



Fitorremediação através de plantas em solos naturais contaminados com Arsênio

Palavras chave: Fitorremediação; Contaminação do solo; Toxicidade do arsênio.

**Autores/as:
Karolyne Enir Serafim [FT]
Prof.^a Dr.^a Marta Siviero Guilherme Pires [FT]**

INTRODUÇÃO

Atividades como a mineração são de suma importância econômica, entretanto, a exploração de minérios acarreta em impactos negativos ao meio ambiente, devido a uma fonte expressiva de contaminação em solos e aquíferos. Dentre estes compostos de impacto poluidor do meio ambiente, está o arsênio. Este elemento é considerado um dos mais nocivos à saúde humana pela Organização Mundial da Saúde (OMS). O ametal pode ser encontrado de forma natural na crosta terrestre e também por meio de atividades antropogênicas (Martins et al, 2021).

Indústrias, principalmente as vinculadas às atividades de mineração, exploram o solo sem a devida adoção de normas de biossegurança e geram uma poluição emergente nas matrizes ambientais. Padrões, como a resolução CONAMA, estabelecem o valor máximo de até 15 mg kg^{-1} de arsênio no solo, porém, na realidade, áreas contaminadas podem chegar a $2900 \text{ mg As kg}^{-1}$ (Teixeira et al. 2020). Portanto, é de suma importância o tratamento e fiscalização de solos contaminados por arsênio para remediar tais problemas ambientais.

A utilização de vegetais é uma forma de remediar áreas contaminadas por metais. Essa metodologia é conhecida como fitorremediação, uma técnica emergente de baixo custo (Fernandes et al, 2019). A fitoextração, em específico, é uma tecnologia em crescimento para despoluição de solos contaminados com metais potencialmente tóxicos, e a mais utilizada, pois o vegetal absorve o metal

por intermédio de suas radículas e acumula-os nos caules e folhas. (Zeng et al. 2023). Em estudos anteriores, realizados pela proponente deste projeto de pesquisa, foi analisada a toxicidade do Arseniato de sódio sobre plantas como a rúcula, alface e mostarda. Neste estudo, o objetivo é dar continuidade a pesquisa e é empregar a fitoextração como estratégia para diminuir a concentração de arsênio em solo natural, utilizando plantas com capacidade bioacumulativas de metais.

METODOLOGIA

Os experimentos foram conduzidos nos Laboratórios de Ecotoxicologia de Solos (LAECOS) e de Estudos em Microbiologia Aplicada (LEMA), localizados na Faculdade de Tecnologia da UNICAMP (FT-UNICAMP). Para a realização dos experimentos, seguiu-se as diretrizes estabelecidas pelas normas ISO 11269-2:2013 “*Soil quality – Determination of the effects of pollutants on the terrestrial flora*” e ISO 16387:2023 “*Soil quality – Effects of contaminants on Echytraeidae (Echytraeidae sp.) – Determination of effects on reproduction*”.

Para os ensaios voltados ao processo de fitorremediação utilizou-se as sementes de *Triticum aestivum*, conhecido popularmente como trigo, pois dentre as sementes testadas como hiperacumuladora, foi a com melhor desempenho de crescimento e produção de biomassa. O solo natural tropical utilizado para a fitorremediação foi coletado em Limeira (SP) e posteriormente contaminado em laboratório. As concentrações adotadas foram 56; 112; 225; 450; e 900 mg As kg⁻¹.

Além da fitoextração, realizou-se um ensaio de reprodutibilidade com organismos da fauna edáfica *E. crypticus* em solo contaminado (SC) e solo remediado (SR). Para este ensaio, o solo foi pesado, peneirado e estocado em estufa por 60° durante 24h. Em seguida procedeu o ensaio com quatro réplicas de cada uma das cinco concentrações (56; 112; 225; 450; e 900 mg As kg⁻¹), além de oito réplicas para o controle, utilizando água destilada. Os ensaios foram mantidos em condições controladas, conforme descrito pela ISO 16387:2023, por um período de 21 dias. Após este intervalo, foi adicionado álcool 70% e solução 1% de Rosa de Bengala para finalizar o teste. Por fim, os organismos foram contados e os dados obtidos foram processados utilizando o software Statística 7.0.

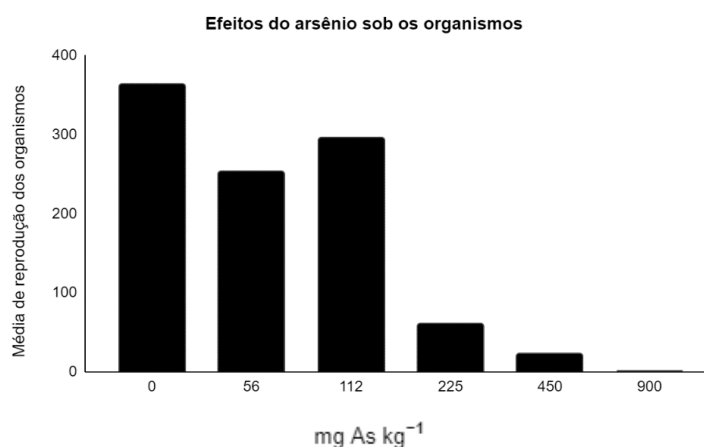
RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Ensaio de reprodução com organismos *E. crypticus*

O tratamento estatístico dos dados foi validado com um coeficiente de variação de 24% em SC para o controle, desta forma, o ensaio atendeu aos requisitos citados pela ISO 16387:2023. O teste de Shapiro-Wilk indicou $p < 0,05$, logo, os dados não apresentaram normalidade. Portanto, seguiu-se com o teste de Kruskal-Wallis, que indicou diferença estatística entre os tratamentos ($p < 0,05$). Em seguida, o teste de Tukey determinou a Concentração de Efeito Não Observado (CENO) e a Concentração de Efeito Observado (CEO), por fim, foi identificado a Concentração de Inibição de 50% (CE_{50}), todos ilustrados na Tabela 1. Em relação aos resultados em SR, os dados ainda não foram processados, pois, conforme cronograma inicial da pesquisa, a contabilização de organismos por réplica está em andamento e possui previsão para conclusão em agosto.

Ao analisar os resultados do ensaio com *E. crypticus*, observa-se, na Figura 1, uma significativa redução na reprodução dos organismos a partir de 225 mg As kg⁻¹ em comparação ao controle, que segundo a Tabela 1, é a primeira concentração a causar efeitos aos organismos. Além disso, nota-se que o CEO é maior que o CE_{50} , indicando que essa primeira concentração é tão prejudicial aos organismos que excede a taxa de inibição de 50% de reprodução dos *E. crypticus*.

Figura 1. Efeito do arsênio sobre a reprodução dos *E. crypticus*



Autoria própria, 2024.

Tabela 1. Índices do CENO, CEO E CE₅₀ para o organismo *E crypticus* exposto ao As

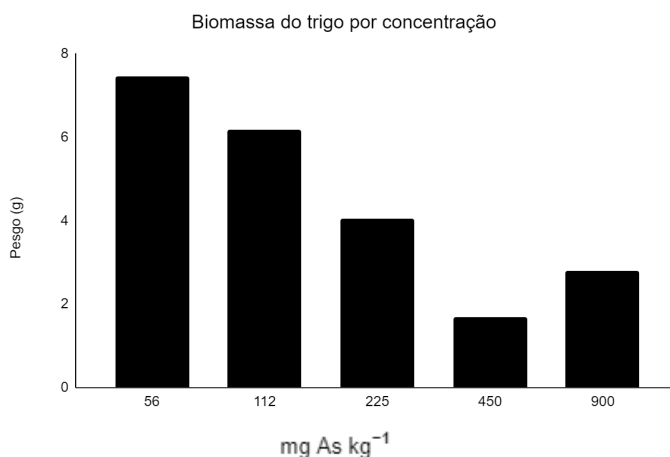
Espécie	CENO	CEO	CE ₅₀
mg As kg ⁻¹			
<i>E. crypticus</i>	112,5	225,0	165,5

Autoria própria, 2024

4.2 Fitorremediação com *Triticum aestivum*

Após o período de 50 dias do processo de fitorremediação do trigo em SC, as mudas foram retiradas do solo, lavadas com água destilada, pesadas e fotografadas. Após isso, o solo foi separado, parte para produção do ensaio com organismos *E. crypticus* em SR e parte para a análise físico-química de quantificação de arsênio. Na Figura 2 é possível observar o decréscimo do índice de biomassa, conforme aumentavam as concentrações de arsênio. Este indicador representa o peso em gramas do total de biomassa vegetal por concentração e é um fator importante para a fitorremediação. Apesar destes resultados indicarem um baixo fator remediador, apenas uma análise físico-química indicará se o trigo é um bom mitigador, esta etapa será realizada em agosto, conforme cronograma da pesquisa.

Figura 2. Índice de biomassa de trigo por concentração de arsênio



Autoria própria, 2024.

CONCLUSÃO

Os ensaios com organismos *E. crypticus* em SC indicaram um valor de CE_{50} (165,5 mg As kg⁻¹) superior ao recomendado pela resolução CONAMA 420/2009, fortificando a necessidade de realizar experimentos voltados à descoberta de ferramentas remediadoras. Dessa forma, foi realizado o procedimento de fitorremediação com trigo. Os testes apresentaram uma diminuição da produção de biomassa conforme aumentava as concentrações de arsênio, contudo é necessário a realização de análises físico-químicas para obtenção de percentuais de remoção de arsênio do solo e afirmação de fitoextração. .

BIBLIOGRAFIA

FERNANDES. P, et al. Estudo teórico sobre fitorremediação de solo contaminado por arsênio. 2019. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/29844/19278>.

MARTINS. G, et al. Assessing the Brazilian prevention value for soil arsenic: Effects on emergence and growth of plant species relevant to tropical agroecosystems, Science of The Total Environment, v. 694, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.133663>.

TEIXEIRA. M, et al. Arsenic contamination assessment in Brazil – Past, present and future concerns: A historical and critical review. Science of The Total Environment, v. 730, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138217>.

ZENG. D, et al. Phytoremediation of arsenic contaminated soils by *Arundo donax* L. enhanced with Earth Total Support (ETS), Sustainable Chemistry for the Environment, v.3, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scenv.2023.100036>.