

EFEITO DO CÁDMIO EM PARÂMETROS BIOQUÍMICOS DE *ILEX PARAGUARIENSIS*

EMILY BALBINÓ BALESTRIN^{1,2*}, SABRINE ONGARATTO³, SUELEN DARIVA⁴,
LETICIA DE OLIVEIRA⁵, LAISA PRESTES⁶, KAUÊ DE ALMEIDA⁷, DOUGLAS
CARVALHO⁸, DENISE CARGNELUTTI⁹

1 Introdução

O cádmio é um metal pesado encontrado naturalmente em diversos solos, inclusive no estado do Rio Grande do Sul em altas concentrações, devido às inúmeras aplicações de fertilizantes fosfatados, pesticidas, e resíduos agroindustriais. Entretanto, o cádmio não possui funções biológicas essenciais, e mesmo quando se apresenta em concentrações baixas, é tóxico (Veridiana Gonçalves Bizarro, 2025).

O cádmio está frequentemente presente na forma solúvel, o que permite ser absorvido pelas raízes das plantas e transportado para as folhas, frutos e sementes. Sendo introduzido na cadeia alimentar antes de causar sintomas visíveis de fitotoxicidade (Cláudia das Neves Costa, 2005). Consequentemente, há bioacumulação em diferentes níveis tróficos da cadeia alimentar (Fátima Moreira, 2025).

Além disso, o cádmio ocasiona perdas na produtividade e qualidade das culturas. Dentre as alternativas ponderadas para solucionar os problemas ambientais e econômicos com o cádmio, está a biorremediação, processo biotecnológico que atua no uso de agentes biológicos com a finalidade de eliminar metais pesados e poluentes ou reduzi-los a compostos de baixa

¹ Acadêmica do curso de Ciências Biológicas (Bacharelado) pela Universidade Federal da Fronteira Sul, *Campus* Erexim. Bolsista de Iniciação Científica no Laboratório de Entomologia e Bioquímica (LeBio). E-mail para contato: emilybalestrin.uffs@gmail.com

² Grupo de Pesquisa: Agricultura Familiar e Transição Agroecológica (AFTA).

³ Acadêmica do curso de Ciências Biológicas (Bacharelado) pela Universidade Federal da Fronteira Sul, *campus* Erexim.

⁴ Acadêmica do curso de Ciências Biológicas (Bacharelado) pela Universidade Federal da Fronteira Sul, *Campus* Erexim.

⁵ Acadêmica do curso de Ciências Biológicas (Bacharelado) pela Universidade Federal da Fronteira Sul, *Campus* Erexim.

⁶ Acadêmico do curso de Ciências Biológicas (Bacharelado) pela Universidade Federal da Fronteira Sul, *Campus* Erexim.

⁷ Acadêmico do curso de Ciências Biológicas (Bacharelado) pela Universidade Federal da Fronteira Sul, *Campus* Erexim.

⁸ Acadêmica do curso de Ciências Biológicas (Bacharelado) pela Universidade Federal da Fronteira Sul, *Campus* Erexim.

⁹ Doutora em Bioquímica Toxicológica pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Docente da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), *Campus* Erexim.

toxicidade (Felipe Lacerda, Julio Alejandro Navoni, Viviane Souza Do Amaral, 2019).

2 Objetivos

Investigar os mecanismos bioquímicos em plantas de *Ilex paraguariensis* A. St.-Hil. cultivada em solo contaminado com cádmio.

3 Metodologia

Os ensaios foram realizados nos laboratórios e em casa de vegetação da UFFS, campus Erechim. A espécie vegetal utilizada foi *Ilex paraguariensis* A. St.-Hil, sendo as mudas (três meses de idade) obtidas em propriedade rural próximo a cidade de Erechim. O solo utilizado para os experimentos foi coletado em local não antropizado, sendo este encaminhado para análise química para quantificação dos macros e micronutrientes. As concentrações de Cd utilizadas basearam-se nos valores orientadores da CETESB [0; 1,5; 3 e 6 mg (CdCl₂·H₂O) Kg⁻¹ de substrato]. Os tratamentos foram arranjados em delineamento experimental inteiramente casualizado (DIC), com cinco (5) repetições para cada. As mudas de *I. paraguariensis* foram dispostas (uma muda por vaso) em substrato (composto por solo, areia e substrato na proporção de 1:1:1), e posteriormente contaminado com as diferentes doses de Cd. As plantas permaneceram sob tratamento durante quinze dias, mantidas com irrigação diária na casa de vegetação. Após este período, as folhas foram coletadas, pulverizadas com nitrogênio líquido e armazenadas em freezer à -80 °C. Posteriormente os seguintes parâmetros bioquímicos foram analisados:

(I) Atividade da enzima guaiacol peroxidase (POD): uma g de caules e raízes foram homogeneizadas em 3 mL de tampão fosfato de sódio 0,05 M, contendo EDTA e polivinilpirrolidona (PVP). O homogeneizado foi centrifugado e o sobrenadante utilizado para a determinação da atividade da POD. A atividade das peroxidases não específicas presentes no extrato foi determinada segundo Zeraik et al. (2008), utilizando-se o guaiacol como substrato. A partir do extrato utilizado para a atividade da GPOD foram determinadas as proteínas solúveis pelo método de Bradford (1976).

(II) Peroxidação de lipídios de membrana: determinada conforme método descrito por El-Moshaty et al. (1993). As amostras foram homogeneizadas em tampão citrato (pH 6,5) contendo 0,5% de Triton X-100. O homogeneizado foi centrifugado e 1 mL do sobrenadante foi adicionado a 1 mL de ácido tricloroacético e ácido tiobarbitúrico. A mistura foi aquecida a 95 °C por 40 min e então resfriada por 15 min, sendo centrifugada a 10.000 x g por 15 min. A absorbância do sobrenadante foi lida a 532 e 600 nm (para corrigir a turbidez não específica).

A peroxidação lipídica foi expressa como nmol MDA mg^{-1} de proteína.

Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias dos tratamentos foram comparadas pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro, utilizando-se o programa Genes.

4 Resultados e Discussão

Os resultados do presente estudo mostraram interação significativa quanto ao fator tratamento para os parâmetros concentração de proteínas solúveis e atividade da enzima guaiacol peroxidase (GPOD) (Tabela 1).

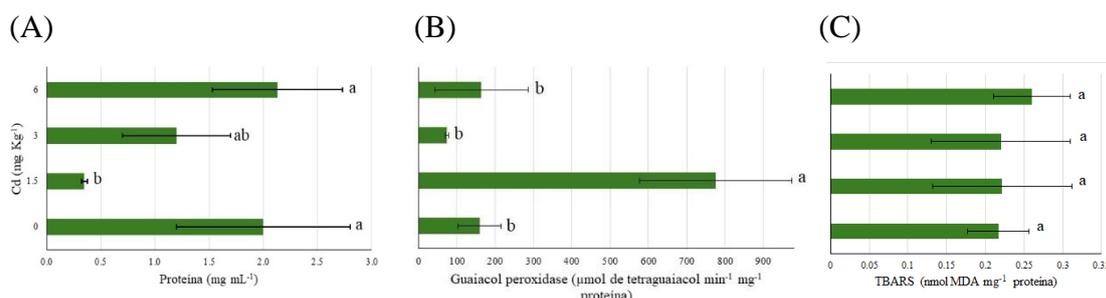
Tabela 1. Resumo da análise de variância ANOVA (Fatorial seguindo delineamento inteiramente casualizado) para a variável proteína, atividade da enzima guaiacol peroxidase (GPOD) e peroxidação lipídica (TBARS) em folhas de *Ilex paraguariensis* exposta a diferentes concentrações de cádmio (0; 1,5; 3 e 6 mg kg^{-1} de substrato) por quinze dias.

Fonte de variação	Quadrados Médios			
	GL	Proteína	GPOD	TBARS
Tratamentos	3	2.06*	315831.86*	0.0012 ^{ns}
Média geral		1.43	293.57	0.23
CV (%)		41.62	40.77	30.04

*e ns: significativo ao nível de 95% pelo teste de F e não significativo, respectivamente.

Os dados relativos à concentração de proteínas solúveis, atividade da enzima guaiacol peroxidase (GPOD) e peroxidação lipídica em folhas de *I. paraguariensis* expostas por quinze dias a diferentes concentrações de cádmio (0; 1,5; 3 e 6 mg kg^{-1} de substrato) estão ilustrados na Figura 1.

Figura 1. Concentração de proteínas solúveis, atividade da enzima guaiacol peroxidase (GPOD) e peroxidação lipídica em folhas de *Ilex paraguariensis* exposta por quinze dias a diferentes concentrações de cádmio (0; 1,5; 3 e 6 mg kg^{-1} de substrato). Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 95% de confiança ($p \leq 0,05$).



Os níveis de proteínas solúveis foram significativamente reduzidos por cerca de 80% em folhas de plantas tratadas com 1,5 mg Cd Kg⁻¹, em comparação com o tratamento controle. Entretanto, os teores de proteínas foram restabelecidos nas folhas tratadas com a dose mais alta de Cd. A redução significativa dos níveis de proteínas solúveis em folhas de *I. paraguariensis* tratada com 1,5 mg Cd Kg⁻¹ está alinhada com estudos recentes que demonstraram o impacto tóxico do Cd no metabolismo proteico das plantas (Bavi et al., 2011). Isso indica que o Cd, mesmo em pequenas concentrações, desempenha efeitos tóxicos sobre o metabolismo de *I. paraguariensis*. O Cd induz estresse oxidativo, interferência na absorção de nutrientes essenciais, e inibe enzimas envolvidas na síntese proteica (Bavi et al., 2011; Dalurzo et al., 1997). No entanto, as maiores doses de Cd restabeleceram os níveis de proteínas solúveis, indicando, dessa forma, que houve a ativação de mecanismos fisiológicos de defesa e adaptação (Bavi et al., 2011; Zoufan et al., 2018).

Entretanto, um efeito inverso aos níveis de proteínas foi observado para a atividade da Guaiacol Peroxidase (GPOD), no qual um incremento (4 vezes maior em comparação com o controle) foi observado nas folhas de *I. paraguariensis* cultivada na presença de 1,5 mg Cd Kg⁻¹. Nas doses mais elevadas, a atividade da GPOD foi similar ao tratamento controle. Esse padrão sugere que há estimulação do sistema enzimático antioxidante como resposta ao estresse inicial (Bavi et al., 2011; Zoufan et al., 2018).

Por fim, não foram observadas diferenças estatisticamente significativas na peroxidação lipídica (TBARS), visto que os valores apresentam variações de apenas 1,02 a 1,20 vezes em relação ao controle. Deste modo, os dados podem indicar que os danos oxidativos às membranas celulares foram moderados e, de certa forma, limitados (Bavi et al., 2011; Zoufan et al., 2018).

5 Conclusão

Os resultados deste estudo evidenciaram que o cádmio afeta diretamente os processos e mecanismos fisiológicos de *Ilex paraguariensis*. Contudo, a espécie apresentou respostas adaptativas frente a esse estresse, demonstrando plasticidade fisiológica mesmo sob a toxicidade do metal. Essa capacidade de ajuste, modulada conforme a concentração de cádmio, evidencia o potencial fitorremediador da espécie em áreas contaminadas por metais pesados, podendo a *I. paraguariensis* ser um organismo-chave para aplicações biotecnológicas em biorremediação. No entanto, mais estudos são necessários para avaliar a absorção de Cd por esta espécie.

Referências Bibliográficas

BIZARRO, Veridiana Gonçalves. **Cádmio: metal tóxico sem função biológica essencial.** [S.l.], 2025. Disponível em: <file:///C:/Users/USER/Desktop/cadmio.pdf>. Acesso em: 2 jun. 2025.

COSTA, Cláudia das Neves. **Biodisponibilidade de metais pesados em solos.** [S.l.], 2005. Disponível

em:[file:///C:/Users/USER/Downloads/Biodisponibilidade de metais pesados em%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/USER/Downloads/Biodisponibilidade_de_metais_pesados_em%20(1).pdf). Acesso em: 2 jun. 2025.

MOREIRA, Maria de Fátima. **Efeitos toxicológicos dos metais cádmio e chumbo.** Inmetro. [S.l.], [s.d.]. Disponível em: http://www.inmetro.gov.br/painelsetorial/palestras/Efeitos-toxicol%C3%B3gicos-dos-metais-c%C3%A1dmio-e-chumbo_Dra-Maria-de-F%C3%A1tima.pdf. Acesso em: 2 jun. 2025.

LACERDA, Felipe; NAVONI, Julio Alejandro; AMARAL, Viviane Souza do. **A biorremediação: uma alternativa sustentável para solos contaminados por metais pesados.** IFRN, 2019. Disponível em: <https://memoria.ifrn.edu.br/bitstream/handle/1044/1771/A%20biorremedia%C3%A7%C3%A3o.pdf?sequence=5>. Acesso em: 2 jun. 2025.

BAVI, K. et al. **Effect of cadmium on growth, protein content and peroxidase activity in pea plants.** *Pakistan Journal of Botany*, v. 43, n. 3, p. 1467-1470, 2011. Disponível em: https://www.academia.edu/63524870/Effect_of_Cadmium_on_Growth_Protein_Content_and_Peroxidase_Activity_in_Pea_Plants. Acesso em: 12 ago. 2025.

ZOUFAN, P. et al. **Evaluation of antioxidant bioindicators and growth responses in *Malva parviflora* L. exposed to cadmium.** *Acta Physiologiae Plantarum*, v. 40, n. 6, p. 1007-1015, 2018. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12298-018-0596-2>. Acesso em: 12 ago. 2025.

DALURZO, H. C. et al. **Cadmium infiltration of detached pea leaves: effect on its activated oxygen metabolism.** *Journal of Plant Physiology*, v. 150, n. 1-2, p. 59-64, 1997. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/279549470_Cadmium_Infiltration_of_Detached_Pea_Leaves_Effect_on_its_Activated_Oxygen_Metabolism. Acesso em: 12 ago. 2025.

Palavras-chave: Fitorremediação, metais pesados, contaminação do solo mínimo, erva-mate.

Nº de Registro no sistema Prisma: PES-2024-0363

Financiamento: Universidade Federal da Fronteira Sul.