



UNIVERSIDADE
E D U A R D O
MONDLANE

Faculdade de Ciências

Departamento de Ciências Biológicas

Licenciatura em Ecologia e Conservação da Biodiversidade Terrestre

Culminação de Estudos II

Variante de Investigação

**Avaliação do potencial remediador de *Chloris virgata* sob efeito de
Cádmio e Crómio a partir da análise bioquímica.**

Autora:

Sharina Ibraímo

Maputo, Março de 2025



UNIVERSIDADE
E D U A R D O
MONDLANE

Faculdade de Ciências

Departamento de Ciências Biológicas

Licenciatura em Ecologia e Conservação da Biodiversidade Terrestre

Culminação de Estudos II

Variante de Investigação

**Avaliação do potencial remediador de *Chloris virgata* sob efeito de
Cádmio e Crómio a partir da análise bioquímica.**

Autor:

Sharina Ibraímo

Supervisores:

Prof. Doutor Orlando Quilambo;

Profa. Doutora Célia Martins;

Mestre Sónia Ventura Guilundo

Maputo, Março de 2025

Avaliação do potencial remediador de *Chloris virgata* sob efeito de Cádmio e Crómio a partir da análise bioquímica.

Agradecimentos

Em primeiro lugar, quero agradecer a Állah (DEUS), que sempre está à frente de tudo, e deu-me forças durante esta caminhada, pois é caminhando que se faz o caminho.

Agradeço aos meus pais e familiares pelo apoio e incentivo em todos os momentos que precisei, dando suporte para a realização da minha formação académica.

Agradeço ao meu querido primo, que sempre tomei como exemplo, João Filipe Papel, que desde cedo mostrou-me que a educação e formação são melhores caminhos a seguir.

Agradeço ao meu irmão, Momade Ibraímo, por estar sempre presente na minha vida e apoiar-me em todas as dificuldades que enfrentei ao longo da minha formação académica, e ao meu noivo, Oupa Nhambe, pelo apoio e compreensão durante a minha caminhada estudantil.

Agradeço aos meus amigos Abdul Jabar e Stella Ginalsa, pelo apoio e suporte em todas as fases da minha trajectória académica e por sempre acreditarem em mim.

Agradeço ao grupo de docentes da disciplina de fisiologia vegetal, por terem dado-me a oportunidade de fazer parte deste projecto, em especial à Supervisora Mestre Sónia Ventura Guilundo, ao Professor Dr. Orlando Quilambo, à Professora Dra. Célia Martins e ao Mestre Mário Machunguene, pela dedicação nas suas orientações, ensinamentos, conselhos, pela ajuda e pela paciência durante a trajectória do trabalho.

Agradeço aos meus colegas do projecto, especialmente ao Gildo Tamela e a Jéssica Matucanduva, pelo apoio, compreensão e companheirismo na jornada prática do projecto, e aos meus amigos e colegas de curso: Camilson Camilo, Isabel Pinho, Horácio Cossa, Makarios Manuel, Palmira Leopodo, Aceleit da Graça, Marcelo Novela, Agostinho Laquene e Issufo Sumbane, pelo companheirismo e pela troca de experiências que me permitiram crescer, não só como pessoa, mas também academicamente.

Agradeço à instituição de ensino UEM, aos meus professores do curso, aos técnicos do laboratório e aos funcionários da estufa, que foram essenciais no meu processo de formação académica, pela dedicação e por tudo o que aprendi ao longo dos anos do curso, e a todos que participaram, directa ou indirectamente, no desenvolvimento deste trabalho de pesquisa, enriquecendo o meu processo de aprendizagem.

Avaliação do potencial remediador de *Chloris virgata* sob efeito de Cádmio e Crómio a partir da análise bioquímica.

Declaração de honra

Declaro, pela minha honra, que o presente trabalho de Licenciatura em Ecologia e Conservação da Biodiversidade Terrestre, nunca foi apresentado na sua essência para a obtenção de qualquer grau académico ou em outro âmbito e que constitui o resultado da minha investigação e das orientações dos meus supervisores, estando devidamente citadas no trabalho todas as fontes consultadas e utilizadas.

(Sharina Ibraímo)

Maputo, Março de 2025

Avaliação do potencial remediador de *Chloris virgata* sob efeito de Cádmio e Crómio a partir da análise bioquímica.

Dedicatória

Dedico o resultado desta caminhada académica aos meus queridos tios, Jorge Penincela Nhambiu e Arminda Elias Nhambiu (em memória), os meus maiores incentivadores. Foram eles que transmitiram e ensinaram-me o valor da educação e da disciplina, sempre apoiando-me e sendo um verdadeiro pilar de esperança, sabedoria, respeito a Deus e amor em minha vida.

Resumo

O crescimento da população mundial nas últimas décadas, aliado à rápida industrialização, tem contribuído para o aumento dos níveis de poluição ambiental. Os impactos causados pelas actividades humanas manifestam-se nas alterações das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, podendo dessa forma prejudicar, directa ou indirectamente, a saúde, a segurança e o bem-estar da população.

Este estudo teve como objectivo avaliar o potencial remediador da *Chloris virgata* em solos contaminados por cádmio e crómio, analisando os parâmetros bioquímicos, a Clorofila *a* e *b*, Feofitinas *a* e *b*, e Caratenóides. As plântulas de *Chloris virgata* foram colhidas no Parque Industrial da Matola e cultivadas em 56 vasos, divididos em 4 tratamentos: 0g/L, 0.02g/L, 0.01g/L e 0.05g/L de cada metal, aplicados separadamente. As plântulas foram regadas com água corrente durante 20 dias. A colheita foi realizada aos 35 dias (5ª semana) e aos 60 dias (9ª semana) após a adição dos contaminantes, e foram determinadas as concentrações dos pigmentos fotossintéticos, a clorofila *a* e *b*, feofitinas *a* e *b* e caratenóides.

Os resultados obtidos revelaram que a espécie *Chloris virgata* apresentou potencial como planta fitorremediadora para o cádmio e crómio, uma vez que, na 5ª semana após a contaminação, verificou-se um aumento significativo da concentração de clorofila *a* e *b*, feofitinas *a* e *b*, e caratenóides, enquanto o tratamento de controle apresentou menores concentrações desses pigmentos. Na 9ª semana, observou-se também um aumento da concentração de clorofila *a* e *b*, feofitinas *a* e *b*, e caratenóides nos tratamentos 0.002g/L, 0.01g/L e 0.05g/L, comparativamente ao tratamento de controle. Contudo, os resultados não foram estatisticamente significativos.

O teste de correlação de Pearson na 5ª semana, mostrou uma relação positiva relativamente fraca a moderada, entre o cádmio e os pigmentos fotossintéticos. Para o crómio, verificou-se uma relação negativa, variando entre forte e fraca. Na 9ª semana, os resultados indicaram uma relação positiva forte a moderada entre cádmio e os pigmentos, enquanto, para o crómio, a relação variou de moderada negativa a fraca positiva. Esses resultados demonstram que o cádmio e o crómio influenciaram positivamente a *Chloris virgata*, comprovando, assim, o seu potencial como espécie fitorremediadora para ambientes contaminados por esses metais.

Avaliação do potencial remediador de *Chloris virgata* sob efeito de Cádmio e Crômio a partir da análise bioquímica.

Lista de Abreviaturas

ATP – Adenosina trifosfato

B– Barro

C – Carbono

Ca – Cálcio

Cd – Cádmio

Cla – Clorofila *a*

Clb – Clorofila *b*

cm – Centímetros

Cr – Crômio

Cu – Cobre

DCB – Departamento de ciências biológicas

Fe – Ferro

g – Gramas

Hg – Mercúrio

mg – Miligramas

ml – Mililitros

Mn – Manganês

Mg – Magnésio

M.O. – Matéria Orgânica

N – Nitrogênio

Na – Sódio

NaOH – Hidróxido de sódio

Ni – Níquel

Nm – Nanometros

Pb – Chumbo

UEM – Universidade Eduardo Mondlane

Zn – Zinco

Avaliação do potencial remediador de *Chloris virgata* sob efeito de Cádmio e Crômio a partir da análise bioquímica.

Lista de figuras

Figura 1. Mapa Da Localização Da Área De Estudo	15
Figura 2. Efeito De Cádmio E Crômio Na Concentração De Clorofila A Ao Longo Da Experiência Na 5ª Semana (A) E 9ª Semana (B) Após A Contaminação. Os Dados Referem-Se À Média De 9 Plantas $\pm$ Desvio Padrão.....	22
Figura 3. Efeito De Cádmio E Crômio Na Concentração De Clorofila B Ao Longo Da Experiência Na 5ª Semana (A) E 9ª Semana (B) Após A Contaminação. Os Dados Referem-Se À Média De 9 Plantas $\pm$ Desvio Padrão.....	23
Figura 4. Efeito De Cádmio E Crômio Na Concentração De Feofitinas A Ao Longo Da Experiência Na 5ª Semana (A) E 9ª Semana (B) Após A Contaminação. Os Dados Referem-Se À Média De 9 Plantas $\pm$ Desvio Padrão.....	24
Figura 5. Efeito De Cádmio E Crômio Na Concentração De Feofitina B Ao Longo Da Experiência Na 5ª Semana (A) E 9ª Semana (B) Após A Contaminação. Os Dados Referem-Se À Média De 9 Plantas $\pm$ Desvio Padrão.....	26
Figura 6. Efeito De Cádmio E Crômio Na Concentração De Caratenóides Ao Longo Da Experiência Na 5ª Semana (A) E 9ª Semana (B) Após A Contaminação. Os Dados Referem-Se À Média De 9 Plantas $\pm$ Desvio Padrão.....	27

Avaliação do potencial remediador de *Chloris virgata* sob efeito de Cádmio e Crômio a partir da análise bioquímica.

Lista de tabelas

Tabela 1. Número De Plântulas Por Vaso E Por Tratamento.....	17
Tabela 2. Características Físico-Químicas Do Solo Dos Arredores Da Estufa Do Dcb – Campus Da Uem, Utilizado Na Experiência.....	21
Tabela 3. Teste De Correlação De Pearson Entre A Concentração Do Cádmio E Crômio No Solo Com Os Pigmentos Fotossintéticos Na 5ª Semana.	28
Tabela 4. Teste De Correlação De Pearson Entre A Concentração Do Cádmio E Crômio No Solo Com Os Pigmentos Fotossintéticos Na 9ª Semana.	29

Índice

1. Introdução.....	1
1.1. Problema	3
1.2. Justificativa	4
2. Revisão Bibliográfica	5
2.1. Morfologia e Taxonomia de <i>Chloris virgata</i> ;.....	5
2.1.1. Descrição ecológica de <i>Chloris virgata</i> ;	5
2.1.2. Taxonomia <i>Chloris virgata</i>	5
2.2. Metais pesados	6
2.2.2. Efeito dos metais pesados nas plantas	7
2.2.3. Cádmio.....	7
2.2.4. Crômio	8
2.3. Pigmentos fotossintéticos.....	8
2.3.1. Clorofila.....	9
2.3.2. Feofitinas	9
2.3.3. Caratenóides	10
2.4. Fitorremediação	11
3. Objectivos.....	13
3.1. Geral:.....	13
3.2. Específicos:	13
4. Hipóteses	14
5. Área de estudo	15
6. Material e Métodos.....	16
6.1. Material.....	16
6.2. Métodos.....	17
6.2.1. Colheita das plântulas e do solo	17

Avaliação do potencial remediador de *Chloris virgata* sob efeito de Cádmio e Crómio a partir da análise bioquímica.

6.2.2.	Desenho experimental	17
6.2.3.	Análise bioquímica	18
6.3.	Plano de análise de dados	20
7.	Resultados	21
7.1.	Caracterização físico-química do solo	21
7.2.	Efeito do cádmio e crómio na concentração dos pigmentos fotossintéticos na 5ª e 9ª semanas após a contaminação.....	22
7.2.1.	Clorofila a	22
7.2.2.	Clorofila b.....	23
7.2.3.	Feofitinas a	24
7.2.4.	Feofitinas b	25
7.2.5.	Caratenóides	27
7.3.	Correlação entre a concentração de cádmio e crómio no solo com os pigmentos fotossintéticos 5ª semana.	28
7.3.1.	Correlação entre a concentração de cádmio e crómio no solo com os pigmentos fotossintéticos 5ª semana.	28
7.3.2.	Correlação entre a concentração de cádmio e crómio no solo com os pigmentos fotossintéticos 5ª semana.	29
8.	Discussão	30
8.1.	Efeito do cádmio na concentração dos pigmentos fotossintéticos.....	30
8.2.	Efeito do crómio na concentração dos pigmentos fotossintéticos	31
9.	Conclusão	34
10.	Limitações	35
11.	Recomendações.....	35
12.	Referências bibliográficas.....	36

1. Introdução

O crescimento da população mundial nas últimas décadas e sua rápida industrialização, tem contribuído para o aumento dos níveis de poluição ambiental (Nagajyoti *et al.*, 2010). A intensificação das actividades industriais, agrícolas e de urbanização tem aumentado o risco de poluição dos solos por metais pesados (Afonso, 2019).

Os metais pesados são poluentes ambientais, e sua toxicidade é um problema por razões ecológicas, evolutivas, nutricionais e ambientais. Definem-se como metais pesados qualquer elemento metálico que tenha uma densidade relativamente alta e seja tóxico ou venenoso, mesmo em baixa concentração (Mikkonen *et al.*, 2018).

A toxicidade dos metais pesados em plantas varia consoante a espécie da planta, o metal específico, a concentração, a forma química, a composição do solo e pH, uma vez que muitos metais pesados são considerados essenciais para o crescimento das plantas (Mikkonen *et al.*, 2018).

Os ambientes contaminados por metais pesados causam mudanças na comunidade de plantas (Fernández, 2017). As plantas desenvolvidas em solos contaminados respondem de diferentes formas a essa contaminação, podendo ser sensíveis, apresentando sintomas de toxicidade, ou tolerantes, desenvolvendo mecanismos de adaptação (Rodrigues *et al.*, 2016).

Compreender como determinadas plantas reagem ao efeito dos metais pesados é de extrema importância para aplicações futuras, sendo necessário entender como estes metais actuam nos parâmetros bioquímicos, de forma a criar mecanismos para recuperar solos contaminados por metais pesados.

A recuperação desses ambientes exige estudos detalhados sobre o solo, a vegetação e a água. Para a revegetação da área, é fundamental identificar espécies tolerantes, capazes de acumular os contaminantes (Sarwar *et al.*, 2017).

O monitoramento biológico tem recebido grande atenção por parte dos investigadores, sendo considerando um importante instrumento de avaliação da saúde ambiental, especialmente em ambientes degradados (Melo *et al.*, 2009). Para este monitoramento, têm sido utilizados organismos, como as plantas, que diferem na sua sensibilidade aos poluentes, podendo ser usadas como bioindicadores da qualidade do solo, do ar, e da água (Sarwar *et al.*, 2017).

Avaliação do potencial remediador de *Chloris virgata* sob efeito de Cádmio e Crómio a partir da análise bioquímica.

A fitorremediação constitui uma tecnologia ecologicamente sustentável e economicamente mais atraente que as tecnologias físico-químicas (Raskin *et al.*, 1994; Mulligan, *et al.*, 2001). Trata-se de uma solução menos dispendiosa, que consiste no uso de vegetação, *in situ*, e de microrganismos associados, para remover poluentes de solos contaminados (Chauhan e Mathur 2018).

A fitorremediação apresenta como principais vantagens o baixo custo e a possibilidade de aplicação em áreas extensas, sendo uma técnica de remediação *in situ* que não provoca contaminações secundárias (Tavares *et al.*, 2013).

A tecnologia de fitorremediação envolve mecanismos que podem conduzir à degradação, acumulação, dissipação ou imobilização do contaminante (Lázaro *et al.*, 2006; Mirza *et al.*, 2011; e Chauhan e Mathur 2018).

Nesta abordagem, para o caso de poluentes como os metais pesados, utilizam-se espécies capazes de tolerar elevadas concentrações de metais – plantas hipertolerantes – e/ou espécies que podem acumular quantidades significativas de metais nos seus tecidos (Barbosa, 2014).

A *Chloris virgata* é uma espécie de erva anual que atinge cerca de meio metro de altura máxima e desenvolve-se em áreas propensas à descarga de diversos tipos de poluentes provenientes das indústrias (Melo e Oliveira 2009).

O presente estudo tem como objectivo avaliar o potencial remediador da *Chloris virgata* sob o efeito de Cádmio e Crómio, com base na análise de alguns parâmetros bioquímicos.

1.1.Problema

O Parque Industrial da Matola engloba várias indústrias, sendo que muitas não possuem qualquer sistema de tratamento dos resíduos ou, por vezes, estão inoperacionais (Sumalgy, 2011). Muitos seres vivos estão hoje expostos a níveis desses metais muito superiores aos observados nos séculos pré-industriais (Barbosa, 2014).

Níveis excessivos de metais nos solos podem resultar na degradação da sua qualidade, na redução do rendimento das culturas e na fraca qualidade dos produtos agrícolas, podendo ocasionar a contaminação das águas e dos alimentos de origem vegetal. Esse processo acarreta riscos para o Homem, os animais e o ambiente, através da bioacumulação e transferência entre níveis tróficos (Barbosa, 2014).

Os riscos à saúde dependem da quantidade e da toxicidade dos metais pesados, especialmente para aqueles que, na sua dieta, consomem espécies de plantas que crescem em solos contaminados (Afonso, 2019).

A sobrevivência das espécies que crescem em solos contaminados está relacionada com a sua capacidade de tolerar, e não de anular, a toxicidade do elemento contaminante (Silva, 2019). Dessa forma, surge a seguinte questão: poderá a *Chloris virgata* ser utilizada para remediar solos contaminados por Cádmio e Crómio?

1.2. Justificativa

As técnicas de fitorremediação são benéficas para a remoção de compostos tóxicos em solos contaminados, evitando o custo elevado associado ao uso de técnicas convencionais para a remoção destes no solo, podendo ser aplicadas para remediar e estabilizar o solo através de plantas tolerantes que ocorrem naturalmente nas áreas industriais da Matola, Moçambique.

Muitas pesquisas têm sido conduzidas com o intuito de determinar que espécies de plantas capazes de produzir elevados rendimentos de biomassa e tolerar e/ou acumular metais pesados. No entanto, Vassão (2019) constatou, nos seus estudos, a ausência de resultados positivos relativamente a gramíneas com a capacidade de tolerância aos metais pesados.

Contudo, o número de plantas conhecidas por possuírem essa capacidade é ainda reduzida, tanto a nível mundial como em Moçambique (EPA, 2000; Baker *et al.*, 2000).

Dessa forma, justifica-se a necessidade de encontrar soluções para o tratamento de solos contaminados por metais pesados em áreas industriais na Matola, não apenas devido ao potencial risco que estes podem constituir para a saúde pública, mas também porque esses solos não poderão ser utilizados para a produção de culturas agrícolas alimentares (Dauber *et al.*, 2012).

Avaliação do potencial remediador de *Chloris virgata* sob efeito de Cádmio e Crômio a partir da análise bioquímica.

2. Revisão Bibliográfica

2.1. Morfologia e Taxonomia de *Chloris virgata*

2.1.1. Descrição ecológica de *Chloris virgata*

A *Chloris virgata* é uma gramínea perene, que pode crescer e atingir até cerca de meio metro de altura máxima. Por vezes, forma tufos e pode ou não propagar-se por estalões. A intumescência apresenta-se como uma matriz de 4 a 20 ramos, semelhantes a dedos, com até 10 centímetros de comprimento. Cada ramo contém aproximadamente 10 espiguetas por centímetro, sendo que cada espiguetas possui uma florzinha fértil e uma ou duas florzinhas estéreis.

Esta espécie é nativa em regiões temperadas, subtropicais e tropicais quentes do mundo, incluindo partes da África e Américas, estando também presente em muitas outras áreas como espécie introduzida, como na Austrália (Wageneer, 2000).

2.1.2. Taxonomia *Chloris virgata*

Reino: Plantae

Clado: Traqueófitas

Clado: Angiospérmicas

Clado: Monocotiledóneas

Ordem: Poales

Família: Poaceae

Género: *Chloris*

Espécie: *Chloris virgata*

2.2. Metais pesados

Existem cerca de cinquenta e três metais pesados, alguns dos quais não possuem importância biológica. Devido à sua solubilidade, sob condições fisiológicas, dezassete metais pesados podem estar disponíveis para organismos e ecossistemas.

Os metais pesados são elementos químicos, que apresentam densidade superior a 5 g.cm⁻³. Alguns desses metais, incluindo ferro (Fe), molibdênio (Mo), manganês (Mn), zinco (Zn), cobre (Cu) e níquel (Ni), são micronutrientes essenciais para as plantas. Por outro lado, vanádio (V), cobalto (Co) e crômio (Cr) não desempenham funções vitais nas plantas. embora possam ter alguma importância para determinadas espécies vegetais, por outro lado, o cádmio (Cd), mercúrio (Hg), chumbo (Pb) e urânio (U), além de não serem essenciais, ou benéficos para as plantas, podem ser extremamente tóxicos em baixas concentrações. Todos os metais pesados, são altamente tóxicos mesmo quando presentes em baixas concentrações.

Todos os metais pesados são altamente tóxicos, mesmo quando presentes em quantidades reduzidas, e estão entre os principais responsáveis pelos problemas de saúde decorrentes da poluição ambiental (Sliwinski, 2022).

2.2.1. Fontes dos metais pesados no solo

Os metais pesados encontram-se naturalmente presentes nos solos, mesmo na ausência de perturbações antrópicas. No entanto, a sua concentração no ambiente pode aumentar tanto por processos naturais como por atividades antropogénicas (López, 2015).

As fontes naturais de metais pesados incluem actividade vulcânica, poeiras, corrosão de metais, aerossóis de sal marinho e biológicos, ressuspensão de sedimentos, erosão do solo, intemperismo geológico e incêndios florestais (Briffa *et al.*, 2020).

As principais fontes antropogénicas de contaminação dos solos por metais pesados incluem o uso de insumos agrícolas (tais como agroquímicos pesticidas, calcários, fertilizantes minerais e orgânicos, além da irrigação com água contaminada), a queima de carvão mineral e petróleo, a actividade metalúrgica (envolvendo mineração, beneficiamento do minério, fundição e fabricação de metais), a incineração de resíduos urbanos, o fabrico de baterias, as usinas de energia, a microelectrónica e os depósitos de resíduos, entre outras fontes (López, 2015; Souza, 2021).

Avaliação do potencial remediador de *Chloris virgata* sob efeito de Cádmio e Crómio a partir da análise bioquímica.

2.2.2. Efeito dos Metais Pesados nas Plantas

A acumulação de metais pelas plantas depende de factores como o pH, o teor de matéria orgânica, a textura do solo, a temperatura, a luminosidade, a humidade, a concentração do metal, a presença de aniões, correctivos e fertilizantes, a aeração, o potencial redutor do solo e a presença de micorrizas (De Sousa, 2018).

Alguns metais ficam armazenados nas raízes, provavelmente devido à presença de barreiras fisiológicas que impedem o seu transporte para as partes aéreas da planta, enquanto outros são facilmente transportados para os tecidos vegetais. Os metais pesados, na forma de sais, como cromatos, nitratos, cloretos e sulfatos são absorvidos mais facilmente pelas plantas do que na forma de lodos industriais ou domésticos. Esse fenómeno ocorre porque na forma de iões os metais têm maior capacidade de se complexar com aminoácidos livres ou proteínas presentes nas plantas (Garbisu e Alkorta, 2001 citados por De Sousa, 2018).

2.2.3. Cádmio

O cádmio (Cd) é um dos principais contaminantes ambientais e também um dos metais pesados mais tóxicos. Foi descoberto em 1817 por Stromeyer, como uma impureza do carbonato de zinco. Trata-se de um metal de transição não essencial, de cor branca-prateada, lustroso, maleável e flexível. Geralmente, encontra-se sob a forma de ião metálico bivalente. (Vieira *et. al.*, 2015).

As fontes naturais de cádmio são principalmente resultante de emissões vulcânicas, emissões biogénicas e partículas transportadas pelo vento. Já as fontes antropogénicas estão maioritariamente ligadas a actividades industriais, tais como a produção de ligas metálicas, ferro, aço, cimento, pigmentos, baterias e a incineração de resíduos. Outras fontes incluem a combustão de combustíveis fósseis, processos metalúrgicos, galvanoplastia, fabrico de pilhas, baterias, esmaltes, vidros, tintas, lâmpadas fluorescentes, resíduos de pneus, lubrificantes, carvão mineral e fungicidas. Quando lançados indiscriminadamente no ambiente, estes resíduos podem tornar-se fontes significativas de contaminação (Vieira *et. al.*, 2015).

No ambiente, o cádmio tende a concentrar-se nos solos e nos sedimentos de sistemas aquáticos, tornando-se disponível para absorção pelas raízes das plantas. Dessa forma, o acúmulo de Cd nos tecidos de espécies vegetais aumenta o risco de transferência desse

Avaliação do potencial remediador de *Chloris virgata* sob efeito de Cádmio e Crómio a partir da análise bioquímica.

metal ao longo da cadeia alimentar, podendo afectar assim, os seres humanos e animais (Vecchia *et al.*, 2005).

2.2.4. Crómio

O crómio é um metal não-essencial e altamente tóxico para os microrganismos e plantas, sendo de ocorrência rara na natureza. Nos últimos anos, tem sido considerado como um dos principais contaminantes ambientais. Encontra-se em diversas formas, mas a forma mineral comercialmente viável para extracção é a cromite (Barbosa, 2014).

O crómio pode apresentar diferentes estados de oxidação, variando de +2 a +6. O estado VI (cromatos e dicromatos), é altamente oxidante e o mais tóxico. Em meio ácido, o crómio assume a forma de ião dicromato ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$), caracterizando-se por uma elevada capacidade de oxidação (Fernández, 2017).

O aumento da concentração de crómio no meio ambiente está associado à descarga de efluentes provenientes de diversas indústrias, tais como a produção de aço, indústrias de galvanoplastia, química, plásticos, papel e papelão, fabricação de automóveis e aeronaves, produção de vidros, cimento, têxteis, couro, pigmentos, tintas, cerâmicas e fungicidas, entre outras. Além disso, contribuem para essa contaminação as descargas provenientes de refinarias de petróleo, mineração e deposição de resíduos sólidos em áreas cultivadas, bem como a erosão de depósitos naturais (Sliwinski, 2022).

A exposição prolongada ao crómio pode provocar danos aos rins e ao fígado, e uma exposição excessivamente longa pode causar problemas no sistema circulatório e nos tecidos nervosos. Além disso, o crómio está associado a problemas cutâneos, nasais, bronco-pulmonares, gastrointestinais e carcinogénicos (Alcantara, 2017).

2.3. Pigmentos fotossintéticos

A luz é um dos factores ambientais mais importantes que regulam o crescimento e desenvolvimento das plantas. Estima-se que entre 90% e 95% da matéria seca total das plantas seja biossintetizada por meio de processos fotossintéticos (Tie *et al.*, 2016). Além disso, a qualidade da luz também desempenha um papel fundamental no controle de processos fisiológicos e metabólicos das plantas, influenciando a fotossíntese, a taxa de exportação de fotoassimilados, e a acumulação de carboidratos (Li *et al.*, 2017 e Lanoue *et al.*, 2018)

Avaliação do potencial remediador de *Chloris virgata* sob efeito de Cádmio e Crómio a partir da análise bioquímica.

As espécies vegetais são autotróficas, produzindo o seu próprio alimento a partir de fontes abióticas e minerais, suprimindo a energia necessária para todos os processos fisiológicos da planta. Esse processo é possível graças à presença de organelas especializadas denominadas cloroplastos.

Os cloroplastos são encontrados exclusivamente em vegetais, algas e cianobactérias, e têm como função principal a absorção da energia luminosa do Sol e a sua conversão em energia química (ATP). Essas organelas são compostas por pigmentos fotossintéticos, os quais actuam como receptores da energia solar. Os principais pigmentos incluem a clorofila *a*, clorofila *b*, caratenóides e xantofilas (Kluge, 2012; González, 2014).

2.3.1. Clorofila

As clorofilas são pigmentos naturais amplamente presentes nas plantas, ocorrendo nos cloroplastos das folhas e em outros tecidos vegetais. As diferenças na coloração dos vegetais resultam da presença e a distribuição variável de outros pigmentos associados, tais como os caratenóides (Li *et al*, 2017)

Existem duas formas naturais de clorofilas, classificadas como clorofila *a* ($C_{55}H_{72}O_5N_4Mg$) e clorofila *b* ($C_{55}H_{70}O_6N_4Mg$). Essas estruturas apresentam pequenas diferenças e são encontradas numa proporção de 2,5 a 3,5:1. A distinção estrutural entre ambas encontra-se no grupo R: na clorofila *a*, o substituinte é um grupo metilo ($-CH_3$), enquanto na clorofila *b*, há um aldeído ($-CHO$) nessa posição.

São compostos insolúveis em água, ou seja, hidrofóbicos, cuja principal função é converter energia luminosa em energia química, processo que ocorre nos cloroplastos (Li *et al*, 2017 e Sangaletti, 2019).

Estes pigmentos são quimicamente instáveis, sendo sensíveis à luz, a altas temperaturas, ao oxigénio e à degradação química. Quando alterados ou degradados, podem afectar a percepção e a qualidade visual dos tecidos vegetais (Dias *et al.*, 2020).

2.3.2. Feofitinas

Através de vários experimentos, incluindo ressonância paramagnética electrónica (EPR), foi demonstrado que a feofitina é uma molécula redutível e que actua como o principal aceptor de electrões entre o fotossistema II e a plastoquinona (Vyacheslav, 2003).

Avaliação do potencial remediador de *Chloris virgata* sob efeito de Cádmio e Crómio a partir da análise bioquímica.

A feofitina é uma molécula derivada da clorofila que não possui o ião Mg^{2+} . Em 1977, os cientistas Klevanik, Klimov e Shuvalov realizaram uma série de experimentos que demonstraram que a feofitina funciona como o principal aceitador de electrões no fotossistema II.

Os mecanismos e funções gerais das moléculas de feofitina são análogos em diferentes cadeias de transporte electrónico. Tanto no fotossistema II como no centro de reacção P870, a luz remove electrões do centro de reacção por intermédio da feofitina, que então transfere os electrões para bactérias roxas (RC P870). Esse processo ocorre tanto no fotossistema II das plantas como em centros de reacção do tipo II em organismos fotossintéticos (Vyacheslav, 2003).

A feofitina *a* é a forma mais comum, sendo equivalente à clorofila *a*, o principal pigmento fotossintético. No entanto, também existe a feofitina *b*, que corresponde à clorofila *b*. As feofitinas desempenham um papel essencial na fotossíntese, actuando como primeiros transportadores intermediários de electrões na cadeia de transferência de electrões do fotossistema II em plantas (PS II) (Vyacheslav, 2003).

2.3.3. Caratenóides

Os caratenóides são tetraterpenos (compostos com 40 átomos de carbono) derivados dos isoprenoides. São lipofílicos e geralmente apresentam coloração intensa, uma vez que absorvem a luz em diferentes faixas do espectro luminoso (400-550 nm), conferindo-lhes tonalidades amarelas, laranjas, vermelhas e acastanhadas. Esses compostos são sintetizados por bactérias, fungos, plantas e algas (Neverov, 2017).

Os caratenóides dividem-se em dois grupos principais: carotenos, compostos exclusivamente por hidrocarbonetos, e xantofilas, também designadas oxicarotenóides, quem contêm átomos de oxigénio na sua estrutura. Embora existam centenas de caratenóides distintos, a maioria partilha características estruturais semelhantes, devido à sua importância funcional no processo fotossintético (Eun, 2015).

Os caratenóides são um dos grupos mais relevantes de pigmentos naturais, destacando-se pela sua ampla distribuição, diversidade estrutural e múltiplas funções. Além disso, actuam como corantes naturais, sendo responsáveis pelas cores laranja, amarela e vermelha das frutas, hortaliças e de várias espécies de vegetais.

Avaliação do potencial remediador de *Chloris virgata* sob efeito de Cádmio e Crômio a partir da análise bioquímica.

A sua característica estrutural mais marcante é a presença de uma cadeia longa com duplas ligações conjugadas, formando um sistema conhecido como grupamento cromóforo, responsável pela absorção da luz (Neverov, 2017).

2.4. Fitorremediação

A fitorremediação é uma tecnologia que utiliza plantas e a sua microbiota para tratar ambientes contaminados, apresentando custos reduzidos em comparação com outras tecnologias (Sampaio, 2015). Possui diversas vantagens, tais como o baixo custo, a possibilidade de aplicação *in situ* em áreas extensas e a capacidade de actuar sobre diferentes tipos de poluentes. Além disso, permite um fácil monitoramento do processo, a manutenção da qualidade do solo, o estímulo à vida dos organismos e a possibilidade de ser combinada com outros métodos de remediação (Silva *et al.*, 2019).

A fitorremediação pode ocorrer através de diferentes processos, incluindo fitoextração, fitoacumulação, fitodegradação, fitovolatilização, fitoestimulação e fitoestabilização (Ho *et al.*, 2014). Estes processos dependem das características morfofisiológicas de cada espécie vegetal (Ho *et al.*, 2014).

A fitoextração consiste na absorção do contaminante presente no ambiente pelas plantas (Sampaio, 2015). Já a fitoacumulação refere-se à capacidade que algumas espécies vegetais têm de armazenar poluentes nos seus tecidos em níveis superiores aos das plantas comuns (Procópio *et al.*, 2009 citado por Sampaio, 2015). Algumas plantas hiperacumuladoras podem reter metais em quantidades até cem vezes superiores às das espécies não acumuladoras (Lambert *et al.*, 2012).

A fitotransformação baseia-se na capacidade que algumas espécies de plantas têm de metabolizar determinados compostos tóxicos, tornando-os não tóxicos ou menos tóxicos (Coutinho *et al.*, 2015). Esta forma de fitorremediação é especialmente aplicada na remediação de compostos orgânicos (Coutinho *et al.*, 2015).

A fitovolatilização consiste na remoção de poluentes do meio através da sua volatilização. O poluente pode ser absorvido pela planta, metabolizado e posteriormente libertado para a atmosfera sob a forma de vapor de água. A volatilização pode ocorrer através da biodegradação na rizosfera ou após a translocação para a parte aérea da planta (Vasavi *et al.*, 2010). No caso da absorção do poluente, este pode passar por diversos processos metabólicos internos, sendo libertado na superfície das folhas (Lambert *et al.*, 2012).

Avaliação do potencial remediador de *Chloris virgata* sob efeito de Cádmio e Crômio a partir da análise bioquímica.

A fitoestimulação envolve a interação entre a raiz e o solo, promovendo o crescimento da comunidade microbiana na região da rizosfera. Esta proliferação microbiana deve-se à exsudação de nutrientes, aminoácidos e polissacarídeos pelas raízes da planta, o que facilita a degradação dos contaminantes (Coutinho *et al.*, 2015).

A fitoestabilização pode ser entendida como um conjunto de mecanismos físicos, químicos e físico-químicos (Lambert *et al.*, 2012). No processo físico, as plantas protegem o solo da acção dos ventos e da chuva, reduzindo a erosão e o transporte contaminado. No processo químico, a interação entre as raízes e o solo pode alterar a solubilidade e a mobilidade dos metais, bem como modificar a sua composição química. Essa alteração pode ocorrer por meio da exsudação de substâncias pelas raízes, pela variação do pH do solo ou pela produção de gás carbónico. Durante esse processo, o poluente pode ser imobilizado, tornando-se estável por meio de sua lignificação ou humificação (Lambert *et al.*, 2012).

Avaliação do potencial remediador de *Chloris virgata* sob efeito de Cádmio e Crómio a partir da análise bioquímica.

3. Objectivos

3.1. Geral:

- ✓ Avaliar o efeito de diferentes metais pesados (cádmio e crómio) nos parâmetros bioquímicos de *Chloris virgata*.

3.2. Específicos:

- ✓ Determinar a concentração dos pigmentos fotossintéticos em *Chloris virgata* sob a influência de diferentes concentrações de cádmio e crómio.
- ✓ Comparar a variação da concentração de pigmentos fotossintéticos em *Chloris virgata* em resposta à exposição a diferentes concentrações de cádmio e crómio.
- ✓ Relacionar a concentração de metais pesados no solo com as concentrações dos pigmentos fotossintéticos nas plantas.

4. Hipóteses

A capacidade natural de hiperacumulação ocorre em mais de 450 espécies de plantas superiores, sendo a maioria plantas do *habitus graminial* e herbáceo (Bomfim, 2020).

Segundo Arndt *et al.*, (1995) e Moraes *et al.*, (2000), o monitoramento biológico tem sido alvo de crescente atenção por parte de ecologistas e toxicologistas nos últimos anos, sendo considerado um poderoso instrumento para avaliar a saúde ambiental, especialmente em ambientes degradados pela contaminação com elementos químicos e poluentes. Os autores afirmam ainda que os organismos vivos, como as plantas, possuem diferentes graus de sensibilidade aos poluentes e contaminantes, podendo ser utilizados como bioindicadores da qualidade do ar, do solo e da água.

Com base nos pressupostos acima, as hipóteses de estudo são as seguintes:

H₀: A *Chloris virgata* não pode ser utilizada para a remediação de áreas contaminadas por cádmio e crómio;

H₁: A *Chloris virgata* pode ser utilizada para a remediação de áreas contaminadas por cádmio e crómio.

Avaliação do potencial remediador de *Chloris virgata* sob efeito de Cádmio e Crómio a partir da análise bioquímica.

5. Área de estudo

Os dados deste estudo foram recolhidos no Parque Industrial da Matola.

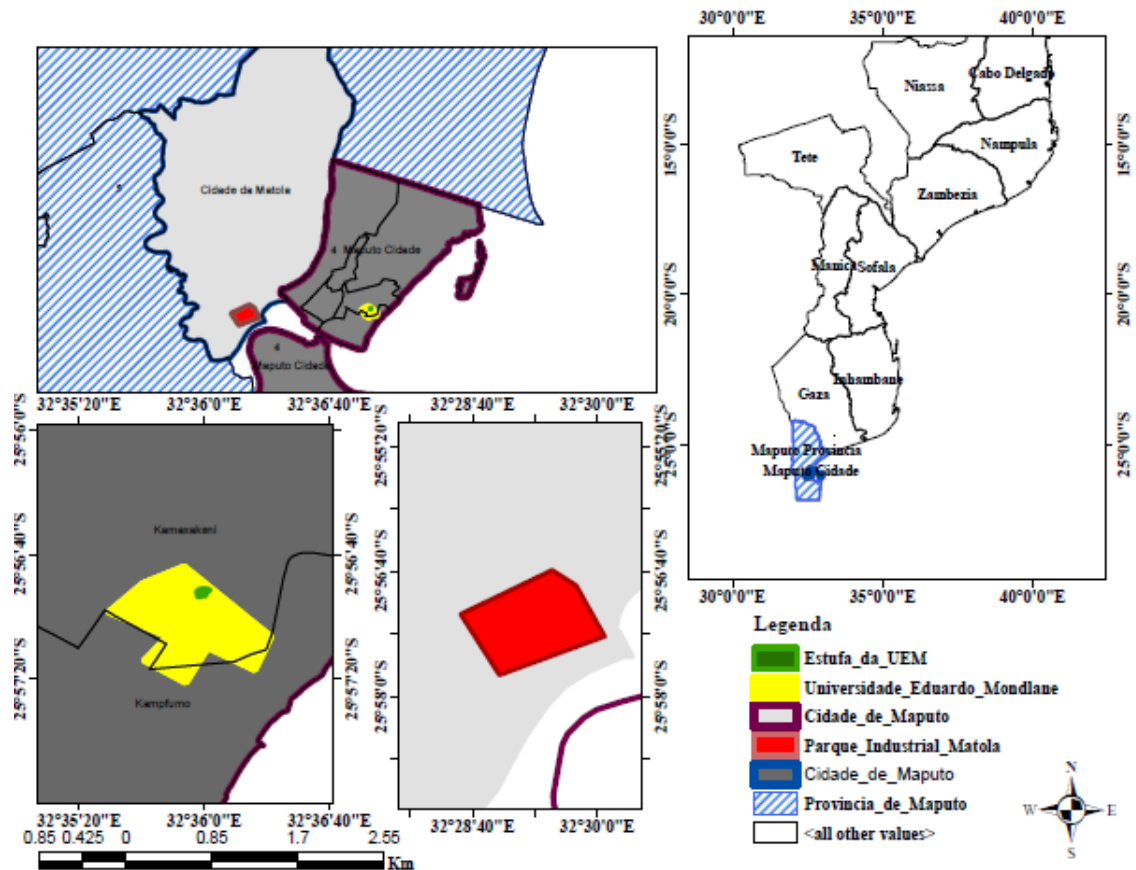


Figura 1. Mapa da localização da área de estudo

Este estudo foi realizado na Universidade Eduardo Mondlane, onde a experiência foi conduzida na estufa e as análises foram efectuadas no Laboratório de Fisiologia Vegetal do Departamento de Ciências Biológicas (DCB), situado no Campus Universitário Eduardo Mondlane.

A Cidade da Matola localiza-se na província mais a sul de Moçambique, ocupando uma área de 373 km². Nesta cidade situa-se o Parque Industrial da Matola (PIM), um importante polo industrial do país. As unidades industriais que compõem este parque apresentam um elevado grau de diversificação, abrangendo sectores agro-industriais, indústrias metalomecânicas e produção de materiais de construção (Miquidade, 2018).

6. Material e Métodos

6.1. Material

- Almofariz;
- Balão volumétrico;
- Bisturi;
- Conta-gotas;
- Copos de Becker;
- Envelopes de papel;
- Luvas;
- Marcador;
- Máscaras de protecção individual;
- Moinhos de bolas;
- Papel absorvente;
- Papel de alumínio;
- Pinças;
- Porta amostra;
- Régua;
- Tesoura;

Equipamentos

- Balança analítica FA2004B;
- Balança portátil;
- Espectrofotómetro UV-2005;

Reagentes

- Água destilada;
- Acetona a 80%.
- HCL 0.06N

Avaliação do potencial remediador de *Chloris virgata* sob efeito de Cádmio e Crómio a partir da análise bioquímica.

6.2.Métodos

O presente estudo teve como objectivo avaliar o potencial remediador de *Chloris virgata* em solos contaminados por metais pesados (cádmio e crómio). Para tal, foram avaliados e analisados os pigmentos fotossintéticos, nomeadamente: clorofila (a) e (b), feofitinas (a) e (b) e caratenóides.

6.2.1. Colheita das Plântulas e do Solo

As plântulas de *Chloris virgata* foram colhidas nos arredores do Parque Industrial da Matola, enquanto o solo utilizado na experiência foi colectado no Campus Universitário da Universidade Eduardo Mondlane.

6.2.2. Desenho Experimental

A experiência foi realizada na estufa do Departamento de Ciências Biológicas (DCB) entre Março e Agosto de 2023.

Para o cultivo, foram utilizados 56 vasos, cada um contendo 5 plântulas, submetidas 4 tratamentos com diferentes concentrações de metais pesados: 0g/L, 0.02g/L, 0.01g/L e 0.05g/L de cádmio e crómio.

Este procedimento foi aplicado separadamente para cada metal, permitindo avaliar a capacidade da *Chloris virgata* como potencial fitorremediadora de solos contaminados com cádmio e crómio.

Tabela 1. Número de plântulas por vaso e por tratamento.

Grupos	Tratamentos	Nº de vasos por tratamento	Nº de plântulas por vaso	Nº de plântulas colhidas por tratamento
I	Controle	8	5	9
II a)	0.002g/L de Cd	8	5	9
II b)	0.01g/L de Cd	8	5	9
II c)	0.05g/L de Cd	8	5	9
III a)	0.002g/L de Cr	8	5	9
III b)	0.01/L de Cr	8	5	9
III c)	0.05g/L de Cr	8	5	9

Avaliação do potencial remediador de *Chloris virgata* sob efeito de Cádmio e Crómio a partir da análise bioquímica.

As plântulas foram cultivadas em vasos e regadas com água corrente em dias alternados, durante um período de 20 dias, de modo a permitir a sua adaptação e regeneração. Após esse período, foi adicionada a cada grupo de tratamento uma solução contaminante na quantidade de 100ml.

A colheita das plantas foi realizada em dois momentos: a primeira colheita ocorreu aos 35 dias (quinta semana) após a adição do contaminante e a segunda colheita foi realizada aos 60 dias (nona semana).

Nos dois momentos, foram determinados os níveis dos pigmentos fotossintéticos, nomeadamente: clorofila (a) e (b), feofitinas (a) e (b) e caratenóides.

6.2.3. Análise bioquímica

6.2.3.1.Determinação de Clorofilas, Feofitinas e Caratenoides

Procedimentos

1. Foram colhidos pedaços de 1.5cm do terceiro par de folhas da *Chloris virgata*, a partir do ápice, utilizando uma tesoura;
2. Durante a colecta, tomou-se o cuidado de não incluir a parte da nervura central da folha amostrada;
3. Pesou-se 0.1g de matéria fresca dos fragmentos de *Chloris virgata*, em balança analítica;
4. O material foi transferido para um almofariz e triturado com aproximadamente 10ml de acetona a 80%, juntamente com uma pequena quantidade de areia;
5. Após a maceração, a solução foi filtrado através de papel filtro qualitativo (80g/m²) com o auxílio de funil de vidro de 60 mm, sendo recolhida num balão volumétrico de 25 ml previamente envolvido com papel de alumínio.
6. Todo o processo de extracção e análise foi realizado sob iluminação mínima para evitar foto-oxidação dos pigmentos.
7. Ao término da filtração, o volume do balão volumétrico de 25 ml foi completado com acetona a 80%.

Clorofilas

As leituras foram realizadas de acordo com a metodologia de Lichtenthaler e Buschmann (2001). Os extractos foram analisados nos comprimentos de onda de 664nm e 649nm para

Avaliação do potencial remediador de *Chloris virgata* sob efeito de Cádmio e Crômio a partir da análise bioquímica.

determinação das concentrações de clorofilas *a* (Cla) e clorofilas *b* (Clb), respectivamente.

Os valores das absorvâncias obtidas foram aplicadas nas seguintes equações (Lima, 2013):

- Clorofila *a* (Cla) (mg/L) = $(13,36 \times A_{664}) - (5,19 \times A_{649})$
- Clorofila *b* (Clb) (mg/L) = $(27,43 \times A_{649}) - (8,12 \times A_{664})$

Feofitinas

Para a determinação das feofitinas *a* e *b*, foram separados 5ml do sobrenadante e incubados com 1ml de HCl 0.06N durante 10 minutos. Após esse período, foi realizada a leitura da absorvância (A) nos comprimentos de onda de 666nm e 654nm.

As concentrações das feofitinas foram calculadas segundo as equações descritas por Winternans e Mots, citados por Pignata (2001):

- Feofitinas *a* (mg/L) = $(23,4 \times A_{666}) - (7,64 \times A_{654})$;
- Feofitinas *b* (mg/L) = $(35,2 \times A_{654}) - (16,1 \times A_{666})$

Caratenóides

As concentrações de caratenóides foram determinadas a partir da leitura da observância no comprimento de onda de 470nm, utilizando a fórmula descrita por Winternans e Mots, citados por Pignata (2001):

$$\text{Caratenóides (mg/L)} = [(1000 \times A_{470}) - (2,05 \times \text{clorofila } a) - (\text{clorofila } b/245)]$$

Avaliação do potencial remediador de *Chloris virgata* sob efeito de Cádmio e Crómio a partir da análise bioquímica.

6.3. Análise de Dados

Os resultados laboratoriais relativos às concentrações dos pigmentos fotossintéticos e das concentrações dos metais cádmio e crómio foram organizados no *software Excel*. As distribuições das variações dos níveis dos pigmentos fotossintéticos foram apresentadas em tabelas e gráficos utilizando o programa GraphPadPrism, versão 8.

A análise estatística e a verificação da normalidade dos dados foram realizadas através do programa STATISTICA, versão 8.0.

Para determinar e comparar as concentrações dos pigmentos fotossintéticos em resposta a diferentes níveis de concentrações de cádmio e crómio, foram aplicados testes estatísticos apropriados:

- Para dados paramétricos, utilizou-se o teste ANOVA;
- Para dados não paramétricos, foi aplicado o teste de Kruskal-Wallis;
- As comparações das médias foram efectuadas através do teste de Tukey.

Os resultados foram considerados estatisticamente significativos quando $p < 0,05$, assumindo um intervalo de confiança de 95%.

7. Resultados

7.1. Caracterização Físico-Química do Solo

A tabela 2 apresenta a caracterização físico-química do solo utilizado na experiência, indicando que este possui uma maior concentração de cálcio e menores quantidades de potássio, magnésio e sódio. Além disso, o solo apresentou uma percentagem mais elevada de areia fina e uma menor percentagem de argila, sendo classificado como franco-arenoso quanto à sua textura.

Tabela 2. Características físico-químicas do solo dos arredores da estufa do DCB – Campus da UEM, utilizado na experiência.

Características físico-químicas do solo	Amostras (mg.L⁻¹)
pH	7.31±0.05
CTC	3.06±0.91
Ca²⁺	1.98±0.11
K⁺	0.06±0.03
Na⁺	0.81±0.55
Mg²⁺	0.25±0.08
CE (mS/cm)	0.11±0.03
P (% peso seco)	7±1.71
Matéria Orgânica (% peso seco)	0.59±0.26
Limo (%)	2.48±0.25
Argila (%)	6.03±0.23
Areia grossa (%)	33.93±4.36
Areia fina (%)	57.56±4.38
Textura	Fraco-arenoso

Os dados apresentados na tabela acima, demonstram que o solo utilizado na experiência apresenta uma elevada concentração de cálcio e menores teores de potássio, magnésio e sódio. Além disso, a composição granulométrica do solo indica uma predominância de areia fina e um baixo teor de argila, o que justifica a sua classificação como fraco-arenoso.

Avaliação do potencial remediador de *Chloris virgata* sob efeito de Cádmio e Crômio a partir da análise bioquímica.

7.2.Efeito do Cádmio e Crômio na Concentração dos Pigmentos Fotossintéticos na 5ª e 9ª Semanas Após a Contaminação.

7.2.1. Clorofila *a*

Na 5ª semana após a contaminação, verificou-se um aumento da concentração de clorofila *a*, nos tratamentos 0,002g/L, 0,01g/L e 0,05g/L com Cd e Cr, em comparação com o tratamento controle, que apresentou a menor concentração de clorofila *a* (Figura 2A).

Na 9ª semana após a contaminação, observou-se um padrão semelhante, com um aumento da concentração de clorofila *a*, nos tratamentos 0,002g/L, 0,01g/L e 0,05g/L com Cd e Cr, em relação ao tratamento controle, que manteve a menor concentração deste pigmento (Figura 2B).

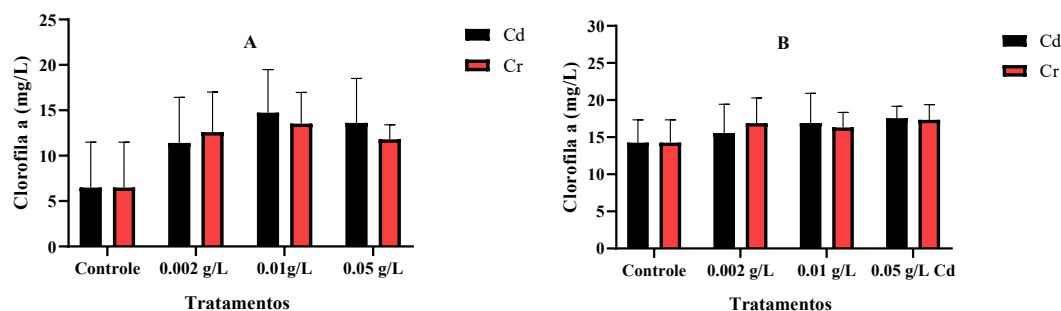


Figura 2. Efeito de cádmio e crômio na concentração de clorofila *a* ao longo da experiência na 5ª semana (A) e 9ª semana (B) após a contaminação. Os dados referem-se à média de 9 plantas $\pm$ desvio padrão.

Na 5ª semana, o teste ANOVA, revelou diferenças estatisticamente significativas na concentração de clorofila *a* nos tratamentos com Cd ($p=0,006045$; $p<0,05$) e Cr ($p=0,002181$; $p<0,05$).

A comparação entre os tratamentos, realizada através do teste de *Tukey*, indicou que o tratamento 0.01g/L apresentou valores significativamente mais elevados em relação aos demais tratamentos com Cd e Cr.

Na 9ª semana, o teste *Kruskal-Wallis*, revelou que não houve diferenças estatisticamente significativas na concentração de clorofila *a* nos tratamentos com Cd ($p=0,2317$; $p>0,05$).

Avaliação do potencial remediador de *Chloris virgata* sob efeito de Cádmio e Crómio a partir da análise bioquímica.

Da mesma forma, o teste ANOVA, indicou que não houve diferenças significativas na concentração de clorofila *a* nos tratamentos com Cr ($p=0.000146$; $p>0,05$).

7.2.2. Clorofila *b*

Na 5ª semana após a contaminação, verificou-se um aumento da concentração de clorofila *b*, nos tratamentos 0,002g/L, 0,01g/L e 0,05g/L com Cd, quando comparados com o tratamento controle, que apresentou a menor concentração desse pigmento.

No caso dos tratamentos com Cr, também observou-se um aumento da concentração de clorofila *b*, nos tratamentos 0,002g/L, 0,01g/L e 0,05g/L, enquanto a concentração de Cr aumentava. O tratamento controle manteve a menor concentração de clorofila *b* (Figura 3A).

Na 9ª semana após a contaminação, observou-se um ligeiro aumento da concentração de clorofila *b*, nos tratamentos 0,002g/L, 0,01g/L e o tratamento 0,05g/L. O tratamento com 0,05g/L apresentou os valores mais elevados em comparação com aos outros tratamentos, tanto para Cd como para Cr. O tratamento controle manteve a menor concentração desse pigmento (Figura 3B).

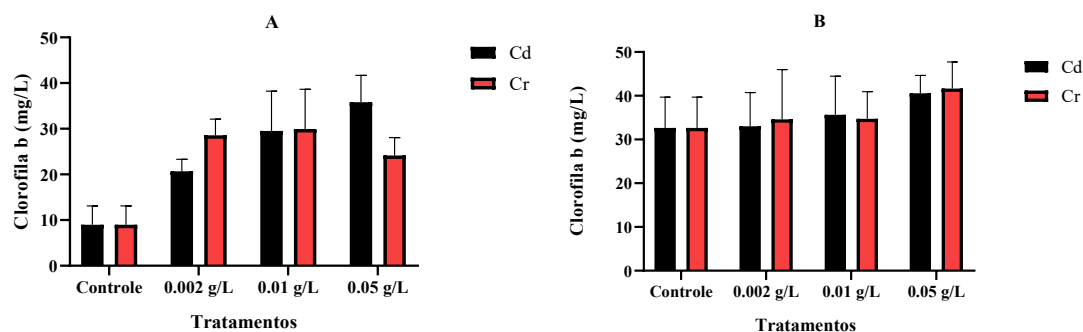


Figura 3. Efeito de cádmio e crómio na concentração de clorofila *b* ao longo da experiência na 5ª semana (A) e 9ª semana (B) após a contaminação. Os dados referem-se à média de 9 plantas $\pm$ desvio padrão.

Na 5ª semana, o teste ANOVA revelou diferenças estatisticamente significativas na concentração de clorofila *b* nos tratamentos com Cd ($p=0.0000$; $p<0,05$) e Cr ($p=0.0000$; $p<0,05$).

Avaliação do potencial remediador de *Chloris virgata* sob efeito de Cádmio e Crômio a partir da análise bioquímica.

A comparação das médias, realizada através do teste estatístico *Tukey*, indicou que o tratamento com 0,05g/L e 0,01g/L apresentou os valores mais elevados para Cr.

Na 9ª semana, o teste *Kruskal-Wallis*, indicou que não houve diferenças estatisticamente significativas na concentração de clorofila *b* nos tratamentos com Cd ($p=0,1101$; $p>0,05$).

De forma semelhante, o teste ANOVA indicou que não houve diferenças significativas na concentração de clorofila *b* nos tratamentos com Cr ($p=0,106999$; $p>0,05$).

7.2.3. Feofitinas *a*

Na 5ª semana após a contaminação, verificou-se um aumento da concentração de feofitina *a*, nos tratamentos 0,002g/L, 0,01g/L e 0,05g/L com Cd e Cr, à medida que a concentração desses metais aumentava. O tratamento controle apresentou a menor concentração de feofitina *a* (Figura 4A).

Na 9ª semana após a contaminação, observou-se um aumento ligeiro da concentração de feofitina *a*, nos tratamentos 0,002g/L e 0,05g/L com cd, enquanto o tratamento 0,01g/L apresentou os valores mais elevados em relação aos outros tratamentos com Cd.

No caso dos tratamentos com Cr, o tratamento 0,002g/L apresentou os valores mais baixos, enquanto o tratamento 0,05g/L mostrou uma maior concentração de feofitina *a* em comparação com o tratamento controle (Figura 4B).

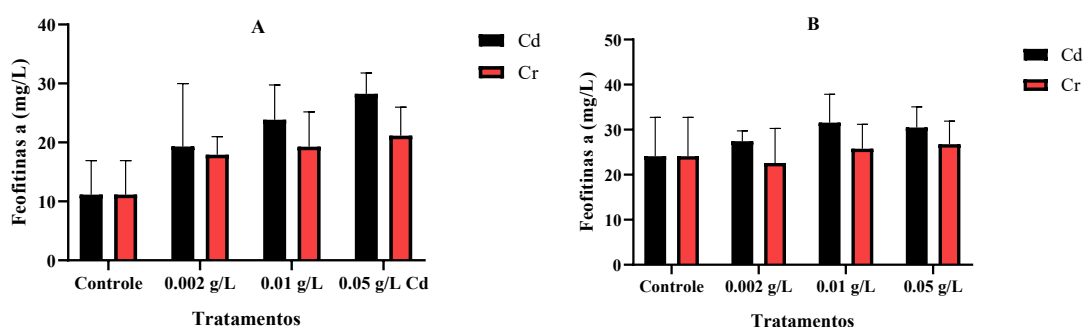


Figura 4. Efeito de cádmio e crômio na concentração de feofitinas *a* ao longo da experiência na 5ª semana (A) e 9ª semana (B) após a contaminação. Os dados referem-se à média de 9 plantas $\pm$ desvio padrão.

Na 5ª semana, o teste *Kruskal-Wallis*, revelou diferenças estatisticamente significativas na concentração de feofitinas *a* nos tratamentos com Cd ($p=0,0013$; $p<0,05$).

Avaliação do potencial remediador de *Chloris virgata* sob efeito de Cádmio e Crômio a partir da análise bioquímica.

Da mesma forma, o teste ANOVA *One Way*, indicou diferenças estatisticamente significativas na concentração de feofitinas *a* nos tratamentos com Cr ($p=0,001182$; $p<0,05$).

A comparação das médias, realizada através do teste de *Tukey*, indicou que o tratamento com 0,05g/L apresentou os valores mais elevados em relação aos outros tratamentos com Cd e Cr.

Na 9ª semana, o teste de *Kruskal-Wallis*, indicou que não houve diferenças estatisticamente significativas na concentração de feofitina *a* nos tratamentos com Cd ($p=0,2131$; $p>0,05$).

De forma semelhante, o teste ANOVA, indicou que não houve diferenças significativas na concentração de feofitina *a* nos tratamentos com Cr ($p=0,589866$; $p>0,05$).

7.2.4. Feofitinas *b*

Na 5ª semana após a contaminação, verificou-se um aumento na concentração de feofitina *b* nos tratamentos 0,002g/L, 0,01g/L e 0,05g/L com Cd e Cr, à medida que as concentrações desses metais aumentavam. O tratamento de controle apresentou a menor concentração de feofitina *b* (Figura 5A).

Na 9ª semana após a contaminação, observou-se um ligeiro aumento na concentração de feofitina *b* nos tratamentos 0,002g/L e 0,05g/L com Cd, enquanto o tratamento 0,01g/L apresentou os valores mais elevados em relação aos outros tratamentos com Cd.

Nos tratamentos com Cr, o tratamento 0,002g/L apresentou os valores mais baixos, enquanto o tratamento 0,05 g/L demonstrou maior concentração de feofitina *b* em comparação com o tratamento controle (Figura 5B).

Avaliação do potencial remediador de *Chloris virgata* sob efeito de Cádmio e Crômio a partir da análise bioquímica.

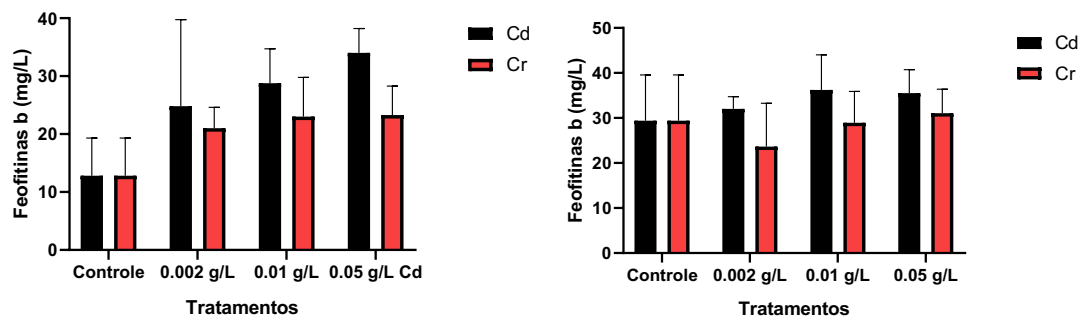


Figura 5. Efeito de cádmio e crômio na concentração de feofitina *b* ao longo da experiência na 5ª semana (A) e 9ª semana (B) após a contaminação. Os dados referem-se à média de 9 plantas $\pm$ desvio padrão.

Na 5ª semana, o teste ANOVA revelou diferenças estatisticamente significativas na concentração de feofitina *b* nos tratamentos com Cd ($p=0,0000$; $p<0,05$) e Cr ($p=0,001048$; $p<0,005$).

A comparação das médias, realizada através do teste de *Tukey*, indicou que o tratamento com 0,05 g/L apresentou os valores mais elevados em relação aos outros tratamentos com Cd e Cr.

Na 9ª semana, o teste de *Kruskal-Wallis* indicou que não houve diferenças estatisticamente significativas na concentração de feofitina *b* nos tratamentos com Cd ($p=0,1131$; $p>0,05$).

De forma semelhante, o teste ANOVA indicou que não houve diferenças significativas na concentração de feofitina *b* nos tratamentos com Cr ($p=0,276023$; $p>0,05$).

7.2.5. Caratenóides

Na 5^a semana após a contaminação, verificou-se um aumento na concentração de caratenóides nos tratamentos 0.002g/L, 0.01g/L e 0.05g/L com Cd, e Cr, à medida que a concentração de Cd e Cr aumentava. O tratamento controle apresentou a menor concentração de caratenóides (Figura 6 A).

Na 9^a semana após a contaminação, observou-se um aumento da concentração de caratenóides nos tratamentos 0.002g/L, 0.01g/L e 0.05g/L com Cd, em comparação com o tratamento controle, acompanhado o aumento da concentração de Cd.

Para os tratamentos com Cr, todos os tratamentos (0.002g/L, 0.01g/L e 0.05g/L) apresentaram valores elevados em comparação com o tratamento controle (Figura 6 B)

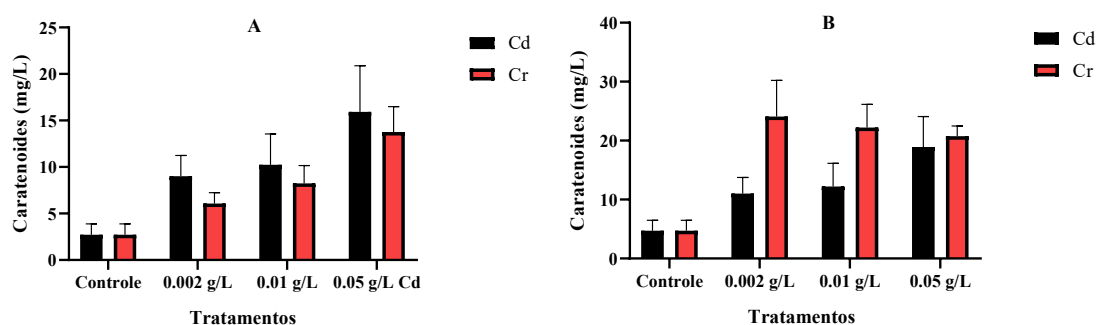


Figura 6. Efeito de cádmio e crómio na concentração de caratenóides ao longo da experiência na 5^a semana (A) e 9^a semana (B) após a contaminação. Os dados referem-se à média de 9 plantas $\pm$ desvio padrão.

Na 5^a semana, o teste *Kruskal-Wallis*, revelou diferenças estatisticamente significativas na concentração de caratenóides nos tratamentos com Cd ($p=0,0013$; $p<0,05$).

Da mesma forma, o teste ANOVA indicou diferenças estatisticamente significativas na concentração de caratenóides nos tratamentos com Cr ($p=0,001182$; $p<0,05$).

A comparação das médias, realizada através do teste de *Tukey*, indicou que o tratamento com 0,05 g/L apresentou os valores mais elevados em relação aos outros tratamentos com Cd e Cr.

Na 9^a semana, o teste ANOVA revelou diferenças estatisticamente significativas na concentração de caratenóides ($p=0,001999$; $p<0,05$).

Avaliação do potencial remediador de *Chloris virgata* sob efeito de Cádmio e Crômio a partir da análise bioquímica.

A comparação das médias, realizada através do teste de *Tukey*, indicou que os tratamentos 0,05 g/L e 0,02 g/L apresentaram valores mais elevados em relação aos outros tratamentos com Cd e Cr, respectivamente.

7.3. Correlação entre a concentração de cádmio e crômio no solo com os pigmentos fotossintéticos 5ª semana.

7.3.1. Correlação entre a concentração de cádmio e crômio no solo com os pigmentos fotossintéticos 5ª semana.

A tabela 3 apresenta os resultados do teste de correlação de *Pearson* realizado na 5ª semana, indicando as relações entre a concentração dos metais pesados (Cd e Cr) no solo e os pigmentos fotossintéticos (clorofila *a* e *b*, feofitinas *a* e *b* e caratenóides).

Os resultados mostram uma correlação positiva relativamente fraca a moderada entre a clorofila *a* e *b*, feofitinas *a* e *b* e caratenóides com a concentração de cádmio no solo nos tratamentos 0,002g/L, 0,01g/L e 0,05g/L de Cd.

No entanto, no tratamento controle, observou-se uma correlação positiva moderada para esses pigmentos.

Por outro lado, no caso do crômio, o teste de correlação de *Pearson* indicou uma relação negativa forte nos tratamentos 0,002g/L, 0,01g/L e uma relação negativa fraca no tratamento 0,05g/L de Cr entre a clorofila *a* e *b*, feofitinas *a* e *b* e caratenóides.

Tabela 3. Teste de Correlação de Pearson entre a concentração do cádmio e crômio no solo com os pigmentos fotossintéticos na 5ª semana.

Tratamento	Pigmentos fotossintéticos				
	Cla	Clb	Fa	Fb	Caratenóides
Cd 0,002 g/L	0,40	0,46	0,43	0,08	0,09
Cd 0,01 g/L	0,22	0,38	0,29	0,31	0,29
Cd 0,05 g/L	0,49	-0,17	-0,13	-0,30	-0,19
Controle	0,22	0,24	0,46	0,45	0,30
Cr 0,002 g/L	-0,78	-0,60	-0,45	-0,67	-0,67
Cr 0,01 g/L	-0,59	-0,46	-0,47	-0,58	-0,76
Cr 0,05 g/L	-0,11	-0,06	-0,45	-0,06	-0,10

Avaliação do potencial remediador de *Chloris virgata* sob efeito de Cádmio e Crômio a partir da análise bioquímica.

7.3.2. Correlação entre a concentração de cádmio e crômio no solo com os pigmentos fotossintéticos 5ª semana.

A tabela 4 apresenta os resultados do teste de correlação de *Pearson* realizado na 9ª semana, indicando as relações entre a concentração dos metais pesados (Cd e Cr) no solo e os pigmentos fotossintéticos (clorofila *a* e *b*, feofitinas *a* e *b* e caratenóides).

Os resultados demonstram uma correlação positiva forte no tratamento 0,002g/L de Cd, enquanto nos tratamentos 0,01g/L e 0,05g/L de Cd, a correlação foi positiva moderada e ligeiramente fraca, respectivamente, para a clorofila *a* e *b*, feofitinas *a* e *b* e caratenóides.

No tratamento controle, observou-se uma correlação negativa moderada entre a concentração dos pigmentos fotossintéticos e o Cd no solo.

Para o crômio, o teste de correlação de *Pearson* indicou uma correlação negativa moderada nos tratamentos 0,002g/L, 0,05g/L de Cr e uma correlação positiva fraca no tratamento 0,05g/L de Cr entre a clorofila *a* e *b*, as feofitinas *a* e *b* e os caratenóides com a concentração de Cr no solo.

Tabela 4. Teste de Correlação de *Pearson* entre a concentração do cádmio e crômio no solo com os pigmentos fotossintéticos na 9ª semana.

Tratamento	Pigmentos fotossintéticos				
	Cla	Clb	Fa	Fb	Caratenóides
Cd 0,002 g/L	0,52	0,63	0,58	0,80	0,81
Cd 0,01 g/L	0,40	0,51	0,33	0,42	0,61
Cd 0,05 g/L	0,16	0,17	0,10	0,15	0,24
Controle	-0,34	-0,37	-0,47	-0,44	-0,31
Cr 0,002 g/L	-0,49	-0,36	-0,16	-0,31	-0,45
Cr 0,01 g/L	0,08	0,19	0,06	0,03	0,07
Cr 0,05 g/L	-0,31	-0,39	-0,24	-0,26	-0,41

8. Discussão

8.1. Efeito do Cádmio na Concentração dos Pigmentos Fotossintéticos

A concentração de clorofila *a* e *b* aumentou nos tratamentos 0.002g/L, 0.01g/L e 0.05g/L com Cd, em comparação com o tratamento controle, que apresentou menores concentrações de clorofila *a* tanto na 5ª como na 9ª semana após a contaminação. Esses resultados indicam que o Cd teve um efeito positivo na concentração desses pigmentos.

Esses resultados contradizem os resultados de De Sousa (2009), que afirmou que os metais pesados reduzem a concentração de pigmentos fotossintéticos. No entanto, Almeida (2015), ao estudar parâmetros de crescimento, bioquímicos e ecofisiológicos em plantas de milho (*Zea mays*) cultivadas em solos contaminados com Cd e Zn, observou que os tratamentos com Cd apresentaram menores índices de clorofila *a*.

As alterações nos teores de clorofila devido à toxicidade do Cd já foram relatadas em vários estudos (De Sá *et al.*, 2011). Os metais pesados podem interferir na biossíntese da clorofila através da inibição da formação do ácido aminolevulínico (ALA) e da redução da actividade da redutase do protoclorofilídio, uma enzima-chave na transformação fotoquímica do protoclorofilídio.

Além disso, Barbosa (2011) afirmou que a clorofila e o sistema fotossintético, de forma geral, são altamente susceptíveis ao stress oxidativo induzido por Cd. No entanto, o aumento da concentração de clorofila *a* e *b* em *Chloris virgata* pode ser explicado pelo facto de essa planta crescer naturalmente em ambientes contaminados com Cd, possuindo mecanismos adaptativos que impedem a degradação dos seus pigmentos fotossintéticos.

A concentração de feofitina *a* e *b* também aumentou nos tratamentos 0,002g/L, 0,01g/L e 0,05g/L com Cd, à medida que a concentração do solo aumentava. No entanto, no tratamento controle, os níveis de concentração de feofitina *b* foram os mais baixos na 5ª semana, enquanto na 9ª semana, o tratamento 0,002g/L apresentou uma concentração inferior em relação ao tratamento controle.

Esses resultados não corroboram os achados de Taiz *et al.* (2017), que afirmaram que os pigmentos fotossintéticos localizados nas membranas dos tilacóides dos cloroplastos, absorvem a energia luminosa essencial ao processo fotossintético, sendo que o acúmulo de metais pode reduzir a quantidade desses pigmentos.

Avaliação do potencial remediador de *Chloris virgata* sob efeito de Cádmio e Crómio a partir da análise bioquímica.

No entanto, Ndimande (2018), ao avaliar o uso de *Cynodon dactylon* como fitorremediador de solos contaminados por fluoretos no Parque Industrial de Beleluane, observou que a concentração de feofitinas *a* e *b* registou um aumento significativo à medida que a concentração de NaF no solo aumentava. Esses achados indicam que, no presente estudo, o Cd teve um efeito estimulante sobre *Chloris virgata*.

A concentração de caratenóides também aumentou nos tratamentos 0,002g/L, 0,01g/L e 0,05g/L com Cd, enquanto a concentração de Cd no solo aumentava. No entanto, o tratamento controle apresentou as menores concentrações de caratenóides na 5ª como na 9ª semana.

Esse aumento significativo na concentração de caratenóides também foi observado e relatado por De Sá *et al.* (2011), e os resultados sugerem que a *Chloris virgata* possui uma elevada tolerância a ambientes contaminados com Cd.

Por outro lado, estudos realizados por Dias *et al.* (2020) demonstraram que o teor de caratenóides pode variar significativamente entre diferentes espécies e famílias vegetais, e que a eficiência fotossintética está directamente ligada ao conteúdo desses pigmentos fotossintéticos.

Além disso, os autores indicam que as variações nos níveis de caratenóides podem influenciar o crescimento das plantas e a sua capacidade de adaptação a diferentes condições ambientais.

8.2.Efeito do crómio na concentração dos pigmentos fotossintéticos

A concentração de clorofila *a* e *b* aumentou nos tratamentos 0,002g/L, 0,01g/L e 0,05g/L com Cr, em relação ao tratamento controle, que apresentou menores concentrações de clorofila *a* e *b*.

Segundo Panda e Choudhury (2005), o Cr interfere directamente nos processos bioquímicas da fotossíntese, e o seu efeito varia consoante a espécie vegetal estudada. A menor concentração de clorofila *a* e *b* no tratamento controle, em comparação com os tratamentos contendo Cr, sugere que o crómio teve um efeito benéfico sobre *Chloris virgata*.

Avaliação do potencial remediador de *Chloris virgata* sob efeito de Cádmio e Crômio a partir da análise bioquímica.

No estudo de Pereira *et al.* (2012), que analisou pigmentos lipossolúveis e hidrossolúveis em plantas de salvinia sob condições de toxicidade por Cr, observou que as concentrações de clorofila *a*, clorofila *b* e totais não apresentaram alterações significativas nos primeiros seis dias de exposição ao Cr. Contudo, no décimo dia após a aplicação dos tratamentos, verificou-se uma redução significativa nos níveis de concentrações de clorofilas *a* e *b*, e totais sendo essa redução proporcional ao aumento da concentração de Cr.

Segundo Dhir *et al.* 2009, o declínio observado nos teores de clorofila pode ser relacionado à redução do teor de ferro (Fe) nos tecidos vegetais e à menor eficiência das enzimas envolvidas na biossíntese de clorofilas.

Contrariamente aos resultados observados no presente estudo, Augustynowicz *et al.* (2010) demonstraram que plantas de *Callitriche cophocarpa*, cultivadas em solução com 50 µM de Cr (VI), mantiveram níveis de actividade fotossintética semelhantes aos do tratamento controle. Da mesma forma, Mufarrege *et al.* (2010) verificaram que concentrações de até 7 mg/L de Cr não afectaram significativamente as taxas de crescimento relativo. Todavia, os mecanismos de síntese de clorofila foram alterados pelo metal, e os autores relataram que, em concentrações reduzidas, o Cr pode até aumentar as concentrações de clorofila em plantas de *Pistia stratiotes*. Esse efeito foi atribuído ao aumento da disponibilidade de ferro (Fe) nos tecidos das plantas, promovido pela presença do Cr (Mufarrege *et al.*, 2010).

A concentração de feofitina *a* e *b*, também aumentou nos tratamentos 0,002g/L, 0,01g/L e 0,05g/L com Cr, acompanhando o aumento da concentração do metal no solo. O tratamento controle apresentou menores concentrações de feofitina *a* e *b*. Esses resultados não corroboram com as conclusões de Khalid (2019), que afirmou que um dos efeitos mais evidentes de efeitos fito-tóxicos de poluentes nas plantas é a redução do teor de pigmentos fotossintéticos. Entretanto, os dados do presente estudo indicam que a *Chloris virgata* demonstrou tolerância a ambientes contaminadas com Cr, sem apresentar redução nos níveis de pigmentos.

A concentração de caratenóides também aumentou nos tratamentos 0,002g/L, 0,01g/L e 0,05g/ com Cr, enquanto a concentração do metal aumentava. O tratamento controle apresentou as menores concentrações de caratenóides. Esses resultados estão de acordo com os achados de Pereira *et al.* (2012), que não observaram alterações significativas nas concentrações de caratenóides em plantas de salvinia expostas a diferentes concentrações

Avaliação do potencial remediador de *Chloris virgata* sob efeito de Cádmio e Crômio a partir da análise bioquímica.

de Cr. Por outro lado, Da Silva (2021) avaliou a exposição de *Axonopus affinis* e constatou que altas concentrações de cobre reduziram os níveis de concentração de carotenóides. Contudo, nos tratamentos com Cr, essa redução não foi observada, sugerindo que esse metal não comprometeu os níveis de carotenóides nas plantas estudadas.

9. Conclusão

Os resultados obtidos demonstram que a espécie *Chloris virgata* apresentou potencial como planta fitorremediadora para o cádmio e o crômio, uma vez que, na 5ª semana após a contaminação, verificou-se um aumento significativo na concentração de clorofila *a* e *b*, feofitinas *a* e *b*, e caratenóides, sendo que o tratamento controle apresentou menor concentração destes pigmentos. Na 9ª semana, também se observou um aumento na concentração de clorofila *a* e *b*, feofitinas *a* e *b*, e caratenóides em comparação com o tratamento controle. Contudo, esses aumentos não foram estatisticamente significativos, indicando que, à medida que o crescimento da planta ocorre, as concentrações dos pigmentos fotossintéticos não são significativamente afetados.

O teste de correlação de *Pearson* realizado na 5ª semana, nos tratamentos com cádmio, mostrou uma relação positiva relativamente fraca a moderada entre a concentração de Cd e os pigmentos fotossintéticos. Porém, para o crômio, observou-se uma relação negativa forte nos tratamentos 0,002 g/L e 0,01 g/L e uma relação negativa fraca no tratamento de 0,05 g/L. Na 9ª semana, no tratamento com cádmio, verificou-se uma relação positiva forte a moderada, enquanto para o crômio, o teste revelou uma relação negativa moderada e uma relação positiva fraca.

Os resultados obtidos sugerem que a *Chloris virgata* pode ser utilizada como espécie fitorremediadora, uma vez que demonstrou capacidade de tolerar as concentrações de Cd e Cr utilizadas no presente estudo.

Avaliação do potencial remediador de *Chloris virgata* sob efeito de Cádmio e Crómio a partir da análise bioquímica.

10. Limitações

Não foi possível realizar análises químicas no presente estudo devido aos custos elevados.

Os custos elevados para a aquisição dos metais limitaram a contaminação com cádmio e crómio a concentrações reduzidas.

11. Recomendações

Recomenda-se a realização de estudos com concentrações mais elevadas de cádmio e crómio em relação as concentrações usadas no presente estudo, de forma a avaliar melhor os efeitos desses metais na fitorremediação por *Chloris virgata*.

Recomenda-se a realização de estudos de longo prazo com espécies vegetais que ocorrem em maior abundância nas proximidades do Parque Industrial da Matola, de forma a compreender melhor o impacto da contaminação industrial nas plantas da região.

12. Referências bibliográficas

- Alcantara, H. G. (2017). *Fitorremediação de Solos Contaminados por Metais Pesados*. Tese de Licenciatura. 46pp. Campo Mourão, Universidade Tecnológica Federal Do Paraná.
- Almeida, L. G. (2015). *Parâmetros de crescimento, bioquímicos e ecofisiológicos em plantas de milho cultivadas em solos multicontaminados com Cd e Zn*. 83p. Tese de pós graduação. Lavras, Universidade de Federal de Lavras.
- Alves, L. B. M. (2018). *Potencial de fitorremediação por plantas de solo contaminado por metais tóxicos*. Tese de Mestrado. 66pp. Bragança, Escola Superior Agrária de Bragança.
- Almeida, R. (2018). *Fitoextração de metais pesados em solo contaminado por escória de minério de chumbo, no município de Santo Amaro – BA*. Tese de Mestrado. 119pp. Governador Mangabeira, Faculdade Maria Milza.
- Anselmo, A. L. F. e C.M., Jones, (2005). Fitorremediação de Solos Contaminados - Estado da Arte. *Enegep*. 5273-5280.
- Antoniadis, V., S.M. Shaheen, H.J. Stark, R. Wennrich, E. Levizou, I. Merbach, J. Rinklebe (2021). Phytoremediation potential of twelve wild plant species for toxic elements in a contaminated soil. *Environment International*, 146 (10): 6-23.
- Anwar, J; Shafique, U; Salman, M; Zaman, W; Anwar, S; Anzano, J, M. (2009). *Removal of chromium (III) by using coal as adsorbent*. Journal of Hazardous Materials, v 171, p. 797 – 801.
- Asati, A., Pichhode, M., & Nikhil, K. (2016). *Effect of heavy metals on plants: An overview*. International Journal of Application or Innovation in Engineering e Management, 5(3), 56-66.
- Augustynowicz, J. et al. (2010). *Chromium(VI) bioremediation by aquatic macrophyte Callitriche cophocarpa Sendtn*. Chemosphere, 79 (11); 1077-108.
- Barbosa P. S. (2011). *Influência do cádmio em parâmetros bioquímicos e de crescimento de nabças (Brassica rapa)*. Tese de mestrado. 80pp. Lisboa, Universidade técnica de Lisboa.
- Barbosa, B. M. G. (2014). *Fitorremediação de Solos Contaminados com Zn e Cr utilizando Arundo donax L*. Tese de Doutorado. 191pp. Lisboa, Universidade Nova de Lisboa;

Avaliação do potencial remediador de *Chloris virgata* sob efeito de Cádmio e Crômio a partir da análise bioquímica.

- Benavides, M. P., Gallego, S. M e Tomaro, M. L. (2005). *Cadmium Toxicity*. Brazilian Journal of Plant Physiology, V. 17, P. 21-34.
- Briffa, J., E. Sinagra e R. Blundell (2020). *Heavy Metal Pollution in the Environment and their Toxicological effects on Humans*. Heliyon, 6-04691.
- Bizzo, A. L. T. (2015). *Avaliações ecofisiológicas e estruturais em Eichhornia crassipes (Mart.)Solms submetida a Cr+3*. Tese de mestrado. 67pp. Universidade Estadual do Norte Fluminense “Darcy Ribeiro”.
- Bizzaro, G. V., Meurer, E. J., Tatsch, F. R. P.(2008). Teor De Cádmio Em Fertilizantes Fosfatados Comercializados No Brasil. Ciência Rural, V. 38, N. 1, P. 247-250.
- Boechat, S.C. e H.M., Longhi – Wagner (2000). Padrão de distribuição geográfica dos táxos brasileiros de *Eragrostis* (Poaceae - Chloridoideae). *Revista Brasileira de Botânica*. 23 (2): 177 -194.
- Bomfim, N.C.P. (2020). *Crescimento, tolerância e potencial fitorremediador de Leucaena leucocephala em solo contaminado por cobre e ferro*. Tese de Mestrado. 73pp. Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista.
- Camargo, A.C.M. (2020). *Análise da técnica de fitorremediação aplicada em áreas contaminadas por organoclorados*. Bacharel. 43pp. Santos, Universidade Federal de São Paulo.
- Caminho J. J. (2021). *Prospecção de plantas com potencial fitorremediador nos Parques Industriais da Matola e Beluluane e no Aterro Industrial de Mavoco*. Tese de licenciatura 60pp. Maputo, Universidade Eduardo Mondlane.
- Di Cagno, R. et al. (1999). *Effects of cadmium on growth of Helianthus annuus seedlings: physiological aspects*. New Phytologist, 14 (1): 65-71.
- Dhir, B., P. Sharmila, P. P. Saradhi, (2008). *Photosynthetic Performance Of Salvinia Natans Exposed To Chromium And Zinc Rich Wastewater*. Braz. J. Plant Physiol., 20, (1): 61-70.
- Dhir, B. et al. (2009). *Physiological and antioxidant responses of Salvinia natans exposed to chromium-rich wastewater*. Ecotox. Environ. Safe., 72 (6): 1790-1797.
- De Sousa, S. M. (2009). *Avaliação do uso de alface (Lactuca sativa) como potencial fitorremediadora de solos contaminados por sulfato de zinco*. Tese de licenciatura. 80pp. Maputo, Universidade Eduardo Mondlane.

Avaliação do potencial remediador de *Chloris virgata* sob efeito de Cádmio e Crômio a partir da análise bioquímica.

- De Souza, F. P., A. K. Nadiel, A. Beck, Q. E. G. Porazzi, M. J. LimanaeJ. N. Camera (2019). *Extração De Pigmentos Fotossintéticos Em Diferentes Espécies Vegetais*. XXIV seminário interinstitucional de ensino, pesquisa e extensão. Ciência e Tecnologia para a Transformação Social. 4pp.
- De Souza, M. L. C. e L. L. Costa. (2018). *Estudo do crescimento e desenvolvimento da espécie Helianthus annuus em solos com presença de cromo*. Dissertação de Bacharel. 59pp. Capanema. Universidade Federal Rural da Amazônia.
- De Sousa, J. C. M. (2018). *Fitorremediação de cádmio por Khaya ivorensis a. chev. Modulações Ecofisiológicas e Bioquímicas*. 74pp. Tese de pós graduação. Belém. Universidade Federal Rural da Amazônia;
- De Souza M. R. F. (2010). *Fitorremediação de solo contaminado por Metais Pesados*. Tese de licenciatura. 30pp. Belo horizonte. Centro Universitário Metodista Izabela Hendrix;
- De Lima G. M., T. F. Côrrea, A. de Faria Lima, M. H. Pontieri e R. A. A. Muñoz. (2013). *Estudo de fitorremediação de solos contaminados com cádmio e chumbo empregando plantas de amendoim (arachis hypogaea l.)* centro científico conhecer.
- Demmig-Adams, B. (1990). *Carotenoids and photoprotection in plants: a role for the xanthophylls zeaxanthin*. BBBABioenerg., 1020 (1): 1-24.
- Dias, L. A., P. H. A. M. Silveira, S. S. Omura, B. Garcia, R. E. V. de Oliveira, M. C. Pereira (2020). *Determinação de Teores de Clorofilas e Carotenoides em Alface, Rúcula e Cebolinha*. Brazilian Journal of Animal and Environmental Research. 3 (4): 3100-3107.
- Ducié, T.; Polle, A. (2005). *Transport and Detoxifications of Manganese and Copper in Plants*. Brazilian Society of Plant Physiology, V. 17, N. 1, P. 103-112.
- Fernández, Z. H. (2017). *Análise de Metais Pesados em Solos de Pernambuco com Diferentes Atividades Antrópicas*. Tese de Doutorado. Recife, Universidade Federal de Pernambuco.
- Ferreira, J.P.R., (2012). *Diversidade das Tribos Eragrostideae Stapf e Zoyseae Benth (Poaceae – Chloridoideae) na Ilha de Santa Catarina, Brasil*. Trabalho de

Tese de Bacharelato em Ciências Biológicas. 108pp. Brasil, Universidade Federal de Santa Catarina.

- Gajdos, E; Lévai, L; Veres, S And Kovács, B. (2012). *Effects of Biofertilizers on Maize and Sunflower Seedlings under Cadmium Stress*. Comm Soil Sci Plant Anal., 43: 272-279.
- Goettens, A. M. V. (2019). *Biossorção do cromo trivalente e hexavalente proveniente do curtume utilizando a microalga Scenedesmus sp.* 76 pp. Tese de Mestrado. Toledo. Universidade Estadual do Oeste do Paraná;
- Gonçalves, J. F., Maldaner, J., Rossato, L. V., Tabaldi, L. A., Skrebsky, E. C., Farias, J. G., Bisognin, D. A., Nicoloso, F. T. 2009. Crescimento *in vitro* de plântulas de batata em diferentes doses de cádmio. *Ciência Rural. Santa Maria. Brasil*. 39 (9): 2625-2628.
- Guimarães, M. A., Santana, T. A., Silva, E. V., Zenzen, I. L., Loureiro, M. E. 2008. Toxicidade e tolerância ao cádmio em plantas. *Revista Trópica – Ciências Agrárias e Biológicas*. 3 (1): 58-68.
- Gupta, S.; Srivastava, S.; Saradhi, P. P. (2009). *Chromium increases photosystem 2 activity in Brassica juncea*. Biol. Plant. 53 (1): 100-104.
- Júnior, W.V.A. (2019). *Mecanismo de tolerância em plantas jovens de Ucuíba (Virola surinamensis (Rol. ex Rottb.) Warb) expostas ao cádmio e potencial para fitoestabilização: respostas fisiológicas, bioquímicas, nutricional e de crescimento*. Tese de Doutorado. 107pp. Belém, Universidade Federal Rural da Amazônia.
- Junior, R. T. B. (2019). Potencial fitorremediador de *Paspalum densusmem* ambiente com excesso de ferro contaminado por metais pesados, Dissertação de Magister Scientiae. 50 pp. Minas gerais, Universidade Federal de Viçosa.
- Kabata-Pendias, A.; Pendias, H. (2001). *Trace elements in soil and plants*. 3.ed. BocaRaton: CRC Press, 413p/
- Kavamura, V. N. e Esposito, E. (2010). *Biotechnological strategies applied to the decontamination of soils polluted with heavy metals*. Biotechnology Advances, v. 28, n. 1, p. 61-69.
- Küster, M. C. T. (2018). Efeito do déficit hídrico na expressão de pigmentos fotossintéticos em *Physcomitrium acutifolium Broth.* (Funariaceae). Trabalho de conclusão do curso. 40pp. São Gabriel, Universidade Federal do Pampa.

- Lanoue J., E. D. Leonnbaridos e B. Grodzinski (2018). *Effects of light quality and intensity on diurnal patterns and rates of photo-assimilate translocation and transpiration in tomato leaves*. Frontiers in Plant Science 9:756.
- Leguizamo, M.A.O., W.D.F. Gómez, M.C.G. Sarmiento (2016). *Native herbaceous plant species with potential use in phytoremediation of heavy metals, spotlight on wetlands*. Chemosphere xxx, 1-18.
- Leite M., E. P. V. Guajajara, S. Silva, W. L. da Silva e S. C. dos Santos. (2018). *Fitorremediação de Solo Contaminado por Metais Pesados*. Cadernos de Prospecção – Salvador, v. 12, n. 2, p. 327-335.
- Li Y., G. Xin, M. Wei, Q. Shi, F. Yang e X. Wang (2017). *Carbohydrate accumulation and sucrose metabolism responses in tomato seedling leave when subjected to different light qualities*. Scientia Horticultura 225:490-497.
- Liu, C. P., Shen, Z. G., Li, X. D. (2007). Accumulation and detoxification of cadmium in *Brassica pekinensis* and *B. chinensis*. Biologia Plantarum. 51 (1): 116-120.
- López, Y. P. (2015). *Metais Pesados em Solos Representativos das Principais Regiões Agrícolas de Cuba: Valores de Referência, Geoquímica e Fatores de Variabilidade*. Tese de Doutorado. 135pp. Rio De Janeiro, Universidade Federal Rural Do Rio De Janeiro.
- Machunguene Jr., M. (2024). *Agricultura em Áreas Industriais e Contaminação por Metais Pesados: Uma análise aos mecanismos de tolerância à toxicidade em plantas alimentares*. Tese de Mestrado, Universidade Eduardo Mondlane, Maputo (Em edição).
- Martins, L.L., Mourato, M. P., Cardoso, A. I., Pinto, A. P., Mota, A. M., Gonçalves, M. L., Varennes, A. (2011). *Oxidative stress induced by cadmium in Nicotiana tabacum L.: effects on growth parameters, oxidative damage and antioxidant responses in different plant parts*. Acta Physiol Plant.
- Miller, D. A.; C. J., Nelson, (1996). Forages. Iowa State: University Press, 421-430.
- Milner, M. J., Kochian, L. V. 2008. Investigating heavy-metals hyperaccumulation using *Thlaspi caerulences* as a model system. Annals of Botany. 102: 3-13.

- Mcgrath SP. (1982). *The uptake and translocation of tri- and hexavalent chromium and effects on the growth of oat in flowing nutrient solution and in soil.* *New Phytologist*, 92: 381–90.
- Mufarrege, M. M.; Hadad, H. R.; Maine, M. A. (2010). *Response of Pistia stratiotes to heavy metals (Cr, Ni, and Zn) and Phosphorous.* *Archi. Environ. Cont. Toxicol* 58 (1): 53-61.
- Ndimande T. E. (2018). *Avaliação do uso de Cynodon dactylon como fitorremediador de solos contaminados por fluoretos no parque Industrial de Bebeluane.* Tese de licenciatura 73pp. Maputo, Universidade Eduardo Mondlane.
- Nichols, P. B., Couch, J. D., Al Hamdani, S. H. (2000). *Selected physiological responses of Salvinia minima to different chromium concentrations.* *Aquatic Botany*, 68: 313– 9.
- Oliveira, D. M., D. V. C. Cara., P. G. Xavier., M. S. Paula., L. G. S. Sobral., R. B. Lima e A. Loureiro. (2007). *Série Tecnologia Ambiental Fitorremediação: O Estado da Arte.* CETEM/ MCT, Rio de Janeiro, 39 (2): 50-53.
- Panda, S. K.; S. Choudhury (2005). *Chromium stress in plants.* *Brazilian journal of plant physiology*, 17 (1): 95-102.
- Pereira, G. J. G.; Molina, S. M. G.; Lea, P. J.; Azevedo, R. A. (2002). *Activity of antioxidant enzymes in response to cadmium in Crotalaria juncea.* *Plant Soil*, v. 239, p. 123-132.
- Pereira, P.F., Antunes, F., Braga, V.F., Resende, C.F., Ribeiro, C. E Peixoto, P.H.P. (2012). *Pigmentos Lipossolúveis E Hidrossolúveis Em Plantas De Salvinia Sob Toxicidade Por Cromo.* *Planta Daninha*, Viçosa-MG, 30 (4); 397-703.
- Pessoa, J. (2020). *Pigmentos Naturais de origem vegetal: Clorofila, Antocianinas e Betalainas alterações e benefícios.* Trabalho de conclusão do curso. 43pp. Paraíba, Universidade Federal da Paraíba.
- Prado, C. et al. (2010). *Uptake of chromium by Salvinia minima: effect on plant growth, leaf respiration and carbohydrate metabolism.* *J. Hazard. Mater.*, 177 (1-3): 546-553.
- Rai, V., Vajpayee, P., Singh, S.N., Mehrotra, S. (2004). *Effect of chromium accumulation on photosynthetic pigments, oxidative stress defense system, nitrate reduction, proline level and eugenol content of Ocimum tenuiflorum L. – Plant Science*, 167: 1159-1169.

Avaliação do potencial remediador de *Chloris virgata* sob efeito de Cádmio e Crômio a partir da análise bioquímica.

- Raven, P. H., F. E. Ray, E. E. Susan (2001). *Biologia vegetal*. 6ed. 906pp. Rio de Janeiro, Guanabara Koogan S. A.
- Rodrigues, R.M. (2016). *Fitorremediação por meio de plantas ornamentais para recuperação de áreas urbanas contaminadas com chumbo*. Tese Pós-Graduação. 57pp. Maringá, Centro Universitário de Maringá.
- Sangaletti, P. (2019). *Fotoquímica de pigmentos fotossintéticos: avaliação estrutural e do ambiente*.e Dissertação (mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Química, 91pp. Florianópolis. Universidade Federal de Santa Catarina.
- Shah, K.; Kumar, R. G.; Verma, S.; Dubey, R. S. (2001). *Effect of cadmium on lipid peroxidation, superoxide anion generation and activities of antioxidant enzymes in growing rice seedlings*. Plant Science, v. 161, p. 1135-1144.
- Shanker, A. K. et al. (2005). *Chromium toxicity in plants*. Environ. Int. 31, (5); 739- 753.
- Silva, T.J., F. Hanted, P.S. Tonello e D. Goveia (2019). Fitorremediação de solos contaminados com metais: panorama actual e perspectivas de uso de espécies florestais. *Rev. Virtual Quim*, 11 (1): 18-34.
- Silva, C.S.;Pedrozo, M.F.M. (2001).*Ecotoxicologia do cromo e seus compostos*.Centro de Recursos Ambientais – Cadernos de referência ambiental, v.5, Salvador: CRA.
- Sliwinski, J. (2022). *Meta-Análise dos Metais Pesados Presentes no Material Particulado da Atmosfera: Uma Perspectiva Global*. Tese de Licenciatura. 59pp. Natal, Universidade Federal Do Rio Grande Do Norte.
- Soares, A. M. S. S., Machado, O. L. T. 2007. Defesa de plantas: Sinalização química e espécies reactivas de oxigénio. *Revista Trópica – Ciências Agrárias e Biológicas*. 1(1): 9-17.
- Sousa, V. F.de O. e Dos Santos,G. L.(2018)*Elemento Cromo Na Nutrição Mineral De Plantas*. Revista Da Universidade Vale Do Rio VerdeVol. 16
- Sousa, Í. D. (2018). *Fitorremediação: contribuição científica brasileira no contexto nacional e internacional*. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Conservação), Instituto Federal Goiano, Rio Verde, 48 pp.
- Stobart, A. K. et al. *The effect of Cd²⁺ on the biosynthesis of chlorophyll in leaves of barle* .Physiologia Plantarum, 63 (3): 293-298, 1985.

- Stohs, S. J. e Bagchi, D. (1995). *Oxidative mechanisms in the toxicity of metal ions*. Free Rad Biol Med, (18): 321-326.
- Sumalgy, D. M. F. (2011). *Estimativa de riscos decorrentes de resíduos tóxicos no Parque Industrial da Matola*. Dissertação de Mestrado. 82pp. Coimbra, Universidade de Coimbra.
- Tamela G. A. (2024). *Avaliação do potencial remediador da Eragrostis ciliaris em solos contaminados por cádmio e crómio usando parâmetros bioquímicos*. Tese de licenciatura. 68pp. Maputo, Universidade Eduardo Mondlane.
- Tie X., R. Huang, W. Dai, J. Cao, X. Long, X. Su, S. Zhao, Q. Wang e G. Li (2016). *Effect of heavy haze and aerosol pollution on rice and wheat production in China*. Scientific Reports 6:29612.
- Vajpayee, P., R. D. Tripathi, U. N. Rai, M. B. Ali, S. N. Singh (2000). *Chromium accumulation reduces chlorophyll biosynthesis, nitrate reductase activity and protein content of Nymphaea alba*. Chemosphere, 41, 1075-1082.
- Vasconcelos, M. C., D. Pagliuso e V. S. Sotomaior (2012). *Fitorremediação: Uma Proposta de Descontaminação do Solo*, 34 (83): 261-267.
- Vecchia, F. D., La Rocca, N., Moro, I., De Faveri, S.; Andreoli, C.; Rascio, N. (2005.) *Morphogenetic ultrastructural and physiological damages suffered by submerged leaves of Elodea Canadensis exposed to cadmium*. Plant Science, v. 168, p. 329-338.
- Vieira, L. R., Corrêa, E. S., Moraes, B. S., Rossato, M. V., e Vestena. S. (2015). *Toxicidade de cádmio em plantas*. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental Santa Maria, v. 19, p. 1574-1588;
- Vyacheslav V. K. (2003), *Descoberta da função feofitina na conversão de energia fotossintética como o aceitador de elétrons primário de Photosystem II*, Photosynthesis Research, 76, (1-3), 247-253;