

FITORREMEDIAÇÃO: CRESCIMENTO DE GIRASSOL EM SOLOS CONTAMINADOS POR CHUMBO

Ana Helena S. Pereira – anahelenaspereira@gmail.com

Ana Paula S. Pereira – anapaulaspereira0@gmail.com

Breno A. Z. Almeida – brenozaidan4@gmail.com

Jhony R. Dias – johnnykta11@gmail.com

Larissa M. Garcia – larissamg3@gmail.com

Glaucio Marques – glauciomarques@unifei.edu.br

Renata dos Santos – renatasantos@unifei.edu.br

Universidade Federal de Itajubá – *Campus* de Itabira
Rua Irmã Ivone Drumond, 200, Distrito Industrial II
35903-087 – Itabira – MG

Resumo: Chumbo é um metal tóxico usado de maneira abrangente em várias atividades antrópicas, como: medicina (proteção contra raio-x), elétrica (revestimento de fiação e acumuladores elétricos), construção civil (canos e soldas), indústria armamentista (munição e explosivos) e, principalmente, na mineração (extração comercial e lapidação de pedras preciosas) e indústria automobilística (baterias e material de revestimento). Contudo é um metal que sempre apareceu na história do desenvolvimento humano em casos de contaminação de pessoas e também do meio ambiente. Buscando resolver tal problemática, pode-se utilizar uma técnica chamada fitorremediação, que surgiu recentemente, porém já apresenta resultados extremamente significativos. Esta técnica consiste na utilização de propriedades naturais de absorção de algumas espécies vegetais para conter, retirar e tratar resíduos orgânicos e/ou inorgânicos de um solo contaminado. Para tratar áreas degradadas pelo contaminante citado anteriormente, as técnicas de engenharia não são viáveis econômica e ecologicamente. Visto isso, foi realizado um experimento para analisar o desenvolvimento de mudas de girassol (*Helianthus annuus*) em solo contaminado por chumbo, com o objetivo de identificar o potencial fitorremediador, visando a uma alternativa eficiente e eficaz para a recuperação da área.

Palavras-chave: Fitorremediação. Contaminação por Chumbo. Degradação Ambiental.

1 INTRODUÇÃO

Após o processo de industrialização e o aumento da mineração, a contaminação do solo por chumbo tem sido uma problemática. Dentre uma lista de 275 substâncias orgânicas e inorgânicas consideradas prioritárias para o controle nos EUA, baseando-se na combinação de sua frequência, toxicidade e potencial de exposição humana, o chumbo (Pb) ocupa o segundo lugar (SYRACUSE RESEARCH CORPORATION, 2004). Globalmente, calcula-se que cerca de 300 milhões de toneladas de chumbo já foram expostas no meio ambiente durante os últimos cinco milênios, especialmente nos últimos 500 anos (PAOLIELLO; CHASIN, 2001).

Em 2002, na cidade de Bauru, interior de São Paulo, cerca de 20 mil pessoas ficaram expostas a uma área de risco de contaminação de chumbo (JUSTIÇA..., 2002). Este metal foi proveniente das chaminés de uma das maiores empresas nacionais de baterias automotivas. Das 25 crianças contaminadas, quatro apresentaram 27 microgramas de chumbo por decilitro de sangue, quase o triplo do considerável tolerável (10 microgramas por decilitro). Diversos órgãos alegaram que a poluição ambiental afetou também o solo, animais e vegetação próximos à localização da empresa.

Com a degradação do meio ambiente, a busca por alternativas de descontaminação de áreas tem sido um tema pautado. Conforme Accioly e Siqueira (2000), a remediação de áreas contaminadas é geralmente uma exigência legal e um compromisso social que precisam ser executados, criando uma enorme demanda tecnológica. Os metais pesados se diferem dos demais metais pelo fato de ele não poder ser sintetizado ou eliminado pela ação antrópica. Logo, seria necessário outro meio para remediar tal problema. Embora a fitorremediação seja um conceito novo na ecotoxicologia, conhecida desde 1991, ela apresenta resultados positivos em relação à descontaminação.

Fitorremediação é a utilização de espécies vegetais como agente despoluente. Quase todas as plantas são capazes de absorver, sequestrar e/ou degradar contaminantes (CUNNINGHAM; OW, 1996). Usada, principalmente, em áreas contaminadas com metais pesados, por ser uma técnica economicamente mais viável, possui aplicação em larga escala e é menos agressiva ao meio ambiente. Porém, tudo depende da capacidade da biomassa vegetal de acumular altas concentrações do metal pesado e sintetizá-los sem que sofra efeitos prejudiciais ao seu desenvolvimento, ou seja, depende do potencial fitorremediador da planta. A fitoextração, um tipo de fitorremediação, é praticada em várias partes do mundo e, em muitos países, em escala comercial (CHANTACHON *et al.*, 2004; LASAT, 2002). Usado em casos de contaminação de chumbo, é uma técnica baseada na captação do contaminante pelas raízes da planta. O objetivo desta pesquisa foi analisar o potencial fitoextrator da *Helianthus annuus* em um meio contaminado com nitrato de chumbo ($\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$).

Visando à comprovação da técnica de fitorremediação, foi realizado um experimento na Universidade Federal de Itajubá – *Campus* de Itabira (Unifei – *Campus* de Itabira) com mudas de girassóis que foram contaminadas, no solo, por diferentes concentrações de chumbo para analisar a reação destas sob influência do contaminante nitrato de chumbo ($\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$).

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Na busca de alternativas para despoluir áreas contaminadas por diversos compostos orgânicos, tem-se optado por soluções que englobam: eficiência na descontaminação, simplicidade na execução, tempo demandado pelo processo e menor custo. Neste contexto, cresce o interesse pela utilização da biorremediação, caracterizada como uma técnica que objetiva descontaminar solo e água por meio da utilização de organismos vivos, como

microrganismos e plantas.

A maioria dos orgânicos parece sofrer algum grau de transformação nas células das plantas antes de serem isolados em vacúolos ou ligados a estruturas celulares insolúveis, como a lignina (SALT; SMITH; RASKIN, 1998). A capacidade de metabolização do agrotóxico a um composto não tóxico (ou menos tóxico) à planta e ao ambiente é o princípio da fitodegradação. Outra possibilidade é a fitoestimulação, na qual há o estímulo à atividade microbiana, promovido pela liberação de exsudatos radiculares, que atua degradando o composto no solo, o que caracteriza, em algumas plantas, a aptidão rizosférica para a biorremediação de compostos tóxicos.

A fitorremediação é uma alternativa aos métodos convencionais de bombeamento e tratamento de água, ou remoção física da camada contaminada de solo, sendo vantajosa principalmente por apresentar potencial para tratamento *in situ* e ser economicamente viável. Além disso, após extrair o contaminante do solo, a planta armazena-o para tratamento subsequente, quando necessário, ou mesmo metaboliza-o, podendo, em alguns casos, transformá-lo em produto menos tóxico ou mesmo inócuo. Essa técnica pode ser usada em solos contaminados, hidrocarbonetos de petróleo, agrotóxicos, explosivos, solventes clorados, e subprodutos tóxicos da indústria (CUNNINGHAM *et al.*, 1996). A pesquisa com metais pesados tem sido a mais difundida, como é o caso de algumas espécies que já têm sua eficiência comprovada (ACCIOLY; SIQUEIRA, 2000). Recentes pesquisas têm difundido a utilização de plantas na fitorremediação de agrotóxicos e metais pesados, mostrando que isso é uma técnica já utilizada anteriormente e que possui resultados positivos que confirmam o potencial desta.

É desejável às plantas que apresentem potencial para fitorremediação possuírem algumas características que devam ser usadas como indicativos para seleção. Com base nas análises apresentadas por diversos autores (ACCIOLY; SIQUEIRA, 2000; CUNNINGHAM *et al.*, 1996; FERRO; SIMS; BUGBEE, 1994; NEWMAN *et al.*, 1998; PERKOVICH *et al.*, 1996; VOSE *et al.*, 2000), essas características devem ser:

- a) capacidade de absorção, concentração e/ou metabolização e tolerância ao contaminante;
- b) retenção do contaminante nas raízes, no caso da fitoestabilização, como oposto à transferência para a parte aérea, evitando sua manipulação e disposição;
- c) sistema radicular profundo e denso;
- d) alta taxa de crescimento e produção de biomassa;
- e) capacidade transpiratória elevada, especialmente em árvores e plantas perenes;
- f) fácil colheita, quando necessária a remoção da planta da área contaminada;
- g) elevada taxa de exsudação radicular;
- h) resistência a pragas e doenças;
- i) fácil aquisição ou multiplicação de propágulos;
- j) fácil controle ou erradicação;
- k) capacidade de desenvolver-se bem em ambientes diversos; e
- l) ocorrência natural em áreas poluídas (importantes na identificação, porém não é pré-requisito).

Naturalmente, torna-se difícil reunir todas essas características numa só planta, porém aquela que for selecionada deve reunir o maior número delas. Outro aspecto a ser observado é que, embora a maioria dos testes avalie plantas isoladas, várias espécies podem ser usadas em um mesmo local, ou ao mesmo tempo ou subsequentemente, para remover mais de um contaminante (MILLER, 1996).

As plantas de girassol (*Helianthus annuus L.*) podem ser utilizadas para remediação de solos contaminados com metais pesados, sendo plantas capazes de remover grandes quantidades de metais no solo (HERZIG *et al.*, 2014; ZALEWSKA; NOGALSKA, 2014). Adicionalmente, o girassol é uma planta produtora de óleo, o qual pode ser utilizado para a produção de biocombustível, permitindo, desta forma, melhorar o balanço econômico do processo de fitorremediação (NEHNEVAJOVA *et al.*, 2005; YEH *et al.*, 2015).

Considera-se ainda, como uma das principais vantagens do uso de girassol nos processo de fitorremediação, o fato de a planta apresentar ciclo vegetativo curto, aproximadamente 110 dias entre plantio e colheita (LIMA, 2010) e pode ser cultivada em diferentes tipos de solo, variações de temperatura e ph. Com grande importância econômica, o girassol apresenta baixa incidência de doenças e pragas, contribuindo para o aumento da eficiência da fitorremediação e facilitando os trabalhos de manejo (LIMA, 2010; MARIANO; OKUMURA, 2012).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Cada espécie vegetal apresenta um potencial fitorremediador diferente que depende do metal presente no solo. Com base nisso, as principais pesquisas do campo analisam a tolerância da planta sob influência do contaminante, a fim de analisar qual planta apresenta melhor efeito remediador em determinada situação.

Referente a isso, foi conduzido em Itabira (MG), na localização 19°37'26.2"S 43°13'57.2"W, durante o segundo período de 2017, um experimento cujo objetivo foi analisar o efeito fitoextrator do girassol. Adotando práticas sustentáveis, foram manipuladas 13 garrafas pets convencionais de 2 litros, todas idênticas, cortadas ao meio, que posteriormente serviram como vaso. O plantio da espécie *H. annuus* foi realizado a partir de sementes, no dia 26 de setembro de 2017, recorrendo a um total de 10kg de terra já adubada e fertilizada. A semeadura foi feita com as seguintes condições climáticas: temperatura 17°C, umidade relativa 73% e pressão 1019hPa.

Após o plantio, os vasos foram mantidos em local arejado, a céu aberto e com incidência solar durante 20 dias, sendo regados todos os dias. No dia 10 de novembro, quando as mudas alcançaram ± 40 cm de altura, as amostras foram levadas para o laboratório de ecologia, situado na Unifei – Campus de Itabira, onde foram contaminados com o nitrato de chumbo ($\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$), com teor de 99% de pureza. A partir da dissolução da concentração inicial de 6140,8mg/L em água destilada, foram criadas soluções distintas do metal pesado. Logo, o experimento consistiu em 5 situações de contaminação, em que cada girassol foi irrigado periodicamente com aproximadamente 250ml da concentração do contaminante: 0mg/L (testemunha), 52mg/L, 103mg/L, 207mg/L e 414mg/L.

Analisar o crescimento e as folhas, quantitativamente, e observar possíveis áreas foliares necrosadas são ações essenciais para a análise do desenvolvimento da planta em solo contaminado. Ao final do experimento, realizou-se a coleta de dados da massa fresca – peso da amostra, com auxílio da balança de precisão – e da massa seca – peso da amostra após a desidratação, com auxílio de uma estufa e da balança de precisão – da parte aérea e das raízes de cada amostra. Para fins de comprovação, os dados das amostras contaminadas foram comparados com os dados da testemunha.

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Na semana seguinte ao plantio, ocorreu um período de chuva intensa na região de Itabira, com precipitação acumulada de 12,3 mm³, e ausência de sol. Acredita-se que esse acontecimento tenha retardado a germinação dos girassóis, que ocorreu dia 4 de outubro, e

dificultado o desenvolvimento dos que não obtiveram sucesso. Quatro dias após a eclosão, dos 13 plantios executados, 5 mudas da espécie apresentaram sucesso no seu desenvolvimento.

Como exposto, a contaminação ocorreu no dia 10 de novembro, no laboratório de ecologia da Unifei – Campus de Itabira. A obtenção dos resultados foi realizada entre os dias 22 e 29 de novembro, período em que os girassóis apresentaram as características identificadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Características apresentadas pelos girassóis no período de 22 a 29-11-2017

Concentração(mg/L)	Varição da altura
0	7cm
52	9cm
104	6,5cm
207	11cm
414	9cm

Fonte: Autores deste estudo

Após observar os valores presentes na Tabela 1, percebeu-se que não houve alterações significativas no desenvolvimento do caule. Além disso, não foi possível perceber como as diferentes concentrações (Tabela 2) influenciaram no crescimento das plantas.

Tabela 2 – Diferentes concentrações durante o crescimento dos girassóis

Concentração (mg/L)	Nº de folhas	Massa fresca da raiz	Massa fresca da parte aérea	Massa fresca total	Massa seca da raiz	Massa seca da parte Aérea	Massa seca total
0	19	14,982	25	39,982	6,258	13,82	20,078
52	18	11,3591	29,888	41,247	5,128	20,32	25,448
104	20	7,2838	31,651	38,9348	2,7	21,63	24,33
207	19	6,8145	26,3401	33,1546	2,51	19,189	21,699
414	19	5,7362	27,3889	33,1251	2,234	16,014	18,248

Fonte: Autores deste estudo

A partir dos dados mostrados na Tabela 2, pode-se concluir que as raízes das plantas foram a área mais afetada pelo processo da contaminação, visto que, quanto maior a concentração do contaminante, menor a massa fresca e seca obtida por elas. Este resultado mostra que a área mais afetada é aquela onde há maior contato com o contaminante, neste caso, a raiz.

Apesar de as raízes terem sido afetadas pela presença do contaminante, pode-se notar a ausência de um padrão ao comparar a parte aérea dos indivíduos. Uma possível explicação para tal ausência é o tempo de contaminação, isto é, as raízes foram mais afetadas por estarem em contato direto com o chumbo, porém a planta não teve tempo suficiente para que ele fosse absorvido propriamente e espalhado totalmente pelo seu corpo. Portanto não houve mudança na parte aérea, isto é, caule e folhas.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Vale ressaltar que o processo de fitorremediação é de grande interesse e importância para a área de Engenharia Ambiental visto que este procedimento, já que está comprovado que ele

apresenta êxito, permite recuperar áreas contaminadas por metais pesados, com o intuito de serem reutilizadas posteriormente. Este processo, além de ser ecologicamente correto, possui baixo custo de aplicação e manutenção, mostrando assim que é economicamente viável.

Pode-se concluir, a partir da análise dos resultados, que o tempo do experimento foi muito curto. Apesar de observar as modificações crescentes, de acordo com a concentração do contaminante que o chumbo provocou no desenvolvimento das raízes, naquelas em que havia maior contato com o contaminante, o resto do corpo das amostras não apresentou uma mudança significativa.

Como não foi encontrado um padrão do desenvolvimento em relação à contaminação, não foi possível concluir totalmente o objetivo do experimento, fato que não invalida o estudo realizado até então. Devido aos resultados serem apenas parciais, foi decidido proceder com um segundo experimento adotando um número maior de amostras, o que proporciona resultados estatisticamente mais aceitáveis, e concentrações maiores de $Pb(NO_3)_2$.

REFERÊNCIAS

ACCIOLY, A. M. A.; SIQUEIRA, J. O. Contaminação química e biorremediação do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. V. H.; SCHAEFER, C. E. (eds.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência, 2000. p. 299-352.

CHANTACHON, S. *et al.* Phytoextraction and accumulation of lead from contaminated soil by vetiver grass: Laboratory and simulated field study. **Water, Air, Soil Pollution**, v. 154, n. 1-4, p. 37-55, May 2004. Disponível em:
<<https://link.springer.com/article/10.1023/B:WATE.0000022926.05464.74>>. Acesso em: 12 out. 2017.

CUNNINGHAM, Scott D.; OW, David W. Promises and Prospects of Phytoremediation. **Plant Physiol.**, v. 110, n. 3, p. 715-719, mar. 1996. Disponível em:
<<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC157769/pdf/1100715.pdf>>. Acesso em: 12 out. 2017.

CUNNINGHAM, Scott. D. *et al.* Phytoremediation of soils contaminated with organic pollutants. **Adv. Agron.**, v. 56, p. 55-114, 1996. Disponível em:
<https://www.academia.edu/14366045/Phytoremediation_of_Soils_Contaminated_with_Organic_Pollutants>. Acesso em: 9 out. 2017.

FERRO, A. M.; SIMS, R. C.; BUGBEE, B. Hycrest crested wheatgrass accelerates the degradation of pentachlorophenol in soil. **J. Environ. Qual.**, v. 23, n. 2, p. 272-279, Mar./Apr. 1994.

HERZIG, Rolf *et al.* Feasibility of Labile Zn Phytoextraction Using Enhanced Tobacco and Sunflower: Results of Five and One-Year Field-Scale Experiments in Switzerland. **International Journal of Phytoremediation**, v. 16, n. 7-8, p. 735-754, 2014.

JUSTIÇA fecha empresa em Bauru por contaminação ambiental. **O Estadão**, São Paulo, 10 abr. 2002. Ciência. Disponível em: <<http://ciencia.estadao.com.br/noticias/geral,justica-fecha-empresa-em-bauru-por-contaminacao-ambiental,20020410p58884>>. Acesso em: 12 out. 2017.

LASAT, Mitch M. Phytoextraction of toxic metals: A review of biological mechanisms. **Journal of Environmental Quality**, v. 31, p. 109-120, Jan./ Feb. 2002. Disponível em: <<https://pdfs.semanticscholar.org/09d0/c404ddb1ecb517334e93d7d7b36c9300f8e.pdf>>. Acesso em: 12 out. 2017.

LIMA, Anita Maria de. Avaliação do potencial fitorremediador da mamona (*Ricinus communis* L.) e girassol (*Helianthus annuus* L.) quanto à remoção de chumbo e tolueno em efluentes sintéticos. 2010. 110 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química)-Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2010. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/15900/1/AnitaML_TESE.pdf>. Acesso em: 9 out. 2017.

MARIANO, Daiane de Cinque; Okumura, Ricardo Shiguero. Aspectos agronômicos, usos pelo homem e mecanismos da fitorremediação: uma revisão. **Revista em Agronegócios e Meio Ambiente**, v. 5, n. Edição Especial, p. 85-101, out. 2012. Disponível em: <<http://periodicos.unicesumar.edu.br/index.php/rama/article/viewFile/1967/1708>>. Acesso em: 9 out. 2017.

MILLER, Ralinda R. **Phytoremediations**. Pittsburgh: Ground-Water Remediation Technologies Analysis Center, 1996. Disponível em: <https://clu-in.org/download/toolkit/phyto_o.pdf>. Acesso em: 9 out. 2017.

NEHNEVAJOVA, Erika *et al.* Screening of sunflower cultivars for metal phytoextraction in a contaminated field prior to mutagenesis. **International Journal of Phytoremediation**, v. 7, n. 4, p. 337-349, oct./dec. 2005.

NEWMAN, Lee A. *et al.* Phytoremediation of organic contaminants: a review of phytoremediation research at the university of Washington. **J. Soil Contamination**, v. 7, n. 4, p. 531- 542, Oct./Dec. 1998.

PAOLIELLO, Monica M. B.; CHASIN, Alice A. M. **Ecotoxicologia do chumbo e seus compostos**. Salvador: CRA, 2001.

PERKOVICH, B. S. *et al.* Enhanced mineralization of [14C] atrazine in *Kochia* Scoparia Rhizosferic soil from a Pesticide-contaminated site. **Pestic. Sci.**, v. 46, n. 4, p. 391-396, April 1996.

SALT, D. E.; SMITH, R. D.; RASKIN, I. Phytoremediation. **Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.**, v. 49, p. 643-668, June 1998.

SYRACUSE RESEARCH CORPORATION. **Draft, Public Health Implications of Hazardous Substances in the Twentysix U.S. Great Lakes Areas of Concern**. Atlanta, Georgia: Syracuse Research Corporation, 2004. Disponível em: <<https://www.atsdr.cdc.gov/grtlakes/pdfs/2004/CoverandtableofcontentDraft2GreatLakes041504.pdf>>. Acesso em: 9 out. 2017.

VOSE, James M. *et al.* Leaf water relations and sapflow in Eastern cottonwood (*Populus deltoides* Bartr.) trees planted for phytoremediation of a groundwater pollutant. **International Journal of Phytoremediation**, v. 2, n. 1, p. 53-73, Jan./Feb. 2000.

YEH, T. Y. *et al.* Chelator-enhanced phytoextraction of copper and zinc by sunflower, Chinese cabbage, cattails and reeds. **International Journal of Environmental Science and Technology**, v. 12, n. 1, p. 327-340, Jan. 2015

ZALEWSKA, Marta; NOGALSKA, Anna. Phytoextraction potential of sunflower and white mustard plants in zinc-contaminated soil. **Chilean J. Agric. Res.**, Chillán, v. 74, n. 4, p. 485-489, Oct./Dec. 2014. Disponível em: <<https://scielo.conicyt.cl/pdf/chiljar/v74n4/at16.pdf>>. Acesso em: 15 out. 2017.

PHYTOREMEDIATION: SUNFLOWER GROWTH IN SOIL CONTAMINATED BY LEAD

Abstract: *Lead is a toxic metal used in many anthropic activities like: medicine (protection against x-ray), electric (wiring covering and electric accumulators), construction (pipes and fittings), belic industry (ammunition and explosives) and, principally, on mining (commercial extraction and lapidation of precious stones) and automotive industry (batteries and covering material). However it's a metal that was always noticed in the human history in cases of contaminated people and in the contamination of the environment. In search of a solution can be used a technique called phytoremediation, that emerged recently, however it already demonstrated extremely significant results. This technique consists in using the natural property of absorption of some vegetables species to contain, remove and treat organic or inorganic pollutants of a polluted soil. To treat areas that were degraded by the polluted cited above, the engineering techniques are not economically and ecologically viables. With that in mind, an experiment was performed to analyze the development of sunflower (*Helianthus annuus*) seedlings, in order to see the phytoremediation potential, looking for an efficient and effective alternative to the recovering of the area.*

Key-words: *Phytoremediation. Lead contamination. Environmental degradation.*