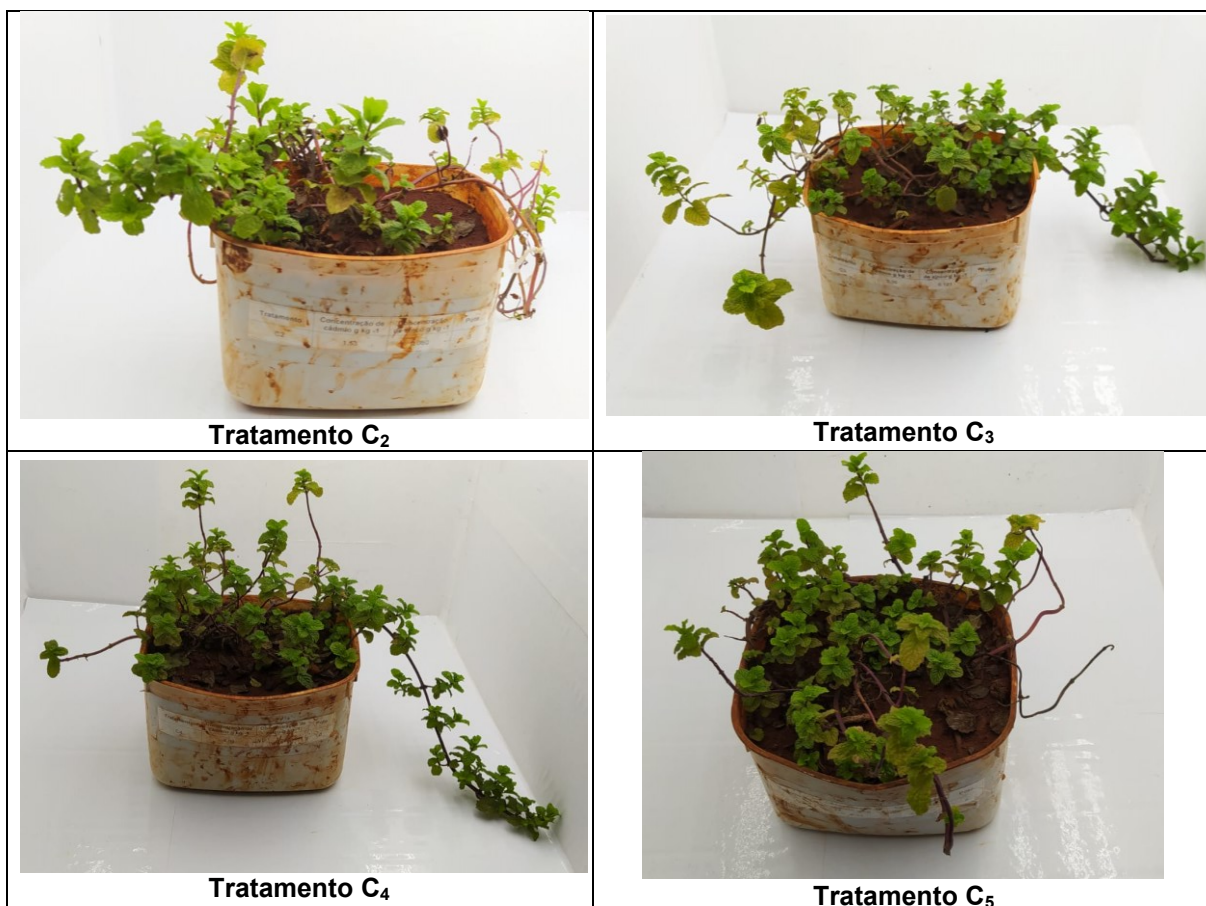


Fonte: Autoria Própria, 2022.

Como mostrado na Figura 3, os tratamentos não apresentam mais o fungo, sendo assim, na 5^a quinzena a doença foi controlada. Aumentou a produção de clorofila e número de brotos em todas replicatas. Nos tratamentos C₁ a C₅, voltaram a crescer as ramificações, e no tratamento controle houve um leve aumento na altura.

Figura 3- Imagens das mudas na 5^a quinzena.

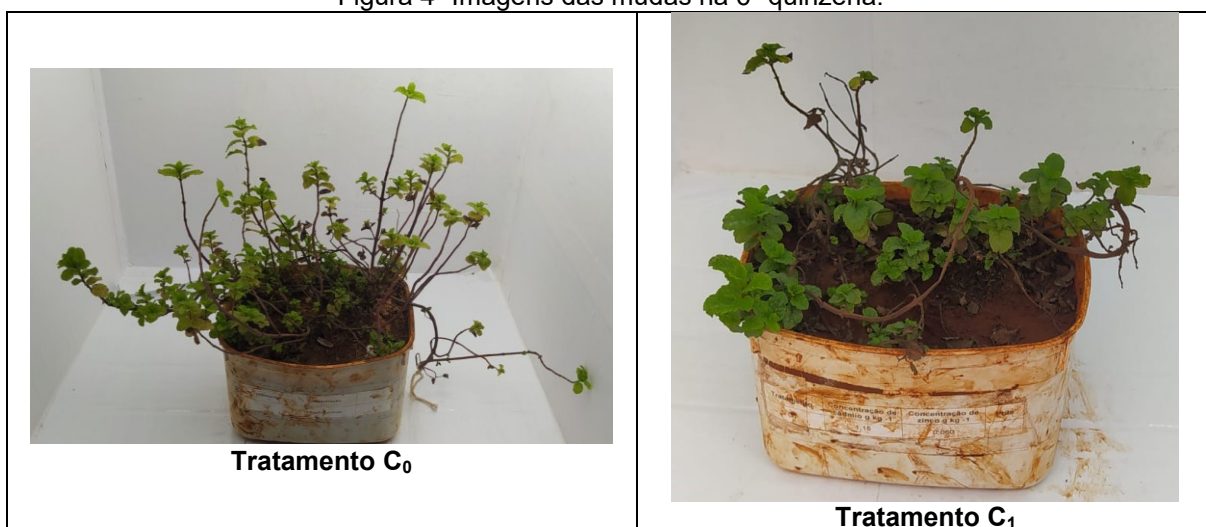


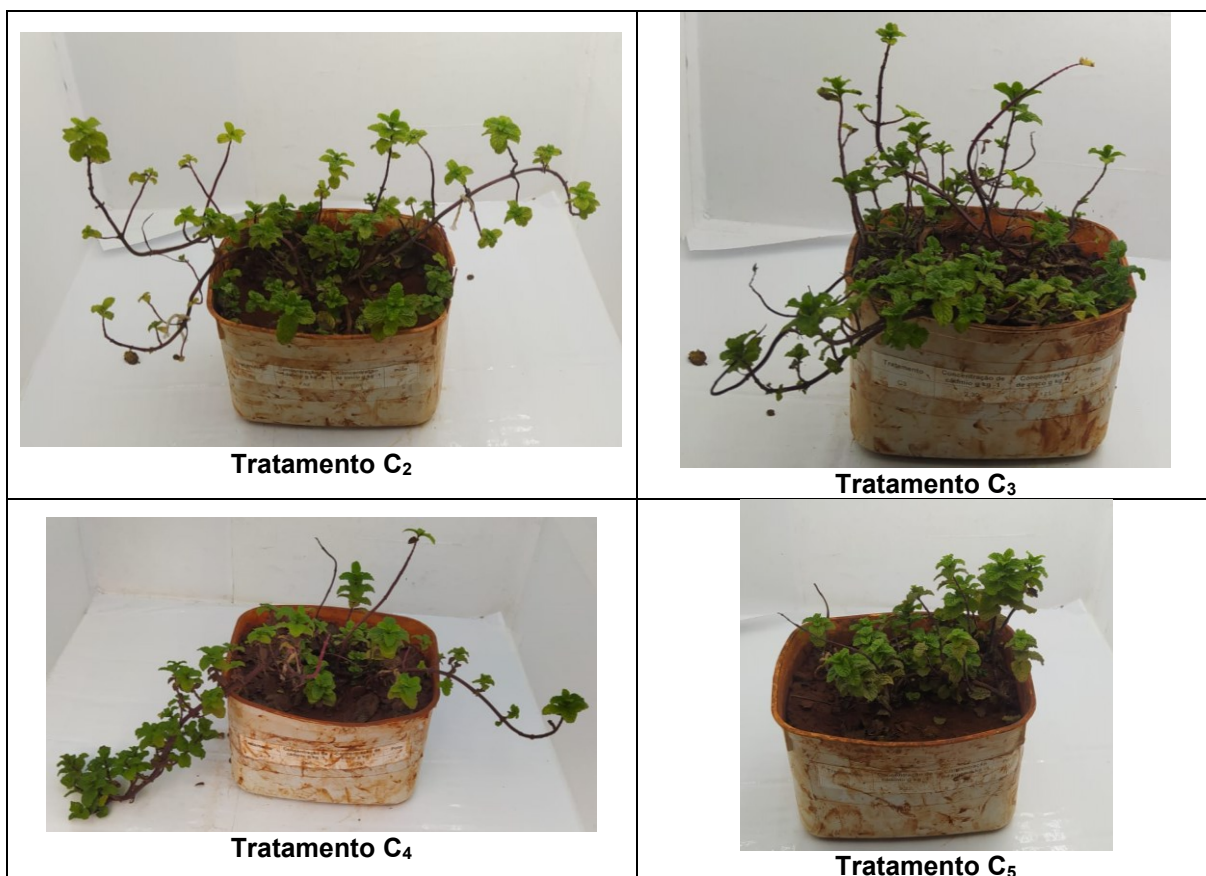


Fonte: Autoria Própria, 2022.

No 90° dia de cultivo, as mudas apresentaram pouca variação em relação a 5ª quinzena. Em todos os tratamentos há brotos em desenvolvimento e com isso a área foliar se mantendo com valores baixos, para a altura não notou aumento nos tratamentos (Figura 4).

Figura 4- Imagens das mudas na 6ª quinzena.

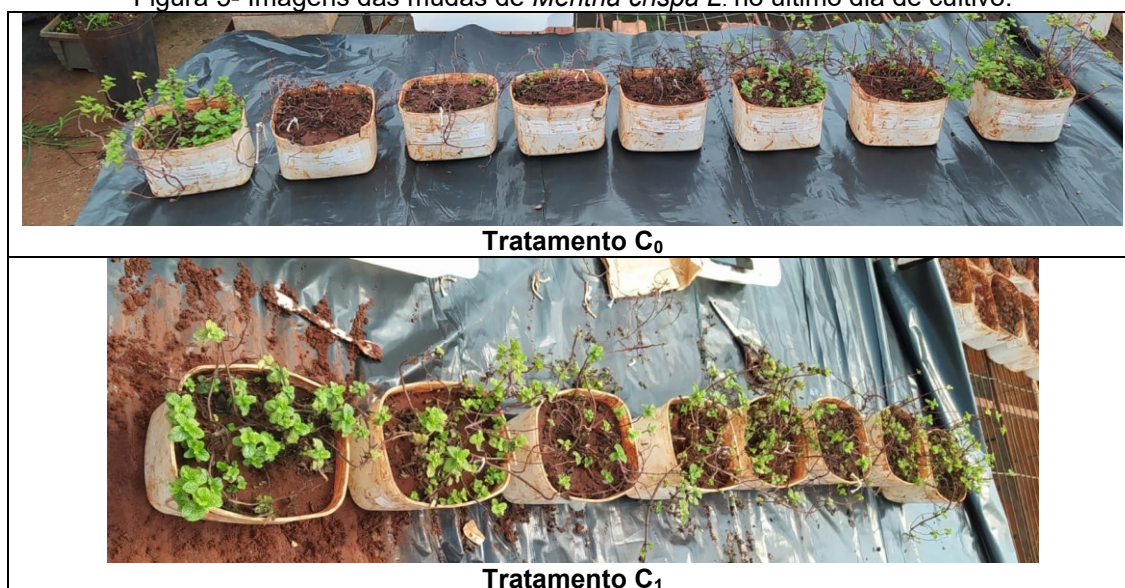




Fonte: Autoria Própria, 2022.

Com 115 dias de cultivos, as mudas tiveram de ser retiradas dos potes em decorrência da morte de algumas replicatas do tratamento C₀. A Figura 5 apresenta como as estavam as mudas de *Mentha crisper* L. de cada tratamento no último dia de cultivo.

Figura 5- Imagens das mudas de *Mentha crisper* L. no último dia de cultivo.





Tratamento C₂



Tratamento C₃



Tratamento C₄



Tratamento C₅

Fonte: Autoria Própria, 2022.