

## Fitorremediação em Solo Contaminado pelo Metal Chumbo

Bianca da Silveira Schottz

Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, Brasil, [bschottz@ime.eb.br](mailto:bschottz@ime.eb.br)

Maria Esther Soares Marques

Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, Brasil, [esther@ime.eb.br](mailto:esther@ime.eb.br)

Wilma de Araújo Gonzalez

Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, Brasil, [d5wilma@ime.eb.br](mailto:d5wilma@ime.eb.br)

Silvio Roberto de Lucena Tavares

Embrapa Solos, Rio de Janeiro, Brasil, [silvio.tavares@embrapa.br](mailto:silvio.tavares@embrapa.br)

**RESUMO:** A fitorremediação é a técnica que faz o uso de plantas para diminuir o nível de contaminação do solo, água e até mesmo do ar. Para este experimento foi utilizado o capim vetiver e o solo originário do Acre, que foi fertilizado, contaminado. O capim foi cultivado na casa de vegetação da Embrapa Solos localizada na Universidade Federal Fluminense (UFF) Foram realizados diversos ensaios nas amostras de solo antes e após a contaminação com cerca de 8000mg/L de chumbo (valor nominal). O presente trabalho teve por objetivo acompanhar a regressão do metal chumbo nas amostras de solo plantadas com capim vetiver. Os resultados foram promissores indicando que após a fitorremediação, houve uma remoção de cerca de 50% do teor de chumbo do solo.

**PALAVRAS-CHAVE:** Fitorremediação, metal pesado, chumbo, capim vetiver.

**ABSTRACT:** Phytoremediation is the technique that uses plants to reduce the level of soil, water and even air contamination. For this experiment, vetiver grass and soil from Acre, which was fertilized, contaminated and separated into 20 pots, were used. The grass was grown in the Embrapa Solos greenhouse located at the Fluminense Federal University (UFF). Several tests were carried out on soil samples. This work aims to monitor the regression of lead metal in soil samples planted with vetiver grass. Afterwards, it was effective in treating lead regression.

**KEY WORDS:** phytoremediation, heavy metal, lead, grass vetiver.

### 1 INTRODUÇÃO

O solo é um recurso natural e importante componente do ecossistema da terra, pois ele serve como barreira natural à contaminação de águas subterrâneas, além de plantio e desenvolvimento animal. Atualmente, vem sendo fortemente degradado pela exposição a diversos contaminantes, como os elementos situados entre o cobre e o chumbo na tabela periódica tendo pesos atômicos entre 63,546 e 207,2 e densidade superior a 4,0 gramas por centímetro cúbico, denominados de metais pesados. (BHUIYAN, 2010 e BASSO, 2012).

Estes metais são caracterizados como fonte de contaminação por serem liberados no ambiente sem tratamento e remediação por mineradoras, indústrias

e siderúrgicas, população, dentre outros (SANTOS, 2007). Além disso, podem se instalar em locais diferentes da planta, percorrendo em cadeias tróficas, transferindo aos herbívoros, carnívoros e seres humanos (CORRÊA, 2006). No corpo humano são absorvidos através da ingestão de água e alimentos contaminados sendo consumidos em pequenas doses ao longo de um período ou consumido de uma vez em altas dosagens (JARDIM e CALDAS, 2009).

A exposição ao metal pesado é mais frequente no meio de trabalho, onde trabalhadores do setor de indústria e mineração se contaminam por via inalatória, digestiva ou absorção pela pele ou mucosas (MARDONES, 2007).

De acordo com a organização mundial da saúde (OMS), o chumbo é um dos elementos químicos mais

nocivos à saúde do ser humano (VANZ, 2003). A maior ocorrência de intoxicação por chumbo está ligada à contaminação ambiental, por partículas suspensas no ar, ingestão de bebidas ou alimentos contaminados (KOSNETT, 2003).

Quando o solo recebe elevada concentração de metais pesados torna-se importante a aplicação de técnicas de remediação para reverter os níveis de contaminação presentes no local.

A resolução 420/2009 do CONAMA institui valores de referência de qualidade (VQR) que apontam concentrações limite de chumbo no solo e na água subterrânea (SILVA, 2015). Estes valores de concentração máxima apresentados na Tabela 1 indicam a qualidade do solo e a capacidade dele em determinadas funções sendo acima do valor estabelecido gerando riscos à saúde humana.

Tabela 1. Valores de referência para presença de chumbo no solo, conforme a resolução CONAMA de nº 420/2009 Valor de prevenção 72,0 mg/Kg.

| Substância | Agrícola<br>(mg/Kg) | Residencial<br>(mg/Kg) | Industrial<br>(mg/Kg) |
|------------|---------------------|------------------------|-----------------------|
| Chumbo(Pb) | 180,0               | 300,0                  | 900,0                 |

O aumento da concentração de metais pesados no ecossistema podem ocasionar efeitos prejudiciais à saúde animal, vegetal e humana (SIEGEL, 2002). Devido a concentração e tempo de exposição aos metais pesados, as plantas podem desenvolver alterações estruturais, bioquímicas e fisiológicas. Algumas espécies possuem tolerância à determinados contaminantes e capacidade de bioacumulá-los (MACEDO; BEZERRA; MORRIL, 2008).

Com relação a biodisponibilidade aos metais, as plantas podem ser classificadas como:

**Tolerantes:** quando são colocadas em condição de estresse desenvolvem habilidade de evitar ou excluir os contaminantes com o objetivo de reduzir sua incorporação celular;

**Sensíveis:** não apresentam propriedades de escape, possuindo dificuldade em sobreviver em solos contaminados seja eles naturais ou artificiais;

**Hiperacumuladoras ou acumuladoras:** criam mecanismos de defesa eliminando a intoxicação por metais.

Diversas espécies de plantas podem ser utilizadas com o objetivo de se detectar de forma quantitativa e qualitativa a contaminação por metais pesados, para isso são utilizadas espécies de plantas acumuladoras. Para uma planta ser considerada boa bioindicadora ela deve absorver o metal pesado em quantidade próximas às concentrações em que os contaminantes se encontram no local e possuir uma extensa partilha geográfica, permitindo boa amostra de sua densidade

(SIEGEL, 2002).

As plantas arbóreas são mais sensíveis aos níveis tóxicos dos metais, porém, estudos apresentam que seu sistema radicular dispõe de mecanismos que podem contribuir para a resistência a metais pesados. Estes fazem parte da absorção dos metais pesados na região próxima à raiz (VERKLEIJ e PAREST 1989).

Após a descoberta de plantas resistentes a metais pesados, o uso da técnica de fitorremediação, para a redução da concentração de contaminantes a níveis seguros para a saúde do ser vivo e ao meio ambiente, feita no próprio local de contaminação, tornou-se um processo interessante economicamente viável. (PILOM-SMITS, 2005; BUSCHLE, 2010, BALDANTONI, 2014).

Inúmeras espécies de vegetais possuem propriedades que possibilitam seu desenvolvimento mesmo com a existência de metais tóxicos. Para serem consideradas apropriadas para fins de fitorremediação de metais pesados, as espécies devem abordar as condições de alto nível de tolerância a concentrações altas de metais, adequação ao solo e ao clima e possuir habilidade de absorção alta de metais tóxicos ou mobilizar o contaminante (REEVES, 1981 e BOYD E MARTENS 1993).

Diversas hipóteses foram sugeridas para esclarecer a função biológica da hiperacumulação de metais pesados nas plantas. Aumento de resistência à seca, aumento de tolerância a metais, vantagem em relação as outras plantas e infecção por fungos são casos investigados por diversos pesquisadores (REEVES, 1981 e BOYD E MARTENS 1993).

De acordo com o Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas (2003), a produtividade do capim vetiver é de 3 a 5 ton/há de raízes secas, correspondendo de 60 a 100kg de óleo essencial.

Sua alta taxa de crescimento, junto com sua tolerância a extremas condições climáticas sugere que o capim seja a planta ideal para aplicação em peso no tratamento de efluentes, desde que seja cortada periodicamente.

Segundo TRUONG, et al. (2008), o Vetiver possui propriedades para integrar em um tratamento de remediação.

De acordo com a literatura, o uso da fitorremediação pode oferecer uma possibilidade mais atrativa do que os tratamentos tradicionais de remediação, visto que possuem custos reduzidos de energia, já que as plantas utilizam a energia solar e derivam na conservação dos recursos naturais. Além disso, esse ainda é um processo multifuncional, podendo ser utilizado para remediar o solo, a água e o ar, dependendo dos objetivos a serem atingidos (TROUNG, 2000; SUSARLA, 2002; PREUSSLER, 2014).

Neste contexto este trabalho teve por objetivo

avaliar o comportamento do capim vetiver em solos, proveniente do estado do Acre, contaminado com uma concentração nominal de chumbo de cerca de 8000 partes por milhão.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Pesquisa

A pesquisa tem por objetivo verificar o desempenho da planta escolhida como fitorremediadora do metal chumbo, presente em solo proveniente da Amazônia, nas condições definidas previamente.

A planta escolhida foi o capim vetiver (*Vetiveria zizanioides*), pois foi comprovado que esta planta consegue suportar temperaturas extremas e se adequar em qualquer ambiente. Este foi cedido pela EMBRAPA SOLOS, localizada no Rio de Janeiro, RJ. O experimento foi realizado em triplicata, na casa de vegetação situada na Universidade Federal Fluminense (UFF).

O solo foi homogeneizado, seco em estufa na temperatura de 60°C, destorroado, passado na peneira de 2mm e reservado em vasos de polietileno com filtro sem furo no fundo. Destaca-se que o processo de tratamento deste solo, fertilização, contaminação, plantio e colheita final para análise durou um ano.

Foram realizados diversos ensaios no solo afim de obter suas características físico-químicas e morfológicas.

#### 2.1.1 Experimento

Para o experimento foram separados 105 kg de solo, secos em estufa a temperatura de 60°C, durante 12 horas. Em seguida foi destorroado, peneirado, e dividido igualmente em 20 vasos etiquetados para receberem as mudas do capim vetiver. Para cada vaso foram separados 5kg de solo totalizando 100 kg nos 20 vasos, separando 5kg para os primeiros ensaios.

O experimento foi desenvolvido sob telado em condições controladas de temperatura.

Inicialmente, o solo foi fertilizado com 2,5g de FTE BR12, 5g de KCl, 6g de ureia e 2,5g de superfosfato simples e contaminado em concentrações de chumbo com valores nominais crescentes de 0 e 8000 (mg/L).

Neste trabalho foi apresentado somente os resultados obtidos para a contaminação com a concentração nominal de 8000mg/L, realizados em triplicata.

As soluções de nitrato de chumbo (Pb) foram analisadas por espectrometria de emissão óptica por plasma acoplado, na companhia de pesquisa de recursos minerais (CPRM).



Figura 1. Solo sendo contaminado. Local: Universidade Federal Fluminense/RJ.

Após duas semanas as mudas do capim foram plantadas com altura da folhagem em 20cm para que fosse possível acompanhar seu crescimento sendo regado semanalmente durante 3 ciclos que duraram 4 meses. A cada ciclo a folhagem do capim era totalmente cortada deixando 5cm de parte aérea reservando-a em estufa a 60°C para ser seca e moída para ensaios. No fim do ciclo foram separadas amostras de solo para serem realizados ensaios finais com o objetivo de acompanhar a regressão do metal chumbo presente no solo.



Figura 2. Capim vetiver plantado em 20 vasos com diferentes níveis de concentração de chumbo. Local: Universidade Federal Fluminense/RJ.

As amostras de solo antes e após a fitorremediação foram analisadas por difração de raios x, fluorescência de raios-x (FRX), microscopia eletrônica de varredura, MEV, espectroscopia de

infravermelho FTIR.

A composição química do solo antes e após a contaminação foi determinada por meio da técnica de fluorescência de raios-x (FRX). As análises foram realizadas no equipamento Zetium da marca Malvern Panalytical, sob a forma de pastilhas, no Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas do Rio de Janeiro (CBPF-RJ).

As medidas de difração de raios X foram realizadas em um equipamento de modelo X'PERT PRO MRD da Panalytical com radiação CuK (1,5406 Å). A análise foi realizada entre  $2\theta = 293$  e  $353$  K, com passo de  $273$  K e tempo de contagem de  $0,75$  segundo por passo. A técnica de difração de raios X permitiu determinar as fases presentes na amostra.

As análises de MEV foram realizadas em um microscópio INSPECT S/FEI, operando a  $20$  kV, equipado com um espectrômetro de energia dispersiva (EDS).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1 Solo de referência antes da contaminação

A morfologia do solo do Acre, usado com referência, foi determinada por MEV. A análise das micrografias mostrou que este material é heterogêneo, com suas extremidades levemente arredondadas.

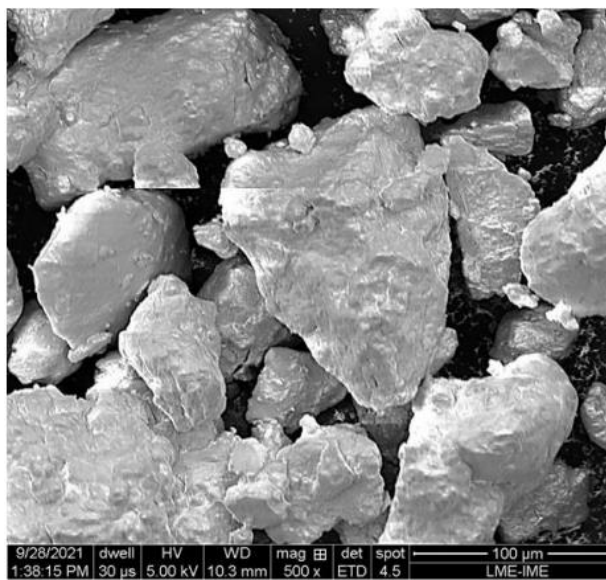


Figura 3. Microscopia eletrônica por varredura (MEV) do solo inicial. Aumento de  $500\times$ . Local: Laboratório do programa de Ciências dos Materiais – IME/RJ.

A caracterização deste material por DRX mostrou um difratograma indicando a presença de material amorfo e picos indicativos de planos cristalinos característico de óxidos de ferro.

Não foi observada a presença de picos característicos dos argilominerais, que de acordo com a literatura poderiam ser mascarados pela presença do óxido de ferro (BARBOSA, 2018).

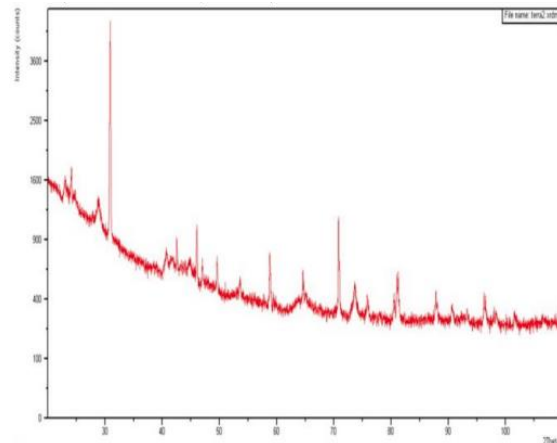


Figura 4. Espectro de difração de raios X do solo branco do Acre.

Este solo possui ainda características ácidas com pH de  $4,43$ , é laterítico, com alto teor de óxido ferro ( $42\%$ ), alumínio ( $13,9\%$ ), Silício ( $35,1\%$ ), e contaminantes como óxidos de metais alcalinos e alcalinos terrosos, chumbo entre outros, conforme determinado por FRX.

Observando a análise do solo por Espectrometria de infravermelho a característica ácida deste solo, provavelmente, foi devido a presença de alumínio. A análise do espectro de Infravermelho desta amostra de solo indica a presença das bandas de vibrações do Al-O-H na região de número de onda de  $3600\text{cm}^{-1}$ .

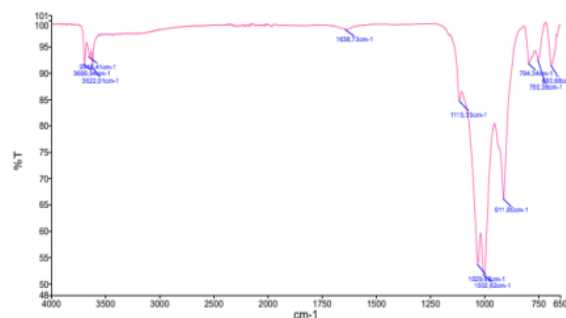


Figura 5. Espectrometria de infravermelho do solo branco do Acre.

Tabela 2. Bandas observadas no solo de referência.

| Vibração ( $\text{cm}^{-1}$ ) | Bandas de Vibração              |
|-------------------------------|---------------------------------|
| 3695 ; 3648                   | Al-OH superfície interna        |
| 3622                          | AlOH - interna                  |
| 1115,3                        | Si-O apical                     |
| 1029,8 ; 1002,6               | Si-O-Si vibração de estiramento |
| 931 ; 911,8                   | Al-O-H angular                  |
| 794 ; 750                     | OH translacional                |
| 690,9                         | OH translacional                |



### 3.2 Análise da solução precursora a ser usada para contaminar o solo

A análise do teor de chumbo na solução de nitrato de chumbo (Pb), antes de ser adicionada ao solo, realizada por espectrometria de emissão óptica com plasma (ICP) apresentou um valor de 7719mg/L, que foi 3,5 % menor que o valor nominal.

Tabela 3. Teor de Pb em solução parte por milhão (ppm). Resultados da análise de de IPC realizados na CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais).

| Solução de Pb(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>     | Valor Nominal da Concentração |
|--|-------------------------------|
| Valor Nominal de Pb <sup>2+</sup> (mg/L)         | 8000                          |
| Valor real de Pb <sup>2+</sup> em solução (mg/L) | 7719                          |

### 3.3 Análise do solo fitorremediado

O processo de fitorremediação foi realizado em triplicata utilizando o capim vetiver em solo contendo o valor de 7719 mg/L de chumbo. Após o processo de fitorremediação estes solos foram analisados por FRX no CBPF (Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas).

Tabela 4. Resultados de FRX nas amostras de solo após a fitorremediação.

| Substância  | Nível de contaminação (mg/L) | Vaso 1 | Vaso 2 | Vaso 3 |
|-------------|------------------------------|--------|--------|--------|
| Chumbo (Pb) | 7719                         | 3521   | 3187   | 3813   |

Nas análises das concentrações de chumbo dos solos em que foram plantados os capins, verificou-se a redução em torno de 50 %, que as plantas removeram dos 7719 mg/L. Estas reduções indicaram a eficiência do capim Vetiver (*Vetiveria zizanioides*) em fitoextrair chumbo.

Esta planta possui elevadas taxas de crescimento apresentando fácil adaptação nos ecossistemas do Brasil, exigindo cortes periódicos para promover o seu crescimento e exportar nutrientes (MIRANDA, 2012).

## 5 CONCLUSÃO

Mediante os resultados preliminares pode-se

concluir que o capim Vetiver (*Vetiveria zizanioides*) possui potencial para fitorremediar o solo contaminado com chumbo. Sua aplicabilidade está diretamente relacionada ao potencial de fitoextração, sendo um parâmetro recomendável para solos contaminados com altas concentrações de chumbo.

Foram realizados ensaios nos vasos de maior concentração de chumbo. O capim vetiver mostrou-se eficiente para remoção do chumbo. Além disso, o experimento apresenta a vantagem de ser uma técnica fácil de ser aplicada e de baixo custo financeiro.

Estes resultados iniciais serão continuados para diferentes concentrações de contaminantes adicionados, assim como serão analisadas as partes da planta para determinação do teor de chumbo presente.

## AGRADECIMENTOS

Agradecimentos ao Instituto Militar de Engenharia, EMBRAPA Solos, Centro Brasileiro de Pesquisas físicas (CBPF), a Universidade Federal fluminense (UFF) e ao Centro de Pesquisas de Recursos Minerais (CPRM).

## REFERÊNCIAS

- ANDRA, S.S.; DATTA, R.; SARKAR, D.; SAMINATHAN, S. K. M.; MULLENS, C. P.; BACH, S. B. H. *Analysis of phytochelatin complexes in the lead tolerant vetiver grass [Vetiveria zizanioides (L.)] using liquid chromatography and mass spectrometry Environmental Pollution.*
- BARBOSA, V.H.R, MARQUES, M.E.S GUIMARÃES, A.C.R, 2018, *Caracterização mineralógica de um solo do Acre visando à produção de agregados artificiais de Argila Calcinada para uso em pavimentos.*
- BHUIYAN 2010 e BASSO 2012. *Waste materials for wastewater treatment and waste adsorbents for biofuel and cement supplement applications: A critical review.*
- BUSCHLE et al., 2010. *Indicadores de qualidade de solos de área de mineração e metalurgia de chumbo.*
- CORRÊA, 2006. *Fitorremediação: uma alternativa sustentável para remediação de solos contaminados por metais pesados.*
- JARDIM e CALDAS, 2009. *Fitorremediação aplicada a áreas de disposição final de resíduos sólidos urbanos.*
- KOSNETT, 2003. *Fitorremediação de solos contaminados com herbicidas.*
- LARCHER, 2000. *Avaliação do usos de gramíneas no processo de fitorremediação aplicado ao tratamento de solos contaminados com metais pesados.*
- MACEDO; BEZERRA; MORRIL, 2008. *O papel das ectomicorrizas na biorremediação dos metais pesados no solo.*
- MARDONES, 2007. *Chumbo: uma introdução à extração e a fitorremediação.*

- MIRANDA, L. S. *Avaliação do desenvolvimento e da eficiência do capim Vetiver (Chrysopogon zizanioides) em sistemas híbridos de alagados construídos*. 2012. 65 f. *Dissertação (Mestrado) - Curso de Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2012.*
- PILOM-SMITS, 2005; BALDANTONI, 2014. *Potencial de fitorremediação de algumas espécies do bioma mata atlântica.*
- REEVES 1981 e BOYD E MARTENS 1993. *Crescimento inicial de espécies arbóreas em substrato impactado por resíduo industrial alcalino rico em zinco.*
- SANTOS, P. S. *Tecnologia das argilas – Vol 2 Fundamentos*. São Paulo, Ed. Edgard Blucher, 1975.
- SANTOS, 2007. *Fitorremediação de solo adubado com composto orgânico e contaminado com trifloxysulfuron- sodium.*
- SIEGEL, 2002 *Environmental Geochemistry of Potentially Toxic Metals*. Springer-Verlag, Berlin.
- Soares MJS, SILVA(2015) Carvalho MC, FerreiraCarvalho BT, Figueiredo AMS 2000. *Spread of methicillin-resistant Staphylococcus aureus belonging to the Brazilian epidemic clone in a general hospital and emergence of heterogenous resistance to glycopeptide antibiotics among these isolates.*
- TROUNG, 2000; SUSARLA, 2002; PREUSSLER, 2014. *Fitorremediação aplicada a áreas de disposição final de resíduos sólidos urbanos.*
- VANZ, 2003. *Fitorremediação de solos contaminados com herbicidas.*
- VERKLEIJ e PAREST 1989. *Acúmulo e distribuição de metais pesados nas raízes, caule e folhas de mudas de árvores em solo contaminado por rejeitos de indústria de zinco.*
- VIERITZ, A. et al. *Modelling Monto Vetiver Growth and Nutrient Uptake*. Department of Natural Resources and Mines. Queensland, p. 87-99. 2010.