

ABSORÇÃO E ADSORÇÃO DE METAIS PESADOS POR PLANTAS FITORREMEIADORAS EM ÁREAS DE MINERAÇÃO

Murilo Sampaio Caetano de Souza, Samuel Alves Mendes, Daniela Santos Silva, Matheus Luiz Moreira do Amaral

Colégio Técnico "Antônio Teixeira Fernandes", Rua Paraibuna, 78. Jardim São Dimas-12245-020-São José dos Campos-SP, Brasil, SampaioMurilo311@gmail.com, Samucamendes0000@gmail.com, danielass@univap.br, matheusmoreiraa@gmail.com

Resumo

Com os índices alarmantes de poluição causados pela mineração no Brasil e no mundo, é de suma importância compreender a matriz do problema e como remediar os malefícios dessa prática ao meio ambiente. Este trabalho possui o objetivo de entender os diversos mecanismos da fitorremediação, e a viabilidade da técnica para remediar os problemas ambientais enfrentados atualmente, através de revisão literária e experimento prático utilizando a planta *Helianthus annuus*, popularmente conhecida como girassol, que é considerada uma espécie hiperacumuladora de metais pesados como chumbo (Pb) e cobre (Cu), além do seu fácil cultivo.

Palavras-chave: Fitorremediação. Girassol. Mineração. Meio ambiente.

Curso: Técnico em química

Introdução

A atividade mineradora causa mudanças significativas no ambiente, modificando consideravelmente a fauna e flora locais, sendo fortemente criticada por conservacionistas e reconhecida como tendo elevado potencial de devastação ambiental (Viana *et al.*, 2022). A absorção e adsorção de metais pesados é de extrema importância ambiental, tendo em vista a periculosidade desses compostos e seus malefícios à saúde animal e vegetal (Barros; Carvalho; Ribeiro, 2017). Para isso, técnicas como a fitorremediação e a biorremediação se destacam por utilizar processos naturais para descontaminar ambientes afetados, promovendo a recuperação dos ecossistemas de forma econômica e ecologicamente correta (Silva, 2025).

A absorção e adsorção de metais pesados utilizando plantas fitorremediadoras é uma alternativa ecológica, eficiente e econômica, tendo um crescimento nas pesquisas acerca da mesma nos últimos anos (Marques; Aguiar; Silva, 2011). A compartimentalização de metais em tecidos nas plantas fitorremediadoras refere-se à forma como os metais absorvidos do solo são distribuídos e armazenados dentro das células e tecidos vegetais, em locais onde eles são menos tóxicos ou para facilitar a sua eventual remoção do organismo (Tavares, 2013). De forma resumida, a habilidade das plantas em acumular elevados teores de metais sem comprometer seu desenvolvimento destaca seu potencial para a extração de metais presentes no solo e na água (Silva, 2012). A aplicação da fitorremediação no Brasil é relativamente recente, com os primeiros registros datando do ano 2000, apesar do país apresentar condições climáticas favoráveis e uma rica biodiversidade de espécies que potencializam a adoção dessa técnica (Petersen *et al.*, 2023).

Esse Artigo possui embasamento teórico com base em revistas e artigos científicos, a pesquisa foi realizada entre os meses de abril a julho de 2025, em que foram coletadas informações a respeito do devido tema. Ademais, foi iniciado um experimento utilizando o girassol (*Helianthus annuus*) para analisar seu potencial fitorremediador.

A pesquisa realizada possui como objetivo analisar a utilização de plantas fitorremediadoras na absorção e adsorção de metais pesados do solo para comprovar a eficácia e viabilidade da técnica.

Metodologia

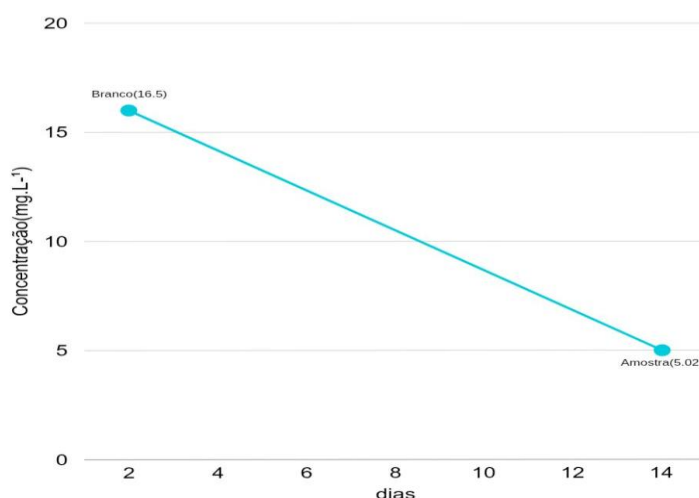
Para o experimento com o girassol, foi adicionado em um balão volumétrico de 1,0 L, 17mg de CuCl_2 e 1 litro de água destilada, a solução foi preparada em água destilada para maximizar a disponibilidade de íons Cu^{2+} e favorecer a capacidade de absorção pelo girassol.

Foi preparada uma solução aquosa de CuCl_2 com concentração de $2,69 \times 10^{-4} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$, sendo transferida para um erlenmeyer de 1,0 L. Em seguida, a planta de girassol (*Helianthus annuus*), foi posicionada de modo que suas raízes permanecessem totalmente imersas na solução, garantindo a aplicação adequada do método hidropônico. Para se ter o controle experimental, foi coletado 10 mL da solução inicial, que foram acondicionados em tubo de ensaio identificado como amostra de referência. O girassol permaneceu imerso na solução por um período de duas semanas, entre 16 e 30 de agosto. Ao final desse intervalo, tanto a amostra de referência quanto a amostra coletada após a exposição foram encaminhadas à empresa Quimlab (Jacareí, SP), onde foram analisadas por meio de espectrometria de absorção atômica, empregada como técnica de quantificação do cobre em solução.

Resultados

Após um período de quatorze dias de exposição, a concentração de íons Cu^{2+} na solução hidropônica foi reduzida, conforme representado no gráfico a seguir.

Gráfico 1: Branco vs concentração da amostra.



Fonte: Os autores, 2025

Esta diminuição representa uma absorção total de aproximadamente 11,54 mg de Cu^{2+} pelo girassol, tendo uma taxa de remoção de 69,68%. O resultado demonstra a eficácia significativa da espécie vegetal na fitorremediação de soluções contaminadas por cobre.

Discussão

Existem algumas plantas que se destacam na sua eficiência em remediar solos contaminados, são elas as “espécies hiperacumuladoras de metais pesados”, que conseguem absorver e armazenar altos níveis de certos metais e minerais em seus tecidos sem sofrer efeitos negativos (Islam; Saxena; Sharma, 2024). Um exemplo é o próprio girassol, que é usado para remediação de solos contaminados com metais pesados, sendo capaz de remover grandes quantidades de chumbo e cobre (Boffe *et al.*, 2017), sendo esse o motivo da escolha do girassol para o experimento do presente artigo. De acordo com o experimento de Oliveira e Luiz de 2018 acerca da utilização do girassol na fitorremediação, após cinco semanas o girassol foi capaz de reduzir a concentração de íons Cu^{2+} de $19,41 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ para $11,39 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ tendo um percentual de remoção de 41,32%. Porém, nas duas primeiras semanas, a absorção foi de aproximadamente $4 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, resultando em uma taxa de apenas 21%.

O resultado do experimento realizado pelos autores foi satisfatório, tendo alcançado uma absorção maior que o esperado com um percentual de absorção de aproximadamente 70%. A diferença na quantidade de cobre absorvida entre os estudos pode ser explicada por dois fatores principais. Primeiro, o estágio de desenvolvimento dos girassóis: em nosso experimento, usamos plantas já crescidas, enquanto Oliveira e Luiz trabalharam com girassóis em suas fases iniciais. Segundo a forma como as plantas foram cultivadas: no experimento foi utilizado a hidroponia, um método que permite um controle maior, enquanto o estudo de referência expôs os girassóis diretamente ao solo contaminado por cobre. A eficácia de plantas na fitorremediação fica evidente ao passar dos anos, com o aumento dos números de experimentos e estudos acerca da utilização dela. Estudos recentes trazem uma possibilidade de aumento significativo na eficiência dessa forma de remediação, o uso da engenharia genética, visando potencializar o potencial fitorremediador das plantas, é o que pesquisadores como Bortolli e Baron (2022) chamam de “genoremediation” ou “genorremediação”. Esse tipo de estudo visa potencializar em grande escala as propriedades como quelação, transporte de íons metálicos, redução de danos oxidativos no metabolismo das plantas e aumento da produção de biomassa (Bilal-Shakoor *et al.*, 2014; Kumar *et al.*, 2015).

Conclusão

Tendo em vista os resultados do experimento exposto no presente artigo, a fitorremediação é uma técnica promissora na remediação dos efeitos causados pela atividade mineradora, principalmente as espécies hiperacumuladoras, sendo uma opção sustentável e de baixo custo. Ademais foi comprovada a eficácia da espécie *Helianthus annuus* (girassol) sendo uma excelente escolha para a remediação de solos contaminados por cobre. É de suma importância o aumento no número de pesquisas realizadas acerca da utilização de plantas para retirar metais pesados e outros poluentes do solo, além de pesquisas acerca do uso da engenharia genética para o aprimoramento dessa técnica de remediação, a fim de impedir ou mitigar os impactos ambientais causados pela mineração no Brasil e no mundo.

Referências

- Barros, D. C.; Carvalho, G.; Ribeiro, M. A. "Processo de bioabsorção para remoção de metais pesados por meio de resíduos agroindustriais: uma revisão" **J-STAGE 2021** vol 9. p. 271-282 Disponível em: https://doi.org/10.7831/ras.9.0_271. Acesso em 25 de maio de 2025.
- Bilal Shakoor, M., Ali, S., Hameed, A., Farid, M., Hussain, S., Yasmeen, T., Najeeb, U., Aslam Bharwana, S., Hasan Abbasi, G., 2014. Citric acid improves lead (pb) phytoextraction in brassica napus L. by mitigating pb-induced morphological and biochemical damages. **Environ. Saf.** 109, 38–47. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2014.07.033>. Acesso em 16 de setembro de 2025.
- Bortoloti, G.A.; Baron, D. Phytoremediation of Toxic Heavy Metals by Brassica Plants: A Biochemical and Physiological Approach. **Environ. Adv.** 2022, 8, 100204. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666765722000400?via%3Dihub>. Acesso em 16 de agosto de 2025.
- Boffe, M. P. *et al.* "Potencial fitoextrator da espécie vegetal *Helianthus annuus* L. em solo contaminado por chumbo" Vol. 38 n.9. Pág. 8. 2017 Disponível em: <http://www.revistaespacios.com/a17v38n09/a17v38n09p08.pdf> . Acesso em 10 de maio de 2025.
- Islan M; Saxena N; Sharma D. "Fitorremediação como um método prospectivo verde e sustentável para contaminação por metais pesados" **RSC Sustainability**, 2024, 2, 1269–1288. Disponível em: https://pubs-rsc-org.translate.google/en/content/articlehtml/2024/su/d3su00440f?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=pt&_x_tr_hl=pt&_x_tr_pto=tc. Acesso em 09 de maio 2025.
- Kumar, S., Dubey, R.S., Tripathi, R.D., Chakrabarty, D., Trivedi, P.K., 2015. Omics and biotechnology

of arsenic stress and detoxification in plants: current updates and prospective. **Environ. Int.** 74, 221–230. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2014.10.019>. Acesso em 16 de setembro de 2025.

Marques M. ; Aguiar C.R.C ; Silva J.J.L.S.D “DESAFIOS TÉCNICOS E BARREIRAS SOCIAIS, ECONÔMICAS E REGULATÓRIAS NA FITORREMEDIAÇÃO DE SOLOS CONTAMINADOS” **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol. 35, núm. 1, enero-febrero, 2011, pp. 1-11 Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Viçosa, Brasil. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/XHbd6zKVdzQMwfsRNHTgMqx/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em 23 de junho de 2025.

Petersen B. C. *et al.* “USO DA FITORREMEDIAÇÃO COMO TRATAMENTO PARA RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS”. **REVISTA FOCO**, v. 16, n. 02, p. 1000, 2023 Disponível em: <https://ojs.focopublicacoes.com.br/foco/article/view/1000/771>. Acesso 11 de maio 2025.

Silva M.F.R. Biorremediação de solos contaminados por lixiviado de aterro sanitário: uma revisão sistemática. 2025. **Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental e Sanitária) - Campus de Crateús, Universidade Federal do Ceará**, Crateús, 2025. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/80042>. Acesso em 19 de junho de 2025.

Silva J. F. “PROSPECÇÃO DE PLANTAS FITORREMEIADORAS EM SOLOS CONTAMINADOS POR METAIS PESADOS”. **Tese de biotecnologia, Universidade Federal do Amazonas (UFAM)** 2012. Disponível em: <https://tede.ufam.edu.br/handle/tede/3075>. Acesso em 08 maio 2025.

Souza R. S. “POTENCIAL FITORREMEIADOR DO PINHAO MANSO E EFEITO DO CADMIO, COBRE E ZINCO EM SEU DESENVOLVIMENT” (**Relatório de Estágio Supervisionado) Curso de Bacharelado em Engenharia Agrícola, Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba - Campus II - Campina Grande - PB - Brasil**, 2011. Disponível em: <https://dspace.sti.ufcg.edu.br/handle/riufcg/263412011>. Acesso em 12 de junho de 2025.

Viana, I.C.C. *et al.* “Impactos ambientais ocasionados pela mineração no Brasil: uma revisão sobre levantamento de minas” 2022 **Universidade Federal do Sul e Sudeste do (UNIFESSPA)**. Disponível em: https://iea.unifesspa.edu.br/images/EVENTOS/2022/IVCONARA/ARTIGOS/28_Impactos_ambientais_ocasionados_pela_mineracao_no_Brasil_uma_revisao_sobre_levantamento_de_minas.pdf. Acesso em 18 de junho de 2025.

Agradecimentos

Agradecemos a todos os professores e orientadores por auxiliarem a nossa jornada, nada seria possível sem a sabedoria e disposição de todos. Ademais, agradecemos também os colegas de curso que compartilharam seus conhecimentos e experiências para o bem mútuo.