

# ABSORÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DE CHUMBO EM PLANTAS DE VETIVER, JUREMINHA E ALGAROBA<sup>(1)</sup>

Jailson do Carmo Alves<sup>(2)</sup>, Adailson Pereira de Souza<sup>(3)</sup>, Mônica Lima Pôrto<sup>(4)</sup>, Jandeilson Alves de Arruda<sup>(5)</sup>, Ubaldo Araújo Tompson Júnior<sup>(4)</sup>, Gilson Batista da Silva<sup>(2)</sup>, Raunira da Costa Araújo<sup>(6)</sup> & Djail Santos<sup>(3)</sup>

## RESUMO

O uso de plantas como agentes remediadores de áreas contaminadas com metais pesados (fitorremediação) é uma técnica emergente, sendo necessários estudos sobre tolerância, absorção e distribuição destes elementos em plantas para se obter sucesso em programas dessa natureza. O presente trabalho teve como objetivo avaliar a tolerância, absorção e distribuição de Pb em plantas de vetiver [*Vetiveria zizanioides* (L.) Nash], jureminha [*Desmanthus virgatus* (L.) Willd] e algaroba [*Prosopis juliflora* (SW) DC], submetidas a doses crescentes do elemento em solução. As espécies foram cultivadas em estufa telada do DSER/CCA/UFPB, Areia-PB, em solução nutritiva que continha doses crescentes de Pb (0, 50, 100 e 200 mg L<sup>-1</sup>), por 45 dias. O delineamento empregado foi o inteiramente casualizado, em parcela subdividida, com três repetições. A parcela principal foi representada pelas espécies, enquanto a subparcela foi constituída pelas doses de Pb. Foram constatadas reduções significativas na matéria seca da raiz, parte aérea e planta inteira das três espécies estudadas de acordo com a elevação das doses de Pb. Com base nas doses críticas de toxidez, constatou-se que o vetiver demonstrou maior tolerância à contaminação com Pb que as demais espécies. A raiz apresentou maior sensibilidade à contaminação com Pb nas plantas de vetiver e algaroba, tendo a jureminha apresentado comportamento similar entre os compartimentos da planta. Os teores

---

<sup>(1)</sup> Extraído do Trabalho de Conclusão de Curso do primeiro autor, apresentado à Coordenação do Curso de Agronomia do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Paraíba – UFPB, para obtenção do título de Engenheiro-Agrônomo. Trabalho financiado pela empresa REPROMETAL Ltda. Recebido para publicação em dezembro de 2006 e aprovado em fevereiro de 2008.

<sup>(2)</sup> Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Paraíba – UFPB. CEP 58397-000 Areia (PB). E-mail: jailson\_agro@yahoo.com.br

<sup>(3)</sup> Professor Adjunto do Departamento de Solos e Engenharia Rural do Centro de Ciências Agrárias, UFPB. E-mail: adailson@cca.ufpb.br

<sup>(4)</sup> Mestrando do Programa de Pós-graduação em Agronomia do Centro de Ciências Agrárias, UFPB. E-mail: monicaporto@yahoo.com.br

<sup>(5)</sup> Estudante de Graduação em Agronomia do Centro de Ciências Agrárias, UFPB. E-mail: jandeilson\_agro@hotmail.com

<sup>(6)</sup> Professor Adjunto do Departamento de Agropecuária do Centro de Formação de Tecnólogos da Universidade Federal da Paraíba – CFT/UFPB. CEP 58220-000 Bananeiras (PB). E-mail: raunira@cft.ufpb.br

e conteúdos de Pb nos compartimentos das plantas foram significativamente alterados pela elevação das doses de Pb em solução, tendo sido verificado maior acúmulo deste elemento nas raízes das três espécies estudadas. O vetiver apresentou maiores teores e conteúdos de Pb em todos os compartimentos, evidenciando o seu potencial para programas de fitorremediação de áreas contaminadas com Pb.

**Temas de indexação:** poluição, metal pesado, fitotoxidez, tolerância, fitorremediação.

**SUMMARY:** *ABSORPTION AND DISTRIBUTION OF LEAD IN VETIVER, MIMOSA AND MESQUITE PLANTS*

*The use of plants for phytoremediation of metal-contaminated areas is an emerging technology, and studies concerning heavy metal tolerance, absorption and distribution in plants are essential for the success of such programs. This study was carried out to evaluate the tolerance, absorption and distribution of lead (Pb) in vetiver grass [Vetiveria zizanioides (L.) Nash], mimosa [Desmanthus virgatus (L.) Willd] and mesquite trees [Prosopis juliflora (SW) DC] subjected to increasing lead doses in solution. The experiment was conducted under a greenhouse, at the DSER/CCA/UFPB, Areia-PB, Brazil. The species were grown in nutrient solution containing increasing Pb levels (0, 50, 100 and 200 mg L<sup>-1</sup>) during a 45-day exposure period. An entirely randomized split-plot design was used with three replicates. The main plot was represented by the plant species and the subplot by Pb levels. The increased Pb levels caused significant reductions of dry mass of the root, shoot and whole plant (root + shoot) in the three species under study. Based on critical toxicity levels, the tolerance of vetiver to Pb contamination was higher than in the other species. In vetiver and mesquite plants, the roots were the component most sensitive to Pb contamination, whereas a similar response to Pb by all plant components was observed for mimosa. Total Pb concentrations and content in plant compartments were significantly affected by the increasing Pb levels in solution, and a higher accumulation of this element was observed in the roots of the three species under study. The highest Pb concentration and content were found in all compartments of vetiver, which suggests a high potential of this grass for phytoremediation of Pb-contaminated areas.*

*Index terms:* pollution, heavy metal, phytotoxicity, tolerance, phytoremediation.

## INTRODUÇÃO

O aumento progressivo nos teores dos metais pesados no ambiente, principalmente em resposta às atividades humanas, tem despertado interesse crescente e pertinente na sociedade em decorrência dos malefícios que esses poluentes ocasionam aos ecossistemas e à saúde humana. A ocorrência de áreas degradadas por tais elementos, no Brasil, torna-se cada vez mais freqüente e preocupante.

Dentre os metais pesados, o Pb tem-se destacado como um dos maiores poluentes do meio, o que pode ser atribuído, principalmente, ao seu largo uso industrial (indústria extrativa, petrolífera, de acumuladores, tintas e corantes, etc.) (Kabata-Pendias & Pendias, 2000). A contaminação do solo com Pb pode resultar numa série de problemas ambientais, incluindo perda de vegetação, contaminação de águas superficiais e de aquíferos, além de toxidez direta para

microrganismos, animais e humanos (Huang & Cunningham, 1996; Kabata-Pendias & Pendias, 2000). Assim, percebe-se que a reabilitação de solos contaminados com esse elemento é de grande importância, visto ser forte a pressão que este contaminante exerce sobre o equilíbrio e qualidade dos ecossistemas.

A recuperação de áreas contaminadas com Pb e demais metais pesados pode ser realizada por vários métodos, tais como: escavação, incineração, extração com solvente, oxidorredução e outros, que, além de difícil execução, são muito dispendiosos (Accioly & Siqueira, 2000). Por isso, recentemente passou-se a dar preferência por métodos *in situ* que perturbem menos o ambiente. A fitorremediação, emprego de sistemas vegetais fotossintetizantes e sua microbiota como agentes remediadores, tem despertado grande interesse por parte da comunidade científica, visto que esta técnica, quando comparada aos métodos

tradicionais de remediação química e física, vem despontando como técnica de baixo custo e de grande eficiência de descontaminação (Gratão et al., 2005; Pilon-Smits, 2005).

A fitorremediação de solos contaminados com Pb pode ser realizada empregando-se duas estratégias: a fitoestabilização ou a fitoextração (Huang & Cunningham, 1996), tendo esta última apresentado melhores resultados na reabilitação de solos contaminados por metais pesados (Kumar et al., 1995; Lasat, 2002; Shen et al., 2002; Alkorta et al., 2004; Chantachon et al., 2004). A fitoextração baseia-se nos mecanismos que certas espécies de plantas apresentam, naturalmente, em tolerar e acumular elevados teores de metais pesados ( $> 100 \text{ mg kg}^{-1}$  para Cd,  $> 1.000 \text{ mg kg}^{-1}$  para Co, Cu, Cr, Ni e Pb e  $> 10.000 \text{ mg kg}^{-1}$  para Zn e Mn, na matéria seca da parte aérea), conhecidas como hiperacumuladoras (Baker & Brooks, 1989; Baker et al., 2000). Aproximadamente 400 espécies de planta de 45 famílias são relatadas como hiperacumuladoras de metais pesados (Lasat, 2002). Destas, pouquíssimas são consideradas hiperacumuladoras de Pb, podendo-se citar: *Armeria martima*, *Thlaspi rotundifolium*, *Thlaspi alpestre*, *Alyssum wulfenianum*, *Polycarphae synandra* e algumas espécies do gênero *Brassica*, especialmente *Brassica juncea* (Baker & Brooks, 1989; Baker et al., 2000).

Dessa forma, a seleção de espécies vegetais com potencial para hiperacumular Pb é essencial para o sucesso dos programas de fitorremediação de áreas contaminadas com este elemento, algo que é mais relevante para as condições tropicais como as do Brasil, visto que os trabalhos, em sua maioria, foram realizados em condições de clima temperado. Para tanto, tornam-se imprescindíveis os estudos que visem à melhor compreensão dos mecanismos de tolerância, absorção, translocação e de acumulação de Pb pelas plantas.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a tolerância, absorção e distribuição de Pb em plantas de vetiver [*Vetiveria zizanioides* (L.) Nash], jureminha [*Desmanthus virgatus* (L.) Willd] e algaroba [*Prosopis juliflora* (SW) DC]. Procurou-se, neste trabalho, empregar espécies adaptadas às condições do semi-árido nordestino, pouco exigentes em condições de solo e tolerantes ao déficit hídrico.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em estufa telada do Departamento de Solos e Engenharia Rural (DSER) do Centro de Ciências Agrárias (CCA) da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), em Areia-PB. Nos ensaios, utilizaram-se plantas de vetiver, cujas mudas foram produzidas por perfilhamento de touceiras preexistentes, e de jureminha e algaroba, produzidas a partir de sementes, em bandejas de isopor, utilizando-

se, como substrato, vermiculita. Procurou-se selecionar as mudas de vetiver de acordo com sua massa ( $\pm 5 \text{ g}$ ), enquanto as mudas de jureminha e algaroba foram selecionadas de acordo com o tamanho e formação do primeiro par de folhas definitivas. Após a seleção, as mudas foram transplantadas para a solução nutritiva.

Após o transplante, as plantas foram cultivadas em vasos plásticos, revestidos com sacos plásticos em seu interior, que continham 5,5 L da solução nutritiva de Hoagland (Hoagland & Arnon, 1938), a qual foi preparada utilizando água deionizada e reagentes p.a. Nestes vasos, que continham duas plantas cada, foram aplicadas doses crescentes de Pb, utilizando-se como fonte o acetato de Pb [ $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ ], nas concentrações de 0, 50, 100, 200  $\text{mg L}^{-1}$  do elemento em solução. O delineamento estatístico empregado foi o inteiramente casualizado, em parcela subdividida, com três repetições. A parcela principal foi representada pelas espécies, enquanto a subparcela foi constituída pelas doses de Pb.

As plantas foram mantidas nessa solução durante 45 dias, período em que o pH foi ajustado para 5,5, com correções diárias, utilizando-se soluções diluídas de NaOH ou HCl, de acordo com a variação do pH da solução. O volume dos vasos foi completado, sempre que necessário, utilizando água deionizada. A solução nutritiva foi mantida em aeração constante, por meio de injeção forçada de ar, mediante utilização de um compressor.

Decorrido esse tempo, as plantas foram coletadas e divididas em raiz e parte aérea, lavadas em água de torneira e, posteriormente, em água deionizada, e, em seguida, colocadas para secar em estufa de circulação forçada de ar ( $65 \text{ }^\circ\text{C}$ ), até atingirem peso constante. A produção de matéria seca da raiz, parte aérea e da planta inteira (raiz + parte aérea) foi determinada utilizando balança analítica de precisão. Em seguida, as amostras foram trituradas e encaminhadas para o laboratório de análise de tecido vegetal do DSER/CCA/UFPB para análise química. Procedeu-se à digestão nítrico-perclórica, conforme os procedimentos descritos por Tedesco et al. (1995), para a determinação dos teores de Pb, por espectrofotometria de absorção atômica, na raiz e na parte aérea. Com base nos teores de Pb e na produção de matéria seca, determinou-se o conteúdo deste elemento na raiz e na parte aérea das plantas analisadas.

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância, com desdobramento do efeito quantitativo em regressões, empregando o nível de significância de até 5%. Todas as análises estatísticas foram realizadas utilizando o software SAEG (SAEG, 2000). Com base nas curvas de regressão para produção de matéria seca, determinou-se a dose crítica de toxidez (DCT; teor do elemento que reduz em 10% a produção de matéria seca) (Davis et al., 1978) para o sistema radicular, parte aérea e planta inteira das espécies estudadas.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Produção de matéria seca pelas espécies

Constatou-se resposta diferenciada das espécies conforme a contaminação com Pb (Figura 1), resultado que corrobora os de outros autores que ressaltam o fato de diferentes espécies vegetais apresentarem comportamento distinto em resposta à contaminação com este elemento (Kumar et al., 1995; Huang & Cunhingham, 1996). Foram observadas reduções significativas da matéria seca de todos os compartimentos nas espécies estudadas com a elevação das doses de Pb em solução.

Para a matéria seca da raiz, verificou-se que a algaroba foi a espécie que apresentou as maiores produções, seguida pela jureminha, com produções intermediárias, e o vetiver, com as menores produções de matéria seca. Foram constatadas reduções lineares na matéria seca da raiz nas três espécies estudadas de acordo com as doses crescentes de Pb, verificando-se, na dose mais elevada, decréscimos de 26,6, 31,2 e 37,2 % na matéria seca da raiz das plantas de vetiver, jureminha e algaroba, respectivamente, em relação à testemunha (Figura 1). Paiva et al. (2000) constataram severas reduções na matéria seca da raiz em mudas de cedro (*Cedrela fissilis*) e ipê-roxo (*Tabebuia impetiginosa*) com a elevação das doses de Pb em solução (0 a 288  $\mu\text{mol L}^{-1}$  de Pb), tendo as referidas espécies apresentado decréscimos de aproximadamente 80 e 55 %, respectivamente, na dose mais elevada. Soares (1999) constatou redução de 34 % na matéria seca da raiz de *Eucalyptus maculata* ao aplicar 97  $\mu\text{M}$  de Pb em solução nutritiva.

Para a matéria seca da parte aérea, observaram-se reduções lineares nas três espécies estudadas. A contaminação com Pb foi mais danosa para as plantas de jureminha, enquanto as plantas de vetiver apresentaram maiores produções de matéria seca da parte aérea (Figura 1). Nesse compartimento, foram constatadas reduções de 22,9, 32,7 e 24,3 %, na dose máxima de Pb, para as plantas de vetiver, jureminha e algaroba, respectivamente. Em plantas de milho, Huang & Cunhingham (1996) também verificaram reduções lineares na matéria seca da parte aérea de acordo com a elevação das doses de Pb. Em plantas de cedro e ipê-roxo, Paiva et al. (2000) encontraram resposta quadrática para a produção de matéria seca da parte aérea com a aplicação de doses crescentes de Pb, tendo sido verificadas, na dose máxima, reduções de 77 e 59 %, para as mudas de cedro e ipê-roxo, respectivamente.

A elevação das doses de Pb em solução promoveu reduções lineares na matéria seca da planta inteira das três espécies estudadas, proporcionando reduções de 23,7, 33,7 e 27,4 %, na dose máxima deste elemento em solução, para as plantas de vetiver, jureminha e algaroba, respectivamente (Figura 1). Uveges et al. (2002) também constataram reduções lineares na

matéria seca da planta inteira de *Lythrum salicaria* submetidas a doses crescentes de Pb em solução (0 a 2.000  $\text{mg L}^{-1}$ ). Kosobrukhov et al. (2004), em trabalho avaliando o efeito do incremento do teor de Pb no solo sobre o crescimento de plantas de *Plantago major*, constataram reduções na matéria seca da planta inteira de 30 e 46 %, em relação à testemunha, em solo contaminado com 500 e 2.000  $\text{mg kg}^{-1}$  de Pb, respectivamente.

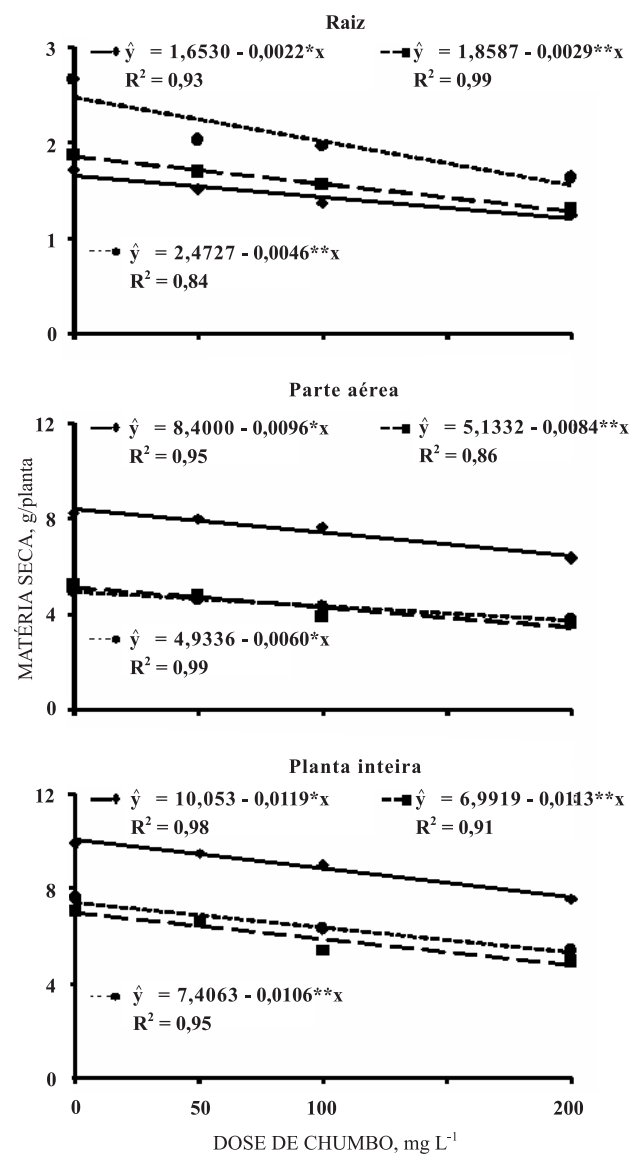


Figura 1. Matéria seca da raiz, parte aérea e da planta inteira de vetiver (---◆), jureminha (---■) e algaroba (---●) submetidas a doses crescentes de chumbo em solução nutritiva. \* e \*\*: Significativos a 5 e 1 %, respectivamente, pelo teste t.



**Doses críticas de toxidez (DCT's)**

Verificou-se que as doses críticas variaram com a espécie e com o compartimento analisado (Quadro 1). Para o vetiver e a algaroba, verificaram-se doses críticas diferenciadas entre as partes analisadas. Constatou-se que a parte mais sensível para essas duas espécies foi a raiz, tendo o vetiver apresentado DCT mais elevada. A susceptibilidade das plantas de jureminha ao Pb foi praticamente a mesma entre os compartimentos da planta. Paiva et al. (2000) relataram que, para plantas de ipê-roxo, a parte aérea demonstrou ser mais sensível à contaminação com Pb, em relação à raiz. Os referidos autores verificaram ainda que plantas de cedro apresentaram susceptibilidade praticamente constante entre os compartimentos da planta, resultados estes similares aos obtidos neste trabalho para a jureminha.

Verificou-se, assim, que o vetiver demonstrou maior tolerância à contaminação com Pb, em relação às demais espécies, em todos os compartimentos estudados, o que reforça a afirmação de Eltrop et al. (1991) de que as gramíneas e espécies herbáceas apresentam tendência de se mostrarem mais tolerantes ao excesso de metais pesados que as espécies lenhosas, por apresentarem mecanismos fisiológicos e bioquímicos mais eficientes para reduzir a toxidez dos metais pesados em seus tecidos.

**Quadro 1. Doses críticas de toxidez (DCT's) de chumbo para a raiz, parte aérea e planta inteira de vetiver, jureminha e algaroba**

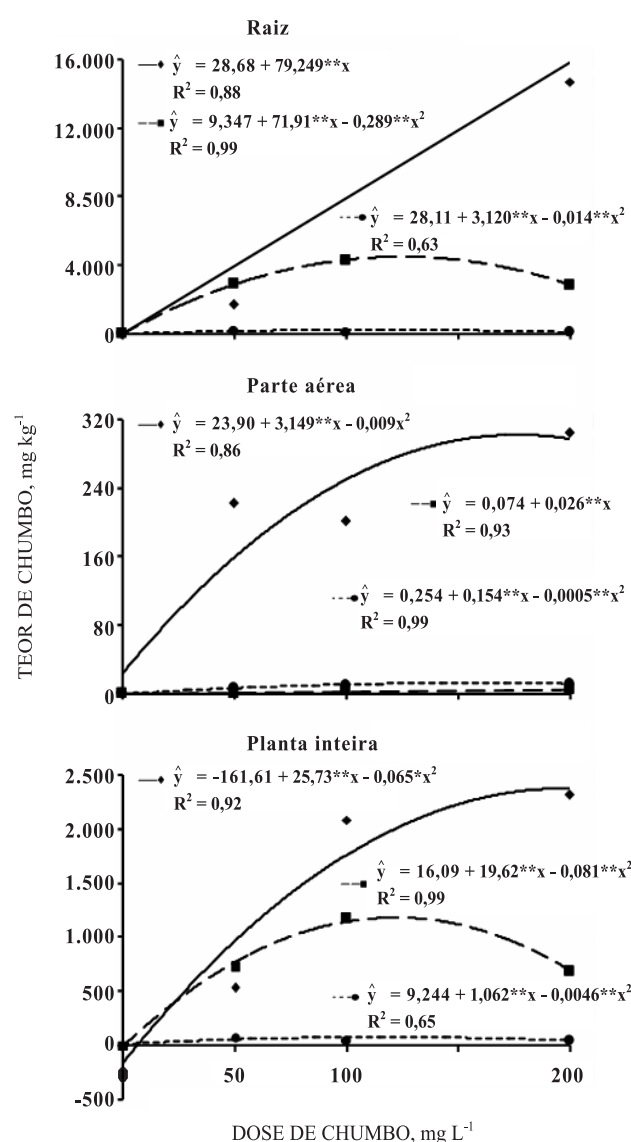
Espécie	Compartimento		
	Raiz	Parte aérea	Planta inteira
	Pb, mg L <sup>-1</sup>		
Vetiver	75	88	84
Jureminha	61	61	62
Algaroba	54	82	72

**Absorção, distribuição e acúmulo de chumbo pelas espécies**

O teor e conteúdo de Pb foram significativamente alterados pelo incremento das doses de Pb na solução nutritiva, apresentando resposta diferenciada de acordo com a espécie e compartimento analisado (Figuras 2 e 3).

Na matéria seca da raiz, obteve-se aumento linear do teor de Pb nas plantas de vetiver de acordo com o incremento das doses de Pb, sendo observado, na dose máxima, teor de Pb de 14.706 mg kg<sup>-1</sup> (Figura 2). Para as demais espécies, foram observadas respostas

quadráticas, sendo os teores máximos de Pb na raiz das plantas de jureminha (4.490 mg kg<sup>-1</sup>) e algaroba (240 mg kg<sup>-1</sup>) verificados nas doses estimadas de 125 e 113 mg L<sup>-1</sup> de Pb em solução, respectivamente (Figura 2). Para a matéria seca da parte aérea, o teor de Pb apresentou efeito quadrático nas plantas de vetiver e algaroba, sendo obtidos teores máximos de Pb da ordem de 302 e 12,1 mg kg<sup>-1</sup> nas doses estimadas de 177 e 154 mg L<sup>-1</sup> de Pb, respectivamente. As plantas de jureminha apresentaram aumentos nos teores de Pb na matéria seca da parte aérea de forma linear, sendo observado, na dose máxima, teor de 4,88 mg kg<sup>-1</sup> (Figura 2). Quanto ao teor de Pb na



**Figura 2. Teor de chumbo na matéria seca da raiz, parte aérea e da planta inteira de vetiver (---◆), jureminha (---■) e algaroba (---●) submetidas a doses crescentes de chumbo em solução nutritiva. \* e \*\*: Significativos a 5 e 1 %, respectivamente, pelo teste t.**

matéria seca da planta inteira, verificou-se que todas as espécies apresentaram resposta do tipo quadrática de acordo com a elevação das doses de Pb em solução, observando-se teores máximos deste elemento de 2.271, 1.080 e 70,6 mg kg<sup>-1</sup>, nas doses 198, 121 e 115 mg L<sup>-1</sup> de Pb, para o vetiver, jureminha e algaroba, respectivamente (Figura 2).

Quanto aos conteúdos de Pb na matéria seca da raiz, observou-se que as três espécies apresentaram respostas quadráticas de acordo com as doses de Pb, tendo sido verificados para as plantas de vetiver,

jureminha e algaroba, conteúdos máximos de Pb de 12,7, 7,05 e 0,37 mg/planta, nas doses estimadas de 134, 109 e 79 mg L<sup>-1</sup> de Pb, respectivamente (Figura 3). Na matéria seca da parte aérea, o conteúdo de Pb apresentou incremento linear nas plantas de jureminha, tendo esta espécie apresentado conteúdo de 0,22 mg/planta na dose máxima de Pb. Para as plantas de vetiver e algaroba, foram observadas respostas quadráticas das doses de Pb sobre o conteúdo deste elemento na matéria seca da parte aérea, sendo os conteúdos máximos para o vetiver (2,54 mg/planta) e algaroba (0,08 mg/planta) obtidos nas doses estimadas de 138 e 117 mg L<sup>-1</sup> de Pb, respectivamente (Figura 3). Em relação ao conteúdo de Pb na matéria seca da planta inteira, verificou-se comportamento quadrático para as três espécies estudadas em decorrência do aumento das doses de Pb, sendo os conteúdos máximos de Pb neste compartimento para as plantas de vetiver (14,7 mg/planta), jureminha (7,07 mg/planta) e algaroba (0,46 mg/planta) verificados nas doses de 135, 181 e 117 mg L<sup>-1</sup> de Pb, respectivamente (Figura 3).

Os resultados obtidos demonstram que os maiores acúmulos de Pb nas três espécies estudadas foram encontrados nas raízes, em comparação com os da parte aérea, ficando evidente o intenso acúmulo de Pb neste compartimento (Figuras 2 e 3). Estes resultados estão de acordo com os obtidos por vários autores para diversas espécies vegetais (Kumar et al., 1995; Huang & Cunnigham, 1996; Marques et al., 2000; Soares et al., 2001; Piechalak et al., 2002; Paiva et al., 2003). O intenso acúmulo de Pb na raiz está relacionado com a alta afinidade desse elemento pelas cargas negativas resultantes da dissociação dos grupos carboxílicos dos ácidos galacturônico e glucurônico da parede celular das células dos tecidos radiculares (CTC radicular), principalmente nos tecidos exteriores (rizoderme e córtex), além da função de barreira fisiológica das estrias de Caspary e plasmalema das células da endoderme, mecanismos que restringem o acesso do Pb ao xilema e, conseqüentemente, reduzem sua translocação para a parte aérea (Seregin et al., 2004). O maior acúmulo de metais pesados nas raízes, preservando sua integridade e funções primárias, e a baixa translocação para a parte aérea são considerados mecanismos para escape à toxicidade por esses elementos (Soares et al., 2001; Seregin et al., 2004).

Entretanto, vale salientar que, dentre as espécies estudadas, o vetiver apresentou, em todos os compartimentos analisados, teores e conteúdos de Pb superiores aos apresentados pela jureminha e algaroba, demonstrando maior potencial de absorção e acúmulo de Pb por esta espécie, enquanto a algaroba apresentou as menores taxas de absorção e acúmulo deste elemento (Figuras 2 e 3). Destaca-se, ainda, que, além da elevada absorção de Pb, o vetiver também apresentou maior tendência de translocação do Pb absorvido pelas raízes para a parte aérea da planta, o que pode ser verificado pelos maiores teores e conteúdos apresentados por esta espécie na matéria seca da parte

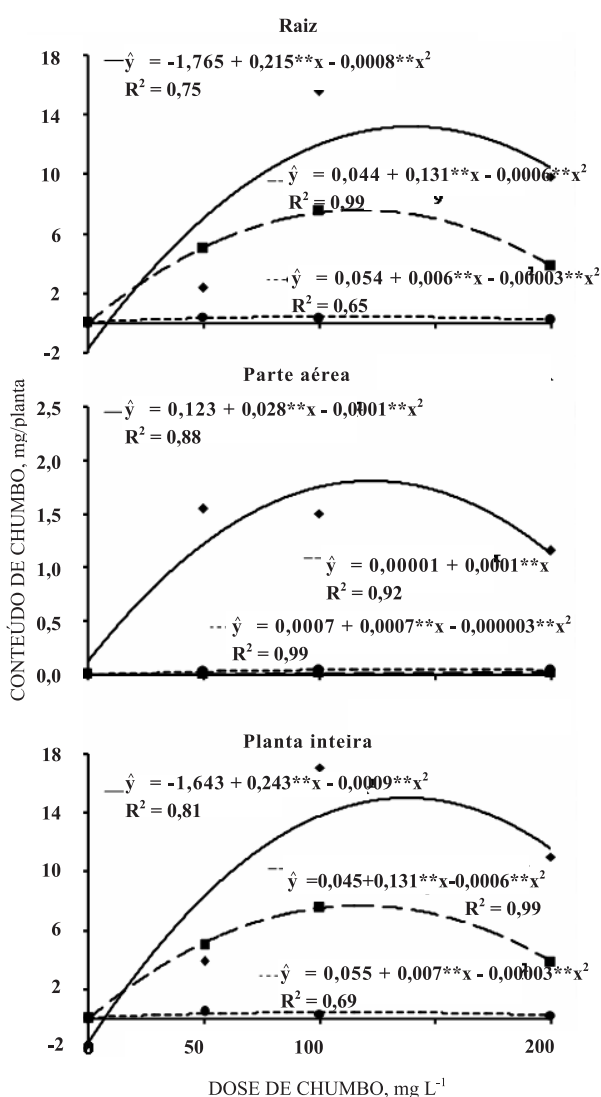


Figura 3. Conteúdo de chumbo na matéria seca da raiz, parte aérea e da planta inteira de vetiver (---◆), jureminha (---■) e algaroba (---●) submetidas a doses crescentes de Pb em solução nutritiva. \*\*: Significativos a 5 e 1 %, respectivamente, pelo teste t.

aérea (Figuras 2 e 3). Esses resultados apontam o vetiver como espécie promissora para programas de fitorremediação de áreas contaminadas com Pb, graças à sua elevada tolerância e grande capacidade de absorção, translocação e acúmulo deste elemento, resultados estes também apontados por outros autores (Chen et al., 2000; Chantachon et al., 2004; Chen et al., 2004).

### CONCLUSÕES

1. As espécies vetiver, jureminha e algaroba comportaram-se de modo diferenciado à contaminação com Pb, com respostas distintas quanto à tolerância, absorção, distribuição e acúmulo deste elemento.

2. Com base nas doses críticas de toxidez, verificou-se que a raiz demonstrou ser o compartimento mais sensível à contaminação com Pb nas plantas de vetiver e algaroba, tendo a jureminha apresentado comportamento similar entre os compartimentos analisados.

3. Os maiores acúmulos de Pb ocorreram nas raízes das plantas analisadas.

4. O vetiver apresentou elevada tolerância e eficiência de absorção e translocação de Pb para a parte aérea, o que pode tornar esta espécie de grande importância para programas de fitorremediação de áreas contaminadas com Pb.

### LITERATURA CITADA

ACCIOLY, A.M.A. & SIQUEIRA, J.O. Contaminação química e biorremediação do solo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H. & SCHAEFER, C.E.G.R., eds. Tópicos em ciência do solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v.1. p.299-351.

ALKORTA, I.; HERNÁNDEZ-ALLICA, J.; BECERRIL, J.M.; AMEZAGA, I.; ALBIZU, I. & GARBISU, C. Recent findings on the phytoremediation of soils contaminated with environmentally toxic heavy metals and metalloids such as zinc, cadmium, lead, and arsenic. *Rev. Environ. Sci. Biotechnol.*, 3:71-90, 2004.

BAKER, A.J.M. & BROOKS, R.R. Terrestrial higher plants which hyperaccumulate metallic elements: A review of their distribution, ecology and phytochemistry. *Biorecovery*, 1:81-126, 1989.

BAKER, A.J.M.; McGRATH, S.P.; REEVES, R.D. & SMITH, J.A.C. Metal hyperaccumulator plants: A review of the ecology and physiology of a biological resource for phytoremediation of metal-polluted soil. In: TERRY, N. & BAÑUELOS, G., eds. *Phytoremediation of contaminated soil and water*. Boca Raton, Lewis Publishers, 2000. p.85-107.

CHANTACHON, S.; KRUTRACHUE, M.; POKETHITHYOOK, P.; UPATHAM, S.; TANTANASARIT, S. & SOONTHORN SARATHOOL, V. Phytoextraction and accumulation of lead from contaminated soil by vetiver grass: Laboratory and simulated field study. *Water, Air, Soil Poll.*, 154:37-55, 2004.

CHEN, H.M.; ZHENG, C.R.; TU, C. & SHEN, Z.G. Chemical methods and phytoremediation of soil contaminated with heavy metals. *Chemosphere*, 41:229-234, 2000.

CHEN, Y.; SHEN, Z. & LI, X. The use of vetiver grass (*Vetiveria zizanioides*) in the phytoremediation of soils contaminated with heavy metals. *Appl. Geochem.*, 19:1553-1565, 2004.

DAVIS, R.D.; BECKETT, P.H.T. & WOLLAN, E. Critical levels of twenty potentially toxic elements in young spring barley. *Plant Soil*, 49:349-408, 1978.

ELTROP, L.; BROWN, G.; JOACHIM, O. & BRINKMANN, K. Lead tolerance of *Betula* and *Salix* in the mining area of Mechernich/Germany. *Plant Soil*, 131:275-285, 1991.

GRATÃO, P.L.; PRASAD, N.V.; CARDOSO, P.; LEA, P.J. & AZEVEDO, R.A. Phytoremediation: Green technology for the clean up of toxic metals in the environment. *Braz. J. Plant Physiol.*, 17:53-64, 2005.

HOAGLAND, D.R. & ARNON, D.L. The water culture methods for growing plants without soil. Berkeley, The College of Agriculture University of California, California Agriculture Station, 1938. 32p. (Circular, 347)

HUANG, J.W. & CUNNINGHAM, S.D. Lead phytoextraction: Species variation in lead uptake and translocation. *New Phytol.*, 134:75-84, 1996.

KABATA-PENDIAS, A. & PENDIAS, H. Trace elements in soils and plants. 4.ed. Boca Raton, CRC Press, 2000. 331p.

KOSOBROUKHOV, A.; KNYAZEVA, I. & MUDRIK, V. *Plantago major* plants responses to increase content of lead in soil: Growth and photosynthesis. *Plant Growth Regul.*, 42:145-151, 2004.

KUMAR, N.P.B.A.; DUSHENKOV, V.; MOTTO, H. & RASKIN, I. Phytoextraction: The use of plants to remove of heavy metals from soil. *Environ. Sci. Technol.*, 29:1232-1238, 1995.

LASAT, M.M. Phytoextraction of toxic metals: A review of biological mechanisms. *J. Environ. Qual.*, 31:109-120, 2002.

MARQUES, T.C.L.S.M.; SIQUEIRA, J.O. & MOREIRA, F.M.S. Crescimento e teor de metais de mudas de espécies arbóreas cultivadas em solo contaminado com metais pesados. *Pesq. Agropec. Bras.*, 35:121-132, 2000.

PAIVA, H.P.; CARVALHO, J.G. & SIQUEIRA, J.O. Efeito de Cd, Ni, Pb e Zn sobre mudas de cedro (*Cedrela fissilis* Vell.) e ipê-roxo (*Tabebuia impetiginosa* (Mart.) Standley) em solução nutritiva. *R. Árvore*, 24:369-378, 2000.

PAIVA, H.P.; CARVALHO, J.G.; SIQUEIRA, J.O.; FERNANDES, A.R. & MIRANDA, J.R.P. Influência de doses crescentes de chumbo sobre o teor e o conteúdo de nutrientes e de Pb em mudas de ipê-roxo (*Tabebuia impetiginosa* (Mart.) Standl.). *R. Árvore*, 27:151-158, 2003.

- PIECHALAK, A.; TOMASZEWSKA, B.; BARALKIEWICZ, D. & MALECKA, A. Accumulation and detoxification of lead ions in legumes. *Phytochemistry*, 60:153-162, 2002.
- PILON-SMITS, E. Phytoremediation. *Ann. Rev. Plant Biol.*, 56:15-39, 2005.
- SEREGIN, I.V.; SHPIGUN, L.K. & IVANOV, V.B. Distribution and toxic effects of cadmium and lead on maize roots. *Russ. J. Plant Physiol.*, 51:525-533, 2004.
- SHEN, Z.G.; LI, X.D.; WANG, C.C.; CHEN, H.M. & CHUA, H. Lead phytoextraction from contaminated soil with high-biomass plant species. *J. Environ. Qual.*, 31:1893-1900, 2002.
- SISTEMA PARA ANÁLISES ESTATÍSTICAS - SAEG. Versão 8.0. Viçosa, MG, Fundação Arthur Bernardes, 2000.
- SOARES, C.R.F.S. Toxidez de zinco, cobre, cádmio e chumbo para o eucalipto em solução nutritiva. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 1999. 132p. (Tese de Mestrado)
- SOARES, C.R.F.S.; ACCIOLY, A.M.A.; MARQUES, T.C.L.S.M.; SIQUEIRA, J.O. & MOREIRA, F.M.S. Acúmulo e distribuição de metais pesados nas raízes, caule e folhas de mudas de árvores em solo contaminado por rejeito de indústria de zinco. *R. Bras. Fisiol. Vegetal*, 13:302-315, 2001.
- TEDESCO, M.J.; GIANELO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEM, H. & VOLKWEISS, S.J. Análise de solo, planta e outros materiais. 2.ed. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p. (Boletim Técnico, 5)
- UVEGES, J.L.; CORBETT, A.L. & MAL, T.K. Effects of lead contamination on the growth of *Lythrum salicaria* (purple loosestrife). *Environ. Pollut.*, 120:319-323, 2002.