

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA  
LICENCIATURA EM QUÍMICA

JAQUELINE MUNISE GUIMARÃES DA SILVA

FITORREMEDIAÇÃO: UM ESTUDO DA POTENCIALIDADE DA  
*Canavalia ensiformis* NA DESCONTAMINAÇÃO DE SOLOS COM  
CHUMBO

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

LONDRINA

2018

JAQUELINE MUNISE GUIMARÃES DA SILVA

FITORREMEDIAÇÃO: UM ESTUDO DA POTENCIALIDADE DA  
*Canavalia ensiformis* NA DESCONTAMINAÇÃO DE SOLOS COM  
CHUMBO

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2 do Curso de Licenciatura em Química da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, câmpus Londrina, como requisito parcial para obtenção do título de Licenciada em Química.

Orientadora: Profa.:Dra. Alessandra Stevanato

Co-orientador: Prof. Dr. Janksyn Bertozzi

LONDRINA

2018



Ministério da Educação  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Campus Londrina  
Coordenação de Licenciatura em Química



---

## TERMO DE APROVAÇÃO

JAQUELINE MUNISE GUIMARÃES DA SILVA

### FITORREMEDIAÇÃO: UM ESTUDO DA POTENCIALIDADE DA *Canavalia ensiformis* NA DESCONTAMINAÇÃO DE SOLOS COM CHUMBO

Trabalho de conclusão de curso apresentado no dia 29 de junho de 2018 como requisito para obtenção do título de Licenciado em Química da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Londrina. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

\_\_\_\_\_  
Prof<sup>a</sup> Dra. Lidia **Brizola Santos** Soares - UTFPR - Departamento de Química

\_\_\_\_\_  
Prof<sup>a</sup>. Ms. Máisa Tatiane Ferreira de Souza – UTFPR - Departamento de Química

\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Janksyn Bertozzi – UTFPR - Departamento de Química

\_\_\_\_\_  
Prof<sup>a</sup>. Dra. Alessandra Stevanato – UTFPR - Departamento de Química

## RESUMO

SILVA, Jaqueline Munise Guimarães da. FITORREMEDIAÇÃO: UM ESTUDO DA POTENCIALIDADE DA *Canavalia ensiformis* NA DESCONTAMINAÇÃO DE SOLOS COM CHUMBO, 2018. 46 p. Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2 de Licenciatura em Química da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Londrina, como requisito parcial para obtenção do título de Licenciada em Química – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina, 2018.

O presente trabalho verificou a potencialidade da leguminosa *Canavalia ensiformis* na descontaminação de solos contendo chumbo, visto que a presença deste metal em determinadas concentrações pode trazer danos ao homem, animais e demais seres vivos. Estudos apontam a partir de  $70 \text{ mg. kg}^{-1}$  o solo já passa a apresentar complicações. A metodologia empregada teve caráter quantitativo, na qual foram mensuradas as quantidades de chumbo fitoextraído pela planta. Inicialmente verificou-se se haveria chumbo no solo utilizado para o cultivo da planta. Em seguida, foram cultivadas 12 amostras da leguminosa, sendo estas divididas em três parcelas, sendo cada parcela composta por branco e três replicações de uma mesma concentração. Na primeira parcela adicionou-se como fonte de contaminação 5 g de acetato de chumbo(II). Nas segunda e terceira parcelas, foram adicionados 10 e 15 g do acetato de chumbo(II), estas massas foram dissolvidas em 1 L de água Milli-Q. O tempo de exposição da planta contaminada com o metal teve duração de 20 dias e ao final deste tempo, as partes aéreas das plantas cultivadas em todas as parcelas foram removidas e submetidas à preparação da amostra. Estas foram secas, trituradas, digeridas e analisadas quantitativamente por espectroscopia de absorção atômica. As porcentagens de chumbo obtidas nas três parcelas foram de 0,485%, 0,377% e 0,470%, respectivamente. Desta forma verificou-se a potencialidade que a leguminosa *Canavalia ensiformis* possui capacidade fitoextratora.

Palavras-chave: Feijão de porco; Chumbo; Fitoextração.

## ABSTRACT

SILVA, Jaqueline Munise Guimarães da. FITOREDMEIATION: A STUDY OF THE POTENTIALITY OF CANAVALIA ensiformis IN THE DECONTAMINATION OF SOILS WITH LEAD, 2018. 46 p. Graduation Course Conclusion Paper presented to the Course of Completion of Course 2 of Licenciatura in Chemistry of the Federal Technological University of Paraná, Câmpus Londrina, as a partial requirement to obtain the degree of Chemistry Degree - Federal Technological University of Paraná. Londrina, 2018.

The present work verified the potential for the *Canavalia ensiformis* legume in the decontamination of soils with lead, since this metal can be subject to damages to man, animals and many living beings. Jobs point out from 70 mg. kg<sup>-1</sup>, the soil already presents with complications. The methodology employed had its quantitative consistency, in relation to the amount of lead phytoextracted by the plant. Initially it was verified if there would be lead in the soil used for the plant cultivation. Then, 12 legume samples were grown and divided into three plots, using three samples per sample and three copies of a single concentration. The first plot is as a source of contamination 5 g of lead acetate (II). In the second and third parts, 10 and 15 mg of lead acetate (II) were shared in 1 L of Milli-Q water. The exposure time of the plant contaminated with the metal lasted for 20 days and the last time this time, as parts of the plants grown in all plots were removed and submitted to sample preparation. These were dried, ground, digested and analyzed quantitatively by atomic absorption spectroscopy. As percentages of lead present in the three plots of 0.485%, 0.377% and 0.470%, respectively. In this way, the potentiality of a *Canavalia* silage legume with phytoextractor capacity was verified.

Keywords: Pork bean; Lead; Phytoextraction.

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Estados físicos do solo e suas respectivas funções.....	13
Quadro 2 – Composição do solo brasileiro.....	14
Quadro 3 – Categoria de metais de acordo com a classificação: essenciais, contaminantes e contaminantes essenciais. ....	16
Quadro 4 – Reagentes solventes utilizados.....	25
Quadro 5 - Organização dos tubos para digestão. Os tubos com número 1 referem-se aos solos destinados a 1º parcela, tubos número 2 são referentes a 2º parcela e tubos número 3 para a 3º parcela. A letra “A” simboliza os ácidos digeridos sem o solo.....	27

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Organização do experimento: B as representações do branco (vaso sem adição de Pb(II) e V representações as adições de Pb(II) em triplicata; Parcela 1 – adição de 5g de acetato de chumbo(II), Parcela 2 – adição de 10g de acetato de chumbo(II), Parcela 3 – adição de 15g de acetato de chumbo(II)).....	29
Tabela 2 – Massas das folhas e talos secos da planta conforme seus respectivos vasos: sendo B as representações do branco (vaso sem adição de Pb(II) e V representações as adições de Pb(II) em triplicata; Parcela 1 – adição de 5g de acetato de chumbo(II), Parcela 2 – adição de 10g de acetato de chumbo(II), Parcela 3 – adição de 15g de acetato de chumbo(II)).....	30
Tabela 3 – Absorbância e concentração de PbCl <sub>2</sub> .....	31
Tabela 4 – Dados de análise dos brancos .....	33
Tabela 5 – Quantidade de Pb(II) fitoextraído pela feijão-de-porco conforme suas adições. Sendo B as representações do branco (vaso sem adição de Pb(II) e V representações as adições de Pb(II) em triplicata; Parcela 1 – adição de 5g de acetato de chumbo(II), Parcela 2 – adição de 10g de acetato de chumbo(II), Parcela 3 – adição de 15g de acetato de chumbo(II)).....	33

## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	8
2.	OBJETIVOS.....	10
2.1	Objetivo geral.....	10
2.2	Objetivos específicos.....	10
3.	JUSTIFICATIVA.....	11
4.	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	13
4.1	Definição de solo e sua composição.....	13
4.2.	Contaminação no solo por metais pesados .....	15
4.2.1	Chumbo.....	17
4.3	Técnicas de descontaminação de solos.....	18
4.3.1	Fitorremediação.....	20
4.3.1.2	Fitoextração.....	21
4.3.1.2.1	<i>Canavalia ensiformis</i> (feijão-de-porco).....	22
4.4	Métodos instrumentais de análise.....	23
4.4.1	Espectroscopia de absorção atômica.....	24
5.	PARTE EXPERIMENTAL.....	25
5.1	Metodologia .....	25
6.	RESULTADOS OBTIDOS.....	31
7.	CONCLUSÃO .....	36
	REFERÊNCIAS.....	37
	APÊNDICE.....	43



## 1. INTRODUÇÃO

Com o aumento da urbanização, industrialização e descartes incorretos, os ecossistemas e o ambiente sofreram alterações que interferiram na composição do ar, solo, água e outros sistemas, sendo que em alguns casos houve a poluição dos mesmos, fato que ainda é presente na atualidade (BHARGAVA et al., 2012; DIAS, 2011). Segundo Barbieri (2011) o maior estimulante da exploração dos sistemas ecológicos e acréscimo expressivo de resíduos nestes ambientes, é um aumento na escala de produção sem o devido tratamento de resíduos.

O crescimento das empresas de caráter industrial, principalmente metalúrgicas e indústrias químicas tornaram-se as principais causadoras de contaminação, pois as mesmas liberam substâncias que podem apresentar dificuldades de degradação no meio, além de comprometer seu desempenho (PAJEVIC et al., 2009). Conforme Brilhante e Caldas (1999) enquanto os efluentes possuem tratamentos e soluções já estruturados, os resíduos sólidos ainda estão tendo como destino final o solo.

De forma geral, os solos conseguem suportar um limite de metais pesados, porém, após ultrapassar este parâmetro, a qualidade das plantações e a sobrevivência de seres vivos são comprometidas, até mesmo os produtos agrícolas e seus consumidores são afetados (ROJAS; ESPINOSA; SEIJAS, 2003). No Brasil e em outros países, existem registros de morte e intoxicação em humanos causados pelo excesso de elementos químicos, como é o caso do chumbo (Pb) (CAGGIANO et al., 2005; CALABUIG, 2004; SOUZA, 2012).

Devido a estes riscos ofertados, emergiram-se estudos e métodos para determinar a quantidade dos metais pesados no solo, assim como técnicas para descontaminação do mesmo. Entre as práticas para descontaminação salientam-se a fitorremediação, complexação, processos oxidativos avançados e transferência destes solos poluídos para aterros (NAVARRO; CARVALHO, 2015).

Dentre estas, a fitorremediação é um método que nos últimos anos vem apresentando alguns resultados positivos, ganhando destaque em estudos (VASCONCELLOS; PAGLIUSO; SOTOMAIOR, 2012). Tal técnica é destinada para a correção de solos e água por meio de plantas que conseguem

“degradar, extrair, conter ou imobilizar contaminantes” (VASCONCELLOS; PAGLIUSO; SOTOMAIOR, 2012 p. 261). Trata-se de um método de custo e impactos ambientais reduzidos, cuja base é o uso de algumas espécies que conseguem capturar, estabilizar ou degradar o meio de forma natural (AL-TAISAN, 2009).

Por apresentar uma gama de finalidades, a fitorremediação possui algumas subdivisões, na qual a fitoextração é a que apresenta maior evidência na literatura (ANSELMO; JONES, 2005). Na fitoextração, a planta consegue absorver o contaminante por meio de sua raiz e posteriormente transportá-la para as partes aéreas, logo, o solo é descontaminado (HUANG; CUNNINGHAM, 1996).

Segundo um levantamento bibliográfico feito por Silva et al., (2016) a fitoextração é um dos principais processos de descontaminação que vêm obtendo resultados satisfatórios.

Pesquisas realizadas por Andrade; Tavares; Mahler (2010) e Vasconcellos; Pagliuso, Sotomaior (2012) evidenciam que existem plantas específicas para a fitoextração, dentre estas a *Canavalia ensiformis*, conhecida popularmente como feijão-de-porco. Segundo Gabos e Abreu (2008), Romeiro et al., (2007), Madalão et al., (2012) e Pavanelli (2004), esta planta consegue descontaminar o solo devido a sua alta capacidade de absorção e acumulação interna superior. Com base nisto, este trabalho conferiu experimentalmente o potencial da *Canavalia ensiformis* em fitoextrair Pb.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo Geral

- ✓ Verificar experimentalmente a fitoextração de Pb pela leguminosa *Canavalia ensiformis*.

### 2.2 Objetivos específicos

- ✓ Acompanhar o comportamento da planta mediante adições de diferentes quantidades de Pb;
- ✓ Analisar quantitativamente o Pb extraído pela planta em estudo;
- ✓ Comparar os dados obtidos com a literatura.

### 3. JUSTIFICATIVA

Os solos, de modo geral, são capazes de suportar um limite de metais pesados, no entanto, após a ultrapassagem deste limite, a qualidade das plantações pode ficar comprometida. Segundo Souza (2012, p.31) as excedências de metais “[...] possibilitam a interação destes elementos na cadeia alimentar dos organismos vivos, assim como podem ser lixiviados, colocando em risco a qualidade do sistema de água subterrânea”.

Em seus estudos, Caggiano et al., (2005) apontam que em virtude da contaminação de metais pesados, entre eles o Pb, o solo e seus derivados também passam a apresentar quantidades significativas destes elementos, como é o caso do arroz, cereais, vegetais e frutas, fato comprovado em diversos países e tipos de solo. Estes autores ressaltam que no caso do Pb, até o leite sintetizado pelos mamíferos que digerem plantas de solos contaminados também possuem estes níveis elevados de poluentes. Neste sentido, Evangelista e Silva (2013, p. 3) salientam que

Muitas espécies de vegetais para consumo humano ou animal que crescem sobre solos poluídos com metais como o chumbo, não são capazes de evitar a absorção dos mesmos. Assim, animais que se alimentam de pastagens de solos contaminados ou bebem água contaminada com chumbo, tornar-se-ão também potenciais fontes de exposição humana ao chumbo via alimento.

Para Rocha (2009) quando no solo há uma elevada concentração de Pb, inevitavelmente seus derivadas também passam a apresentar níveis irregulares deste metal, fato que colabora para intoxicação em animais e humanos. No organismo humano e de animais, o Pb pode formar ligações coordenadas com o nitrogênio (N), oxigênio (O), enxofre (S) e fósforo (P). Neste caso, os elementos citados são os principais constituintes de aminoácidos e moléculas energéticas como a adenosina trifosfato (ATP), logo, ao complexar-se com tais elementos, o Pb impede a formação destes compostos essenciais, visto que sem N, O, S e P os ciclos de formação celular não conseguem operar (KLAASSEN, 2001).

Além do exposto, os micro-organismos do solo também são afetados, pois, dependendo da concentração e do tipo do micro-organismo (procarioto ou

eucarioto) o Pb coordena-se com elementos ou moléculas pertencentes a membrana celular, podendo danificá-la, sendo que se isto ocorrer em bactérias, o material genético sairá da célula, conseqüentemente tal organismo morrerá (GRAZZIOTIN. 2015).

Logo, a remoção do Pb em excesso requer a utilização de uma técnica eficiente, promissora e de um custo acessível. Neste viés, Pires et al., (2003) reforçam que a fitoextração é uma técnica que, por utilizar plantas com um empenho de absorção alto, barateia a descontaminação além de não promover mudanças na composição do solo e a formação de subprodutos. No entanto, Coutinho e Barbosa (2007) enfatizam que

É necessária a utilização de plantas que possuam determinadas características como uma boa capacidade de absorção, sistema radicular profundo, acelerada taxa de crescimento, fácil colheita e que apresentem uma grande resistência ao poluente.

Considerando estas recomendações, a planta selecionada para este estudo foi a *Canavalia ensiformis*, que segundo Gabos e Abreu (2008), apresenta baixo custo, crescimento acelerado e elevada capacidade acumulativa. Logo, torna-se relevante averiguar a potencialidade da planta e compará-la com estudos expostos na literatura, para que enfim, possa conferir tamanho resultado apontado.

Sendo assim a escolha da planta e os métodos utilizados, seguiram os apontamentos dos autores supracitados, a fim de verificar o grau de absorção da planta pela quantificação de Pb extraídos da mesma.

## 4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 4.1 Definição de solo e sua composição

Considerado como o principal recurso para a agricultura e processos ecológicos, o solo abrange diversas definições, tanto no senso comum como na literatura. Para Vieira (1988, p. 1) o solo é “a capa mais superficial do Globo da Terra”. Acredita-se que esta foi uma das primeiras concepções para a palavra solo dentro dos estudos da Ciência do Solo.

A palavra *Solum*, originado do Latim, é compreendida como uma superfície base para a ocorrência de reações químicas e transformações biológicas na natureza (COELHO et al., 2013).

Para a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), o solo é conceituado como “material proveniente da decomposição das rochas pela ação de agentes físicos ou químicos” (1995, p.17), sendo a intemperização, isto é, o desgaste ou transformação das rochas, o meio no qual, o solo é originado. Além disso, tal mudança também origina partículas minerais do solo, enfatizando a existência de diversas substâncias e espécies.

A constituição do solo abrange componentes químicos e biológicos que desempenham uma função específica, sendo apresentado em três estados físicos: gasoso, líquido e sólido, como representado no Quadro 1.

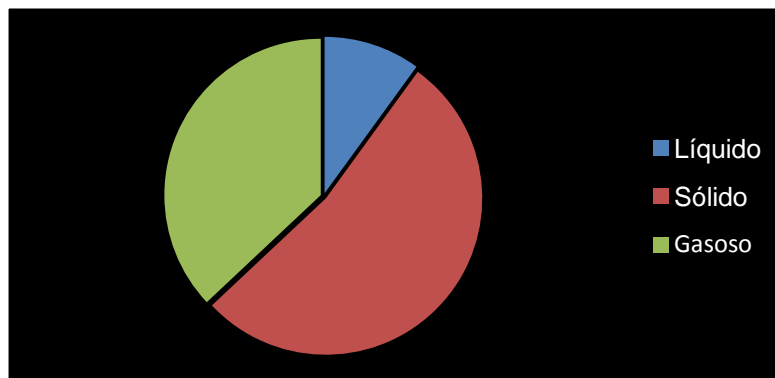
QUADRO 1 - Estados físicos do solo e suas respectivas funções.

Aspecto	Estados da matéria	Exemplos	Funções
Estados físicos	Gasoso	Ar atmosférico	Respiração das raízes, plantas, micro-organismos aeróbicos e fauna
	Líquido	Solução de solo (matéria orgânica e inorgânica em solução) e água	Auxílio no transporte de nutrientes que são absorvidos pela raiz
	Sólido	Matéria Orgânica	Favorece a fertilidade, a permeabilidade ao ar e à água e contribui para melhorar a estrutura do solo
		Matéria Inorgânica	Nutrição

Fonte: Coelho et al., (2013); Souza (2012); Vieira (1975).

As distribuições destes estados físicos variam conforme a região e suas condições climáticas, porém, as porcentagens destes estados físicos podem ser similares entre alguns estados brasileiros, como Santa Catarina e Rio Grande do Sul (VIEIRA, 1988). O Gráfico 1 ilustra como se comporta a subdivisão dos estados físicos.

GRÁFICO 1 - Proporção dos estados físicos nos solos.



Fonte: Vieira (1988).

Além desta divisão percentual dos estados físicos, a composição do solo também não é linear. De forma geral, a composição do solo está dividida em duas categorias: química e biológica, sendo que ambas são responsáveis pelas características e aspectos reprodutivos do mesmo. No Quadro 2 estão apresentadas estas categorias.

QUADRO 2 - Composição do solo brasileiro.

Composições	Constituinte	Exemplos
Química	Óxidos	Óxidos de ferro, óxidos de alumínio
	Minerais	Argila, areia, carbonato, silicatos
	Nutrientes minerais iônicos	K, Mg, Fe, Cu, Mn, Zn, Ca
Biológica	Resíduo vegetal	Folhas galhos, frutos, raízes
	Resíduo orgânico	Folhas, sementes, galhos
	Microrganismo	Bactérias (aeróbica e anaeróbica) e fungos
	Resíduo animal	Fezes e esqueletos

Fonte: Souza (2012); Viera (1975, 1988).

Ao apresentar desvios, perda e acréscimo de qualquer parte destas composições, o solo já não consegue executar suas funções de fornecer suporte para agricultura e os seres que dele dependem (VIEIRA, 1988). Outro fator que pode limitar o solo quanto ao seu desempenho é a presença de alguns contaminantes ou poluentes (COSTA et al., 2005).

#### 4.2 Contaminação no solo por metais pesados

Frequentemente os termos poluição e contaminação são confundidos, sendo que alguns costumam usá-los como sinônimos. Na Ciência do Solo, o termo contaminação é empregado (no caso dos metais pesados) quando extrapola os parâmetros naturais do solo. Contudo, o termo poluição é utilizado quando esse aumento torna-se prejudicial ao ambiente (COSTA et al., 2005).

Estudos revelam que com a contaminação e conseqüentemente a poluição, existe uma expressiva modificação nos sistemas ecológicos promovendo danos aos ciclos biológicos, assolando desta forma as demais áreas da sociedade, que por sua vez, comprometem a saúde do homem (BRILHANTE; CALDAS, 1999; CARVALHO; COSTA, 2011).

Com o aumento da produção industrial no Brasil por volta da década de 70, casos de contaminações, principalmente químicas, passaram a ser frequentes no país mesmo que não sejam enfatizadas nas mídias e empresas (CAGGIANO et al., 2005).

No que se refere à contaminação química, os metais pesados são apontados como principais agentes tóxicos, sendo o Pb, Cu, Cd e Cr apontados como os mais frequentes (KLAASSEN, 2001; RIBEIRO, 2013).

Numa perspectiva abrangente, os metais pesados são conceituados como elementos químicos que apresentam um elevado raio atômico e uma densidade cinco vezes maior do que a água ( $5 \text{ g.cm}^{-3}$ ), por isso o título “pesado”. O Pb, por exemplo, possui uma densidade aproximada de  $11,34 \text{ g.cm}^{-3}$  (ATKINS; JONES, 2012).

Apesar de existirem na literatura estudos que comprovam a toxicidade dos metais pesados e afirmarem que eles são os agentes tóxicos mais antigos, os mesmos (em concentrações baixas e em condições controladas)



desempenham papéis essenciais para o crescimento e desenvolvimento de organismos vivos e seres humanos (COSTA et al., 2008).

De forma simplificada os metais são classificados como essenciais, contaminantes e contaminantes-essenciais (SOUZA, 2012; VIEIRA 1975). Considera-se como essenciais aqueles que desempenham um papel vital para um dado sistema, como vegetais, frutas, etc. Os contaminantes são metais que podem ocasionar alguma mudança indesejável para um meio. Por outro lado os contaminantes-essenciais são aqueles que auxiliam um sistema, mas pode comprometer outro, relação que ocorre entre plantas e animais – auxilia o crescimento da planta, porém prejudica o animal que se alimenta da mesma (RIBEIRO, 2013).

No Quadro 3 estão dispostos exemplos destas classificações.

QUADRO 3 - Categoria de metais de acordo com a classificação: essenciais, contaminantes e contaminantes-essenciais.

Categorias	Elementos químicos
Elementos essenciais	Na, K, Ca, Fe, Xn, Cu, Ni e Mg
Contaminantes	As, Pb, Cd, Hg, Al, Sn, Ti e W
Contaminantes essenciais	Cr, Zn, Fe, Co, Mn e Ni.

Fonte: Coelho et al., (2013); Souza (2012); Vieira (1988;1975).

Para Schwanz et al., (2008) fertilizantes, descartes inapropriados de rejeitos industriais, pesticidas, combustão de carvão e óleo, emissões veiculares, mineração, fundições, refinamento e incineração de resíduos urbanos e industriais são os principais meios e processos que trazem ao solo os elementos contaminantes, conforme exposto no Quadro 3.

O mecanismo de contaminação dos metais pesados inicia-se na absorção destes elementos pelos tecidos de vegetais e animais, evento que compromete a cadeia alimentar, visto que a medida em que estes vegetais/animais são degustados, seus consumidores também se contaminam, fato que promove uma contaminação em cadeia (SCHWANZ et al, 2008; ROJAS, ESPINOSA; SEIJAS, 2003).

Além disso, ao entrar em contato com algumas classes de bactérias, os metais pesados permeiam suas membranas e provocam a morte dos micro-organismos. Outra consequência é a formação de algumas estruturas que se

ligam devido à instabilidade provocada pelo metal. Salienta-se que este é o mecanismo que o Pb segue ao ser depositado no solo (SCHWANZ, 2008).

Em sua pesquisa Heath et al., (2003) estima que os primeiros casos confirmados de contaminação pelo Pb ocorreu na Austrália e nos Estados Unidos, em que crianças ingeriram tintas que continham um elevado teor de Pb em sua composição.

Segundo Paoliello e Chasin (2001) as contaminações de metais são provenientes do contato, manuseio e manejo de materiais que contenham metais, como é o caso do Pb, que após exceder  $70 \text{ mg.Kg}^{-1}$  é considerado danoso (CONCEIÇÃO et al., 2007).

#### 4.2.1 Chumbo

Simbolizado por Pb, o chumbo é um metal pesado localizado no grupo 14 da classificação periódica dos elementos químicos, cujo número atômico é 82, com massa atômica aproximada de 207,2 u. À temperatura ambiente, o Pb encontra-se no estado sólido. Tal elemento é maleável, com baixo poder de condução elétrica e, conforme suas concentrações pode ser considerado tóxico (ATKINS; JONES, 2012; ROCHA, 2009).

A coloração deste metal pode variar, visto que se exposto ao ar pode passar pelo processo de oxidação e adquirir coloração acinzentada. Suas aplicações são destinadas para construção civil, baterias de ácido, munições, revestimentos de cabos, proteções contra raios X, além de ser um componente de ligas metálicas para a produção de soldas, entre outras utilizações (ATKINS; JONES, 2012).

Apesar da sua gama de aplicações, o Pb é considerado um dos elementos tóxicos mais antigos, principalmente pelo fato deste ser frequentemente descartado na natureza sem ou com tratamento pouco eficiente (SOUZA, 2012). As principais fontes de contaminação do Pb são pelo solo, ar e água.

Para Rocha (2009) a contaminação no solo é causada pelo despejo de materiais com alta porcentagem de Pb, e tanto na água como pelo ar, o Pb geralmente advém da emissão de fumaças industriais, sendo estas proveniente de combustões. Portanto, para este mesmo autor, a contaminação do metal

pode se dar via respiração ingestão de alimentos e água. Mesmo tendo estes três mecanismos, a deposição no solo e a degradação no mesmo ainda é frequente e a principal responsável por contaminação (LEITE; AMORIM, 2001).

Em um estudo estatístico sobre o Pb, descobriu-se que se o ser humano consumir cerca de  $3,5 \text{ mg.dia}^{-1}$  deste metal em torno de 6 meses, a quantidade de metal acumulada terá uma carga tóxica, isto é, haverá Pb suficiente para inibir a síntese de proteínas, entre elas a hemoglobina, responsável pelo transporte de oxigênio no organismo. Além disso, pesquisas apontaram que a concentração de  $0,05 \text{ mg.L}^{-1}$  de Pb na água é considerada nociva ao ser humano, pois, após uma frequência de consumo, os rins passam acumular o Pb (CALABUIG, 2004).

Para Klaassen (1996; 2001) o malefício do Pb para o solo se revela na possibilidade deste fazer ligações do tipo coordenada com alguns elementos que constituem micro-organismos, verduras, frutas, animais e ser humano. Dentre estes elementos destacam-se o N, O, S e P. Ao complexar com estes átomos, o metabolismo do organismo humano, por exemplo, apresenta dificuldade de sintetizar aminoácidos, moléculas energéticas e células, inclusive aquelas que compõem o sangue.

Por serem à base das proteínas, os aminoácidos precisam do N, porém, quando o Pb complexa com este, impede com que este esteja livre para formar a molécula necessária para formação de estruturas proteicas. Este mecanismo também ocorre com o P, no entanto, neste caso o P é um dos constituintes do ATP, mas, se antes de reagir e formar ATP o P for coordenado com o metal, não existe a possibilidade de tal substância existir (KLAASSEN, 1996; KLAASSEN, 2001).

Devido às complicações resultantes do teor de Pb, surgiram alguns estudos que visaram desenvolver e estudar técnicas capazes de quantificar e descontaminar solos com metais pesados.

#### 4.3 Técnicas de descontaminação de solos

Para reduzir os contaminantes e poluentes, nas últimas décadas, estudiosos voltaram-se para o desenvolvimento e o aperfeiçoamento de técnicas para descontaminar meios, entre eles o solo. Na literatura são

descritas várias tecnologias e metodologias que apresentam suas especificidades e aspectos, porém, todas possuem o objetivo de remediar o solo.

Na concepção de Tavares (2013, p. 61)

O processo de remediação de solos contaminados se refere à redução dos teores de contaminantes em níveis seguros e compatíveis com a proteção à saúde humana, seja impedindo ou dificultando a disseminação de substâncias nocivas ao ambiente.

Para Bitar (1997) o termo remediação é utilizado quando visa-se eliminar, neutralizar, imobilizar, contornar ou tratar elementos ou substâncias que estão presentes naquele sistema. Logo, a remediação apresenta várias ramificações, que se diferenciam conforme o tipo de amostra em estudo. Dentre os métodos de remediação ressaltam-se: processos oxidativos avançados, biorremediação e a complexação.

Os processos oxidativos avançados, também chamados de processos avançados de oxidação, simbolizados por POA's, são processos que por meio de radicais livres, conseguem degradar substâncias que são poluentes ou contaminantes. Como vantagem resalta-se: cinética de reação elevada, geralmente não necessitam de um pós tratamento ou disposição final e não formam subprodutos tóxicos. Como desvantagem enfatiza-se que esta técnica requer concentrações controladas de alguns elementos e peróxidos, sendo que em alguns casos podem existir interações indesejáveis com alguns compostos orgânicos do solo (TEIXEIRA; JARDIM, 2004).

A complexação consiste na formação de compostos de coordenação, ou seja, ligação entre ácidos e bases de Lewis, sendo o átomo central um metal. Para Souza (2012) a vantagem em utilizar deste método resume-se na cinética de reação rápida, baixo custo, redução da solubilidade de contaminantes, porém, a mesma autora afirma que é necessário um controle para evitar variações bruscas no pH.

Andrade; Augusto e Jardim (2010) enfatizam em seu periódico que a biorremediação é uma técnica *in situ* que consegue descontaminar o solo por meio de seres vivos, como bactérias, fungos e plantas. Estes autores salientam que as principais desvantagens deste método é a devida seletividade dos seres vivos e o amplo (na maioria dos casos) intervalo de tempo para se obter

resultados satisfatórios, no entanto, pelo fato de não afetarem a fertilidade do solo e suas composições, este e outros estudiosos recomendam esta técnica.

Segundo Coutinho e Barbosa (2007) dentro da biorremediação, há uma área que utiliza de plantas para remediar o solo, a fitorremediação.

#### 4.3.1 Fitorremediação

A palavra fitorremediação é derivada do termo *phyto* que significa planta e do sufixo *remedium* que indica restauração, logo, entende-se a fitorremediação como meio de restabelecer algo utilizando plantas. Para Andrade, Tavares e Mahler (2007), a fitorremediação é uma tecnologia que atua em larga escala para minimizar poluentes orgânicos e inorgânicos.

Categorizada dentro das técnicas de biorremediação, a fitorremediação é uma técnica estudada desde 1991 que utiliza de plantas para desintoxicar sistemas, como água e solos. Em geral é recomendado o uso de gramíneas, leguminosas e árvores que tenham um crescimento acelerado e tenha uma elevada taxa de transpiração (PROCÓPIO et al., 2004). Logo, a fitorremediação envolve o uso de plantas que por meio de sua microbiota e fisiologia, removem, imobilizam, separam ou extraem contaminantes, visto que a planta atrai para si alguns elementos e compostos (PIRES et al, 2003).

No continente europeu e nos Estados Unidos, esta técnica já está consolidada e no Brasil já existem na literatura vários estudos que submeteram plantas para tratamento do solo (ANDRADE; TAVARES; MAHLER, 2007).

Accioly e Siqueira (2000) destacam que esta técnica funciona pela junção do sistema radicular e rizosfera que apresentam uma longa rede de absorção. Esta associação entre as raízes e a interação dela com o solo propicia uma capacidade extrativa ou degradadora, acelerando a limpeza ou descontaminação do solo (CARMAN; CROSSMAN; GATLIFF, 1998).

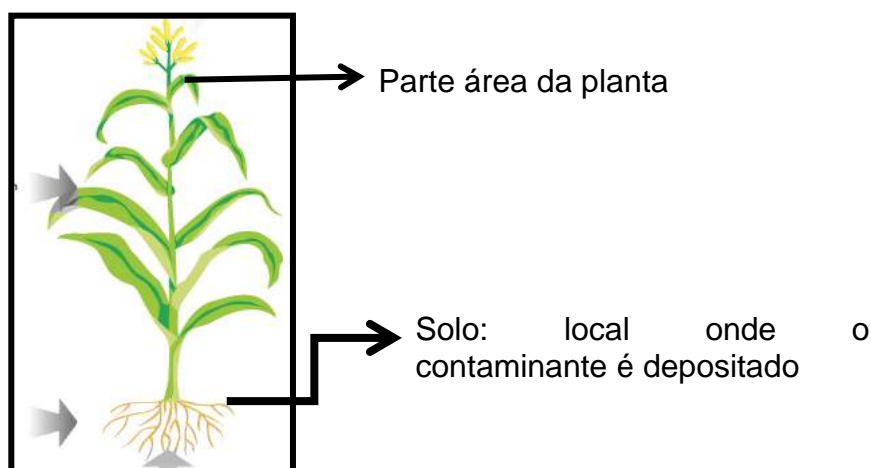
Ao utilizar a fitorremediação como alternativa de descontaminação, podem ocorrer diferentes processos com finalidades distintas, dentre eles a fitoextração (ROMEIRO et al. 2007).

#### 4.3.1.2 Fitoextração

Derivada da fitorremediação, a fitoextração é um processo que apresenta maior ênfase dentre as demais. Trata-se de um método na qual a planta absorve os contaminantes por meio de suas raízes e os acumula internamente (ACCIOLY; SIQUEIRA, 2000). A medida com que a planta se desenvolve e seus talos e folhas crescem, o material fitoextraído é transportado para sua parte aérea, isto é, as folhas que estão na parte superior da mesma (ANDRADE; TAVARES; MAHLER, 2007).

A Figura 1 ilustra as partes utilizadas pela planta no processo de fitoextração.

FIGURA 1 – Representação da planta no processo de fitoextração: parte aérea da planta (local de absorção do contaminante), solo (local de depósito do contaminante).



Fonte: Adaptado de Tavares, 2013.

Mesmo com a descrição destes eventos, Madalão et al., (2012) ressalta que o mecanismo responsável pela fitoextração ainda não está totalmente elucidado, porém, em grande parte dos estudos comprova-se a eficiência do tratamento.

Para a execução deste método são apropriadas diferentes espécies como *Phragmites*, *Tamarix*, *Nicotiana*, *Helianthus*, *Salix*, *Typha*, *Arabis*. Em sua pesquisa, Madalão (2011) identificou a Crotalária júncea (*Crotalaria juncea*), feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*), feijão guandu (*Cajanus cajan*) e feijão guandu anão (*Cajanus cajanano*) como as mais promissoras na fitoextração.

Dentre tais, a *Canavalia ensiformis* ganha destaque por seu potencial fitoextrativo (DAVIS et al, 2002; ALKORTA; GARBISU, 2001; ACCIOLY; SIQUEIRA, 2000).

#### 4.3.2 *Canavalia ensiformis* (feijão-de-porco)

A *Canavalia ensiformis* é uma leguminosa conhecida também como feijão-de-porco ou feijão bravo. Trata-se de uma planta que cresce na faixa de 0,6 a 1,2 m de altura. Sendo que suas folhas crescem de formas alternadas e apresentam coloração esverdeada escura e flores de coloração roxa ou violeta clara. Apresentam vagens achatadas que podem ter de 4 a 18 sementes (BRASIL 2000). A Figura 2 mostra a planta antes do aparecimento de flores.

FIGURA 2 – Planta *Canavalia ensiformis*, conhecida como feijão-de-porco.



Fonte: Ecosystems, 2017.

Após ser plantada, tal leguminosa apresenta crescimento inicial rápido, além de permitir um controle eficiente contra invasores. Como principais aspectos, esta leguminosa tem fácil adaptação a solos argilosos e arenosos. O que confere a ela o destaque na fitorremediação é a sua capacidade de regeneração de biomassa (BRASIL, 2000). Salienta-se ainda que esta planta após ser utilizada para descontaminação do solo, deve ser encaminhada para comissões e locais que fazem o gerenciamento de resíduos e rejeitos, que posteriormente passará pelo processo de incineração, logo, uma das

vantagens da planta é a probabilidade do contaminante retornar ao solo é menor se comparada a alguns tratamentos biológicos e químicos, principalmente de retornarem a aterros sanitários (CERQUEIRA; ALVEZ, 1999).

Para esta pesquisa selecionou-se esta leguminosa, a *Canavalia ensiformis*. Visto que na literatura existem registros que apontam uma absorção superior a 50% dos metais presentes no solo. Além disso, segundo estudo realizado por Almeida et al., (2007) mesmo com uma alta concentração de metais pesados, inclusive o Pb, tal planta consegue fitoextrair e se desenvolver mutuamente.

Neste trabalho esta planta foi submetida a uma pesquisa para averiguar sua potencialidade de absorver Pb de solos inicialmente não contaminados, sendo a absorção atômica o método instrumental de quantificação.

#### 4.4 Métodos instrumentais de análise

Ao longo da história da Química, emergiram-se diferentes técnicas para caracterizar, quantificar e identificar elementos e compostos numa alíquota. Apesar de apontarem resultados, pesquisadores observaram que os métodos clássicos, como volumetria e gravimetria, não apresentavam resultados com uma alta confiabilidade, visto que por serem técnicas de alto manuseio humano a acumulação de erros ficaria inerente aos dados obtidos, principalmente quando as amostras eram de pequena massa. Além disso, com o avanço da Ciência no século XX, verificar o comportamento de amostras aplicando uma fonte elétrica e emissões, foram fatores que contribuíram para o desenvolvimento de métodos instrumentais, como é o caso da espectroscopia de absorção atômica (CASS; BARREIRO, 2011; SILVA; CARNEIRO; FERNANDES, 2014).

##### 4.4.1 Espectroscopia de absorção atômica

Para a análise qualitativa ou quantitativa de uma alíquota, a Química dispõe de técnicas instrumentais, entre elas a espectroscopia de absorção



atômica, chamada também de espectrofotometria de absorção atômica por alguns autores ou simplesmente absorção atômica (VOGEL et al., 2002). Tal método apresenta ramificações, dentre elas a absorção por chamas, que por sua vez, foi adotado neste trabalho.

Este método vem sendo amplamente usado nas análises de metais em amostras ambientais, na qual os mesmos estão dissolvidos em solução (SILVA; CARNEIRO; FERNANDES, 2014).

A absorção atômica por chama está embasada na ideia de que cada átomo em seu estado fundamental (não excitado) é capaz de absorver energia em um comprimento de onda característico, sendo esta proporcional a concentração dos átomos em solução (VOGEL et al., 2002).

Em suma, inicialmente a alíquota (devidamente tratada e solubilizada) é aspirada por um tubo capilar, na qual passará pelo processo de nebulização, nesta etapa são formadas microgotas da solução que contém o átomo de interesse. Dentro do nebulizador, as microgotas são arrastadas pela mistura que contém os gases usados na queima da amostra. Pela ação do calor da chama, ocorre a evaporação do solvente, favorecendo a formação de micro partículas sólidas, que posteriormente são convertidas para o estado gasoso, logo, os elementos dissociam. Após estarem separados e “livres”, é emitida uma radiação específica e pela absorção da radiação pode-se determinar a quantia do elemento presente na amostra (SKOOG; HOLLER; CROUCH, 2009).

Nesta técnica é a lâmpada de cátodo oco que emite uma radiação específica em forma de luz, sendo esta lâmpada constituída do mesmo elemento de interesse. Salieta-se que a lâmpada consegue emitir a luz radiante porque os elétrons dos átomos que a constitui são excitados e para focalizar a radiação na amostra existe no equipamento um monocromador, que ajusta a lente para alíquota em estudo. Com isso, aquilo que o elemento absorveu é utilizado para quantificação do átomo na amostra (SKOOG; HOLLER; CROUCH, 2009).

Com o intuito de obter dados com maior nível de exatidão adotou-se o método de absorção atômica por chama, conforme descrito na metodologia.

## 5. PARTE EXPERIMENTAL

A pesquisa foi embasada em duas vertentes: literária e experimental. Na literatura visou-se consolidar conceitos, composições e típicos contaminantes do solo, averiguando também as alternativas de tratamento e respectivos resultados.

A parte experimental foi elaborada para verificar a capacidade da leguminosa em fitoextrair o Pb em concentrações conhecidas, na qual todas foram submetidas em mesmas condições ambientais, de cultivo e tempo de exposição ao metal. Neste estudo o acetato de chumbo(II) foi a fonte de contaminação.

Ao longo do procedimento foram utilizados os reagentes conforme Quadro 4.

QUADRO 4 – Reagentes e solventes utilizados.

Reagentes	Fórmula molecular	Marca
Acetato de chumbo(II)	$Pb(CH_3COO)_2 \cdot 3H_2O$	Vetec Química Fina
Cloreto de chumbo(II)	$PbCl_2$	Alpha Tec
Ácido clorídrico	HCl	Vetec
Ácido nítrico	$HNO_3$	Fluka

Fonte: Da autora.

### 5.1 Metodologia

A parte experimental foi dividida em quatro etapas:

1. Verificação prévia da presença de Pb(II) nos solos (antes do cultivo);
2. Preparação da curva de calibração e análise quantitativa do solo sem Pb (II);
3. Cultivo da *Canavalia ensiformis* e adição de Pb(II);
4. Determinação de Pb(II) na planta *Canavalia ensiformis*

Na sequência os referidos tópicos.

1) *Verificação prévia da presença de Pb(II) nos solos (antes do cultivo);*

Para determinação do teor de Pb(II) no solo utilizado para o cultivo, coletou-se 3 amostras representativas do solo sem adição de acetato de chumbo(II).

Inicialmente estas amostras de solo foram secas a 70 °C por 7 dias (IAPAR, 2014) e, em seguida, maceradas e pesadas (500 mg). Buscando aumentar a confiabilidade dos dados, para cada amostra foram feitas 3 repetições.

Para torná-los apropriados para a análise quantitativa, a partir dos pressupostos de Method (1996), as alíquotas dos solos foram digeridas em meio ácido no bloco digestor (marca Lucadema), sendo que para verificar a presença de Pb no ácido utilizado, o mesmo também foi digerido.

Nos tubos de digestão com solo, adicionou-se 10 mL de HNO<sub>3</sub> concentrado (69%), e posteriormente nestes mesmos tubos foram feitas adições de 2,5 mL de HCl. O processo de digestão ocorreu por 3 horas, com temperatura média de 160 °C.

Este mesmo procedimento foi realizado na ausência do solo, a fim de comparar se há presença de Pb nos ácidos utilizados na digestão. O Quadro 5 mostra como se deu a organização dos tubos. A organização dos tubos está disposta no Quadro 5.

QUADRO 5 - Organização dos tubos para digestão. Os tubos com número 1 referem-se aos solos destinados a 1° parcela, tubos número 2 são referentes a 2° parcela e tubos número 3 para a 3° parcela. A letra “A” simboliza os ácidos digeridos sem o solo.

Identificação dos tubos	Conteúdo do tubo
1	Solo a ser utilizado na 1° parcela + 10 mL de HNO <sub>3</sub> + 2,5 mL de HCl
1	Solo a ser utilizado na 1° parcela + 10 mL de HNO <sub>3</sub> + 2,5 mL de HCl
1	Solo a ser utilizado na 1° parcela + 10 mL de HNO <sub>3</sub> + 2,5 mL de HCl
2	Solo a ser utilizado na 2° parcela + 10 mL de HNO <sub>3</sub> + 2,5 mL de HCl
2	Solo a ser utilizado na 2° parcela + 10 mL de HNO <sub>3</sub> + 2,5 mL de HCl
2	Solo a ser utilizado na 2° parcela + 10 mL de HNO <sub>3</sub> + 2,5 mL de HCl
3	Solo a ser utilizado na 3° parcela + 10 mL de HNO <sub>3</sub> + 2,5 mL de HCl
3	Solo a ser utilizado na 3° parcela + 10 mL de HNO <sub>3</sub> + 2,5 mL de HCl
3	Solo a ser utilizado na 3° parcela + 10 mL de HNO <sub>3</sub> + 2,5 mL de HCl
A	10 mL de HNO <sub>3</sub> + 2,5 mL de HCl
A	10 mL de HNO <sub>3</sub> + 2,5 mL de HCl
A	10 mL de HNO <sub>3</sub> + 2,5 mL de HCl
A	10 mL de HNO <sub>3</sub> + 2,5 mL de HCl

Fonte: Da autora.

Após a digestão, as amostras foram filtradas e adicionadas em um balão volumétrico, sendo seu volume ajustado para 25 mL. Na sequência tais alíquotas foram analisadas por espectroscopia de absorção atômica (modelo Thermo), método quantitativo recomendado por Afkham et al. (2011).

## 2) *Preparação da curva de calibração e análise do solo sem Pb(II)*

Como parâmetro para a determinação de Pb(II), utilizou-se uma curva de calibração, isto é, a partir de uma solução com concentração conhecida e suas respectivas diluições, construiu-se um intervalo de concentração, para que por meio deste o Pb (II) fosse determinado.

Para tanto, utilizou-se cloreto de chumbo(II) para a formação desta solução “mãe”, na qual, foram pesados 0,1342 g de PbCl<sub>2</sub>, sendo esta massa diluída em um balão volumétrico de 100 mL. Tal solução foi diluída 1,10 e 100 vezes, cujo intervalo de concentração foi de 1 a 15 mg.L<sup>-1</sup>.

Foram feitas as leituras em triplicatas das amostras de solo e das amostras sem a presença do solo. Após esta etapa, iniciou-se o cultivo da leguminosa.

### 3) *Cultivo da Canavalia ensiformis e adição de Pb(II)*

Para atingir o objetivo traçado neste trabalho, foram utilizadas 12 mudas da leguminosa *Canavalia ensiformis* e o acetato de chumbo(II) foi o agente contaminante. As plantas selecionadas já haviam passado pelo processo de germinação, totalizando 21 dias de vida, com altura média de 0,5 m.

As amostras de feijão-de-porco foram separadas em parcelas, na qual cada parcela continha 4 vasos (com capacidade de 4 L), sendo que em cada parcela, um vaso era o “branco”, isto é, a planta sem contaminante.

Foram adicionados 5, 10 e 15 g de acetato de chumbo(II), solubilizados em 1 L de água de Milli-Q, correspondendo a primeira, segunda e terceira parcelas. O acréscimo do contaminante a planta, ocorreu no dia 18 de abril de 2018 e no dia 7 do mês seguinte as partes aéreas e talos superiores foram cortados e conduzidos para preparação e posterior análise.

A justificativa para a remoção destas partes da planta foram embasadas nos estudos de Romeiro et al., (2007) que aponta estes locais como os de alojamento do metal, inclusive conforme um estudo realizado por Anselmo e Jones (2005), a fitoextração é “a absorção do metal contaminante pelas raízes das plantas para o tronco e as folhas”, portanto, neste estudo o foco foi nos talos e folhas.

As plantas foram cultivadas em ambiente coberto, porém, com abertura para entrada de raios solares e ventilação. A temperatura média dos dias da experimentação foi 24 °C. As mesmas foram regadas cuidadosamente a cada 4 dias, sendo que o volume de água excedente no prato do vaso era devolvido para o solo. A Tabela 1 ilustra a organização dos vasos (simbolizados por “V”) e dos brancos “B” com suas respectivas adições de Pb(II).

TABELA 1 – Organização do experimento: B as representações do branco (vaso sem adição de Pb(II) e V representações as adições de Pb(II) em triplicata; Parcela 1 – adição de 5g de acetato de chumbo(II), Parcela 2 – adição de 10g de acetato de chumbo(II), Parcela 3 – adição de 15g de acetato de chumbo(II)).

Parcelas	Amostra	Massa de acetato de Pb(II) (g) dissolvido em 1 L	Massa de Pb(II) (g)	Concentração de Pb(II) por kg de solo ( $\text{mg.Kg}^{-1}$ )
1	B1	0	0	0
	V1	5,00	2,73	0,60
	V2			
	V3			
2	B2	0	0	0
	V4	10,00	5,46	1,20
	V5			
	V6			
3	B3	0	0	0
	V7	15,00	8,19	1,81
	V8			
	V9			

Fonte: Da autora.

Após o corte, as alíquotas foram preparadas para a quantificação de Pb(II) fitoextraído. As raízes, solos e demais partes das plantas contaminadas foram entregues a uma comissão que administra resíduos que contenham metal.

#### 4) Determinação de Pb(II) nas plantas

Antes da quantificação por espectroscopia de absorção atômica, as amostras das plantas foram secas na estufa por 24 horas a 70 °C (ROMEIRO, et al 2007). Após atingirem massa constante, as folhas e troncos superiores da leguminosa foram pesados. Na Tabela 2 estão dispostos os valores obtidos na pesagem.

TABELA 2 – Massas das folhas e talos secos da planta conforme seus respectivos vasos: sendo B as representações do branco (vaso sem adição de Pb(II)) e V representações as adições de Pb(II) em triplicata; Parcela 1 – adição de 5g de acetato de chumbo(II), Parcela 2 – adição de 10g de acetato de chumbo(II), Parcela 3 – adição de 15g de acetato de chumbo(II)).

Parcelas	Amostras	Massa das folhas e talos secos (g)	Massa da planta seca por vaso (mg.Kg <sup>-1</sup> )
1	B1	3,0124	0,6667
	V1	2,9034	0,6426
	V2	2,9869	0,6611
	V3	2,9796	0,6594
2	B2	3,0224	0,6689
	V4	2,8967	0,6411
	V5	2,8642	0,6339
	V6	2,7999	0,6197
3	B3	3,0413	0,6731
	V7	2,7683	0,6127
	V8	2,7562	0,6100
	V9	2,7531	0,6093

Fonte: Da autora.

A digestão foi baseada em Hseu (2004), portanto, inicialmente adicionou-se 0,5000 g de amostra (por parcela e em triplicata) e esta massa foi transferida para tubos digestores, adicionou-se 10 mL de HNO<sub>3</sub> concentrado em cada tubo. A solução foi digerida à 90°C por 45 minutos. Depois deste intervalo, adicionou-se três vezes este mesmo volume ao longo de 8 horas. Salienta-se que para verificar se no HNO<sub>3</sub> havia Pb (II), 3 alíquotas do ácido também foram digeridas. Posteriormente, as amostras submetidas a espectroscopia de absorção atômica.

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao longo do cultivo da *Canavalia ensiformis* pôde-se observar que as plantas contaminadas continuaram a crescer, inclusive com comportamentos similares aos brancos.

Romeiro et al., (2007) aponta que nestas condições provavelmente a leguminosa não apresenta uma acumulação significativa de Pb, já que estudos feitos pela autora evidenciam que plantas cultivadas em solos com este metal crescem em uma velocidade reduzida quando comparadas aos brancos. Almeida et al., (2008) afirmam que esta leguminosa possui alta tolerância ao Pb, logo, a presença do metal não impede o desenvolvimento da planta, porém, retarda seu crescimento no que diz respeito a folhas e troncos.

Considerando as conclusões acima, pode-se inferir que desde o cultivo as plantas já apresentavam um ínfimo sinal de acumulação, já que o crescimento das mudas foi praticamente uniforme, até porque a massa seca da *Canavalia ensiformes* não apresentou variações significativas. Ainda nesta comparação entre leguminosas contaminadas e testemunhas (amostras sem Pb), observou-se também que os troncos, folhas e solo mantiveram mesma coloração. Quanto à curva de calibração, a Tabela 3 expõe os valores de absorvância e concentração.

TABELA 3 – Valores de concentrações de Pb (II) e absorvâncias média obtidas por análise de espectroscopia de absorção atômica.

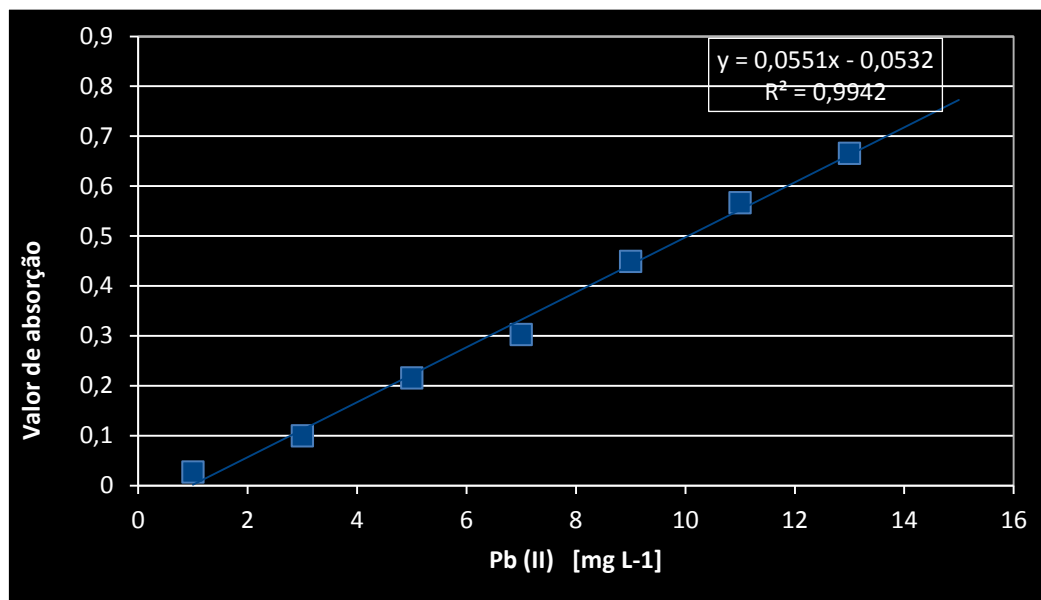
Pb (II) [mg. L <sup>-1</sup> ]	Absorvância
1,00	0,0310
3,00	0,1300
5,00	0,2390
7,00	0,3500
9,00	0,4920
11,00	0,6573
13,00	0,8117
15,00	0,9590

Fonte: Da autora.



Com base nos dados da Tabela 3, plotou-se uma curva de calibração (Gráfico 2).

GRÁFICO 2 – Curva de calibração plotada a partir dos dados da Tabela 3.



Fonte: Da autora.

Na análise quantitativa do Pb(II) dos solos, o teor do metal foi abaixo do limite de detecção do equipamento, sendo possível a utilização deste solo para o cultivo da planta. Em relação à análise quantitativa dos tratamentos sem Pb, seus dados estão expostos na Tabela 4.

TABELA 4 – Dados da análise dos brancos.

Amostras	Quantidade de Pb por vaso (mg.Kg <sup>-1</sup> )	Pb fitoextraído (mg. g <sup>-1</sup> )
B1	0	3,094
B2		1,791
B3		1,125

Fonte: Da autora.

Em virtude da ausência de Pb (II) nos solos utilizados (conforme absorção atômica realizada), esperava-se valor nulo da quantidade de Pb em B1, B2 e B3, no entanto, conforme os dados obtidos por absorção atômica de

chama, em todas as amostras foram detectadas a presença de chumbo(II). Neste caso, estes valores podem ser justificados pela digestão não ter sido feita em tubos fechados e serem volumetricamente menores do que o recomendado na literatura (usou-se 80 mL ao invés de 250 mL), fato que contribuiu para que houvesse respingos das alíquotas com Pb(II) nos demais tubos, podendo causar uma contaminação cruzada.

A Tabela 5 apresenta os valores de Pb(II) fitoextraídos nos vasos contaminados.

TABELA 5 – Quantidade de Pb(II) fitoextraído pela feijão-de-porco conforme suas adições. Sendo B as representações do branco (vaso sem adição de Pb(II) e V representações as adições de Pb(II) em triplicata; Parcela 1 – adição de 5g de acetato de chumbo(II), Parcela 2 – adição de 10g de acetato de chumbo(II), Parcela 3 – adição de 15g de acetato de chumbo(II)).

Amostra	Quantidade de Pb(II) adicionado por vaso (mg.Kg <sup>-1</sup> )	Pb(II) fitoextraído por vaso (mg.g <sup>-1</sup> )	Quantidade de Pb(II) fitoextraído por planta (mg)	Porcentagem de Pb(II) fitoextraído de cada planta (%)
V1	0,604	4,043	11,728	0,429
V2		4,927	14,716	0,538
V3		4,471	13,321	0,488
V4	1,208	5,195	15,048	0,297
V5		7,693	22,034	0,403
V6		8,425	23,589	0,432
V7	1,813	13,486	37,333	0,455
V8		14,645	40,915	0,499
V9		13,631	37,527	0,458

Fonte: Da autora.

Como disposto na Tabela 5, a leguminosa conseguiu fitoextrair o Pb(II), no entanto, sua porcentagem de fitoextração foi inferior as apontadas em alguns estudos.

Para Marques, Moreira e Siqueira (2000) quando a *Canavalia ensiformis* não apresenta em sua parte aérea quantidades médias do que foi adicionado, pode-se inferir que a mesma armazenou o metal em uma região um pouco

acima da raiz, portanto, nestas condições ela não fitoextraiu (transportou para a parte aérea), mas, hiperacumulou o Pb(II).

Em comparação à literatura, Romeiro et al., (2007) obteve um resultado médio de 85% de descontaminação do solo. Marques, Moreira e Siqueira também apresentaram resultados satisfatórios, acima de 50% e nos estudos de Almeida et al., (2008) 60% de Pb (II) adicionados foram removidos pela planta. Gabos e Abreu (2008) também obtiveram alguns resultados positivos, embora, também tenham obtidos inferiores ao esperado.

Existem alguns fatores que justificam a baixa fitoextração das amostras, dentre eles o tamanho do vaso, nutrição, tempo de exposição e condições externas.

O volume do vaso utilizado (4 L) pode ter sido inadequado, visto que possivelmente a medida com que a planta foi regada (frequência de 4 dias) o acetato de chumbo (II) se solubilizou e precipitou no fundo do recipiente. Portanto, o intervalo de 20 dias pode não ter sido suficiente para que as raízes se desenvolvessem numa altura ideal para fitoextração e consecutivo transporte do Pb(II).

Além disso, a quantidade de nutrientes necessários para o desenvolvimento da raiz e das demais estruturas morfológicas da *Canavalia ensiformes* pode ter sido insuficiente, logo, por não ter sido feito um acompanhamento nutricional, isto pode ter favorecido o retardamento do crescimento de raízes.

Andrade, Tavares e Mahler (2007) relatam que o tempo de exposição do metal na planta é o principal parâmetro para que a fitoextração ocorra, sendo que este fator varia conforme a espécie em estudo. Neste caso, na literatura existem resultados positivos e negativos em diferentes tempos, o que indica que não há intervalos de tempo ideais. Assim como neste estudo, a absorção de Pb na plantação de Gabor e Abreu (2008) também obtiveram um resultado inesperável após 20 dias. Já em relatos de Marcos e Schiviato (2007) neste mesmo intervalo a planta apresentou absorções consideráveis.

Com base no parágrafo anterior, se a raiz não estiver com um tempo de vida apropriado para absorver o metal, as porcentagens de fitoextração serão menores. Logo, pode-se inferir que no tempo de 20 dias a planta não possuía

um local de alojamento bem definido, por isso, os níveis se mostraram abaixo do esperado pela literatura (CARMAN; CROSSMAN; GATLIFF, 1998).

Para Tavares (2013) além do tempo existem fatores externos, como temperatura, teor de umidade e concentração do contaminante. Romeiro et al (2007) afirma que a concentração é proporcional a fitoextração, fato que nesta pesquisa não apresentou melhoras consideráveis.

As variáveis como temperatura e teor de umidade se mostraram condizentes com aquelas descritas pela literatura, no entanto, como o cultivo não foi realizado em ambiente controlado, as variações climáticas durante a transição do dia e da noite, podem ter influenciado nos resultados obtidos (ANDRADE; TAVARES; MAHLER, 2007).

## 8. CONCLUSÃO

Como afirmado por Brasil (2000) a *Canavalia ensiformes* apresentou facilidade para cultivo e em relação aos contaminantes, suas folhas e talos não apresentaram alterações consideráveis.

Os resultados de fitoextração mostraram-se inferiores ao esperado, dados que podem ser justificados pela escolha errônea da capacidade volumétrica do vaso, pequeno intervalo de exposição do metal a planta e ausência de nutrição.

Pela literatura a fitoextração via *Canavalia ensiformes* apresenta resultados satisfatórios como em Romeiro et al., (2007); Andrade, Tavares e Mahler (2007); Anselmo e Jones (2005); Silva et al., (2016) e Vasconcellos; Pagliuso e Sotomaior (2012), porém, mediante as condições, tempo e vasos, neste trabalho a planta não obteve índices consideráveis de fitoextração, logo, nesta pesquisa o potencial fitoextrativo foi baixo.

Portanto, conclui-se que novos estudos da fitoextração devem ser realizados, visto que parâmetros supracitados devem ser analisados, além disso, como perspectivas futuras, espera-se que outros estudos sejam realizados para que a escolha adequada do volume do vaso, tempo de exposição e nutrição do solo com NPK durante o período de cultivo da planta. Salienta-se também que novas pesquisas e ajustes no método de digestão devem ser efetivados, visto que neste estudo comprovou-se que o bloco digestor aberto pode desfavorecer a confiabilidade dos dados.

## REFERÊNCIAS

ACCIOLY, A. M. A.; SIQUEIRA, J. O. Contaminação Química e Biorremediação do Solo. In: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Anais... Lavras: UFLA, p. 299-352, 2000.

AFKHAMI, A.; SABER-TEHRANI, M.; BAGHERI, H.; MADRAKIAN, T. Flame atomic absorption spectrometric determination of trace amounts of Pb(II) and Cr(III) in biological, food and environmental samples after preconcentration by modified nano-alumina. *Microchim Acta*. v. 117. p 126-136, 2011.

AL-TAISAN, W. A. Suitability of using *Phragmites australis* and *Tamarix aphylla* as vegetation filters in industrial áreas. *American Journal of Environmental Sciences*, v. 5, n. 6, p. 740–747, 2009.

ALKORTA, I.; GARBISU, C. Phytoremediation of organic contaminants Soil. *Bioresource Technology*, v. 79, p. 273-276, 2001.

ALMEIDA, E. L.; MARCOS, F. C. C.; SCHIAVINATO, M. A.; LAGÔA, A. M. M. A.; ABREU, M.F. Crescimento de feijão-de-porco na presença de chumbo. *Bragantia*, v.67, p.569-576, 2008.

ANDRADE, J. A.; AUGUSTO, F.; JARDIM, I. C. S. F. Biorremediação de Solos contaminados por Petróleo e seus derivados. *Eclética Química*, Marília, v. 35, n. 3, p. 17-43, 2010.

ANDRADE, J. C. M.; TAVARES, S. R. L. MAHLER, C. F. Fitorremediação: o uso de plantas na melhoria da qualidade ambiental. 1. ed. São Paulo: Oficina de textos, 2007.

ANSELMO, A. L. F.; JONES, C. M. Fitorremediação de Solos Contaminados – O Estado da Arte. XXV Encontro Nac. de Eng. de Produção. Anais...Porto Alegre, RS, Brasil, 2005.

ATKINS, P. W.; JONES, L. Princípios de Química: questionando a vida moderna e o meio ambiente. 5 ed. Porto Alegre: Bookman, 2012.

BHARGAVA, A.; CARMONA, F. F.; BHARGAVA, M. ; SRIVASTAVA, S. Approaches for enhanced phytoextraction of heavy metals. *Journal of Environmental Management*, v. 105, n. 20, p. 103-120, 2012.

BITAR, O. Y. Avaliação da recuperação de áreas degradadas por mineração na Região Metropolitana de São Paulo. 1997. 193 f. Tese Doutorado em Engenharia Mineral. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Área de conhecimento: Engenharia de Mineral. São Paulo.

BRASIL, Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rochas e Solos, p. 96, 1995.

BRASIL, Ministério da Agricultura e do Meio Ambiente. **Feijão-de-porco**, 2000.

BRILHANTE, O. M.; CALDAS, L. Gestão e avaliação de risco em saúde ambiental. 1. ed. Rio de Janeiro: Editora FIOCRUZ, 1999.

CAGGIANO, R.; SABIA, S.; D'EMILIO, M.; MACCHIATO, M.; ANASTASIO, A.; RAGOSTA, M.; PAINO S. Níveis de metal em forragem, leite, produtos lácteos e tecidos amostrados em fazendas ovinas do sul da Itália. *Pesquisa Ambiental*. v. 99, p. 48–57. 2005.

CALABUIG, G.; *Medicina Legal y Toxicología*, 6. Edition; E. Villanueva Cañadas, Barcelona; Espanha; 2004.

CARMAN, E. P.; CROSSMAN, T. L.; GATLIFF, E. G. Phytoremediation of NO<sub>2</sub> fuel oil contaminated soil. *Journal of Soil Contamination*, v. 7, n. 4, p. 455–466, 1998.

CARVALHO, J. C. B.; COSTA O, J. V. Contaminação do meio ambiente por fontes diversas e os agravos à saúde da população. *Enciclopédia Biosfera: Centro Científico Conhecer, Goiânia*, v. 7, n.13, p. 1107–1118, 2011.

CASS, Q. B. ; BARREIRO, J. C. Os avanços tecnológicos na química analítica: sucessos e desafios. *Ciência e Cultura*, v. 63, p. 37-40, 2011.

CERQUEIRA, L.; ALVEZ,, F. Incineração e Co-Processamento: Alternativa para a gestão de resíduos perigosos, *Saneamento Ambiental*, n. 59, Julho / Agosto, 1999.

COELHO, M. R.; FIDALGO, E. C.; SANTOS, H. G.; BREFIN, M. L. M. S.; PÉREZ, D. V. Solos: tipos, suas funções no ambiente, como se formam e sua relação com o crescimento das plantas. 1. ed. Rio de Janeiro: Embrapa, 2013.

CONCEICAO, D. et al. Redução de cromo hexavalente por bactérias isoladas de solos contaminados com cromo. *Cienc. Rural*. n.6, v. 37. p.1661-1667, 2007.

COUTINHO, H. D.; BARBOSA, A. L. R. Fitorremediação: Considerações Gerais e Características de Utilização. *Silva Lusitana*, Lisboa, v. 15, n. 1, p. 103–117. 2007.

COSTA, M. C. R.; DAMILANO, C. R.; VASCONCESLOS, A.; COSTA, R. C. Diagnóstico ambiental de área industrial contaminada por metais pesados. *Revista Biociências*, Rio Grande do Sul. v.14, p. 51-61, 2008.

DAVIS, L. C.; CASTRO-DIAZ, S.; ZHANG, Q.; ERICKSON, L. E. Benefits of vegetation for soils with organic contaminants. *Critical Reviews in Plant Sciences*, v. 21, n. 5, p. 457-491, 2002.

DIAS, R. *Gestão ambiental: responsabilidade social e sustentabilidade*. São Paulo: Atlas, 2011.

ECOSEEDS, Feijão-de-porco, 2017. Disponível em : <https://www.ecoseeds.com.br/>. Acesso em 19 de jun. de 2018.

EVANGELISTA, F. S. B.; SILVA, I. C. R. Fontes de contaminação pelo chumbo (Pb). In: *Mostra de produção científica lato sensu*. Goiás. Anais... Goiás: Pontifícia Universidade Católica de Goiás. v. 1, 2013.

GABOS, M. B.; ABREU, C. A. Absorção de chumbo pelo feijão-de-porco assistido pela aplicação de EDTA no solo. In: *FERTBIO*, 2008, Londrina. Anais eletrônicos...Londrina: CENB, 2008.

GRAZZIOTI, P. C. Caracterização de bactérias resistentes ao mercúrio e estratégias para biorremediação de ambientes contaminados, 2015. 161 f. Tese de doutorado em Microbiologia Agrícola e do Ambiente, Instituto de Ciências Básicas da Saúde, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, RS, Brasil, Março.



HEATH L. M.; SOOLE K. L.; MCLAUGHLIN M. L.; MCEWAN G. T. ; EDWARDS J. W. Toxicidade do chumbo ambiental e influência da absorção intestinal em crianças. *Revista Saúde Ambiental* Revise, v. 18, p. 231-281, 2003.

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

HSEU, Z. Evaluating heavy metal contents in nine-composts using four digestion methods. *Bioresource Technology*. v. 95. p. 53–59, 2004.

IAPAR, Instituto Agrônomo do Paraná. *Preparação de amostras*, 2014.

LEITE, E. M. A.; AMORIM, L. C. A. *Toxicologia Geral*; Universidade Federal de Minas Gerais. Faculdade de Farmácia. Departamento de Análises Clínicas e Toxicológicas; Brasil; 2001.

KLAASSEN, C. D. *Casarett and Doull's Toxicology: The Basic Science of Poisons*. McGraw-Hill. 6. ed. 2001.

KLAASSEN, C. D. *Casarett and Doull's Toxicology: The Basic Science of Poisons*. 8 ed. McGraw-Hill. 1996.

MADALÃO, J. C.; PIRES, F. R.; CHAGAS, K.; CARGNELUTTI FILHO, A.; PROCÓPIO, S. C. Uso de leguminosas na fitorremediação de solo contaminado com sulfentrazones. *Pesquisa Agropecuária Tropical: Goiânia*, v. 42, n. 4, p. 390-396, 2012.

MARQUES, T. C. L. S.; MOREIRA, A. M. S.; SIQUEIRA, J. O. Crescimento e teor de metais de mudas de espécies arbóreas cultivadas em solo contaminado com metais pesados. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.35, n.1, p.121-132, 2000.

METHODS, C. *Methods of soil analysis*. Book Series. 1 ed, 1996.

NAVARRO, S.; CARVALHO, W. A.; *Remediação de Solos Contaminados por metais pesados*. In: semana científica e tecnológica, 2003, Campinas. Anais...Campinas: Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, 2003.

PAJEVIC, S.; BORISEV, M.; NIKOLIC, N.; KRISTIC, B.; PILIPOVIC, A.; ORLOVIC, S. Phytoremediation capacity of poplar (*Populus* spp.) and willow (*Salix* spp.) clones in relation of photosynthesis. Archives of Biological: Science Belgrade, v. 61, n. 2, p. 239-247, 2009.

PAOLIELLO, M. M. B.; CHASIN, A. A. M. Ecotoxicologia do chumbo e seus compostos. Cadernos de Referência Ambiental, v. 2, p 130. 2001.

PAVANELLI, A. C. Avaliação da fitorremediação em solo impactado com diesel comercial. 2004. 64 f. Relatório (Estágio Supervisionado da disciplina de química A. Universidade Estadual de Londrina. Área de Conhecimentos: Química Ambiental. Londrina.

PIRES, F. R.; SOUZA, C. M.; SILVA, A. A.; PROCÓPIO, S. O.; FERREIRA, L. R. Fitorremediação de solos contaminados com herbicidas. Sociedade Brasileira das Plantas Daninhas: Minas Gerais, v. 21, n. 2, p.335-341, 2003.

PROCÓPIO, S. O. Seleção de plantas com potencial para fitorremediação de solos contaminados com o herbicida trifloxysulfuron sodium. Planta Daninha, Viçosa, v. 22, n. 2, p. 315-322, 2004.

RATTNER, H. Meio ambiente, saúde e desenvolvimento sustentável. Ciência & Saúde Coletiva: Rio de Janeiro. v.14, n. 6, p.1965-1971, 2009.

RIBEIRO, M. A. C. Contaminação do Solo por Metais Pesados, 2013. 242 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias. Faculdade de Engenharia. Lisboa.

ROCHA, A. F. Cádmio, Chumbo, Mercúrio – A problemática destes metais pesados na Saúde Pública?, 2009. 62 f. Monografia (Curso de Ciências da Nutrição).Universidade do Porto. Faculdade de Ciências da Nutrição e Alimentação. Graduação de Nutrição. São Paulo.

ROJAS, M.; ESPINOSA, C.; SEIJAS, D. Association between blood lead and sociodemographic parameters among children. Saúde Pública, São Paulo, v. 37, n. 4, p. 503-509, 2003.

ROMEIRO, S.; LAGÔA, A. M. M. A.; FURLANI, P. R.; ABREU, C. A.; PEREIRA, B. F. F. Absorção de chumbo e potencial de fitorremediação de Canavalia ensiformis L. Bragantia, Campinas, v. 66, n. 2, p. 327-334, 2007.

SCHWANZ, M.; FERREIRA, J. J.; FRÖEHLICH, P.; ZUANAZZI, J. A. S.; HENRIQUES, A. T. Análise de metais pesados em amostras de *Peumus boldus* Mol.(Monimiaceae), Revista Brasileira de Farmacognosia: João Pessoa, v. 18, n. 1, p. 98-101. 2008.

SILVA, F. B. T.; FARIA, T. L.; CABANASN, A.; SIMÕES, G. S. Árvores freatófitas: processo de fitorremediação aos resíduos industriais. XX Encontro Latino Americano de Iniciação Científica. Anais... Campinas, ELAIC, 2016.

SKOOG, D. A.; HOLLER, F. J.; CROUCH, S. R. Princípios de Análise Instrumental. 6ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2009.

SOUZA, N. R. Um estudo da formação de disponibilidade de piromorfita ( $Pb_5(PO_4)_3OH$ ) em solos contaminados com Pb e remediados com  $NH_4H_2PO_4$ . 2012. 93 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Materiais) Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Ciência dos Materiais e Metalúrgica. São Paulo.

TAVARES, S. R. L.. Técnicas de remediação.. Capítulo 2: In: Silvio Roberto de Lucena Tavares. (Org.). Remediação de solos e águas contaminadas: Conceitos básicos & fundamentos. 1 ed. São Paulo, SP: Clube de Autores, v.1, 2013.

TEIXEIRA, C. P. A. B.; JARDIM, W. F. Processos Oxidativos Avançados – Conceitos teóricos. 1. ed. São Paulo: Cadernos temáticos, 2004.

VASCONCELLOS, M. C.; PAGLIUSO, D.; SOTOMAIOR, V. S. Fitorremediação: Uma proposta de descontaminação do solo. Estudos de Biologia Ambiente Diversos: Revista da Universidade Católica de Petrópolis, Rio de Janeiro. v. 34, n. 83. p. 261-267, 2012.

VIEIRA, L. S. Manual de Ciência do Solo. 1. ed, São Paulo: Agronômica Ceres, 1975.

VIEIRA, L. S. Manual de Ciência do Solo. 2. ed, São Paulo: Agronômica Ceres, 1988.

VOGEL, A.R.; MENDHAM, J.; DENNEY, R.C.; BARNES, J.D.; THOMAS, M. Análise Química Quantitativa, 6. ed. Editora LTC, 2002

## APÊNDICE I

*Cálculo para a determinação de Pb adicionado nos vasos*

Para determinar a quantidade de Pb (II) adicionado em cada vaso, verificou-se a proporção de Pb presente no Ac. de Pb (II). Para isso, dividiu-se a massa atômica do Pb (207,19 u) pela massa molecular do Ac. de Pb (II) (379,3238 g.mol<sup>-1</sup>) conforme abaixo:

$$54,62 \% \text{ de Pb} = 100. \frac{207,19}{379,3238}$$

Portanto pode-se fazer a seguinte relação para as massas adicionadas:

$$\begin{array}{l} 5,00 \text{ g do Ac. de Pb (II)} \text{ ----- } 100\% \text{ do Ac. de Pb (II)} \\ X \text{ (g)} \text{ ----- } 54,62 \% \text{ de Pb} \\ X = 2,73 \text{ g adicionados nos vasos 1 ao 3} \end{array}$$

$$\begin{array}{l} 10,00 \text{ g do Ac. de Pb (II)} \text{ ----- } 100\% \text{ do Ac. de Pb (II)} \\ X \text{ (g)} \text{ ----- } 54,62 \% \text{ de Pb (II)} \\ X = 5,46 \text{ g adicionados nos vasos 4 ao 6} \end{array}$$

$$\begin{array}{l} 15,00 \text{ g do Ac. de Pb (II)} \text{ ----- } 100\% \text{ do Ac. de Pb (II)} \\ X \text{ (g)} \text{ ----- } 54,62 \% \text{ de Pb (II)} \\ X = 8,19 \text{ g adicionados nos vasos 7 ao 9} \end{array}$$

*Cálculo da quantidade de mg. Kg<sup>-1</sup> do Pb por vaso com solo*

Para mensurar a quantidade de Pb na unidade de mg. Kg<sup>-1</sup> em cada vaso, determinou-se inicialmente a densidade do solo utilizado. A partir de um volume conhecido (22,00 mL), pesou-se a massa do solo (24,85 g). Sabendo que densidade é a razão entre massa e volume, descobriu-se que a densidade do solo em estudo é de 1,1295 g.mL<sup>-1</sup>.

$$\text{Densidade (g)} = \frac{\text{massa (g)}}{\text{volume (mL)}} \quad 1,1295 \text{ g.mL}^{-1} = \frac{24,85 \text{ g}}{22,00 \text{ mL}}$$

Com a densidade do solo, foi possível verificar qual a massa do solo presente nos 4 L dos vasos,

$\rho \text{ (g mL}^{-1}\text{)} = \text{densidade do solo (g. mL}^{-1}\text{)} \cdot \text{volume do vaso (mL)}$

$$4.518 \text{ g} = (1,1295 \text{ g. mL}^{-1}) \cdot (4000 \text{ mL})$$

$$4.518 \text{ g} = 4,518 \text{ kg}$$

Portanto, para determinar a quantidade de Pb por vaso, dividiu-se a massa adicionada de Pb (em mg) (conforme Tabela 1) pela massa do solo.

$1 \text{ g} = 1000 \text{ mg}$  (usou-se esta relação para converter a massa adicionada de Pb em g para mg)

$$0,6044 \text{ (mg. kg}^{-1}\text{)} = \frac{2,7310 \cdot 10^3 \text{ mg}}{4,518 \text{ kg de solo}} \text{ (Cálculo para V1 a V3)}$$

$$1,2089 \text{ (mg. kg}^{-1}\text{)} = \frac{5,4621 \cdot 10^3 \text{ mg}}{4,518 \text{ kg de solo}} \text{ (Cálculo para V4 a V6)}$$

$$1,8134 \text{ (mg. kg}^{-1}\text{)} = \frac{8,1931 \cdot 10^3 \text{ mg}}{4,518 \text{ kg de solo}} \text{ (Cálculo para V7 a V9)}$$

#### *Determinação da massa seca da leguminosa ( em mg) por Kg de solo*

Considerando a densidade do solo (4,518 Kg), calculou-se a proporção da massa seca (em mg) dividindo este valor por kg do solo. O cálculo abaixo demonstra como se deu esta determinação.

$$\begin{aligned} & \text{massa seca (mg)} \cdot \text{densidade do solo (kg)} \text{ (mg. kg}^{-1}\text{)} \\ &= \frac{\text{massa seca (mg)}}{\text{massa do solo (kg)}} \end{aligned}$$

$$0,6667 \text{ (mg. kg}^{-1}\text{)} = \frac{3,012410^3 \text{ mg}}{4,518 \text{ kg de solo}}$$

Este mesmo cálculo foi feito para cada massa descrita na Tabela 2.

#### *Determinação da porcentagem de Pb (II) fitoextraído (dados na Tabela 4).*

Considerando-se a massa de Pb(II) determinadas na absorção atômica fez-se a relação:

$$\begin{array}{l} 1 \text{ g da aliquota} \text{ ----- } 4,043 \text{ mg de Pb (II) absorvido} \\ 2,9034 \text{ g da massa seca} \text{ ----- } x \\ X = 11,43 \text{ mg de Pb (II) na massa seca.} \end{array}$$

Ao dividir o valor de “x” pela massa do solo adicionada no vaso, determina-se quando de Pb (II) foi absorvido por vaso.

$$\begin{array}{l} 0,60 \text{ mg.Kg}^{-1} \text{ (quantidade de Pb (II) adicionado no vaso 1,2 e 3)} \text{ ----- } 100\% \\ 2,59 \cdot 10^{-3} \text{ mg.Kg}^{-1} \text{ ----- } x \\ X = 0,429 \% \text{ de Pb (II) fitoextraído.} \end{array}$$

O cálculo acima refere-se ao V1, e usou-se o mesmo raciocínio para os demais.