



FITOEXTRAÇÃO DE CHUMBO EM CAMPO INDUZIDA POR ÁCIDO CÍTRICO⁽¹⁾.

Eriberto Vagner de Souza Freitas⁽²⁾; Clístenes Williams Araújo do Nascimento⁽³⁾.

⁽¹⁾ Trabalho executado com recursos do CNPq.

⁽²⁾ Professor; Faculdade Evolução Alto Oeste Potiguar; Pau dos Ferros – RN; E-mail: eribertovagner@yahoo.com.br;

⁽³⁾ Professor; Universidade Federal Rural de Pernambuco.

RESUMO: A contaminação antrópica dos solos com metais pesados tem se tornado um dos problemas ambientais mais preocupantes das últimas décadas. O trabalho objetivou avaliar o desempenho do milho e vetiver na fitoextração induzida de Pb por ácido cítrico em campo, em uma área contaminada por resíduos de baterias automotivas, além da avaliação de espaçamentos específicos para técnica. Os tratamentos foram constituídos por diferentes espaçamentos entre linhas: 0,80 m (com e sem aplicação de quelante), 0,65 m e 0,50 m. O ácido cítrico foi aplicado no solo na concentração de 40 mmol kg⁻¹ no 61º dia de cultivo para ambas as espécies. A aplicação de ácido cítrico para milho no espaçamento 0,65 m promoveu um aumento de 11 vezes na capacidade de remoção de Pb do solo em relação ao controle. As melhores estimativas de tempo foram obtidas com ambas as espécies no espaçamento de 0,80 m, de 19 e 20 anos de milho e vetiver, respectivamente. O espaçamento de 0,80 m utilizado para ambas as espécies estudadas e o milho em 0,65 m, são os programas de fitoextração recomendados para a remediação de setores da área com contaminação moderada de Pb.

Termos de indexação: remediação, fitorremediação, poluição do solo.

INTRODUÇÃO

A contaminação antrópica dos solos com metais pesados e outros poluentes tem se tornado um dos problemas ambientais mais recorrentes e preocupantes das últimas décadas. Os metais pesados não podem ser mineralizados ou decompostos, e uma ação remediadora de remoção pode ser exigida para garantir a funcionalidade dos ecossistemas.

O Pb é um dos mais frequentes poluentes inorgânicos em solos (Alkorta et al., 2004). O metal apresenta uma elevada persistência no solo e é potencialmente tóxico mesmo em baixas concentrações. No Brasil, a resolução 420 do Conselho nacional do Meio Ambiente (CONAMA) estabelece 180, 300 e 900 mg kg⁻¹ de Pb como valores de investigação, respectivamente para áreas agrícolas, residencial e industrial (CONAMA,

2009). Quando os referidos valores são ultrapassados, ações remediadoras tornam-se necessárias.

Entre as técnicas de fitorremediação, a fitoextração, que remove metais do solo através da absorção e subsequente translocação das raízes para a parte aérea das plantas (Pivetz, 2001), frequentemente é proposta para a recuperação de solos contaminados por metais devido ao seu menor custo, aceitação pública e menor impacto ambiental.

Na fitoextração induzida com aplicação de quelantes naturais, como ácido cítrico, ao solo aliada ao cultivo de plantas de alta produção de biomassa, como milho (*Zea mays*), mostarda da Índia (*Brassica Juncea*) e vetiver (*Chrysopogon zizanooides*), pode ser particularmente atrativa em virtude da amenização dos efeitos adversos relacionados aos quelantes sintéticos.

Os resultados das pesquisas são divergentes, por exemplo, alguns trabalhos mostraram baixa eficiência do ácido cítrico na indução da fitoextração de Pb (Evangelou et al., 2006; Melo et al., 2008), enquanto outros indicaram uma promissora utilização do quelante como indutor da fitoextração de Pb em um solo contaminado por baterias automotivas (Araújo & Nascimento, 2010; Freitas et al., 2014).

Os trabalhos de fitoextração induzida em campo, especialmente com ácidos naturais são essenciais para a avaliação da exequibilidade técnica e ambiental da tecnologia. Neste contexto, o presente estudo objetivou avaliar o desempenho do milho e vetiver na fitoextração induzida de Pb por ácido cítrico em campo, em uma área contaminada por resíduos de baterias automotivas, além da avaliação de espaçamentos específicos para técnica.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em uma área de deposição de escórias no entorno de uma indústria que atua na reciclagem de baterias elétricas automotivas, localizada no Sítio Capim Azul, km 28 da BR 101, município de Rio Tinto – PB (06º48'11" de latitude sul e 35º04'50" de longitude oeste). O



solo, classificado como Espodossolo Cárbico Hidromórfico, foi coletado da camada de 0-20 cm. A caracterização química e física realizada de acordo com a EMBRAPA (2011) encontram-se resumidas na **tabela 1**. O teor pseudo total de Pb foi extraído pelo método EPA 3051A (USEPA, 1998).

Tabela 1 – Principais características químicas e físicas do solo da área experimental.

pH	Al	Ca	Mg	H+Al
H ₂ O 1:2,5	-----	cmol _c dm ⁻³	-----	
3,63	0,80	0,65	0,57	5,06
C.O.	Pb*	Areia	Silte	Argila
g kg ⁻¹	mg dm ⁻³	-----	g kg ⁻¹	-----
9,21	1.850	948	22	30

C.O.: Carbono Orgânico. *Valor pseudo total médio (n = 32).

O preparo do solo consistiu na gradagem para incorporação dos restos vegetais e homogeneização da área, seguida da aplicação e incorporação manual de calcário dolomítico para fornecimento de Ca e Mg e elevar o pH do solo para a faixa de 6,0 – 6,2.

Para a fitoextração foram utilizadas as espécies milho (*Zea mays* L.), cultivar AG 1051 com semeadura por sementes e vetiver (*Chrysopogon zizanioides* (L.) Roberty), com plantio por mudas.

Os tratamentos foram constituídos por diferentes espaçamentos entre linhas: 0,80 m (com e sem aplicação de quelante), 0,65 m e 0,50 m. A área ocupada por planta correspondeu a 0,16; 0,13 e 0,10 m², equivalente às densidades de 62.500, 76.923 e 100.000 plantas ha⁻¹, respectivamente, para milho e, 0,24; 0,20 e 0,15 m², equivalente às densidades de 41.667; 51.282 e 66.667 plantas ha⁻¹, respectivamente, para vetiver. O trabalho foi composto por 32 parcelas experimentais, com 15 m² de área, com um tamanho total de 600 m².

O ácido cítrico (comercial proveniente da indústria alimentícia) foi aplicado no solo na concentração de 40 mmol kg⁻¹ no 61º dia de cultivo para ambas as espécies, manualmente com um regador com capacidade para 12 litros de solução.

No 69º dia de cultivo foi realizada a coleta da parte aérea das plantas cortando-as na base, rente ao solo. No laboratório de Fertilidade do Solo da UFRPE foram realizadas todas as análises, incluindo a digestão pelo método EPA 3051A (USEPA, 1998) e leitura dos teores do Pb por espectrofotometria de absorção atômica.

A eficiência das espécies em absorver o Pb do solo foi avaliada pela Remoção Líquida (RL) do metal, expressa em g ha⁻¹, da seguinte maneira:

$$RL = [Pb]PA \times MS \times 10^{-3} \quad (1)$$

Onde, [Pb]PA: Concentração de Pb na parte aérea (mg kg⁻¹) e MS = Produção de matéria seca da parte aérea (kg ha⁻¹).

A estimativa de tempo (t) para a recuperação da área foi calculado com base na seguinte equação:

$$t = [(Q[Pb]solo - Q[Pb]VI) \div RL] \div c \quad (2)$$

Onde, t = tempo necessário para a recuperação da área (anos); Q[Pb]solo = Concentração total de Pb no solo (mg kg⁻¹); Q[Pb]VI = Valor de investigação de 900 mg kg⁻¹ do CONAMA e c = número de cultivos por ano.

Os tratamentos foram dispostos em um delineamento experimental de blocos casualizados em esquema fatorial, utilizando milho e vetiver em três diferentes espaçamentos, com quatro repetições. Os dados foram submetidos às análises de variância e teste de Tukey (p<0,05) utilizando o Programa SAEG 9.1 da UFV.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Diversos métodos podem ser utilizados para avaliar a eficiência da técnica de fitoextração, entre eles a remoção líquida (**Equação 1**) utilizada no presente estudo (**Figura 1**). Para a remoção líquida de Pb, não houve interação significativa entre os espaçamentos e as espécies. A utilização do milho no espaçamento 0,80 m combinado com a aplicação de 40 mmol kg⁻¹ de ácido cítrico no 61º dia após o plantio resultou em um significativo aumento da remoção líquida de Pb, com uma eficiência de 13, 24 e 92 % superior aos espaçamentos 0,65 m, 0,50 m e controle, respectivamente.

A aplicação de ácido cítrico para milho no espaçamento 0,65 m promoveu um aumento de 11 vezes na capacidade de remoção de Pb do solo em relação ao controle, tornando a utilização do espaçamento reduzido promissor para programa de fitorremediação dessa área (**Figura 1**). Os resultados não corroboram Araújo & Nascimento (2010), que indicaram uma remoção de 11.846,14 g ha⁻¹ de Pb, com a aplicação de 30 mmol kg⁻¹ de ácido cítrico. Nas condições de campo, a heterogeneidade das concentrações e distribuição do Pb no solo, a relativa menor exploração do solo pelo sistema radicular, além da maior fitotoxicidade do Pb, podem explicar a divergência dos resultados. O melhor resultado obtido por Neugschwandtner et al. (2008) com milho, foi com a aplicação de 9 mmol kg⁻¹ de EDTA, parcelado em três vezes, removendo apenas 105,80 g ha⁻¹.

O vetiver foi menos eficiente do que o milho na remoção de Pb em todos os espaçamentos que receberam a aplicação do quelante. Esta menor



eficiência não desqualifica a espécie para programas de fitoextração. O uso de espaçamentos menores entre as linhas reduziu significativamente a remoção de Pb pelo vetiver e este foi um fator importante na sua menor habilidade em remover Pb do solo em nosso estudo. Adicionalmente, o vetiver é uma planta perene, o que pode permitir cultivos sucessivos sem a necessidade de um novo plantio a cada ciclo apresenta fácil manejo, excelente capacidade de adaptação a diferentes tipos de solo e tem alta tolerância e capacidade de absorver metais pesados (Xia, 2004; 2004; Xu et al., 2009).

O tempo requerido para a recuperação pela fitoextração da área estudada foi estimado pela **equação 2**. Os espaçamentos apresentaram uma influência significativa na estimativa de tempo para a recuperação do solo da área. As melhores estimativas de tempo foram obtidas com ambas as espécies no espaçamento convencional, com 19 e 20 anos (**Figura 2**), o que representa uma necessidade de 95 e 100 cultivos de milho e vetiver, respectivamente. Os resultados corroboram Chantachon et al. (2004) que estimaram 25 anos para a recuperação de um solo contaminado com Pb utilizando o vetiver em campo sem a aplicação do quelante, no entanto, a contaminação foi induzida via sistema de irrigação, em um solo ácido, o que provavelmente favoreceu a remoção do metal e reduziu a estimativa de tempo.

CONCLUSÕES

Concluiu-se que a aplicação de ácido cítrico comercial no solo foi eficiente na indução da absorção de Pb pelas espécies, sendo indicado para uso na área. O espaçamento de 0,80 m utilizado para ambas as espécies estudadas e o milho em 0,65 m, são os programas de fitoextração recomendados para a remediação de setores da área com contaminação moderada de Pb.

REFERÊNCIAS

a. Periódicos:

ALKORTA, I., HERNANDEZ-ALLICA, J., BECERRIL, J. M. et al. Recent findings on the phytoremediation of soil contaminated with environmentally toxic heavy metals and metalloids such as zinc, cadmium, lead and arsenic. *Environmental Science Biotechnology*. 3:71-90, 2004.

ARAÚJO, J. C. T. & NASCIMENTO, C. W. A. Phytoextraction of Lead from Soil from a Battery Recycling Site: The Use of Citric Acid and NTA. *Water, Air and Soil Pollution*, 211:113-120, 2010.

CHANTACHON, S.; KRUATRACHUE, M.; POKETHITIYOOK, P. et al. Phytoextraction and

accumulation of lead from contaminated soil by vetiver grass: laboratory and simulated field study. *Water, Air and Soil Pollution*, 154:37-55, 2004.

EVANGELOU, M. W. H.; EBEL, M.; SCHAEFFER, A. Evaluation of the effect of small organic acids on phytoextraction of Cu and Pb from soil with tobacco *Nicotiana tabacum*. *Chemosphere*, 63:996-1004, 2006.

FREITAS, E. V. S.; NASCIMENTO, C. W. A.; SOUZA, A. P. et al. Citric acid-assisted phytoextraction of lead in the field: the use of soil amendments. *Water, Air and Soil Pollution*, 225:1796-1805, 2014.

MELO, E. E. C.; NASCIMENTO, C. W. A.; ACCIOLY, A. M. A. et al. Phytoextraction and fractionation of heavy metals in soil after multiple applications of natural chelants. *Science Agricola*, 65:61-68, 2008.

NEUGSCHWANDTNER, R. W.; TLUSTOŠ, P.; KOMÁREK, M. et al. Phytoextraction of Pb and Cd from a contaminated agricultural soil using different EDTA application regimes: laboratory versus field scale measures of efficiency. *Geoderma*, 144:446-454, 2008.

XIA, H. P. Ecological rehabilitation and phytoremediation with four grasses in oil shale mined land. *Chemosphere*, 54:345-353, 2004.

XU, W.; LI, W.; HE, J. et al. Effects of insoluble Zn, Cd, and EDTA on the growth, activities of antioxidant enzymes and uptake of Zn and Cd in *Vetiveria zizanioides* *Journal of Environmental Sciences*, 21:186-192, 2009.

b. Livro:

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Manual de métodos de análises de solo. 2. ed. Brasília: Embrapa Tecnologia da Informação, 2011. 230p.

c. Internet:

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. Valores orientadores para solos e água subterrâneas. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=620>>. Acesso em 11 abr. 2015.

PIVETZ, B. E. Phytoremediation of contaminated soil and ground water at hazardous sites. *Ground Water Issue*, Environmental Protection Agency EPA/ 540/S-01/500. Disponível em: <http://www.epa.gov/superfund/remedytech/tsp/download/epa_540_s01_500.pdf>. Acesso em 11 abr. 2015.

UNITED STATE ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - USEPA. Method 3051A – Microwave assisted acid digestion of sediments, sludges and soils. Washington, DC, 1998. 14p. Disponível em: <<http://www.epa.gov/osw/hazard/testmethods/sw846/pdfs/3051a.pdf>>. Acesso: em 11 abr. 2015.

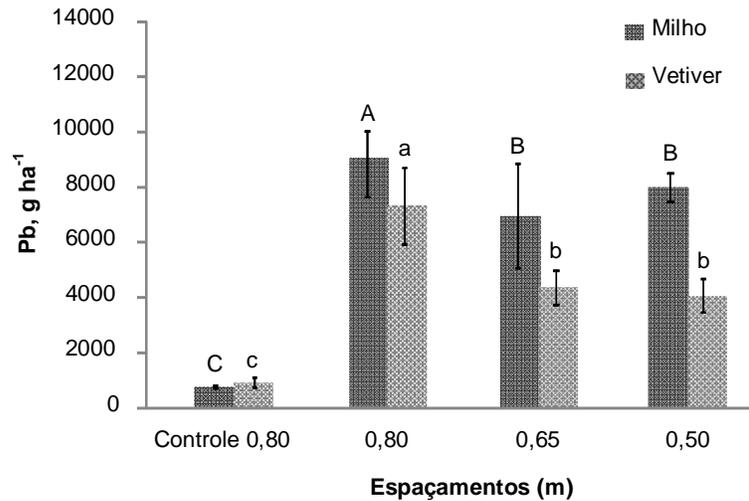


Figura 1 – Remoção líquida de Pb por milho e vetiver em diferentes nos espaçamentos 0,80, 0,65 e 0,50 m após a aplicação de ácido cítrico. Médias com letra igual não diferem estatisticamente de acordo com o Teste Tukey com $p < 0,05$. Desvio padrão \pm da média (n = 4).

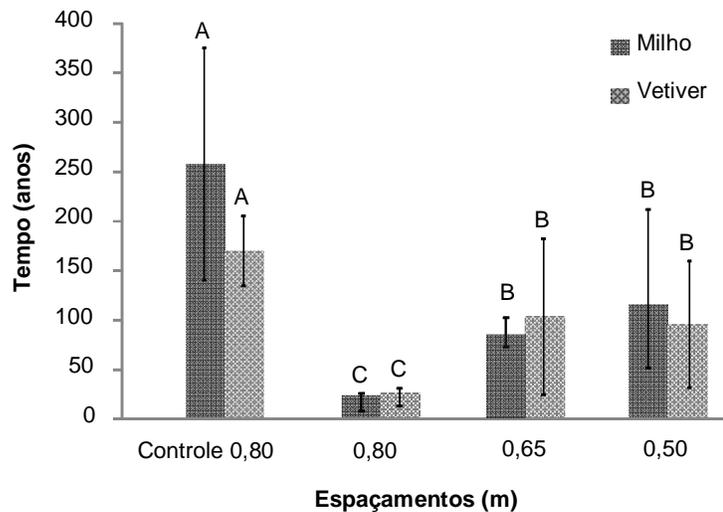


Figura 2 - Tempo necessário para a fitoextração de Pb do solo atingir o valor de investigação do CONAMA, utilizando o milho e vetiver em diferentes nos espaçamentos 0,80, 0,65 e 0,50 m após a aplicação de ácido cítrico. Médias com letra igual não diferem estatisticamente de acordo com o Teste Tukey com $p < 0,05$. (Desvio padrão \pm da média, n = 4).