FITORREMEDIAÇÃO ATRAVÉS DE PLANTAS EM SOLOS NATURAIS CONTAMINADOS COM CHUMBO

Palavras-Chave: FITORREMEDIAÇÃO, TOXICIDADE DO CHUMBO, RECUPERAÇÃO DE SOLOS

Autores(as):

ANDREY PAUL BETTONI MAJAROWSKY, FT – UNICAMP

M.Sc BRUNA DE JESUS MOREIRA, FT - UNICAMP

Prof(ª). Dr(ª). MARTA SIVIERO GUILHERME PIRES, FT - UNICAMP

INTRODUÇÃO:

O chumbo é um metal azul-acinzentado naturalmente na crosta terrestre, amplamente utilizado em setores como o químico e o da construção, em aplicações que incluem soldas, folhas de proteção contra raios X, tintas automotivas e cabos elétricos. Apesar de sua relevância industrial, organizações como a Organização Mundial da Saúde (OMS), a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA) e a Agência Ambiental da Alemanha (UBA) não definem níveis seguros de exposição, devido à sua reconhecida toxicidade. No Brasil, a Resolução CONAMA 420/2009 estabelece limites máximos de concentração no solo, variando de 180 mg kg^{-1} em áreas agrícolas a 900 mg kg^{-1} em áreas industriais. Considerando os riscos ambientais e à saúde humana associados à contaminação por chumbo, diversas tecnologias de remediação têm sido estudadas. Entre elas, a fitorremediação destaca-se como uma alternativa de baixo custo, ambientalmente sustentável e com resultados promissores. (ZHAO et al., 2023). Dentro dessa abordagem, a fitoextração apresenta grande potencial, promovendo a absorção e o acúmulo de metais pesados em partes aéreas das plantas, embora sua eficiência dependa de fatores como a espécie utilizada, a biodisponibilidade dos metais e as condições do solo (Yan et al., 2020).

Neste contexto, este trabalho teve como objetivo avaliar o potencial da *Brassica juncea* na fitorremediação de solos contaminados com chumbo, estudando sua tolerância e capacidade de acumulação do contaminante. Teve-se como objetivos específicos o monitoramento do crescimento das plantas ao longo de determinados estágios de desenvolvimento em solos com diferentes concentrações de chumbo; análise das características como altura, biomassa úmida; comparação da quantidade de contaminante no solo antes e depois do experimento e avaliação do desempenho das plantas através da tolerância, do crescimento e da capacidade de acúmulo

de chumbo, visando identificar diferenças relevantes na aplicação de estratégias de fitorremediação.

METODOLOGIA:

Cultivo das plantas

O experimento em vaso com *Brassica juncea* (mostarda) foi conduzido em duas etapas. Na primeira etapa as sementes foram dispostas em dois recipientes contendo solo não contaminado, para iniciar seu desenvolvimento. Na segunda etapa, as plantas foram transferidas para vasos com cinco concentrações do contaminante em dois momentos distintos. O experimento foi realizado na área externa do campus de dimensões de aproximadamente 3 m de comprimento e 1 m de largura. Para minimizar os efeitos da radiação solar direta e chuva, as plantas foram protegidas por um sombrite, permitindo a transmissão de 50% da luz incidente (Figura 1). Essa cobertura foi aplicada de forma que protegesse tanto a parte superior quanto as laterais, a fim de evitar radiação solar direta, chuva e depósito de materiais em cima dos potes, garantindo assim a sobrevivência das plantas. Os vasos foram dispostos em um delineamento aleatório, sob a proteção do sombrite, com 18 vasos da mostarda crespa e lisa na primeira etapa e 15 vasos da mostarda crespa na segunda etapa, totalizando 51 vasos. Para cada vaso, foi transplantada uma planta, resultando em três plantas por concentração. A manutenção do experimento incluiu 2 regas semanais, mantendo a umidade do solo a aproximadamente 20-25%.

Figura 1 - Local do cultivo

Etapas do experimento

Dois recipientes de polipropileno (33 cm de diâmetro x 16 cm de altura) com solo não contaminado foram adotados como banco de sementes até as plantas atingirem a fase de botões. Após a fase de botões, as mudas foram transferidas em duas etapas distintas para vasos de polipropileno (13,8 cm de diâmetro x 6,7 cm de altura) com solo contaminado, sendo as etapas:

Primeira etapa: Transferência das mudas no início da fase de botões.

Segunda etapa: Transferência das mudas no início da maturação.

Ambas as etapas terminam ao final da maturação da planta, ocorrendo depois a sua colheita e posteriores análises. As etapas do experimento (Figura 2) estão detalhadas no esquema abaixo, juntamente das fases fisiológicas e suas durações consideradas:

Figura 2 - fases fisiológicas e suas durações

Espécie em estudo

A espécie selecionada para o estudo foi a *Brassica juncea*, especificamente os cultivares mostarda crespa e mostarda lisa. *B. juncea* é considerada uma planta promissora para a fitorremediação, sendo uma importante cultura oleaginosa adaptada a solos secos, com um sistema radicular capaz de hiperacumular determinados metais pesados (Bassegio et al., 2019). As sementes utilizadas foram adquiridas no site da ISLA e estavam isentas de agrotóxicos.

Contaminante

As plantas de cada vaso foram agrupadas para análise química em triplicata, resultando em três amostras por tratamento e por cultivar. Cada vaso continha 0,16 kg de solo úmido tratado com Pb, em concentrações de 100 mg kg $^{-1}$ (T1), 200 mg kg $^{-1}$ (T2), 300 mg kg $^{-1}$ (T3), 400 mg kg $^{-1}$ (T4) e 500 mg kg $^{-1}$ (T5), além de vasos controle (T0), sem contaminantes. A escolha dessas concentrações baseou-se nos limites máximos estabelecidos pela Resolução CONAMA 420/2009 para solos agrícolas (180 mg kg $^{-1}$), residenciais (300 mg kg $^{-1}$) e industriais (900 mg kg $^{-1}$), permitindo uma análise detalhada do impacto do metal nas plantas.

Análise de dados

Foram utilizados cinco parâmetros para quantificar e comparar diferentes aspectos fisiológicos das plantas e os efeitos toxicológicos do contaminante nas diferentes concentrações e etapas, sendo estes: taxa de crescimento relativo; índice de tolerância ao stress; fator de bioacumulação; razão de remoção por biomassa e eficiência de remoção.

RESULTADOS E DISCUSSÃO:

Crescimento relativo e índice de tolerância ao estresse

O crescimento relativo e o índice de tolerância ao estresse foram avaliados para os dois cultivares de *Brassica juncea*, tendo como objetivo analisar seu desempenho sob as diferentes concentrações do chumbo. O crescimento relativo fornece uma avaliação quantitativa do desenvolvimento das plantas pelas diferentes concentrações de Pb no solo, mostrando como os metais pesados afetam seu desenvolvimento fisiológico. Já o índice de tolerância ao estresse indica a capacidade dos cultivares de resistirem a condições adversas associadas à toxicidade do chumbo.

No presente experimento observou-se grande variação entre as concentrações, os cultivares e as etapas, além de não apresentar uma progressão linear, indicando que a espécie vegetal e a concentração do contaminante não foram os únicos fatores determinantes. No presente experimento observou-se grande variação entre as concentrações, os cultivares e as etapas, indicando que a espécie vegetal e a concentração do contaminante não foram os únicos fatores determinantes. Como a fitoextração envolve a transferência de metais pesados do solo

para as plantas, através da absorção da raiz da planta, que distribui para as partes aéreas da planta, a perda na quantidade e qualidade das raízes durante a transferência e a ausência de um período de aclimatação ao contaminante fez com que o estresse sofrido pelas plantas fosse maior do que seria caso o contato com o poluente tivesse ocorrido desde o estágio de semente. Esses fatores impactaram negativamente o crescimento relativo e o índice de tolerância ao estresse das plantas, causando maiores variações entre concentrações e a ausência de uma progressão linear (Zeremski et al., 2021; Zhao et al., 2023; Zunaidi et al., 2024).

Fator de bioacumulação, razão de remoção por biomassa e eficiência de remoção de Pb da concentração 500 mg kg^{-1}

A eficiência de remoção, a razão de remoção por biomassa e o fator de bioacumulação foram avaliados para as duas sementes de *Brassica juncea*, mas apenas para a maior concentração (T5), com o objetivo de analisar o potencial fitoextrator dos dois cultivares de Brassica juncea e, no caso da mostarda crespa, nas diferentes etapas. A eficiência de remoção quantifica a capacidade das plantas em reduzir a concentração de chumbo no solo, sendo um parâmetro essencial para avaliar sua eficácia na fitorremediação. A razão de remoção por biomassa integra o volume de biomassa com a quantidade de metal removida, refletindo o desempenho das plantas na extração eficiente do contaminante. Já o fator de bioacumulação expressa a proporção entre a concentração de chumbo nos tecidos vegetais e no solo, funcionando como um indicativo direto do acúmulo do metal nas plantas.

Ao comparar os resultados obtidos para a concentração T5, verificou-se que a mostarda crespa da etapa 2, em geral, superou os dois cultivares da etapa 1, apesar de ter sido exposta ao solo contaminado por um período de tempo menor. Este resultado sugere que um maior tempo de contato com o solo contaminado nem sempre resulta em melhor eficiência de fitoextração. Dado os efeitos adversos do chumbo na fisiologia da planta, iniciar o processo de fitorremediação com plantas em um estágio mais avançado de desenvolvimento pode ser uma estratégia eficaz para melhorar a qualidade da descontaminação e otimizar a duração do processo. Para obter uma validação mais confiável desses resultados, o ideal seria submeter amostras das concentrações T3 e T4 para análises futuras, a fim de verificar se os padrões observados persistem em outras faixas de contaminação.

CONCLUSÕES:

Compreender como as concentrações de metais no solo afetam as plantas, em especial o potencial da *Brassica juncea* para a fitorremediação, é essencial para a viabilizar a aplicação dessa técnica na descontaminação de solos. Embora a absorção de metais pela planta siga uma progressão linear, a comparação entre as plantas da etapa 1 (78 dias) e da etapa 2 (29

dias) revela que essa progressão linear possui um “limite” relativamente curto. Tendo isso em vista, pesquisas futuras podem analisar esse limite para identificar um intervalo de tempo ideal, em que haja uma relação mais eficiente entre tempo de exposição e efetividade da fitoextração, tornando o processo rápido, além de economicamente viável e sustentável.

Além disso, o crescimento relativo negativo observado por algumas das plantas deixou evidente que para essa técnica de contato tardio com o contaminante ser eficaz, é preciso considerar outros fatores importantes a serem considerados além dos normalmente considerados, como contaminante, concentração e espécie de planta. Entre os fatores adicionais, têm-se a profundidade mínima e máxima de solo do plantio, o funcionamento do processo de transplante da planta para o solo contaminado para evitar danificação das raízes e aclimatização da planta ao contaminante e a importância de se ter um espaço controlado, tanto para evitar danos desnecessários às plantas como também para evitar o contato dos animais com essa biomassa contaminada. Por fim, serão necessários mais estudos em condições de campo e com solo contaminado com Pb para confirmar os resultados deste estudo, fazendo as melhorias mencionadas para um melhor desempenho.

BIBLIOGRAFIA

BASSEGIO, Chaiane; CAMPAGNOLO, Marcelo Angelo; SCHWANTES, Daniel; GONÇALVES JUNIOR, Affonso Celso; MANFRIN, Jéssica; SCHILLER, Andreia da Paz; BASSEGIO, Doglas. **Growth and accumulation of Pb by roots and shoots of Brassica juncea L.**. *International Journal of Phytoremediation*, v. 22, n. 2, p. 134-139, 2019.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 420, de 28 de dezembro de 2009. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 30 dez. 2009.

YAN, An; WANG, Yamin; TAN, Swee Ngin; YUSOF, Mohamed Lokman Mohd; GHOSH, Subhadip; CHEN, Zhong. **Phytoremediation: A promising approach for revegetation of heavy metal-polluted land.** *Frontiers in Plant Science*, v. 11, p. 359, 2020.

ZEREMSKI, Tijana; RANDELOVIC, Dragana; JAKOVLJEVIC, Ksenija; JEROMELA, Ana Marjanovic; MILIC, Stanko. **plants Brassica Species in Phytoextractions: Real Potentials and Challenges.** *Plants* 2021, 10, 2340.

ZHAO, Xin; JOO, Jin Chul; DU, Daolin; LI, Guanlin; KIM, Jae Young; CHOI, Youn Jin; KIM, Jung Hyun. **Modelling heavy-metal phytoextraction capacities of *Helianthus annuus L.* and *Brassica napus L.*** *Chemosphere*, v. 337, p. 139341, out. 2023.

ZUNAIDI, Adzrin Asikin; LIM, Lee Hoon; METALI, Faizah. **Heavy metal tolerance and accumulation in the Brassica species (Brassica chinensis var. parachinensis and Brassica rapa L.): A pot experiment.** *Heliyon*, v. 10, n. 8, e29528, 30 abr. 2024.