

# Potencial de fitoextração de Pb por mamoneiras em solo contaminado

## Pb-phytoextraction potential by castor beans in soil contaminated

Carlos Henrique dos Santos<sup>1\*</sup>; André Luis de Oliveira Garcia<sup>2</sup>; Juliano Carlos Calonego<sup>1</sup>; Thadeu Henrique Novais Spósito<sup>3</sup>; Isabela Marega Rigolin<sup>3</sup>

### Resumo

O presente trabalho foi desenvolvido com o objetivo de avaliar o acúmulo de Pb no tecido vegetal da mamoneira (*Ricinus communis* L.) em solo contaminado e verificar o potencial de remediação do solo. O experimento foi desenvolvido em ambiente protegido da Faculdade de Ciências Agrárias/UNOESTE – Presidente Prudente/SP. As plantas foram cultivadas em vasos com capacidade para 9 dm<sup>3</sup> de solo. Os tratamentos consistiram em adição nos recipientes de 18,8 mg kg<sup>-1</sup>; 37,5 mg kg<sup>-1</sup>; 75 mg kg<sup>-1</sup>; 150 mg kg<sup>-1</sup>; 300 mg kg<sup>-1</sup>; 600 mg kg<sup>-1</sup> e 1.200 mg kg<sup>-1</sup> de Pb na forma de (Pb(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>). Os tratamentos foram distribuídos de acordo com delineamento estatístico inteiramente casualizado, com três repetições. Amostras do solo e do tecido vegetal foram coletadas noventa dias após a semeadura para a quantificação das massas das matérias secas da parte aérea e das raízes e para a determinação do acúmulo de chumbo nos tecidos vegetais de ambas as espécies. Os parâmetros avaliados foram submetidos à análise de variância avaliando-se o efeito dos tratamentos pelo teste de Tukey a nível de 5% de probabilidade. Os resultados significativos apresentados pelo Teste F foram submetidos à regressão polinomial. As mamoneiras apresentaram maior acúmulo de Pb nas raízes, houve uma diminuição do crescimento das plantas em função da diminuição das massas das matérias secas da parte aérea e das raízes com o aumento gradual da concentração de Pb no solo e, a adição de 1200 mg kg<sup>-1</sup> de Pb no solo foi mais efetiva para a diminuição do crescimento das mamoneiras.

**Palavras-chave:** Fitorremediação, fitoextração, espécies hiperacumuladoras, poluição do solo

### Abstract

The present work was developed with the objective to evaluate the accumulation of Pb in plant tissue of castor bean (*Ricinus communis* L.) in contaminated soil and investigate the potential for soil remediation. The experiment was carried out in a greenhouse at the Faculty of Agricultural Sciences/UNOESTE – Presidente Prudente/SP. Plants were grown in pots with a capacity of 9 dm<sup>3</sup> of soil. The treatments were in addition to the vessels of 18.8 mg kg<sup>-1</sup>, 37.5 mg kg<sup>-1</sup>, 75 mg kg<sup>-1</sup>, 150 mg kg<sup>-1</sup>, 300 mg kg<sup>-1</sup>, 600 mg kg<sup>-1</sup> and 1200 mg kg<sup>-1</sup> in the form of Pb (Pb(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>). Treatments were arranged according to completely randomized design with three replications. Samples of soil and plant tissue were collected ninety days after sowing for the quantification of mass of dry matter of shoots and roots, and for determining the accumulation of lead in tissues of both species. The parameters were subjected to analysis of variance evaluating the effect of treatments by the Tukey test at 5% level of probability. The results presented by significant F-test were submitted to polynomial regression. The castor beans had a higher accumulation

<sup>1</sup> Profs. Drs. Curso de Pós-Graduação, Mestrado em Agronomia, Área de Produção Vegetal, UNOESTE, Presidente Prudente, SP. E-mail: chenrique@unoeste.br; juliano@unoeste.br

<sup>2</sup> Discente de Curso de Especialização, Eng<sup>o</sup> Ambiental, Faculdade de Engenharia “Alageyr Maeder”, UNOESTE, Presidente Prudente, SP. E-mail: andregarciaa@gmail.com

<sup>3</sup> Discentes do curso de Pós-Graduação, Mestrado em Agronomia, Área de Produção Vegetal, UNOESTE, Presidente Prudente, SP. E-mail: tposito@gmail.com; isa\_rigolin@hotmail.com

\* Autor para correspondência

of Pb in roots, there was a decrease in plant growth due to a reduction of mass of dry matter of shoots and roots with the gradual increase of the concentration of Pb in soil and the addition of 1200 mg kg<sup>-1</sup> Pb in soil was more effective in reducing the growth of castor bean.

**Key words:** Phytoremediation, fitoextração, hiperacumulador species, soil pollution

O uso do solo cultivado pelo homem se expandiu com o crescimento populacional e o domínio progressivo da energia, criando condições para romper equilíbrios ecológicos mais que milenares. O aumento das atividades urbanas, industriais e de mineração aliado ao uso inadequado de fertilizantes e produtos fitossanitários no solo pela agricultura, têm contribuído para a contaminação do solo, cursos d'água e lençol freático por metais pesados (ZEITOUNI; BERTON; ABREU, 2007).

Desde então, a sociedade se preocupa em conhecer novas maneiras de preservar o solo como fonte de desenvolvimento. Essas maneiras podem ser preventivas ou corretivas, sendo essa última alternativa mais onerosa. Dentre as diversas medidas corretivas que existem, a fitorremediação está sendo muito utilizada em função dos resultados finais satisfatórios. A busca e o desenvolvimento de soluções tecnológicas que atendam à legislação ambiental se fazem primordial na atualidade (ZEITOUNI; BERTON; ABREU, 2007).

A técnica conhecida como fitorremediação vem sendo difundida como alternativa de grande interesse, por apresentar possibilidade de remediação “*in situ*” de contaminantes inorgânicos e orgânicos no solo e na água, ser de baixo custo e, ainda, porque as plantas despoluidoras, freqüentemente, proporcionam benefícios adicionais ao solo além da própria remediação (CARMO et al., 2008).

Existem diversas plantas conhecidas com potencial de fitorremediação, entre elas se destaca as mamoneiras, uma vez que por ser uma espécie rústica se adaptam muito bem ao clima, ao solo e à temperatura encontrados no Brasil (CARMO et al., 2008).

No contexto da fitorremediação, destaca-se a técnica de fitoextração a qual utiliza espécies

vegetais denominadas de hiperacumuladoras, por serem caracterizadas como específicas em acumular e/ou tolerar concentrações elevadas de metais pesados em seus tecidos, como, por exemplo, > 10.000 mg kg<sup>-1</sup> de Zn e Mn; > 1.000 mg kg<sup>-1</sup> de Pb, Ni e Cu; > 100 mg kg<sup>-1</sup> de Cd.

Para Gratão et al. (2005) dentre os vários poluentes existentes, o chumbo (Pb) é o principal contaminante de solo. Além disso, esse metal destaca-se como o maior problema ambiental do mundo moderno, pois oferece o maior risco de envenenamento aos seres humanos, especialmente às crianças. Isso ocorre porque apesar de não ser um elemento essencial ao desenvolvimento das espécies vegetais, o Pb é facilmente absorvido e acumulado nas diferentes partes das mesmas.

O objetivo desse experimento foi quantificar o potencial de fitorremediação das mamoneiras variedade IAC Al Guarany em solo contaminado com chumbo (Pb).

O experimento foi conduzido, em condições de ambiente protegido, em recipientes plásticos de 9 dm<sup>3</sup>, na área experimental do curso de Agronomia, da Universidade do Oeste Paulista – UNOESTE, no município de Presidente Prudente/SP.

Para a composição dos tratamentos, porções de solo de um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico foram coletadas na camada de 0-20 cm, peneiradas e submetidas à análise granulométrica, conforme Embrapa (2006) e química de acordo com Raij et al. (2001). Os valores destes parâmetros são descritos a seguir: pH (CaCl<sub>2</sub>) = 5,5; Acidez Potencial (H + Al) (mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) = 22,0; Alumínio (Al<sup>3+</sup>) (mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) = 0,0; Matéria Orgânica (M O) (g dm<sup>-3</sup>) = 22,0; Fósforo (P) (mg dm<sup>-3</sup>) = 29,6; Potássio (K<sup>+</sup>) (mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) = 3,0; Cálcio (Ca<sup>2+</sup>) (mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) = 23,0; Magnésio (Mg<sup>2+</sup>) (mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) = 9,5; Enxofre

( $\text{SO}_4^{2-}$ ) ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) = 7,5; Soma de Base (SB) ( $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ ) = 35,5; CTC ( $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ ) = 57,5; Saturação por bases (%) = 72,0; Boro (B) ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) = 0,4; Cobre (Cu) ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) = 1,5; Ferro (Fe) ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) = 11,2; Manganês (Mn) ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) = 8,6; Zinco (Zn) ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) = 3,1; Chumbo (Pb) ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) = 0,25; Areia ( $\text{g kg}^{-1}$ ) = 827,2; Silte ( $\text{g kg}^{-1}$ ) = 98,5; Argila ( $\text{g kg}^{-1}$ ) = 74,3.

Os resultados da análise química de solo mostraram a necessidade de realização da calagem para a elevação da saturação de bases a 70%, bem como a adubação com  $150 \text{ mg kg}^{-1}$  de N,  $200 \text{ mg kg}^{-1}$  de P e  $150 \text{ mg kg}^{-1}$  de K, além de  $0,35 \text{ mg kg}^{-1}$  de ácido bórico e  $1,0 \text{ mg kg}^{-1}$  Zn para proporcionar condições satisfatórias ao desenvolvimento das espécies vegetais. Juntamente com os fertilizantes, adicionaram-se ao solo  $500 \text{ mg kg}^{-1}$  de EDTA dissódico. Os fertilizantes e o EDTA foram misturados ao solo seco ao ar e peneirado em malha de 4,8 mm. Finalmente, o solo utilizado para o enchimento dos recipientes de todos os tratamentos recebeu um molhamento de base respeitando o limite de 80% da Capacidade de Campo do solo. O EDTA é um agente seqüestrante, que forma quelatos estáveis, com íons metálicos, em uma ampla escala de pH facilitando a absorção dos metais pesados pelas plantas.

O delineamento estatístico seguiu o modelo inteiramente casualizado composto por oito tratamentos (níveis de Pb), aplicados no solo via nitrato de chumbo II p.a. ( $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ ), com três repetições, totalizando vinte e quatro parcelas. Os tratamentos foram caracterizados da seguinte forma: Tratamento 1 (T1) = Testemunha – sem adição de  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ ; Tratamento 2 (T2) =  $18,8 \text{ mg kg}^{-1}$  de Pb; Tratamento 3 (T3) =  $37,5 \text{ mg kg}^{-1}$  de Pb; Tratamento 4 (T4) =  $75 \text{ mg kg}^{-1}$  de Pb; Tratamento 5 (T5) =  $150 \text{ mg kg}^{-1}$  de Pb; Tratamento 6 (T6) =  $300 \text{ mg kg}^{-1}$  de Pb; Tratamento 7 (T7) =  $600 \text{ mg kg}^{-1}$  de Pb; Tratamento 8 (T8) =  $1.200 \text{ mg kg}^{-1}$  de Pb. Os valores adotados estão relacionados aos níveis de Referência de Qualidade ( $17 \text{ mg kg}^{-1}$  de Pb), Prevenção ( $72 \text{ mg kg}^{-1}$  de Pb), Intervenção em

Áreas Agrícolas ( $180 \text{ mg kg}^{-1}$  de Pb), Intervenção em Áreas Residenciais ( $300 \text{ mg kg}^{-1}$  de Pb) e Intervenção em Áreas Industriais ( $900 \text{ mg kg}^{-1}$  de Pb) determinados pela CETESB (2005).

A semeadura da mamoneira IAC cultivar AL Guarany foi realizada em novembro de 2008 distribuindo quatro sementes por vaso, sendo que após dez dias da semeadura (completa emergência) se realizou um desbaste deixando somente uma plântula em cada recipiente. Na maior parte da área plantada com mamoneira no Estado de São Paulo, são utilizadas as cultivares indeiscentes, destacando-se a AL Guarany (SILVA; MARTINS, 2009)

A umidade do solo foi mantida a 80% da capacidade de campo, através do método de pesagem dos vasos, durante o desenvolvimento do experimento para permitir a absorção dos elementos químicos adicionados ao solo e o desenvolvimento adequado das mamoneiras.

Aos 90 dias após a semeadura foram coletadas amostras de solo dos recipientes para análise química com a finalidade de determinação da concentração do Pb disponível, utilizando a solução de DTPA – pH 7,3 seguindo metodologia de Lindsay e Norvell (1978), descrita em Raij et al. (2001). O princípio do método consiste na complexação de metais, através da reação do agente quelante que reage com os íons livres em solução, formando complexos solúveis, resultando na redução da atividade dos metais livres. Para isso, foram retiradas, com um trado tipo sonda, quatro subamostras de solo, à 15 cm de profundidade, as quais formaram uma amostra composta por repetição. Na oportunidade as mamoneiras foram colhidas, segmentadas em parte aérea e sistema radicular e encaminhadas ao laboratório de análise química de plantas para a determinação das massas das matérias secas da parte aérea e do sistema radicular e, posteriormente, do teor de Pb nos tecidos de acordo com Malavolta, Vitti e Oliveira (1997). Com o valor desses parâmetros calculou-se o acúmulo de Pb na parte e nas raízes das mamoneiras.

Os valores das massas das matérias secas da parte aérea e do sistema radicular e o acúmulo de Pb nas respectivas partes segmentadas das mamoneiras foram submetidos à análise de variância, avaliando-se o efeito dos tratamentos pelo teste de Tukey a nível de 5% de probabilidade. Posteriormente, os resultados significativos apresentados pelo Teste F foram submetidos à regressão polinomial.

Os solos que receberam a aplicação acima de  $150 \text{ mg kg}^{-1}$  de Pb (Figura 1A) apresentaram concentração superior ao preconizado pela CETESB (2005), de acordo com o valor de referência de qualidade de solo para esse elemento ( $17 \text{ mg kg}^{-1}$ ). Ao mesmo tempo, o valor de intervenção em solos foi obtido em decorrência da aplicação de  $1.200 \text{ mg kg}^{-1}$  de Pb. A CETESB (2005) orienta para que haja uma intervenção em áreas agrícolas, residenciais e industriais quando a concentração de Pb no solo atingir valores de 180, 300 e  $900 \text{ mg kg}^{-1}$ , respectivamente.

Entretanto, a diferença existente entre a quantidade de Pb adicionada ao solo (Figura 1A) e a determinada através da análise química e expressa pelo acúmulo do metal na parte aérea e nas raízes (Figuras 2A e 2B) pode estar relacionada à baixa disponibilidade desses elementos, em função das reações de precipitação e adsorção do metal que ocorrem promovidas pela presença de partículas coloidais minerais e orgânicas no sistema (SHARMA; DUBEY, 2005).

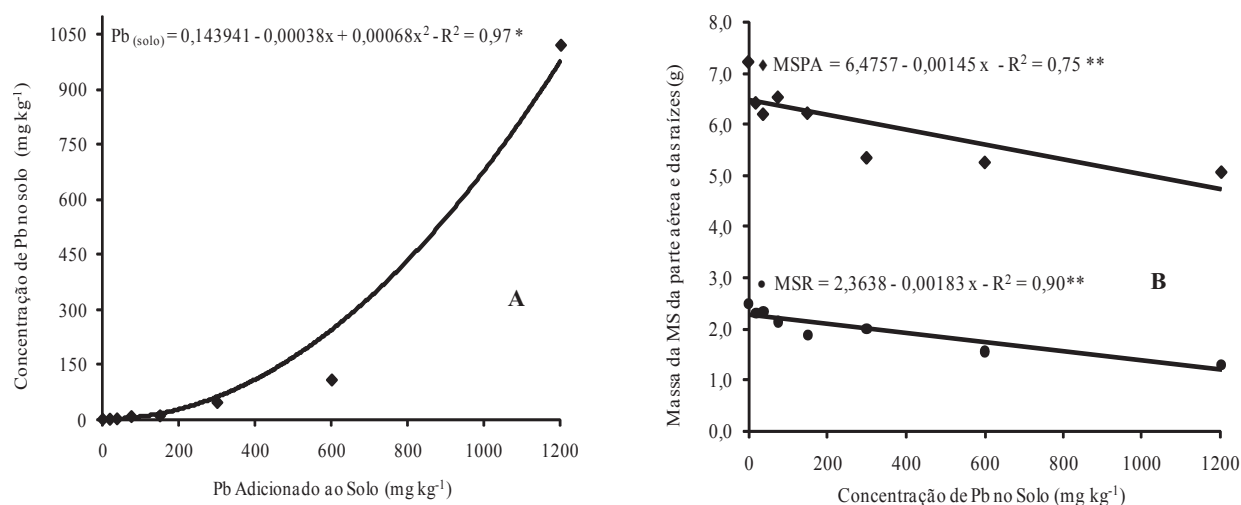
Segundo Andrade et al. (2009), no solo, o Pb é de difícil remoção pois pode se ligar às partículas por meio de mecanismos de adsorção, troca catiônica, precipitação e complexação com a matéria orgânica e, quando dissolvido na água e na forma de íon trocável, torna-se disponível para a absorção pelas plantas. Nesses casos, a utilização de agentes

quelatizantes pode ajudar na dessorção do Pb do complexo coloidal e formar compostos solúveis e, conseqüentemente aumentar sua absorção pelas plantas.

No presente experimento, mesmo com a utilização do agente quelatizante EDTA as mamoneiras absorveram uma parte do Pb adicionado ao solo, havendo ainda a necessidade de remediação em cada tratamento. Como as raízes foram o principal órgão de concentração e de acúmulo do Pb (Figura 2B), e também de baixa produção de massa de matéria seca (Figura 1B) novos ciclos de cultivo das plantas serão necessários para a remediação do solo. Zeitouni, Berton e Abreu (2007) corroboram com essa informação com base em dados experimentais obtidos.

Com relação à fitoextração, conforme mostrado nas Figuras 2A e 2B, as mamoneiras associadas ao tratamento 8 ( $1.200 \text{ mg kg}^{-1}$  de Pb no solo) apresentaram o maior acúmulo de Pb tanto na parte aérea quanto no sistema radicular, em comparação com os valores apresentados pelas plantas dos demais tratamentos. Destaca-se, porém, que as mamoneiras acumularam, respectivamente, maior teor de Pb nas raízes do que na parte aérea. A característica de acúmulo de Pb nas raízes não está associada especificamente às mamoneiras. Romeiro et al. (2007) também verificaram aumento do acúmulo de Pb nas raízes de feijão de porco em detrimento da parte aérea, em função da exposição das plantas à doses crescentes desse metal. Andrade et al. (2009) evidenciaram a importância da combinação dos fatores produção de massa de matéria seca e teor de Pb no tecido, uma vez que a situação mais favorável de acúmulo deste metal na grama batatais ocorreu nas raízes, justamente pela quantidade da massa de matéria seca formada.

**Figura 1.** (A) Correlação entre as doses de Pb adicionadas ao solo e a concentração do elemento disponível para a absorção das mamoneiras variedade Al Guarany e (B) correlação entre os valores das massas das matérias secas da parte aérea e das raízes das mamoneiras variedade Al Guarany em função da concentração de Pb no solo. \*,\*\* Significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.



**Fonte:** Elaboração dos autores.

Os valores de acúmulo de Pb, encontrados na parte aérea das mamoneiras (Figura 2A) não estão enquadrados dentro de uma faixa de teor considerada tóxica (30 a 300 mg kg<sup>-1</sup>) para as plantas em geral, de acordo com Kabata-Pendias e Pendias (2001). Entretanto, houve diminuição do crescimento das mamoneiras representada pela redução das massas da matéria seca da parte aérea e das raízes (Figura 1B). Essa redução no crescimento foi diretamente proporcional ao aumento da concentração de Pb no solo e da quantidade extraída, sendo que os menores valores, para ambos os parâmetros, foram apresentados pelas plantas manejadas com a dose de 1.200 mg kg<sup>-1</sup> de Pb no solo. Romeiro et al. (2006) inferiram que houve redução das massas das matérias secas da parte aérea e das raízes de mamoneiras submetidas a uma concentração de 200 μmol L<sup>-1</sup> de Pb, em hidroponia. Porém, mesmo apresentando redução na produção da massa da matéria seca, as plantas citadas apresentaram a habilidade de acumular Pb nas raízes.

As mamoneiras acumularam nas raízes (Figura 2B), quando submetidas ao manejo com 1.200 mg kg<sup>-1</sup> de Pb no solo, 1,37 mg vaso<sup>-1</sup> de Pb, enquanto que nas folhas houve um acúmulo de 0,095 mg vaso<sup>-1</sup> de Pb (Figura 2A). O acúmulo tanto nas raízes quanto nas folhas foi crescente em função da dose de Pb adicionada ao solo. Romeiro et al. (2006) verificaram que, mesmo apresentando redução no crescimento, as mamoneiras foram capazes de acumular, em condições hidropônicas, valores até 24.610 mg kg<sup>-1</sup> de Pb, especialmente nas raízes, demonstrando alta capacidade de absorção e acúmulo neste órgão.

Resultados semelhantes foram encontrados por Romeiro et al. (2007) para plantas de feijão de porco também cultivadas em sistema hidropônico. Nesses casos, as raízes de algumas espécies apresentam habilidade específica em reter quantidades substanciais de Pb, restringindo, conseqüentemente, a translocação do elemento para a parte aérea. As mamoneiras, portanto, podem ser consideradas como hiperacumuladoras de Pb, mas, o metal é acumulado principalmente nas raízes. Para Andrade,



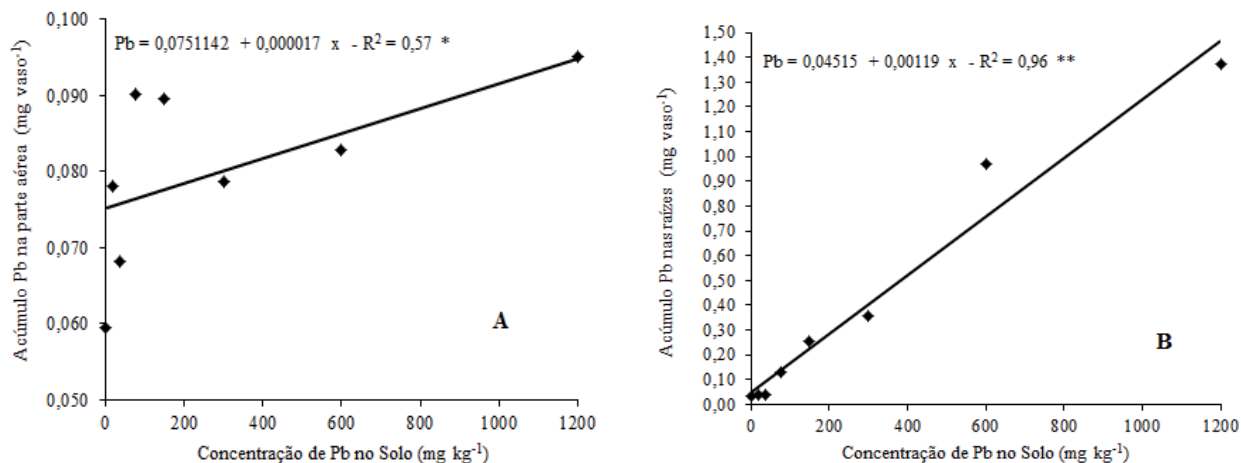
Tavares e Mahler (2007) plantas hiperacumuladoras são capazes de extrair e acumular valores acima de  $1.000 \text{ mg kg}^{-1}$  de Pb em seu tecido. Chaney (1980), através de seus estudos, previu esse comportamento para o Pb e o enquadrando no grupo 2 de acordo com o comportamento de metais e a absorção pelas plantas; o elemento pode ser absorvido pela raiz, mas não ser translocado para a parte aérea em quantidade suficiente para causar risco de transferência à cadeia trófica (NASCIMENTO; XING, 2006).

Os dados obtidos nesse experimento corroboram aqueles encontrados por Romeiro et al. (2006) e Romeiro et al. (2007) porém, não são da mesma

ordem de grandeza em função da diferença na forma de cultivo das plantas. Nos casos de utilização de sistemas hidropônicos a absorção de metais pesados é facilitada, em função da total disponibilidade dos elementos, comparado ao sistema solo.

As mamoneiras apresentaram maior acúmulo de Pb nas raízes; Houve diminuição do crescimento das plantas em função da diminuição das massas das matérias secas da parte aérea e das raízes com o aumento gradual da concentração de Pb no solo; A adição de  $1.200 \text{ mg kg}^{-1}$  de Pb no solo foi mais efetiva para a diminuição do crescimento das mamoneiras.

**Figura 2.** (A) Correlação entre acúmulo de Pb na parte aérea e (B) nas raízes da mamoneira variedade Al Guarany em função da concentração de Pb no solo. \*,\*\* Significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.



Fonte: Elaboração dos autores.

## Referências

ANDRADE, J. C. M.; TAVARES, S. R. L.; MAHLER, C. F. *Fitorremediação: o uso de plantas na melhoria da qualidade ambiental*. São Paulo: Oficina de textos, 2007. 176 p.

ANDRADE, M. G.; MELO, V. F.; GABARDO, J.; SOUZA, L. C. P.; REISSMANN, C. B. Metais pesados em solos de área de mineração e metalurgia de chumbo. I – fitoextração. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 33, n. 6, p. 1879-1888, 2009.

CARMO, M. L.; PROCOPIO, S. O.; PIRES, F. R.; CARGNELUTTI FILHO, A.; BARROSO, A. L. L.; SILVA, G. P.; CARMO, E. L.; BRAZ, G. B. P.; SILVA W. F. P.; BRAZ, A. J. B. P.; PACHECO, L. P. Seleção de plantas para fitorremediação de solos contaminados com picloram. *Revista Planta Daninha*, Viçosa, v. 26, n. 2, p. 301-313, 2008.

CHANEY, R. L. Health risks associated with toxic metals in municipal sludge. In: BITTON, G. *Sludge: health risks of land application*. Ann arbor: Ann Arbor Science, 1980. p. 59-83.

- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL – CETESB. *Disposição sobre a aprovação dos valores orientadores para solos e águas subterrâneas no estado de São Paulo – 2005, em substituição aos valores orientadores de 2001*. 2005. Disponível em: <[http://www.cetesb.sp.gov.br/solo/relatorios/tabela\\_valores\\_2005.pdf](http://www.cetesb.sp.gov.br/solo/relatorios/tabela_valores_2005.pdf)>. Acesso em: 25 jan. 2009.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Sistema brasileiro de classificação de solos. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2006. 306 p.
- GRATÃO, P. L.; PRASAD, M. N. V.; CARDOSO, P. F.; LEA, P. J.; AZEVEDO, R. A. Phytoremediation: green technology for the cleanup of toxic metals in the environment. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, Londrina, v. 17, n. 1, p. 53-64, 2005.
- KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. *Trace elements in soils and plants*. Boca Raton: CRC Press LLC, 2001. 413 p.
- LINDSAY, W. L.; NORVELL, W. A. Development of DTPA soil for zinc, iron, manganese and copper. *Soil Science Society of American Journal*, Madison, v. 42, p. 421-428, 1978.
- MALAVOLTA, E. A.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. *Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações*. 2. ed. Piracicaba: Editora Potafós, 1997. 304 p.
- NASCIMENTO, C. W. A.; XING, B. Phytoextraction: A review on enhanced metal availability and accumulation. *Scientia Agricola*, Piracicaba, v. 63, n. 3, p. 299-311, 2006.
- RAIJ, B. van; ANDRADE, J. C. de; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. *Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais*. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 285 p.
- ROMEIRO, S.; LAGÔA, A. M. A.; FURLANI, P. R.; ABREU, C. A. de; PEREIRA, B. F. F. Absorção de chumbo e potencial de fitorremediação de *Canavalia ensiformes*. *Bragantia*, Campinas, v. 66, n. 2, p. 327-334, 2007.
- ROMEIRO, S.; LAGÔA, A. M. A.; FURLANI, P. R.; ABREU, C. A. de; ABREU, M. F. de; ERISMANN, M. Lead uptake and tolerance of *Ricinus communis* L. *Brazilian Journal Plant Physiology*, Londrina, v. 18, n. 4, p. 483-489, 2006.
- SHARMA P.; DUBEY, R. S. Lead toxicity in plants. *Brazilian Journal Plant Physiology*, Londrina, v. 17, n. 1, p. 35-52, 2005.
- SILVA, L. B. da; MARTINS, C. C. Efeito de épocas de colheita e período de repouso pós-colheita sobre as características físicas de frutos e sementes de mamoneira. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v. 30, p. 999-1008, 2009. Suplemento 1.
- ZEITOUNI, C. F.; BERTON, R. S.; ABREU, C. A. Fitoextração de cádmio e zinco de um latossolo vermelho-amarelo contaminado com metais pesados. *Bragantia*, Campinas, v. 66, n. 4, p. 649-657, 2007.

