

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JULIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL

POTENCIAL DO EUCALIPTO NA FITORREMEDIAÇÃO DE UM
SOLO CONTAMINADO POR CHUMBO

Luciana Nalon
Engenheiro Agrônomo

JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL
Fevereiro de 2008

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JULIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL

POTENCIAL DO EUCALIPTO NA FITORREMEDIAÇÃO DE UM
SOLO CONTAMINADO POR CHUMBO

Luciana Nalon

Orientador: Prof. Dr. Wanderley José de Melo

Co-Orientador: Dr. Gabriel Maurício Peruca de Melo

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Agronomia (Ciência do Solo).

JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL

Fevereiro de 2008

Nalon, Luciana
N172p Potencial do eucalipto na fitorremediação de um solo
contaminado por chumbo. -- Jaboticabal, 2008
xiv, 94 f. ; 28 cm

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista,
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2008

Orientador: Wanderley José de Melo

Banca examinadora: Mara Cristina Pessoa da Cruz, Otávio
Antônio de Camargo

Bibliografia

1. Fitorremediação. 2. Contaminação. 3. Chumbo. I. Título. II.
Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 631.42:634.0.2

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação –
Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação – UNESP, Câmpus de Jaboticabal.

DADOS CURRICULARES DA AUTORA

LUCIANA NALON – nascida na cidade de Marília – SP em 17 de agosto de 1981. Graduou-se em Engenharia Agrônômica pela Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal – SP em 2005 e teve como orientadores no seu trabalho de Graduação o Prof. Dr. Wanderley José de Melo e do Dr. Gabriel Maurício Peruca de Melo. Ingressou no curso de Mestrado em Agronomia com área de concentração em Ciência do Solo junto à Universidade Estadual Paulista FCAV, Campus de Jaboticabal, em março de 2006, sob a orientação do Prof. Dr. Wanderley José de Melo e do Dr. Gabriel Maurício Peruca de Melo.

DEDICO ...

Aos meus pais pelo apoio e sacrifícios feitos durante a minha jornada, sem saberem o quão importante foi contar com vossa ajuda ao longo destes anos de existência em que nada seria sem as broncas e conselhos que tanto discutimos, sendo que enriqueceram meu amadurecimento.

Aos meus tios o agradecimento pela acolhida, fazendo desta cidade um novo lar longe da minha família.

“Tecemos nosso destino
para o bem ou para o mal
e nunca podemos desfazer.
Cada vestígio de virtude ou vício,
pó menor que seja,
sempre deixa sua marca.”
WILLIAN JAMES.

OFEREÇO ...

Ao meu irmão e minha cunhada que mesmo estando longe, mesmo que não sabendo como, me ajudaram nesta experiência de aprendizado e amadurecimento da alma. Do fundo do meu coração muito obrigado.

Aos meus amigos e colegas de jornada acadêmica, porque mesmo nas horas mais difíceis nos ajudamos para vencer os obstáculos.

Agradecimentos...

A Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias UNESP Campus de Jaboticabal e seus docentes que contribuíram na minha formação acadêmica;

Ao programa FAPESP pela ajuda financeira, bolsa Pós-Graduação Mestrado, recebida durante o experimento;

A Empresa AJAX baterias pela colaboração na realização deste projeto;

Ao Prof. Dr. Wanderley José de Melo pela aceitação em me orientar e confiar-me a execução deste trabalho;

Ao Dr. Gabriel M. Peruca de Melo, co-orientador, pela compreensão, colaboração e amizade;

Aos técnicos Sueli A. S. Leite e Roberto A. Chelli, pela amizade e ajuda valiosa na execução das análises;

Ao grande criador que nos dá a oportunidade em melhorar a nós mesmos e as pessoas ao nosso redor.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE TABELAS.....	vii
LISTA DE FIGURAS.....	xi
RESUMO.....	xiii
ABSTRAT.....	xiv
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	2
2.1. Contaminação ambiental.....	2
2.2. Metais pesados no ambiente.....	5
2.3. Chumbo no ambiente.....	9
2.4. Fitorremediação.....	12
2.5. Interação planta-chumbo.....	16
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	18
3.1. Escolha da área contaminada e avaliação inicial.....	18
3.1.1. Identificação de áreas contaminadas por chumbo.....	18
3.1.2. Avaliação inicial da área contaminada escolhida.....	19
3.1.3. Colheita de solo e preparo das amostras.....	23
3.1.4. Amostragem de planta e preparo das amostras.....	23
3.1.5. Avaliações nas amostras de planta.....	23
3.1.6. Avaliações nas amostras de solo.....	24
3.2. Instalação e condução do experimento em casa de vegetação.....	27
3.2.1. Local do experimento.....	27
3.2.2. Solo.....	27
3.2.2.1. Análise de fertilidade.....	28
3.2.2.2. Teor de chumbo nas amostras de planta.....	28

3.2.2.3. Teor de chumbo nas amostras de solo.....	29
3.2.3. Vasos.....	30
3.2.4. Delineamento experimental e tratamentos.....	30
3.2.5. Calagem e adubação.....	31
3.2.6. Mudas de Eucalipto.....	32
3.2.7. Avaliação da altura da planta e diâmetro do caule.....	33
3.3. Avaliações realizadas ao final do experimento.....	33
3.3.1. Avaliação da produção de massa seca e amostragem da parte aérea.....	33
3.3.2. Avaliação da produção de massa seca e amostragem da raiz.....	36
3.3.3. Obtenção das amostras de solo.....	36
3.4. Avaliações químicas das amostras vegetais.....	36
3.4.1. Nitrogênio.....	36
3.4.2. Teores de Fósforo, Potássio, Cálcio, Magnésio e Enxofre.....	38
3.4.3. Micronutrientes.....	40
3.5. Análise dos resultados obtidos.....	43
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	44
4.1. Experimento em casa de vegetação.....	44
4.1.1. Teor de chumbo no solo utilizado na instalação do experimento em casa de vegetação.....	44
4.1.2. Avaliações do desenvolvimento da planta.....	44
4.2. Produção de massa seca.....	56
4.3. Teores de macronutrientes.....	59
4.4. Concentração de chumbo na massa seca vegetal.....	80
4.5. Chumbo acumulado nas plantas de eucalipto.....	81
5. CONCLUSÕES.....	85
6. REFERÊNCIAS.....	86

LISTA DE TABELAS

1. Distribuição de áreas contaminadas no estado de São Paulo, em novembro de 2006, classificada por atividade (CETESB, 2007).....	4
2. Análise de fertilidade do solo (0-20 cm) das amostras coletadas nas quatro subáreas do Centro de Reciclagem de Baterias	28
3. Teor de chumbo encontrado nas plantas amostradas do Centro de Reciclagem de Baterias.....	29
4. Teor de chumbo nas amostras de terra coletadas do Centro de Reciclagem de Baterias, analisadas segundo o método USEPA 3050B, extrator Mehlich 1 e Mehlich 3, expressos em mg.kg ⁻¹ TFSA.....	30
5. Teores de chumbo nos solos, utilizados na instalação do experimento em casa de vegetação, coletados do Centro de Reciclagem de Baterias, subáreas 2 e 5, analisadas segundo o método USEPA 3050B, expressos em mg.kg ⁻¹ TFSA.....	44
6. Altura das espécies de eucalipto, cultivadas em Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico contaminado com chumbo, aos 45, 75 e 105 dias após o transplântio das mudas.....	45
7. Altura das espécies de eucalipto, cultivadas em Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico contaminado com chumbo, aos 135, 165 e 195 dias após o transplântio das mudas.....	46
8. Altura das espécies de eucalipto, cultivadas em Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico contaminado com chumbo, aos 225, 255 e 285 dias após o transplântio das mudas.....	47
9. Diâmetro do caule, a 5 cm do nível do solo, das espécies de eucalipto, cultivadas em Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico, contaminado com chumbo, aos 45, 75 e 105 dias após o transplântio das mudas.....	51

10. Diâmetro do caule, a 5 cm do nível do solo, das espécies de eucalipto, cultivadas em Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico, contaminado com chumbo, aos 135, 165 e 195 dias após o transplântio das mudas.....	52
11. Diâmetro do caule, a 5 cm do nível do solo, das espécies de eucalipto, cultivadas em Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico, contaminado com chumbo, aos 225, 255 e 285 dias após o transplântio das mudas.....	53
12. Produção de massa seca de folha, de caule (caule + ramos) e de raízes, das espécies de eucalipto, expressos em gramas planta ⁻¹ , cultivadas em Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico, contaminado com chumbo, aos 285 dias após o transplante das mudas.....	57
13. Concentração de nitrogênio na folha, no caule (caule + ramos) e nas raízes, das espécies de eucalipto, cultivadas em Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico, contaminado com chumbo, após 286 dias do transplante. Valores expressos em g.kg ⁻¹ de MS 65°C.....	60
14. Concentração de fósforo na folha, no caule (caule + ramos) e nas raízes, das espécies de eucalipto, cultivadas em Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico, contaminado com chumbo, após 286 dias do transplante. Valores expressos em g.kg ⁻¹ de MS 65°C.....	61
15. Concentração de potássio na folha, no caule (caule + ramos) e nas raízes, das espécies de eucalipto, cultivadas em Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico, contaminado com chumbo, após 286 dias do transplante. Valores expressos em g.kg ⁻¹ de MS 65°C.....	63
16. Concentração de cálcio na folha, no caule (caule + ramos) e nas raízes, das espécies de eucalipto, cultivadas em Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico, contaminado com chumbo, após 286 dias do transplante. Valores expressos em g.kg ⁻¹ de MS 65°C.....	65
17. Concentração de magnésio na folha, no caule (caule + ramos) e nas raízes, das espécies de eucalipto, cultivadas em Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico, contaminado com chumbo, após 286 dias do transplante. Valores expressos em g.kg ⁻¹ de MS 65°C.....	67

18. Concentração de enxofre na folha, no caule (caule + ramos) e nas raízes, das espécies de eucalipto, cultivadas em Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico, contaminado com chumbo, após 286 dias do transplante.
Valores expressos em g.kg^{-1} de MS 65°C.....68
19. Concentração de cobre na folha, no caule (caule + ramos) e nas raízes, das espécies de eucalipto, cultivadas em Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico, contaminado com chumbo, após 286 dias do transplante.
Valores expressos em mg.kg^{-1} de MS 65°C.....70
20. Concentração de ferro na folha, no caule (caule + ramos) e nas raízes, das espécies de eucalipto, cultivadas em Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico, contaminado com chumbo, após 286 dias do transplante.
Valores expressos em mg.kg^{-1} de MS 65°C.....72
21. Concentração de manganês na folha, no caule (caule + ramos) e nas raízes, das espécies de eucalipto, cultivadas em Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico, contaminado com chumbo, após 286 dias do transplante.
Valores expressos em mg.kg^{-1} de MS 65°C.....74
22. Concentração de zinco na folha, no caule (caule + ramos) e nas raízes, das espécies de eucalipto, cultivadas em Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico, contaminado com chumbo, após 286 dias do transplante.
Valores expressos em mg.kg^{-1} de MS 65°C.....75
23. Concentração de molibdênio na folha, no caule (caule + ramos) e nas raízes, das espécies de eucalipto, cultivadas em Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico, contaminado com chumbo, após 286 dias do transplante.
Valores expressos em mg.kg^{-1} de MS 65°C.....78
24. Concentração de boro na folha, no caule (caule + ramos) e nas raízes, das espécies de eucalipto, cultivadas em Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico, contaminado com chumbo, após 286 dias do transplante.
Valores expressos em mg.kg^{-1} de MS 65°C.....79

25. Concentração de chumbo nas partes vegetais das espécies de eucalipto, cultivadas em Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico, contaminado com chumbo. Valores expressos em mg.kg^{-1} de MS 65°C.....81
26. Concentração de chumbo acumulado nas partes vegetais das espécies de eucalipto, cultivadas em Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico, contaminado com chumbo. Valores expressos em mg planta^{-1} 82
27. Porcentagem de chumbo acumulado nas partes vegetais das espécies de eucalipto cultivadas em Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico, contaminado com chumbo. Valores expressos em %..... 83
28. Porcentagem do chumbo acumulado na massa seca das partes vegetais das espécies de eucalipto cultivadas em Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico, contaminado com chumbo. Valores expressos em %..... 84

LISTA DE FIGURAS

1. Divisão da área pertencente ao Centro de Reciclagem de Baterias	19
2. Área industrial (subárea 1) com referência nas coordenadas S 22° 19' 36,9"; W 49° 00' 29,5".....	20
3. Área localizada ao lado da mata nativa (subárea 2), com referência nas coordenadas S 22° 19' 45,3"; W 49° 00' 34,1"	21
4. Área localizada abaixo da subárea 2 (subárea 3), com referência nas coordenadas S 22° 19' 43,5"; W 49° 00' 34,1"	21
5. Vista geral da mata nativa (subárea 4), com referência nas coordenadas S 22° 19' 43,8"; W 49° 00' 37,4".....	22
6. Vista geral da área vizinha aos fornos utilizados na reciclagem do chumbo (subárea 5) com referência nas coordenadas S 22° 19' 43,5"; W 49° 00' 34,1".....	22
7. Realização da desfolha manual da planta de eucalipto aos 285 dias após o transplântio.....	34
8. Realização da desrama, com auxílio de tesoura de poda da planta de eucalipto aos 285 dias após o transplântio.....	34
9. Realização do corte do caule, rente ao solo, da planta de eucalipto aos 285 dias após o transplântio.....	35
10. Lavagem da amostra de parte aérea, massa foliar, obtida 285 dias após o transplântio.....	35
11. <i>Corymbia citriodora</i> , <i>Eucalyptus grandis</i> e <i>E. saligna</i> , respectivamente, aos 135 dias após o transplântio, cultivadas em Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico contaminado com 1.429 mg de chumbo kg ⁻¹ TFSA.....	48
12. <i>Corymbia citriodora</i> , <i>Eucalyptus grandis</i> e <i>E. saligna</i> , aos 135 dias após o transplântio, respectivamente, cultivadas em Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico contaminado com 3.782 mg de chumbo kg ⁻¹ TFSA.....	49

13. <i>Eucalyptus grandis</i> , <i>Corymbia citriodora</i> e <i>E. saligna</i> , respectivamente, aos 285 dias após o transplântio, cultivadas em Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico contaminado com 1.429 mg de chumbo kg ⁻¹ TFSA.....	49
14. <i>Eucalyptus grandis</i> , <i>Corymbia citriodora</i> e <i>E. saligna</i> , aos 285 dias após o transplântio, respectivamente, cultivadas em Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico contaminado com 3.782 mg de chumbo kg ⁻¹ TFSA.....	50
15. Curva de crescimento do <i>E. grandis</i> , <i>C. citriodora</i> e <i>E. saligna</i> , respectivamente, durante o período de avaliação experimental, cultivadas em Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico contaminado com 1.429 mg de chumbo kg ⁻¹ TFSA.....	55
16. Curva de crescimento do <i>E. grandis</i> , <i>C. citriodora</i> e <i>E. saligna</i> , respectivamente, durante o período de avaliação experimental, cultivadas em Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico contaminado com 3.782 mg de chumbo kg ⁻¹ TFSA.....	56
17. Sistema radicular da <i>Eucalyptus grandis</i> , <i>Corymbia citriodora</i> e <i>E. saligna</i> , respectivamente, aos 286 dias após o transplântio, cultivadas em Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico contaminado, com 1.429 mg de chumbo kg ⁻¹ TFSA.....	58
18. Sistema radicular da <i>Eucalyptus grandis</i> , <i>Corymbia citriodora</i> e <i>E. saligna</i> , respectivamente, aos 286 dias após o transplântio, cultivadas em Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico, contaminado com 3.782 mg de chumbo kg ⁻¹ TFSA.....	58

POTENCIAL DO EUCALIPTO NA FITORREMEDIAÇÃO DE UM SOLO CONTAMINADO POR CHUMBO

RESUMO – O presente trabalho teve como objetivo avaliar espécies de eucalipto como plantas com potencial para fitorremediação. De um levantamento de áreas contaminadas por chumbo, destacou-se o caso ocorrido ao redor do Centro de Reciclagem de Baterias, atualmente desativado, cujas reportagens relatavam o elevado teor de chumbo encontrado no sangue da população e de animais domésticos. Esta área foi inicialmente dividida em 5 subáreas georeferenciadas, e em cada subárea, com exceção da primeira que compreende a indústria propriamente dita, recolheu-se amostras de solo e plantas. Nas amostras de solo foram determinados os teores de chumbo, pelo extrator ácido nítrico + peróxido de hidrogênio, e chumbo extraível pelo extrator Mehlich 1 e extrator Mehlich 3. Nas amostras de planta realizou-se a determinação da concentração de chumbo, pelo extrator nítrico-perclórico. Em uma segunda etapa, a arbórea *Eucalyptus saligna*, identificada visualmente na área contaminada, escolhida pela sua concentração de chumbo na folha (300 mg kg^{-1}), juntamente com outras duas, *Eucalyptus grandis* e *Corymbia citriodora* cultivadas em condições controladas (casa de vegetação), utilizando como substrato dois solos obtidos na área contaminada, sendo um obtido em uma subárea que apresentou menor concentração de chumbo (489 mg kg^{-1}) e outro na que apresentou maior concentração (2.416 mg kg^{-1}). Durante o experimento as plantas foram analisadas quanto ao crescimento em altura e diâmetro do caule. Foram realizadas na massa seca vegetal as concentrações de macro e micronutrientes, além da concentração de chumbo. A espécie *C. citriodora* não apresentou desenvolvimento satisfatório, em relação às outras duas. A concentração de chumbo foi maior nas raízes das plantas avaliadas. Destacaram-se como potencialmente plantas fitorremediadoras de um solo contaminado por chumbo o *E. grandis* e *E. saligna*.

Palavras-chave: crescimento, contaminação, meio-ambiente, metal pesado.

POTENTIAL OF THE EUCALYPTUS IN THE PHYTOREMEDIATION OF A SOIL CONTAMINATED BY LEAD

ABSTRACT – The present work aimed to assess species of eucalyptus as potential plants for phytoremediation. From a survey developed in areas contaminated by lead, the case herein took place around the Batteries Recycling Center, it was singled and chosen to study, and the lead concentration found out in the blood of population and of domestic animals gave rise to outstanding reports both in the spoken and written means of communication. This area was, in its very beginning, divided into five georeferenced districts, and in each one, the due exception given to first one that involves the factory facilities of the very same Center, samples of the soil and plants samples were collected. For the soil samples were figured the contents of the lead via the nitric acid + hydrogen peroxide extractor, and extractable lead by the extractor Mehlich 1 and extractor Mehlich 3. In the plant samples, it was carried out the determination of the lead concentration, by the nitric perchloric extractor. At a second stage, the arboreal *Eucalyptus saligna*, identified visually in the contaminated area, selected by its lead concentration in the leaf (300 mg kg^{-1}), together with other species, the *Eucalyptus grandis* and *Corymbia citriodora* grown under controlled situations (greenhouse), using as substrates two soils drawn out from the contaminated area, being one obtained in a district that presented lead lesser concentrations of lead (489 mg kg^{-1}) and another in which a major concentration was found out (2.416 mg kg^{-1}). During the experiment the plants were duly analyzed as to their growth both in height and diameter of stalks. It was also carried out on the dry vegetal matter, the concentration of macro and micronutrientes, besides the lead concentration. The species *C. citriodora* didn't show enough development regarding the other two species. The lead concentration was higher in the roots of the assessed plants. It was singled out as potentially phytoremediation plants of a soil contaminated with the lead *E. grandis* and *E. saligna*.

Words-key: growth, contamination, environmental, heavy metal.

I. INTRODUÇÃO

O crescimento populacional e o desenvolvimento industrial, se não realizados de forma organizada, constituem fatores determinantes da deterioração do meio ambiente, caso, por exemplo, do descarte inadequado dos resíduos sólidos gerados em atividades de mineração e industriais, constituindo-se em fatores de contaminação do solo, do ar e da água, de caráter contínuo e muitas vezes irreversível.

De fato, ecossistemas de áreas próximas a complexos urbanos, indústrias metalúrgicas, mineradoras e rodovias, contêm concentrações elevadas de metais pesados em relação aos mesmos ecossistemas sem estas influências antrópicas. A contaminação do solo, cursos de água e lençol freático são problemas ambientais graves que necessitam de efetiva solução. Dentre as estratégias de remediação, a fitorremediação é uma alternativa promissora, destacando-se a implantação de maciços florestais nestas áreas.

Dentre os metais pesados, o mercúrio, o chumbo e o arsênio podem ser considerados como os principais contaminantes ambientais, fato este visivelmente constatado pelo crescente número de artigos publicados relacionados à contaminação por estes elementos.

Foram identificadas áreas contaminadas por chumbo no Estado de São Paulo e avaliadas plantas com potencial de remediação existentes nas próprias áreas. Destacando-se entre estas plantas avaliadas uma espécie de eucalipto, identificada visualmente como *E. saligna*. No presente trabalho três espécies de eucalipto foram avaliadas sob o ponto de vista do potencial para fitorremediação, utilizando como substrato dois solos coletados na área contaminada, com o objetivo de avaliar o crescimento e acúmulo de chumbo nas raízes e partes aéreas, visando sua utilização para fitorremediação de áreas contaminadas.

II. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Contaminação ambiental

Uma área contaminada pode ser definida como um local ou terreno onde há comprovadamente poluição ou contaminação causada pela introdução de quaisquer substâncias ou resíduos que nela tenham sido depositados, acumulados, armazenados, enterrados ou infiltrados de forma planejada, acidental ou até mesmo natural.

Os poluentes ou contaminantes podem ser transportados por diferentes vias, como o ar, o próprio solo, águas subterrâneas e superficiais, alterando suas características naturais de qualidade e determinando impactos negativos e/ou riscos sobre os bens a proteger, localizados na própria área ou em seus arredores.

A questão da contaminação do solo e das águas subterrâneas tem sido objeto de grande preocupação nas três últimas décadas em países industrializados, principalmente nos Estados Unidos e na Europa. Esse problema ambiental torna-se mais grave para centros urbano-industriais como a Região Metropolitana de São Paulo (CETESB, 2007).

Uma área é considerada contaminada quando, após uma investigação confirmatória, isto é, amostragem e análise química de solos ou águas subterrâneas, são detectados valores de concentração de contaminantes superiores aos valores de intervenção estabelecidos pela CETESB ("Relatório de estabelecimento de valores orientadores para solos e águas subterrâneas no estado de São Paulo"; CETESB; 2007) ou a presença de fase livre do contaminante (gasolina, solvente, etc).

O solo foi considerado por muito tempo um receptor ilimitado de materiais descartáveis, como o lixo doméstico, os efluentes e os resíduos industriais, com base na suposição de que este meio apresenta uma capacidade ilimitada de atenuação das substâncias nocivas presentes, que levaria ao saneamento dos impactos criados. Essa capacidade, como ficou comprovado, é limitada (CETESB, 2007).

Como ocorreu nos países desenvolvidos, os problemas de contaminação do solo no Brasil começaram a aflorar na década de 70, mas se intensificaram nos últimos anos com a descoberta de depósitos, usualmente clandestinos, de resíduos químicos perigosos.

A origem das áreas contaminadas está relacionada ao desconhecimento, em épocas passadas, de procedimentos seguros para o manejo de substâncias perigosas, ao desrespeito a esses procedimentos seguros e à ocorrência de acidentes ou vazamentos durante o desenvolvimento dos processos produtivos, de transporte ou de armazenamento de matérias primas e produtos.

A existência de uma área contaminada pode gerar problemas como danos à saúde humana, comprometimento da qualidade dos recursos hídricos, restrições ao uso do solo e danos ao patrimônio público e privado, com a desvalorização das propriedades, além de danos ao meio ambiente. Em maio de 2002, a CETESB divulgou pela primeira vez a lista de áreas contaminadas no estado de São Paulo, registrando a existência de 255 áreas contaminadas. O registro das áreas contaminadas vem sendo constantemente atualizado e após 6 atualizações (outubro de 2003, novembro de 2004, maio de 2005, novembro de 2005, maio de 2006, novembro de 2006) o número de áreas contaminadas totalizou, em novembro de 2006, 1.822 áreas (CETESB, 2007). Os postos de combustíveis destacam-se na lista de novembro de 2006 com 1.352 registros (74% do total), seguidos das atividades industriais com 279 (15%), das atividades comerciais com 105 (6%), das instalações para destinação de resíduos com 66 (4%) e dos casos de acidentes e fonte de contaminação de origem desconhecida com 20 (1%), (CETESB, 2007).

Na Tabela 1, é apresentada a distribuição das áreas contaminadas no Estado de São Paulo. Para a distribuição das áreas contaminadas foram consideradas as seguintes regiões: São Paulo (inclui as áreas contaminadas da Capital do Estado), RMSP - outros (refere-se às áreas contaminadas dos 38 municípios da Região Metropolitana de São Paulo, excluindo-se a Capital), Litoral (está relacionada às áreas contaminadas dos municípios localizados no Litoral Sul, na Baixada Santista, no Litoral Norte, além dos municípios de Barra do Turvo, Jacupiranga, Pariquera-Açu, Miracatu e

Registro), Vale do Paraíba (inclui os municípios do Vale do Rio Paraíba e da Mantiqueira) e interior (os municípios não relacionados anteriormente).

O desenvolvimento urbano brasileiro concentra-se em regiões metropolitanas, na capital dos estados e nas cidades pólos regionais. Os efeitos desta realidade fazem-se sentir sobre todo aparelhamento urbano relativo a recursos hídricos, ao abastecimento de água, ao transporte e ao tratamento de esgotos cloacal e pluvial.

Tabela 1. Distribuição de áreas contaminadas no Estado de São Paulo, em novembro de 2006, classificada por atividade (CETESB, 2007).

Região	Atividade					Total
	Comercial	Industrial	Resíduos ¹	Combustível ²	Acidentes desconhecidos	
São Paulo	28	56	22	486	2	594
RMSP ³ – outros ⁴	14	76	11	273	4	378
Interior	49	93	22	432	12	608
Litoral	13	31	11	78	2	135
Vale do Paraíba	1	23	0	83	0	107
Total	105	279	66	1.352	20	1.822

¹Deposição ²Postos ³Região metropolitana de São Paulo ⁴Outros: inclui contaminação por acidentes ferroviários, rodoviários, em dutos e atividades de serviço.

O solo atua freqüentemente como um “filtro”, tendo a capacidade de depuração, imobilizando grande parte das impurezas nele depositadas. No entanto, essa capacidade é limitada, podendo ocorrer alteração da qualidade do solo, devido ao efeito cumulativo da deposição de poluentes atmosféricos, à aplicação de defensivos agrícolas e fertilizantes e à disposição de resíduos sólidos industriais, urbanos, materiais tóxicos e radioativos (MOREIRA-NODERMANN, 1987).

Em função das características do solo, a água se infiltra e atravessa os diversos substratos horizontais, classificados de acordo com seu nível de saturação de água (YOSHINAGA, 1993), em zonas saturadas e zonas não saturadas. A água subterrânea propriamente dita encontra-se nas zonas saturadas, onde os poros, fraturas ou espaços vazios da matriz sólida estão completamente preenchidos por água. Assim, como fazem parte do mesmo contexto, o que ocorrer com o solo repercutirá nas águas subterrâneas, podendo resultar em alterações de sua qualidade. Desta forma, a migração dos poluentes através do solo, para as águas superficiais e subterrâneas,

constitui uma ameaça para a qualidade dos recursos hídricos utilizados em abastecimento público, industrial, agrícola, comercial, lazer e serviços.

No Estado de São Paulo estão estabelecidos procedimentos, critérios e padrões para a proteção da qualidade do ar, das águas superficiais, assim como critérios e normas para controle da poluição por resíduos sólidos. O mesmo não ocorre, entretanto, para o solo e para as águas subterrâneas (CETESB, 2007).

De uma forma diferenciada, com relação à questão da poluição do ar e das águas superficiais, para a poluição do solo não existe uma abordagem internacional padronizada, em função de sua natureza complexa e variável, sendo o solo um bem econômico de propriedade privada (CETESB, 2007).

A tendência mundial é o estabelecimento de uma lista orientadora geral de valores de referência de qualidade, com base em análises de amostras de solo e de águas subterrâneas, de valores de alerta, com caráter preventivo e de valores de intervenção, derivados a partir de modelos matemáticos de avaliação de risco, utilizando-se diferentes cenários de uso e ocupação do solo previamente definidos, considerando-se diferentes vias de exposição e quantificando-se as variáveis toxicológicas (DIAS & CASARINI, 1996).

2.2. Metais pesados no ambiente

O crescente descarte de metais pesados no meio ambiente e sua quase inevitável transferência para a cadeia alimentar representam grave problema ambiental, com riscos muitas vezes inavaliáveis.

São designados metais pesados os elementos que apresentam peso específico maior a 6 g.cm^{-3} ou que possuem número atômico maior a 20. Essa classificação, baseada na densidade, acaba englobando grupos de metais, semi-metais e até não metais (selênio). Dentre estes podem ser citados: cádmio, chumbo, níquel, zinco, cobre e manganês (COSTA et al., 2004). Alguns dos elementos denominados metais pesados, em pequenas concentrações, são essenciais ao desenvolvimento de plantas.

Entretanto, concentrações excessivas de metais, essenciais e não-essenciais, resultam em fitotoxicidade.

Um dos aspectos mais importantes que distingue metais pesados de outros elementos tóxicos é que sua toxicidade é grandemente controlada pelas suas propriedades físicas e químicas. Como exemplo, pode-se citar o caso do Cr, que na valência +6 é fracamente adsorvido e relativamente móvel no solo e, extremamente tóxico e carcinogênico para seres humanos. Por outro lado, quando este metal é reduzido para valência +3, torna-se pouco móvel, por ser fortemente adsorvido aos colóides do solo e facilmente formar precipitados insolúveis (COSTA et al., 2004).

Os metais pesados no solo não apenas exercem efeitos negativos no crescimento das plantas, como também afetam os processos bioquímicos que aí ocorrem, com reflexos diretos na fertilidade e na produtividade das culturas (HATTARI, 1996).

Os metais pesados nos solos ocorrem de várias formas. Parte desses integram a estrutura dos minerais primários e secundários do solo, outra parte pode estar na forma precipitada participando da composição de óxidos e hidróxidos. Além disso, podem reagir com a matéria orgânica formando quelatos, ou podem estar na forma adsorvida ao complexo coloidal do solo, estando em equilíbrio com as frações presentes na solução do solo (FERREIRA et al., 2001).

Segundo SINGH & STEINNES (1994), os metais nos solos são derivados tanto do intemperismo, que age sobre o material parental, como de fontes externas naturais (erupção vulcânica) ou antrópicas (indústrias, agricultura). Os processos naturais que contribuem para o aparecimento de metais pesados em águas superficiais e subterrâneas são o intemperismo das rochas e a lixiviação no perfil do solo, enquanto que a contribuição antropogênica está relacionada principalmente com as atividades de mineração (carvão e jazidas minerais), indústrias e geração de efluentes municipais. As fontes antropogênicas contribuem com 11 (caso do Mn) a 96% (caso do Pb) das emissões, sendo responsáveis pela adição de 1,16 milhão de tonelada de Pb por ano nos ecossistemas terrestres e aquáticos.

As principais fontes antropogênicas de metais pesados são fertilizantes, pesticidas, água de irrigação contaminada, combustão de carvão e óleo, emissões gasosas de veículos automotivos, incineração de resíduos urbanos e industriais e, principalmente, mineração, fundição e refinamento (TAVARES e CARVALHO, 1992). As cinzas da queima de carvão e o descarte de produtos industriais são as principais fontes de metais pesados para os solos, enquanto que os efluentes domésticos (especialmente para As, Cr, Cu, Mn e Ni), a queima de carvão para geração de energia (principalmente para As, Hg e Se), a fundição de metais não ferrosos (Cd, Ni, Pb e Se), a fabricação de ferro e aço (Cr, Mo, Sb e Zn), o descarte do lodo de esgoto (As, Mn e Pb) e a deposição atmosférica (Pb e V) são as principais fontes para os sistemas aquáticos.

A toxicidade de metais pesados é atribuída à sua habilidade de se ligar a enzimas, provocando sua inativação ou mesmo aumentando a atividade de algumas, resultando em alterações na sua função catalítica (VAN ASSCHE & CLIJSTERS, 1990).

Há evidências na literatura de que plantas que crescem em solos contaminados por metais pesados não podem evitar a absorção, mas somente restringi-la, acumulando estes metais em seus tecidos (PETERSON, 1971).

O solo tem sido utilizado como meio para descarte ou disposição de materiais considerados poluentes. Essa prática pode ser viável em solos que apresentam características apropriadas, dentre estas, destaca-se a presença de matéria orgânica e de óxidos de ferro, alumínio e manganês, pois estes são capazes de complexar e de reter diversos metais e moléculas orgânicas, impedindo a sua percolação no perfil do solo (COSTA et al., 2004).

Além da concentração, propriamente dita, do metal pesado no solo é muito importante o conhecimento de seu comportamento naquele ambiente, do que resultará a fitodisponibilidade e a possibilidade de sua percolação pelo perfil do solo, atingindo o lençol freático. E este comportamento depende do metal e de um conjunto de propriedades do solo como conteúdo em matéria orgânica, teor dos óxidos de ferro, alumínio e manganês, tipos e concentração dos minerais de argila, da CTC, da relação macro/microporos e da umidade (COSTA et al., 2004).

Dentre as propriedades do solo que afetam a retenção e mobilidade de metais pesados, estão o pH, a CTC, a quantidade de matéria orgânica, a quantidade e o tipo de fração argila (argilas silicatadas e óxidos), e a competição iônica (MATOS, 1995).

MATTIAZZO & GLORIA (1995) observaram que os efeitos prejudiciais da presença de metais, provenientes da destinação de resíduos sólidos, manifestaram-se em solos com baixa capacidade de troca catiônica ($< 5 \text{ mmol}_c/100\text{cm}^3$) e baixos conteúdos de argila, particularmente quando o pH do solo, determinado em água, estava ao redor de 4,0. Estes mesmos autores concluíram que, da mesma forma que em solos de clima temperado, a quantidade máxima permissível de metais a ser adicionada em solos de clima tropical pode ser limitada pelo valor CTC e pH do solo, no momento da adição. No entanto, segundo estes mesmos autores, os parâmetros mais indicados para definir a quantidade máxima de metais a ser aplicada em um solo, estejam eles presentes num resíduo orgânico ou inorgânico, são o conteúdo de argila e de óxidos de ferro e alumínio.

Os metais pesados tendem a se complexar com a matéria orgânica, o que pode diminuir ou aumentar a mobilidade no perfil do solo, dependendo do tipo de complexo ou quelado formado, de tal modo que a distribuição de alguns dos metais pesados no perfil do solo tende a seguir o modelo de distribuição da matéria orgânica, como ocorre com o cobre e o cobalto. A formação de complexos de baixo peso molecular com a fração solúvel da matéria orgânica pode ser uma forma de movimentação em profundidade, que é o que ocorre com os complexos do cobre com a fração ácidos fúlvicos.

MATTIAZZO et al. (1995) concluíram que, para solo arenoso de baixa CTC, a atividade microbiana, determinada pela quantidade de CO_2 liberado, foi significativamente afetada pela presença de metais, que ficaram disponíveis, sendo que este efeito não foi revertido pelo aumento do valor do pH do solo. No solo argiloso, a presença de metais pesados não afetou a atividade microbiana em valores de pH do solo iguais ou acima de 5.

2.3. Chumbo no ambiente

Entre os vários poluentes existentes, o chumbo (Pb) é o maior contaminante de solo (GRATÃO et al., 2005) e o maior problema ambiental diante do mundo moderno (SHEN et al., 2002) sendo, notoriamente, o metal pesado que oferece maior risco de envenenamento aos seres humanos, especialmente às crianças (LASAT, 2002).

A primeira vez que foi noticiada no Jornal da Cidade, [JC, 05/03/02] a contaminação por chumbo no derredor da fábrica de baterias Acumuladores Ajax, na cidade de Bauru, o relato noticioso limitou-se a fornecer alguns dados obtidos junto a CETESB - Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo - e a DIR - Direção Regional de Saúde - que, no dia anterior, haviam interditado o setor de metalurgia da indústria. Só alguns dias depois, e dada a magnitude da contaminação, veio à tona a ação judicial impetrada por uma ONG de proteção ambiental local, pedindo indenizações a várias famílias vizinhas da fábrica.

Desde a antiguidade, o envenenamento por chumbo tem afligido milhões de pessoas em nações ricas e pobres, especialmente trabalhadores expostos ocupacionalmente a este metal e crianças residentes em comunidades carentes. Além de ser encontrado no ar, poeira, água, solo e alimentos, o chumbo pode estar presente em materiais aparentemente "inofensivos", como utensílios de cerâmica pintada, selos metálicos de garrafas de vinho, extratos fitoterápicos, maquiagem facial, brinquedos antigos, mamadeiras de vidro, alimentos enlatados e suplementos de cálcio.

O chumbo pode estar presente, como resultado das atividades antrópicas, no solo, água e ar, existindo assim o risco de entrada na cadeia alimentar. O uso de alguns fertilizantes e calcários contribui com a contaminação do solo por metais pesados. Fertilizantes fosfatados podem conter de 7 a 225 mg kg⁻¹ de Pb, enquanto nos calcários os teores podem variar de 20 a 1250 mg kg⁻¹ (PARMIGIANI & MIDIO, 1995).

O chumbo, como outros elementos catiônicos, é retido primeiramente nas cargas negativas das superfícies dos colóides do solo, formando, posteriormente, ligações mais estáveis. Neste último caso, ele passa a fazer parte das superfícies dos colóides e torna-se pouco disponível para as plantas. Sua liberação para a solução do solo é

governada por princípios de produtos de solubilidade, sendo afetada por mudanças nas condições do meio, tais como: pH, propriedades de superfície dos constituintes do solo e força iônica da solução (PARMIGIANI & MIDIO, 1995).

O Pb presente no solo, apesar de pouco disponível em função da sua baixa hidrossolubilidade, pode ser transferido para os vegetais, sendo que as raízes retêm maiores quantidades do elemento do que caule e folhas. Frutos e sementes, via de regra, apresentam as menores concentrações. Todavia, a absorção do Pb pela planta pode ser incrementada com o aumento da acidez do solo e diminuição da quantidade de húmus (PARMIGIANI & MIDIO, 1995).

A exposição ambiental ao chumbo aumentou bastante após o processo de industrialização e o aumento da mineração. É uma exposição maior que de outros elementos da natureza. Globalmente, calcula-se que cerca de 300 milhões de toneladas de chumbo já foram expostos ao meio ambiente durante os últimos cinco milênios, especialmente nos últimos 500 anos. Após o advento do automobilismo, no início do século XX, aumentou-se bastante a exposição ao chumbo devido ao seu uso junto com a gasolina.

O consumo de chumbo aumentou significativamente nos países em desenvolvimento entre 1979 e 1990. Atualmente, a contaminação de chumbo nas águas, solo e ar continua significativa. Calcula-se que a concentração de chumbo no sangue era até 500 vezes menor nos seres humanos da era pré-industrial.

O chumbo presente na atmosfera, na forma particulada, pode aderir-se a vegetais folhosos cultivados muito próximos a centros urbanos, elevando substancialmente as concentrações do elemento nas plantas (BURGUERA & BURGUERA, 1998).

HAAN (1981) cita o acúmulo de metais pesados em quantidades consideráveis nos tecidos vegetais, inclusive excedendo os níveis de tolerância do organismo humano e animal, sem prejudicar a produção ou causar efeito fitotóxico visível.

FODOR et al. (1998) relatam que um dos possíveis sintomas apresentados por plantas tratadas com Pb é uma clorose em folhas novas, sugerindo que este elemento interfere na síntese de clorofila e reduz o transporte de ferro. Pode ocorrer ainda

decréscimo nas concentrações de K, Ca, Mg e Mn nas raízes de *Fagus sylvatica*, ocasionado pelo acúmulo de Pb e Cd (BRECKLE & KAHLE, 1992 citados por SOARES, 1999).

Estudos recentes em diversos países têm associado à exposição ambiental ao chumbo a efeitos adversos em diferentes sistemas do organismo humano, incluindo alterações nos sistemas neurológico, hematológico, metabólico e cardiovascular (GALVÃO & COREY, 1989). Por isso, o seu uso tende a ser restringido como forma de minimizar os riscos decorrentes do seu acúmulo em solos, água e ar.

Segundo ALLOWAY (1995), a média para o teor total de chumbo presente em diversos solos do mundo está em uma faixa considerada normal de 2-30 mg kg⁻¹ e 30-300 mg kg⁻¹ para uma faixa crítica.

Tendo em vista os efeitos prejudiciais da exposição ao chumbo à saúde humana e as conseqüências socioeconômicas, a agência americana EPA (Environmental Protection Agency) e outras organizações governamentais e não-governamentais estabeleceram limites toleráveis de chumbo no ar (< 1,5 µgm⁻³), em água potável (< 15 µg L⁻¹), em tintas (< 0,06%) e no sangue (<10 µg dL⁻¹).

A maior preocupação em relação ao consumo de alimentos contaminados por metais pesados deve-se ao efeito cumulativo no organismo, provocando intoxicações crônicas por ingestão prolongada, mesmo quando os teores ingeridos são baixos (CASSRET & DOULL'S, 1986). Dependendo do grau de intoxicação por chumbo, pode ocorrer desde vômitos e dores abdominais, até cefaléia, convulsão e tremores, nos casos de intoxicação crônica.

Os efeitos perversos de intoxicação por chumbo se manifestam mais freqüentemente em crianças de famílias de baixo nível econômico e cultural. O metal compromete de forma irreversível o desenvolvimento do sistema nervoso da criança, reduzindo sua atenção, memória e inteligência e tornando-a agressiva. Segundo EGREJA FILHO (1993) o chumbo acumula-se nos rins, fígado, cérebro e, principalmente, nos ossos.

Estudos epidemiológicos relativos aos efeitos tóxicos de chumbo para a saúde humana tem sido realizados visando à população infantil em virtude da sua maior vulnerabilidade quando comparada com os adultos (MIDIO & MARTINS, 2000).

2.4. Fitorremediação

Na busca de alternativas para despoluir áreas poluídas por diversos compostos orgânicos ou inorgânicos, tem-se optado por soluções que englobam: eficiência na descontaminação, simplicidade na execução, tempo demandado pelo processo e menor custo. Nesse contexto, cresce o interesse pela utilização da biorremediação, caracterizada como uma técnica que objetiva descontaminar solo e água por meio da utilização de organismos vivos, como microrganismos e plantas.

Dentro da biorremediação insere-se a fitorremediação, que, segundo ACCIOLY & SIQUEIRA (2000), envolve o emprego de plantas, sua microbiota associada e de amenizantes (corretivos, fertilizantes, matéria orgânica etc.) do solo, além de práticas agrônômicas que, se aplicadas em conjunto, removem, imobilizam ou tornam os contaminantes inofensivos ao ecossistema. A utilização da fitorremediação tem sido estudada e difundida principalmente nos Estados Unidos e na Europa. De acordo com ACCIOLY & SIQUEIRA (2000), as projeções anuais são de que nos Estados Unidos os gastos com fitorremediação, até 2005, seriam de 100-200 milhões de dólares.

Nos últimos 10 anos, surgiram nos EUA e Europa inúmeras companhias que exploram a fitorremediação para fins lucrativos, como a norte americana Phytotech e a alemã BioPlanta, e indústrias multinacionais, como Union Carbide, Monsanto e Rhone-Poulanc, que empregam fitorremediação em seus próprios sítios contaminados (GLASS, 1998).

Quando comparada com técnicas tradicionais como bombeamento e tratamento, ou remoção física da camada contaminada, a fitorremediação tem sido considerada vantajosa, principalmente por sua eficiência na descontaminação e pelo baixo custo (PERKOVICH et al., 1996; CUNNINGHAM et al., 1996).

Pesquisas recentes têm difundido a utilização de plantas na fitorremediação de agrotóxicos (ANDERSON & COATS, 1995; CUNNINGHAM et al., 1996; FERNANDEZ et al., 1999; VOSE et al., 2000; PIRES et al., 2001).

Em geral, é mais difícil trabalhar com contaminantes orgânicos, em razão da diversidade molecular, da complexidade de análise e das constantes transformações a que estão sujeitos. Os metais pesados são mais facilmente quantificados e raramente formam metabólitos intermediários no solo, como ocorre na biodegradação dos contaminantes orgânicos (CUNNINGHAM et al., 1996). Assim, pesquisas com compostos orgânicos contaminantes de solo exigem técnicas especializadas e de custo elevado, envolvendo o uso de elementos marcados e sofisticada instrumentação analítica.

A utilização da fitorremediação é baseada na seletividade, natural ou desenvolvida, que algumas espécies exibem a determinados tipos de compostos ou mecanismos de ação. Esse fato é de ocorrência comum em espécies agrícolas e daninhas, tolerantes a certos herbicidas. A seletividade deve-se ao fato de que os compostos orgânicos podem ser translocados para outros tecidos da planta e subseqüentemente volatilizados; podem ainda sofrer parcial ou completa degradação ou ser transformados em compostos menos tóxicos, especialmente menos fitotóxicos, combinados e/ou ligados a tecidos das plantas (ACCIOLY & SIQUEIRA, 2000; SCRAMIN et al., 2001).

A maioria dos orgânicos parece sofrer algum grau de transformação nas células das plantas antes de serem isolados em vacúolos ou ligarem-se a moléculas insolúveis, como a lignina (SALT et al., 1998).

Os alvos da fitorremediação incluem metais (Pb, Zn, Cu, Ni, Hg, Se), compostos inorgânicos (NO^3 , NH^4 , PO_4^3), elementos químicos radioativos (U, Cs, Sr), hidrocarbonetos derivados de petróleo (atrazine, bentazona, compostos clorados e nitroaromáticos), explosivos (TNT, DNT), solventes clorados (TCE, PCE) e resíduos orgânicos industriais (PCPs, PAHs), entre outros (CUNNINGHAM et al., 1996).

A fitorremediação oferece várias vantagens que devem ser levadas em conta. Grandes áreas podem ser tratadas de diversas maneiras, a baixo custo, com

possibilidades de remediar águas contaminadas, o solo e subsolo e ao mesmo tempo embelezar o ambiente. Entretanto, o tempo para se obter resultados satisfatórios pode ser longo, os riscos como a possibilidade dos vegetais entrarem na cadeia alimentar, devem ser considerados quando se emprega esta tecnologia (CUNNINGHAM et al., 1996). A técnica de fitorremediação pode ser classificada dependendo da técnica a ser empregada, da natureza química ou da propriedade do poluente. Assim, a fitorremediação pode ser classificada em:

◆ **Fitoextração:** envolve a absorção dos contaminantes pelas raízes, as quais são nelas armazenados ou são transportados e acumulados nas partes aéreas. É aplicada principalmente para metais (Cd, Ni, Cu, Zn, Pb) podendo ser usada também para outros elementos inorgânicos (Se) e compostos orgânicos (MCGRATH, 1998). Esta técnica utiliza plantas chamadas hiperacumuladoras, que tem a capacidade de armazenar altas concentrações de metais específicos (0,1% a 1% do peso seco, dependendo do metal). As espécies de *Brassica juncea*, *Aeolanthus biformifolius*, *Alyssum bertolonii* e *Thalaspia caerulescens* são exemplos de plantas acumuladoras de Pb, Cu, Co, Ni e Zn respectivamente (MCGRATH, 1998).

Esta fitorremediação de metais somente é eficiente se o contaminante for depois removido da área, através da colheita da matéria vegetal. Se a maior parte dos metais pesados absorvidos se localizarem na parte aérea das plantas, a colheita poderá ser realizada utilizando os métodos de agricultura tradicionais. Em geral, a colheita das plantas deve ocorrer antes da queda das folhas, ou antes, da sua morte e decomposição, de modo a que os contaminantes não se dispersem ou retornem ao solo.

Depois da colheita, a biomassa deverá ser processada para extração e recolha da maior parte dos metais. Se forem solos contaminados com Ni, Zn, Cu ou Co, o valor do metal extraído pode incentivar a remediação. Alternativamente, o volume ou o peso da biomassa podem ser reduzidos por meio de processos térmicos, físicos, químicos ou microbianos. No caso da queima do material vegetal colhido, por exemplo, a energia produzida representa uma valorização econômica do processo. E as cinzas podem ser

tratadas como um minério, do qual pode ainda ser extraída a contaminação metálica (especialmente, se as cinzas estiverem enriquecidas em apenas um ou dois metais).

◆ **Fitoestabilização:** os contaminantes orgânicos ou inorgânicos são incorporados à lignina da parede vegetal ou ao húmus do solo, precipitando os metais sob formas insolúveis, sendo posteriormente aprisionados na matriz (CUNNINGHAM et al., 1996). Objetiva evitar a mobilização do contaminante e limitar sua difusão no solo, através de uma cobertura vegetal (CUNNINGHAM et al., 1996).

◆ **Fitoestimulação:** as raízes em crescimento (extremidades e ramificações laterais) promovem a proliferação de microrganismos degradativos na rizosfera, que usam os metabólitos exudados da planta como fonte de carbono e energia. A aplicação da fitoestimulação limita-se aos contaminantes orgânicos (BROOKS, 1998). A comunidade microbiana na rizosfera é heterogênea devido à distribuição espacial variável dos nutrientes nesta zona, porém as *Pseudomonas* são os organismos predominantes associados as raízes (BROOKS, 1998).

◆ **Fitodegradação:** os contaminantes orgânicos são degradados ou mineralizados dentro das células vegetais por enzimas específicas. Entre essas enzimas destacam-se as nitroredutases (degradação de nitroaromáticos), desalogenases (degradação de solventes clorados e pesticidas) e lacases (degradação de anilinas) (CUNNINGHAM et al., 1996). *Populus sp.* e *Myriophyllum spicatum* são exemplos de plantas que possuem tais sistemas enzimáticos (CUNNINGHAM et al., 1996).

◆ **Rizofiltração:** é a técnica que emprega plantas terrestres para absorver, concentrar e/ou precipitar os contaminantes de um meio aquoso, particularmente metais pesados ou elementos radioativos, através do seu sistema radicular (GLASS, 1998). As plantas são mantidas num sistema hidropônico, através do qual os fluentes passam e são absorvidos pelas raízes, que concentram os contaminantes. Plantas com grande biomassa radicular (hiperacumuladores aquáticos) são as mais satisfatórias, como *Helianthus annuus* e *Brassica juncea*, as quais provaram ter potencial para uso nesta técnica (GLASS, 1998).

Em muitos casos a fitorremediação é considerada como um passo de polimento final, para encerramento de locais após terem sido aplicadas outras tecnologias de

remediação. A combinação de diferentes técnicas de remediação deverá ser um ponto chave na investigação futura, de forma a otimizar as eficiências dos diferentes processos. Efetivamente, nenhuma tecnologia é, por si só, universalmente aplicável com o mesmo sucesso a todos os tipos de contaminantes e em todos os locais. Sobretudo nos casos em que a poluição é provocada por mais de um tipo de contaminante, será necessário utilizar mais de uma técnica de remediação para resolver eficazmente os problemas de contaminação.

2.5. Interação Planta-Chumbo

A concentração foliar de metais pesados tem se mostrado um parâmetro adequado para a avaliação da toxicidade desses elementos (BRECKLE & KAHLE, 1992), desde que relacionada com a produção de matéria seca ou crescimento.

Os níveis críticos de toxidez em solução nutritiva e no tecido vegetal têm sido empregados em alguns estudos com espécies herbáceas acumuladoras de metais (SHAW, 1989; POLLARD & BAKER, 1997), espécies arbóreas de clima temperadas (BAKER, 1981), e mudas arbóreas nativas dos trópicos (MARQUES, 1996).

SOARES (1999) avaliou a toxidez de Zn, Cu, Cd e Pb no crescimento e nutrição mineral de *Eucalyptus maculata* e *Eucalyptus urophylla* em solução nutritiva contendo doses crescentes destes metais, por cinco semanas, e coletadas quando se verificou a ocorrência de sintomas de toxidez. O autor observou que a fitotoxidez destes metais para as espécies estudadas de eucalipto decresce na seguinte ordem: Cd > Cu > Pb > Zn, e o potencial de acumulação e o fator de transferência de metais pesados da solução para os tecidos mostraram comportamentos distintos das espécies em relação a cada metal.

Entretanto para interesse no uso de espécies de eucalipto na fitorremediação de solos contaminados por metais pesados, no caso do presente estudo com Pb, o ideal seria identificar espécies altamente tolerantes à toxidez do Pb, e que transloquem a maior quantidade deste metal absorvido pelo sistema radicular para a parte aérea das plantas, facilitando a sua remoção. Com o decorrer do tempo, o solo contaminado

diminui a concentração do metal pesado, assim evitando ao máximo a lixiviação deste pelo solo, vindo a atingir lençóis freáticos e rios.

Em um estudo sobre a influência de doses de chumbo em mudas de ipê-roxo (*Tabebuia impetiginosa* (Mart.) Standl.), realizado por PAIVA et al. (2003), houve redução de macro e micronutrientes e o acúmulo de Pb nas mudas, preferencialmente nas raízes.

ROMEIRO et al. (2007) avaliaram o desenvolvimento de, feijão-de-porco (*Canavalia ensiformes* L.), em cultivo hidropônico, na presença de chumbo, e seu potencial fitoextrator para esse metal pesado, relatando que a espécie é tolerante e hiperacumuladora de Pb, principalmente nas raízes.

Para o eucalipto não são encontrados na literatura trabalhos relacionados à fitorremediação de metais pesados em solo contaminado. O emprego de espécies de eucalipto em áreas contaminadas com metais em áreas contaminadas é uma das alternativas de grande potencial para a fitorremediação devido às suas características de rápido crescimento, sistema radicular bastante desenvolvido e facilidade de aclimatação. Com isso, as espécies de eucalipto podem amenizar os danos ambientais que o excesso de metais pesados causa proporcionar algum retorno econômico e melhorias da área (SHAW, 1989).

III. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Escolha da área contaminada e avaliação inicial

3.1.1. Identificação de áreas contaminadas por chumbo

A identificação de solos contaminados por chumbo no Estado de São Paulo foi realizada através de pesquisa de artigos em jornais e revistas publicados nos últimos dez anos e artigos divulgados pela internet.

Dentre as áreas contaminadas por chumbo, identificadas pela revisão, foi escolhida a do Centro de Reciclagem de Baterias, atualmente desativada, localizado perto da cidade de Bauru, e pela proximidade com a Universidade.

3.1.2. Avaliação inicial da área contaminada escolhida

A área pertencente ao Centro de Reciclagem de Baterias foi dividida em 5 subunidades, sendo os pontos de amostragem de solo e plantas identificados através de um receptor de GPS (Figura 1), com a finalidade de retornar ao ponto.



Figura 1. Divisão da área pertencente ao Centro de Reciclagem de Baterias. **Subárea 1:** (S 22° 19' 36,9"; W 49° 00' 29,5"), **Subárea 2:** (S 22° 19' 45,3"; W 49° 00' 34,1"), **Subárea 3:** (S 22° 19' 43,5"; W 49° 00' 34,1"), **Subárea 4:** (S 22° 19' 43,8"; W 49° 00' 37,4"), **Subárea 5:** (S 22° 19' 43,5"; W 49° 00' 34,1").

Percorreu o terreno da área do Centro de Reciclagem de Baterias, subdividindo em subáreas visualmente conforme a vegetação existente. Iniciando a demarcação das subáreas no ponto inicial, denominado subárea 1, nas coordenadas S 22° 19' 36,9" e W 49° 00' 29,5"; deste, seguiu para o ponto 2, denominado subárea 2 de coordenadas S 22° 19' 45,3" e W 49° 00' 34,1"; deste, seguiu para o ponto 3, denominado subárea 3 de coordenadas S 22° 19' 43,5" e W 49° 00' 34,1"; deste, seguiu para o ponto 4, denominado subárea 4 de coordenadas S 22° 19' 43,8" e W 49° 00' 37,4"; deste, segue para o ponto 5, denominado subárea 5 de coordenadas S 22° 19' 43,5" e W 49° 00' 34,1".

A subárea 1 compreende a área industrial propriamente dita e onde se encontravam instalados os fornos utilizados na reciclagem do chumbo de baterias usadas, bem como o local de acúmulo de resíduos desta reciclagem. Neste local não foram obtidas amostras.

As subáreas 2, 3, 4 e 5 são subdivisões de uma área vizinha ao parque industrial (subárea 1), também pertencente ao Centro de Reciclagem, constituída na sua grande

maioria por mata nativa. Nas Figuras 2 a 6 é possível observar a vegetação característica das subáreas de amostragem estabelecidas.



Figura 2. Área industrial (subárea 1) com referências nas coordenadas S 22° 19' 36,9"; W 49° 00' 29,5".



Figura 3. Área localizada ao lado da mata nativa (subárea 2), com referência nas coordenadas S 22° 19' 45,3"; W 49° 00' 34,1".



Figura 4. Área localizada abaixo da subárea 2 (subárea 3), com referência nas coordenadas S 22° 19' 43,5"; W 49° 00' 34,1".



Figura 5. Vista geral da mata nativa (subárea 4), com referência nas coordenadas S 22° 19' 43,8"; W 49° 00' 37,4".



Figura 6. Vista geral da área vizinha aos fornos utilizados na reciclagem do chumbo (subárea 5) com referência nas coordenadas S 22° 19' 43,5"; W 49° 00' 34,1".

3.1.3. Coleta de solo e preparo das amostras

As amostras de solo foram obtidas na profundidade 0-20 cm com auxílio de enxadão. De cada subárea, com exceção da subárea 1, foram coletadas 15 amostras, que foram acondicionadas em balde de plástico para 20 litros de capacidade. A amostra foi destorroada, homogeneizada, retirada uma quantidade, cerca de 300 g, e acondicionada em saco plástico devidamente identificado. Posteriormente, as amostras foram secas ao ar, destorroadas, passadas em peneira com 2 mm de abertura de malha, acondicionadas em sacos de plástico (± 200 g) e armazenadas em câmara seca.

3.1.4. Amostragem de planta e preparo das amostras

De cada subárea, com exceção da subárea 1, foram obtidas amostras de plantas, que foram escolhidas em função da sua produção de massa, principalmente pela exuberância foliar, avaliada visualmente. O material vegetal coletado, em sua maioria folhas, e em alguns casos ramos, foi acondicionado, separadamente, em sacos de papel contendo a identificação da subunidade de coleta. No Laboratório de Biogeoquímica, as amostras foram lavadas em solução de detergente diluída, água de torneira, água destilada e água deionizada. Depois de lavadas, procedeu-se a secagem em estufa com circulação forçada de ar, mantida a 60 - 70 °C. Ao atingirem peso constante, as amostras foram moídas em moinho tipo Willey, dotado de peneira de 40 mesh e armazenadas em sacos de papel.

3.1.5. Chumbo nas amostras de planta

A análise de chumbo nas amostras de planta foi feita segundo método descrito por SILVA (1999), o qual encontra-se descrito a seguir.

Reagentes

- **solução nítrico-perclórica (para digestão de amostras):** em béquer de 1000 mL foram colocados 600 mL de ácido nítrico concentrado e 300 mL de ácido perclórico, homogeneizado e transferido para frasco de vidro com tampa.

Marcha analítica

- 1.) Para um tubo de digestão foi transferido 1g de amostra, ao qual foram adicionados 12 mL de solução nítrico-perclórica (3:1);
- 2.) Após repouso de 12 horas, os tubos foram colocados em bloco digestor e submetidos a aquecimento, gradativamente, até atingir 200 °C;
- 3.) Quando a amostra se apresentou límpida, o bloco foi desligado e aguardou-se o material atingir a temperatura ambiente;
- 4.) O material digerido foi transferido para balão volumétrico de 50 mL, com água deionizada;
- 5.) A leitura de concentração foi feita em espectrofotômetro de absorção atômica.

3.1.6. Chumbo nas amostras de solo

O chumbo nas amostras de solo foi extraído segundo os métodos 3050B (USEPA, 1995), Mehlich-1 (MEHLICH, 1984) e Mehlich-3 (EMBRAPA, 1979), os quais estão descritos a seguir.

a) USEPA 3050B

Reagentes

- ácido nítrico (1:1)
- ácido nítrico concentrado
- peróxido de hidrogênio 30 mol L⁻¹
- ácido clorídrico concentrado

Marcha Analítica

- 1.)** Pesou 2 g de amostra em um béquer de 100 mL;
- 2.)** Adicionou 10 mL de ácido nítrico (1:1), cobrindo o frasco com um vidro de relógio;
- 3.)** Os recipientes foram submetidos a aquecimento em chapa a 90 - 100°C por 10 - 15 minutos;
- 4.)** Foram retirados da chapa, aguardou-se o material atingir temperatura ambiente;
- 5.)** Adicionou 5 mL de ácido nítrico concentrado e colocados novamente na chapa, aquecendo por 30 minutos a 90 - 100°C;
- 6.)** Deixou a amostra evaporar até o volume atingiu ± 5 mL;
- 7.)** Retirou os recipientes da chapa, aguardando-os atingir temperatura ambiente e adicionou 2 mL de água deionizada e 3 mL de peróxido de hidrogênio 30 mol L⁻¹;
- 8.)** Cobriu o frasco com vidro de relógio e aqueceu a 90 - 100°C;
- 10)** Adicionou peróxido de hidrogênio 30 mol L⁻¹ de 1 em 1 mL até que a efervescência fosse mínima. Tomando-se o cuidado para não adicionar mais que 10 mL de água oxigenada;
- 11.)** Continuou o aquecimento até que o volume da amostra se reduzisse a ± 5 mL ou por 2 horas;
- 12.)** Adicionou 10 mL de ácido clorídrico concentrado;
- 13.)** Cobriu o frasco com vidro de relógio e aqueceu a 90 - 100°C por 15 minutos.
- 14.)** Retirou os frascos da chapa, aguardando atingirem temperatura ambiente, o material digerido foi transferido para balão volumétrico de 50 mL, com água deionizada, depois filtrado para frascos de plástico com tampa;
- 15.)** A leitura de concentração foi feita em espectrofotômetro de absorção atômica.

b) Mehlich 1

Reagentes

- **Ácido clorídrico 5 mol L⁻¹**: tomaram 414,1 mL de HCl concentrado e diluíram a 1000 mL com água deionizada.

- **Ácido sulfúrico 5 mol L⁻¹**: tomaram 138,8 mL de ácido sulfúrico concentrado e diluíram a 1000 mL com água deionizada.

- **Ácido sulfúrico 0,25 mol L⁻¹**: tomaram 50 mL de ácido sulfúrico 5 mol L⁻¹ e diluíram a 1000 mL com água deionizada.

- **Ácido sulfúrico 0,0125 mol L⁻¹**: tomar 50 mL de ácido sulfúrico 0,0125 mol L⁻¹ e diluíram a 1000 mL com água deionizada;

- **Solução extratora (HCl 0,05 mol L⁻¹ em H₂SO₄ 0,0125 mol L⁻¹)**: tomaram 10 mL de ácido clorídrico 5 mol L⁻¹ e completaram o volume a 100 mL com solução de ácido sulfúrico a 0,0125 mol L⁻¹.

Marcha Analítica

- 1.) Em erlenmeyer de 250 mL colocou 5 g de TFSA e adicionou 25 mL da solução extratora, tampando o frasco com rolha de plástico;
- 2.) Agitou por 15 minutos, em 180 oscilações por minuto;
- 3.) Filtrou o material em papel de filtro de média porosidade;
- 4.) Filtrar em papel de filtro de porosidade média.
- 5.) A leitura de concentração foi feita em espectrofotômetro de absorção atômica.

c) Mehlich 3

Reagentes

- **Solução estoque**: em béquer de 1000 mL, adicionaram-se \pm 500 mL de água deionizada e 138,90 g de fluoreto de amônio (NH₄F) e agitou-se. Em seguida, adicionaram-se 73,05 g de EDTA, transferiu-se para balão volumétrico de 1000 mL, e completou-se o volume com água deionizada.

- **Solução extratora:** em balão de 5 L, adicionaram-se 4 L de água deionizada, 100 g de nitrato de amônio (NH_4NO_3), realizando agitações manuais até sua dissolução. Adicionaram-se 20 mL da solução estoque e agitou-se. Adicionaram-se 57,5 mL de ácido acético glacial (CH_3COOH 99%), 4,1 mL de ácido nítrico (HNO_3 68 – 70%), agitou-se e completou-se o volume com água deionizada. O pH da solução foi ajustada para $2,5 \pm 0,1$.

Marcha Analítica

- 1.) Em um frasco de plástico de 100 mL, com tampa, colocou 2,5 g de TFSA, adicionando 25 mL da solução extratora e agitou-se por 5 minutos.
- 2.) Filtrar em papel de filtro de média porosidade.
- 3.) A leitura de concentração foi feita em espectrofotômetro de absorção atômica.

3.2. Instalação e condução do experimento em casa de vegetação

3.2.1. Local do experimento

O experimento foi instalado em casa de vegetação refrigerada, com a temperatura mantida entre 25-30°C, pertencente ao Laboratório de Biogeoquímica do Departamento de Tecnologia, na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Unesp, Campus de Jaboticabal, SP.

3.2.2. Solo

O solo utilizado no experimento, um Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico, foi coletado dentro da área contaminada por chumbo, situada em um Centro de Reciclagem de Baterias, atualmente desativado, na cidade de Bauru-SP. Aproximadamente 400 kg de solo foram coletados na camada 0-20cm em duas

subáreas, sendo uma delas a que apresentou menor concentração de chumbo (subárea 2) e a outra, a que apresentou maior concentração (subárea 5).

Do solo coletado de cada subárea, após homogeneização, foi retirada uma nova amostra para a determinação do teor de chumbo, pois estes solos, ao contrário da amostragem inicial da área contaminada, foram coletados em um único local de cada subárea.

3.2.2.1. Análise de fertilidade

Na Tabela 2, encontram-se os resultados da análise de fertilidade do solo realizado nas amostras de terra coletadas nas quatro subáreas do antigo Centro de Reciclagem de Baterias da empresa AJAX. As determinações foram realizadas no Laboratório de Análise de Solo e Planta, do Departamento de Solos e Adubos, da FCAV/UNESP – Campus de Jaboticabal.

Tabela 2. Análise de fertilidade do solo (0-20cm) das amostras coletadas nas quatro subáreas do Centro de Reciclagem de Baterias.

Subáreas	pH ¹	M. O. ²	P ³	K ⁴	Ca ⁴	Mg ⁴	H+Al ⁴	SB ⁴	T ⁴	V ⁵
02	4,5	8	2	0,8	9	2	28	11,8	39,8	30
03	4,0	19	6	0,7	3	2	47	5,7	52,7	11
04	4,0	24	6	0,7	4	2	52	6,7	58,7	11
05	4,0	6	4	0,8	4	1	25	5,8	30,8	19

¹ em CaCl₂ ² g dm⁻³ ³ resina, mg dm⁻³ ⁴ mmol_c dm⁻³ ⁵ %

3.2.2.2. Teor de chumbo nas amostras de planta

Na tabela 3, encontram-se expostos os dados para concentração de chumbo nas amostras de planta, em mg.kg⁻¹ na matéria seca, coletadas no Centro de Reciclagem de Baterias, atualmente desativado, classificadas por subáreas.

Tabela 3. Teor de chumbo encontrado nas plantas amostradas do Centro de Reciclagem de baterias.

Subárea	Identificação da Planta	Chumbo
		(mg.kg ⁻¹ MS 65°C)
2	Panicum	74,99
	Cynodon	45,62
	Braquiária	216,47
3	Cipó de São João	18,98
	Cynodon	61,55
4	Bromélia	50,90
	Não Identificada	72,77
	Não Identificada	3,74
	Não Identificada	90,50
	Não Identificada	59,70
	Não Identificada	10,68
	Não Identificada	4,66
5	Eucalipto	300,41
	Mamona	125,32
	Samambaia de muro	510,10
	Samambaia	326,68

À primeira vista destacam-se as plantas Braquiária, na Subárea 2, Eucalipto e as Samambaias, na Subárea 5, com as maiores concentrações de Chumbo na parte aérea, amostradas no antigo Centro de Reciclagem de baterias. Visualmente o Eucalipto encontrado na área foi identificado como sendo da espécie *Eucalyptus saligna*. Devido ao grande interesse econômico na exploração do Eucalipto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o potencial desta espécie arbórea na fitorremediação de solos com chumbo.

3.2.2.3. Teor de chumbo nas amostras de solo

Nas Tabelas 4, encontram-se expostos os resultados para concentração de chumbo nas amostras de terra coletadas no antigo Centro de Reciclagem de Baterias da empresa AJAX, expressos em mg.kg⁻¹ TFSA, analisadas segundo métodos USEPA 3050B, Mehlich 1 e Mehlich 3.

Tabela 4. Teor de chumbo nas amostras de terra coletadas do Centro de Reciclagem de Baterias, analisadas segundo o método USEPA 3050B, extrator Mehlich 1 e Mehlich 3, expressos em mg.kg^{-1} TFSA.

Subárea	Método USEPA 3050B	Extrator Mehlich 1	Extrator Mehlich 3
		mg.kg^{-1}	
2	489,24	41,19	194,60
3	617,08	66,03	224,13
4	891,66	68,47	288,55
5	2.416,68	37,55	911,34

Mesmo as subunidades sendo próximas geograficamente, destacam-se claramente as diferentes concentrações de chumbo em cada amostra de solo.

Houve grande diferença entre os extratores utilizados na caracterização dos teores de chumbo no solo. Pode-se observar que o extrator Mehlich 1 não apresentou uma relação lógica com os valores obtidos pelo método USEPA 3050B (1995). O extrator Mehlich 3 aparentemente apresentou uma relação direta com a concentração de chumbo no solo determinado pelo método USEPA 3050B.

Segundo ABREU et al. (1995), os métodos de Mehlich 1, Mehlich 3 e DTPA apresentaram baixa eficiência para avaliar os seguintes elementos Pb, Cd, Cr e Ni.

3.2.3. Vasos

Foram utilizados vasos de plástico preto com capacidade para 10 L, com furo no fundo para fins de drenagem. Ao fundo de cada vaso foi colocada uma folha de papel de filtro, com a finalidade de evitar a perda de solo pelos orifícios. Os vasos foram preenchidos com 9 kg de terra seca ao ar, destorroada, passada em peneira de 4 mm de abertura de malha.

3.2.4. Delineamento experimental e tratamentos

O experimento foi instalado em delineamento experimental inteiramente casualizado, e esquema de análise fatorial 3×2 , com 4 repetições. O fator A foi constituído por 3 espécies de eucalipto (*Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna* e

Corymbia citriodora). O fator B de duas concentrações de chumbo no solo, encontradas na área contaminada, a de menor, referente ao solo da subárea 2, e a de maior concentração, da subárea 5.

3.2.5. Calagem e adubação

Com base na análise de fertilidade realizou-se a calagem segundo a recomendação de RAIJ et al. (1996). O cálculo da calagem foi realizado para elevar o índice de saturação por bases para 50%. Utilizou-se cerca de 0,73 g de calcário calcítico (PRNT=131) por kg de solo, o qual foi incorporado na massa total de solo.

Procedeu-se então a irrigação dos vasos de modo a elevar a umidade a 70% da capacidade de retenção de água, permanecendo em incubação por 30 dias.

Após o período de incubação, realizou-se o transplântio de uma muda de eucalipto por vaso. Os vasos foram irrigados diariamente com água destilada, de modo a manter a umidade do solo próximo a 70% da capacidade de retenção.

A adubação do solo foi realizada segundo MELO et al. (1998), e esta encontra-se descrita a seguir.

Adubação nitrogenada

Pesou 22,00 g de uréia p.a. em um béquer de 500 mL. Adicionou cerca de 250 mL de água deionizada e dissolveu. Transferiu para balão volumétrico de 1000 mL e completou o volume com água destilada.

Foram aplicados 20 mL da solução para cada kg de solo dez dias após o transplântio e, da mesma forma, aos 30 e 60 dias após o transplântio.

Adubação com potássio

Pesou 67,33 g de cloreto de potássio p.a. em béquer de 500 mL. Adicionou cerca de 400 mL de água destilada e dissolveu. Transferiu para balão volumétrico de 1000 mL e completou o volume com água destilada.

Foram aplicados 6 mL da solução para cada kg de solo, dez dias após o transplântio, e 12 mL da mesma solução para cada kg de solo, 30 dias após o transplântio.

Adubação com micronutrientes

Pesou 0,96 g de ácido bórico (H_3BO_3) p.a.; 1,97 g de sulfato de cobre ($CuSO_4 \cdot 5H_2O$) p.a.; 3,08 g de sulfato de manganês ($MnSO_4 \cdot 4 H_2O$) p.a.; 0,09 g de mobilidato de sódio ($Na_2MoO_4 \cdot 2 H_2O$) p.a. e 7,33 g de sulfato de zinco ($ZnSO_4 \cdot 7 H_2O$) p.a.. Colocou em béquer de 1000 mL e adicionou cerca de 500 mL de água destilada. Dissolveu, transferiu para balão volumétrico de 1000 mL e completou o volume com água deionizada.

Foram aplicados 6 mL da solução para cada kg de solo, dez dias após o transplântio.

Adubação fosfatada

Foram utilizados 2 g de superfosfato triplo para cada kg de solo, aplicados no momento da realização da calagem.

3.2.6. Mudanças de eucalipto

No experimento foram utilizadas mudas de eucalipto proveniente de viveiro comercial. As mudas foram selecionadas quanto a sua uniformidade. No caso das espécies *Eucalyptus grandis* e *E. saligna*, a altura das mudas era em torno de 20 cm, enquanto o *Corymbia citriodora*, por volta de 15 cm.

3.2.7. Avaliação da altura da planta e diâmetro do caule

Durante o período experimental, em intervalos de 30 dias, foi realizada a avaliação da altura da planta, do nível do solo até a última folha, utilizando-se de régua milimetrada, e do diâmetro do caule, a 5 cm de altura do nível do solo, utilizando-se de paquímetro digital.

3.3. Avaliações realizadas ao final do experimento

3.3.1. Avaliação da produção de matéria seca e amostragem da parte aérea

A avaliação da produção de matéria seca da parte aérea foi realizada ao final do experimento, quando as plantas estavam com 285 dias pós-transplântio. Procedeu-se a separação da parte aérea em duas frações, folhas e caule (caule + ramos). As plantas foram inicialmente desfolhadas (Figura 7), procedeu-se a desrama (Figura 8) e por fim o corte do caule rente ao solo (Figura 9). Para facilitar o processo de manuseio e acondicionamento repicou-se o material em pedaços com cerca de 20 cm.

As amostras, folhas e caule (caule + ramos), foram lavadas separadamente em solução de detergente diluída, água de torneira, água destilada e água deionizada (Figura 10). Depois de lavadas, as amostras foram acondicionadas em sacos de papel, procedendo-se a secagem em estufa com circulação forçada de ar, mantida a 60 – 70°C. Ao atingirem peso constante, as amostras foram pesadas e moídas em moinho tipo Willey, dotado de peneira de 40 mesh, e armazenadas em sacos de papel.



Figura 7. Realização da desfolha manual da planta de eucalipto aos 285 dias após o transplântio.



Figura 8. Realização da desrama, com auxílio de tesoura de poda da planta de eucalipto aos 285 dias após o transplântio.



Figura 9. Realização do corte do caule, rente ao solo, da planta de eucalipto aos 285 dias após o transplatio.



Figura 10. Lavagem da amostra de parte aérea, massa foliar, obtida 285 dias após o transplatio.

3.3.2. Amostragem de raízes e avaliação da produção de massa seca

A avaliação da produção de matéria seca de raiz foi efetuada aos 286 dias do transplântio, quando o solo foi retirado dos vasos. As amostras foram lavadas em solução de HCl 1 mol L⁻¹, água de torneira, água destilada e água deionizada, visando remover partículas de solo aderidas. Depois de lavadas, procedeu-se a secagem em estufa com circulação forçada de ar, mantida a 60-70 °C. Ao atingirem peso constante, foram pesadas e moídas em moinho tipo Willey, dotado de peneira de 40 mesh, e armazenadas em sacos de papel.

3.3.3. Obtenção das amostras de terra

Aos 286 dias do transplântio, após a separação das raízes, procedeu a amostragem de terra. As amostras foram secas ao ar e a sombra, peneiradas em peneira com abertura de malha de 2mm, acondicionadas em potes de plástico e armazenadas em câmara seca.

3.4. Avaliações das amostras vegetais

3.4.1. Nitrogênio

O teor de N-Kjeldahl nas amostras de planta foi determinado no extrato sulfúrico pelo método de microKjeldahl, conforme descrito em SARRUGE & HAAG (1974), a qual se encontra descrita abaixo.

Reagentes

- **mistura digestora:** adicionou em um béquer de 1000 mL, 18,86 g de sulfato de sódio (Na₂SO₄), 8 g de sulfato de cobre (CuSO₄), 2,31 g de dióxido de selênio (SeO₂·10H₂O) e acrescentou a esta solução 350 mL de água deionizada e 400 mL de

ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4), a adição do ácido sulfúrico foi feita em banho de gelo.

Marcha analítica

- 1.)** Em um tubo de digestão colocou 0,1 g de amostra de planta e adicionou 7 mL de mistura digestora;
- 2.)** Procedeu-se a digestão em bloco digestor;
- 3.)** Transferiu para câmara de destilação do microdestilador o material digerido;
- 4.)** Em bquer de 50 mL, colocou-se 10 mL de solução de ácido bórico, contendo indicadores vermelho de metila e verde de bromocresol. Colocou o bquer na saída do condensador, com o cuidado de que a mesma ficasse mergulhada na solução de ácido bórico;
- 5.)** Adicionou à câmara de destilação 10 mL da solução de NaOH 15 mol L^{-1} , para promover a neutralização do excesso de ácido sulfúrico e tornar o meio alcalino, para que o amônio se transforme em amônia;
- 6.)** Procedeu-se a destilação até que o volume no bquer atingisse a quantidade mínima de 30 mL;
- 7.)** Atingindo o volume necessário, o bquer foi removido da extremidade do condensador, lavando-se a extremidade do condensador com água deionizada, que foi recebida no bquer contendo o destilado;
- 8.)** O bquer contendo o destilado de coloração verde foi titulado com uma solução de H_2SO_4 $0,02 \text{ mol L}^{-1}$ padronizada até a obtenção de uma coloração rosa.

3.4.2. Teores de Fósforo, Potássio, Cálcio, Magnésio e Enxofre

Teor de Fósforo

O fósforo foi determinado no extrato obtido segundo metodologia da água régia proposta por ABREU et al. (2001), pelo método colorimétrico do vanadato-molibdato, segundo MALAVOLTA et al. (1998), descrito a seguir.

Reagentes

- **solução aquosa de molibdato de amônio a 50 g L⁻¹ [(NH₄)₆Mo₇O₂₄· 4H₂O]:** em um béquer de 1000 mL e adicionaram mais ou menos 400 mL H₂O deionizada. Adicionaram 25 g de molibdato de amônio e aqueceram sob agitação até total dissolução. Deixaram esfriar e transferiram para balão volumétrico de 500 mL. Completar o volume com H₂O deionizada e armazenar em frasco âmbar.

- **solução de metavanato de amônio a 2,5 g L⁻¹ (NH₄NO₃):** em um béquer de 1000 mL e adicionaram mais ou menos 300 mL de H₂O deionizada. Adicionaram 1,25 g de metavanato de amônio e aqueceram sob agitação até total dissolução. Adicionaram 175 mL de HNO₃ concentrado e esperar esfriar. Transferiram para balão volumétrico de 500 mL e completaram o volume com H₂O deionizada.

- **reativo de cor:** misturaram, no momento da análise, partes iguais das soluções de molibdato e metavanato de amônio. Após misturado, o reagente não pôde ser armazenado.

Marcha analítica

- 1.) Pipetou 2 mL da amostra em tubos de ensaio;
- 2.) Adicionou 3 mL de água deionizada e 2 mL do reativo de cor;
- 3.) Agitou bem;
- 4.) Deixou em repouso por 5 minutos;

5.) Procedeu à leitura em absorvância em comprimento de onda de 420 nm.

Teores de Potássio, Cálcio e Magnésio

Os teores de K, Ca e Mg foram determinados no extrato obtido pela metodologia da água régia, proposta por ABREU et al. (2001), por espectrofotometria de absorção atômica, exceto o de potássio, que foi determinado por fotometria de chama.

Teor de Enxofre

O teor de enxofre foi determinado pelo método turbidimétrico proposto por VITTI (1998).

Reagentes

- ácido clorídrico a 6 mol L⁻¹
- cristais de cloreto de bário (BaCl₂.2H₂O)

Marcha analítica

- 1.) Em erlenmeyer de 125 mL, adicionou 3 mL de extrato obtido pelo método USEPA 3050B (1995), completou o volume a 10 mL com água deionizada;
- 2.) Em seguida, adicionou 1 mL da solução de HCl 6,0 mol L⁻¹;
- 3.) Adicionou cerca de 500 mg de cristais de BaCl₂.2H₂O e esperou cerca de 1 minuto sem agitar;
- 4.) Agitou durante 20 segundos até a dissolução dos cristais;
- 5.) Efetuou a leitura das amostras, no tempo máximo de 8 minutos, em expectrofotômetro a 420 nm, zerando a absorvância com água.

3.4.3. Micronutrientes

a) Cobre, Ferro, Manganês e Zinco

Os teores de Cu, Fe, Mn e Zn foram extraídos por meio do método da água régia proposto por ABREU et al. (2001) e a leitura de concentração foi feita em espectrofotômetro de absorção atômica, em chama de ar-acetileno.

b) Molibdênio

O teor de molibdênio foi determinado por colorimetria, conforme descrito por TEDESCO et al. (1995).

Marcha analítica

- 1.)** Pesou 1,0 g de amostra e colocou em cadinho de porcelana de 50 mL;
- 2.)** Queimou na mufla a 500°C por 2 horas;
- 3.)** Retirou da mufla e aguardou atingir temperatura ambiente;
- 4.)** Adicionou 3 gotas de água deionizada;
- 5.)** Adicionou 5 mL de HCl 2 mol L⁻¹ e aqueceu em chapa aquecedora até secar;
- 6.)** Adicionou 10 mL de HCl 0,125 mol L⁻¹, agitou com bastonete de vidro e deixou decantar por 3 horas;
- 7.)** Pipetou 3 mL do sobrenadante para copo de plástico de 50 mL;
- 8.)** Adicionou 1 mL de NH₄F 0,25%, 1 mL de H₂O₂ 0,02% e 1 mL de KI 0,5%;
- 9.)** Agitou, aguardou exatamente 10 minutos e ler a absorbância em 405 nm.

c) Boro

O teor de B foi determinado por colorimetria com azometina-H, conforme descrito por TEDESCO et al. (1995), como exposto a seguir.

Marcha analítica

- 1.) Pesou 0,5 g de amostra e colocou em cadinho de porcelana de 50 mL;
- 2.) Queimou em mufla a 500°C por 1 horas;
- 3.) Retirou da mufla e aguardou atingir temperatura ambiente;
- 4.) Adicionou 5 gotas de água deionizada;
- 5.) Adicionou 10 mL de H₂SO₄ 0,18M
- 6.) Agitou a solução do cadinho de modo intermitente por 1 hora e deixou decantar por 3 horas;
- 7.) Pipetou 4 mL do sobrenadante e transferiu para copo de plástico;
- 8.) Adicionou 4 mL da mistura de azometina-H e Tampão EDTA (1:3), preparado na hora de usar;
- 9.) Agitou e efetuou a leitura da absorbância a 435 nm.

c) Chumbo nas amostras vegetais

As amostras de parte aérea, folhas e caule (caule + ramos), e as raízes das plantas foram submetidas à análise de chumbo, utilizando o método da água régia proposto por ABREU et al. (2001), que se trata de uma adaptação do método USEPA 3050B, descrito no item 3.1.6, para análise de plantas está descrito a seguir.

USEPA 3050B modificado

Reagentes

- ácido nítrico (1:1)
- ácido nítrico concentrado
- peróxido de hidrogênio 30 mol L⁻¹
- ácido clorídrico concentrado

Marcha Analítica

- 1.)** Pesou 1 g de amostra em um béquer de 100 mL;
- 2.)** Adicionou 10 mL de ácido nítrico (1:1), cobrindo o frasco com um vidro de relógio;
- 3.)** Os recipientes foram submetidos a aquecimento em chapa a 90 - 100°C por 10 - 15 minutos;
- 4.)** Foram retirados da chapa, aguardou-se o material atingir temperatura ambiente;
- 5.)** Adicionou 5 mL de ácido nítrico concentrado e colocados novamente na chapa, aquecendo por 30 minutos a 90 - 100°C;
- 6.)** Deixou a amostra evaporar até o volume atingiu ± 5 mL;
- 7.)** Retirou os recipientes da chapa, aguardando-os atingir temperatura ambiente e adicionou 2 mL de água deionizada e 3 mL de peróxido de hidrogênio 30 mol L⁻¹;
- 8.)** Cobriu o frasco com vidro de relógio e aqueceu a 90 - 100°C;
- 10)** Adicionou peróxido de hidrogênio 30 mol L⁻¹ de 1 em 1 mL até que a efervescência fosse mínima. Tomando-se o cuidado para não adicionar mais que 10 mL de água oxigenada;
- 11.)** Continuou o aquecimento até que o volume da amostra se reduzisse a ± 5 mL ou por 2 horas;
- 12.)** Adicionou 10 mL de ácido clorídrico concentrado;
- 13.)** Cobriu o frasco com vidro de relógio e aqueceu a 90 - 100°C por 15 minutos.
- 14.)** Retirou os frascos da chapa, aguardando atingirem temperatura ambiente, o material digerido foi transferido para balão volumétrico de 25 mL, com água deionizada, depois filtrado para frascos de plástico com tampa;
- 15.)** A leitura de concentração foi feita em espectrofotômetro de absorção atômica.

3.5. Análise dos resultados obtidos

Aos resultados obtidos foi aplicada a análise de variância, seguindo-se do teste de Tukey para comparação de médias nos casos em que o teste F foi significativo.

IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Experimento em casa de vegetação

4.1.1. Teor de chumbo nos solos utilizado na instalação do experimento em casa de vegetação

Na Tabela 5 estão às concentrações de chumbo nas amostras de solo coletadas do Centro de Reciclagem de Baterias, subáreas 2 e 5, utilizadas no experimento em casa de vegetação, analisadas segundo método USEPA 3050B.

Tabela 5. Teores de chumbo nos solos utilizados na instalação do experimento em casa de vegetação, coletados do Centro de Reciclagem de Baterias, subáreas 2 e 5, analisadas segundo o método USEPA 3050B.

Subárea	Referência	Chumbo (mg.kg ⁻¹)
2	S 22° 19' 45,3" W 49° 00' 34,1"	1.429
5	S 22° 19' 43,5" W 49° 00' 34,1"	3.782

4.1.2. Avaliações do desenvolvimento da planta

- **Altura**

Nas Tabelas 6 a 8 encontram-se os dados de altura das plantas de eucalipto em função das concentrações de Pb no solo, referentes às avaliações aos 45, 75 e 105; 135, 165 e 195; 225, 255 e 285 dias após o transplântio, respectivamente.

Na primeira avaliação, realizada aos 45 dias após o transplântio, não houve efeito significativo da interação entre espécies de eucalipto e a concentração de chumbo no solo. Neste período, as plantas de eucalipto cultivadas no solo com maior concentração de chumbo apresentaram altura superior às cultivadas na de menor concentração. O *E. grandis* apresentou altura superior às demais espécies, diferindo

significativamente do *E. saligna* e do *C. citriodora*, sendo esta última, a que apresentou menor desenvolvimento em altura no período.

Tabela 6. Altura das espécies de eucalipto, cultivadas em Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico contaminado com chumbo, aos 45, 75 e 105 dias após o transplântio das mudas. Valores expressos em cm.

Altura aos 45 dias						
Concentração de chumbo*	Espécies de eucalipto				Média	
	<i>E. grandis</i>	<i>C. citriodora</i>	<i>E. saligna</i>			
1.429	32,93	14,28	28,98	25,39	B	
3.782	36,73	16,50	33,75	28,99	A	
Média	34,83	a	15,39	c	31,36	b
CV (%)	8,80					
Altura aos 75 dias						
1.429	36,93	15,65	34,98	29,28	A	
3.782	33,56	20,05	42,45	32,02	A	
Média	35,24	a	17,85	b	38,71	a
CV (%)	23,10					
Altura aos 105 dias em cm						
1.429	39,55	17,33	44,25	33,71	A	
3.782	45,95	22,28	45,30	37,84	A	
Média	42,75	a	19,80	b	44,78	a
CV (%)	13,94					

* Teor de chumbo no solo, analisado pelo método USEPA 3050b, expresso em mg.kg⁻¹. Letras maiúsculas comparam médias na vertical e letras minúsculas comparam médias na horizontal, pelo Teste de Tukey, ao nível de 5%.

Aos 75, 105, 165, 195, 225 e 255 dias, da mesma forma que aos 45 dias, não houve interação entre os fatores concentração de chumbo no solo e espécie de eucalipto. No entanto, diferentemente ao observado no primeiro período, não houve diferença na altura em função da concentração de chumbo no solo. Entre plantas, as espécies *E. grandis* e *E. saligna* não diferiram significativamente, mas diferiram do *C. citriodora*, que apresentou os menores valores.

Tabela 7. Altura das espécies de eucalipto, cultivadas em Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico contaminado com chumbo, aos 135, 165 e 195 dias após o transplântio das mudas. Valores expressos em cm.

Altura aos 135 dias								
Concentração de chumbo*	Espécies de eucalipto							
	<i>E. grandis</i>		<i>C. citriodora</i>		<i>E. saligna</i>		Média	
1.429	46,50	B b	18,73	A c	60,65	A a	46,46	
3.782	60,40	A a	25,40	A b	53,58	A a	46,96	
Média	53,45		22,06		57,11			
CV (%)	16,79							
Altura aos 165 dias								
1.429	63,23		21,88		80,93		55,34	A
3.782	72,83		29,28		76,13		59,41	A
Média	68,03	a	25,58	b	78,53	a		
CV (%)	19,66							
Altura aos 195 dias								
1.429	72,93		25,15		88,90		62,33	A
3.782	85,73		42,00		86,80		71,51	A
Média	79,33	a	33,58	b	87,85	a		
CV (%)	27,70							

* Teor de chumbo no solo, analisado pelo método USEPA 3050b, expresso em mg.kg^{-1} . Letras maiúsculas comparam médias na vertical e letras minúsculas comparam médias na horizontal, pelo Teste de Tukey ao nível de 5%.

Na quarta avaliação, realizada com 135 dias, houve interação significativa entre os fatores concentração de chumbo no solo e a espécie de eucalipto. Na menor concentração de chumbo, o *E. saligna* apresentou altura superior ao *E. grandis* e ao *C. citriodora*. Nos tratamentos com maior concentração de chumbo não houve diferença significativa na altura entre as espécies *E. grandis* e *E. saligna*, no entanto, foram superiores a espécie *C. citriodora*. A espécie *E. grandis* apresentou comportamento diferenciado, no crescimento em altura, entre as duas concentrações de chumbo nos solos avaliados, com crescimento superior no solo com maior concentração de chumbo. As demais espécies avaliadas não apresentaram comportamento diferenciado frente à concentração de chumbo no solo.

Tabela 8. Altura das espécies de eucalipto, cultivadas em Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico contaminado com chumbo, aos 225, 255 e 285 dias após o transplântio das mudas. Valores expressos em cm.

Altura aos 225 dias						
Concentração de chumbo*	Espécies de eucalipto				Média	
	<i>E. grandis</i>	<i>C. citriodora</i>	<i>E. saligna</i>			
1.429	82,25	29,43	96,05	70,24	A	
3.782	95,35	45,15	95,78	78,76	A	
Média	90,30	a	37,29	b	95,91	A
CV (%)	26,44					
Altura aos 255 dias						
1.429	95,90	35,05	137,30	89,45	A	
3.782	114,63	53,28	116,53	94,81	A	
Média	105,26	A	44,16	b	126,91	a
CV (%)	21,72					
Altura aos 285 dias						
1.429	103,20	41,50	172,60	105,77	A	
3.782	123,20	74,40	133,78	110,46	A	
Média	113,20	b	57,95	c	153,19	a
CV (%)	21,96					

* Teor de chumbo no solo, analisado pelo método USEPA 3050b, expresso em mg.kg⁻¹. Letras maiúsculas comparam médias na vertical e letras minúsculas comparam médias na horizontal, pelo Teste de Tukey ao nível de 5%.

Na última avaliação, aos 285 dias, não houve interação entre os fatores concentrações de chumbo no solo e espécie de eucalipto. A espécie *E. saligna* se destaca das demais ao final do experimento, apresentando altura superior em relação ao *E. grandis* e ao *C. citriodora*. Este último, durante todo o período do experimento, apresentou o menor desenvolvimento.

Nas Figuras 11 e 12 nota-se a diferença no desenvolvimento das plantas aos 135 dias após o transplântio, e, nas Figuras 13 e 14, as plantas ao final do experimento. Nestas Figuras é possível observar o desenvolvimento inferior do *C. citriodora* em comparação com as demais espécies, independente da concentração de chumbo no solo.



Figura 11. *Corymbia citriodora*, *Eucalyptus grandis* e *E. saligna*, respectivamente, aos 135 dias após o transplante, cultivadas em Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico contaminado com $1.429 \text{ mg de chumbo kg}^{-1}$ TFSA.



Figura 12. *Corymbia citriodora*, *Eucalyptus grandis* e *E. saligna*, aos 135 dias após o transplante, respectivamente, cultivadas em Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico contaminado com 3.782 mg de chumbo kg^{-1} TFSA.



Figura 13. *Eucalyptus grandis*, *Corymbia citriodora* e *E. saligna*, respectivamente, aos 285 dias após o transplante, cultivadas em Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico contaminado com 1.429 mg de chumbo kg^{-1} TFSA.



Figura 14. *Eucalyptus grandis*, *Corymbia citriodora* e *E. saligna*, aos 285 dias após o transplante, respectivamente, cultivadas em Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico contaminado com 3.782 mg de chumbo kg⁻¹ TFSA.

Segundo FODOR et al. (1998), um dos sintomas apresentados por plantas tratadas com Pb é a clorose em folhas novas, sugerindo que este elemento interfere na síntese de clorofila e reduz o transporte de Fe. Durante o período experimental não foram observadas tais sintomas.

- **Diâmetro do caule**

Nas Tabelas 9 a 11 pode-se observar os dados de diâmetro do caule, a 5 cm do nível do solo, das espécies de eucalipto avaliadas, em função das concentrações de Pb no solo, referentes às avaliações aos 45, 75 e 105; 135, 165 e 195; 225, 255 e 285 dias após o transplante, respectivamente.

Nas avaliações realizadas aos 45, 75 e 105 dias após o transplante, não houve efeito significativo da interação entre espécies de eucalipto e a concentração de chumbo no solo. Nos três períodos a espécie *C. citriodora* apresentou diâmetro inferior às demais espécies, diferindo significativamente do *E. grandis* e do *E. saligna*. Não houve diferença significativa entre as espécies *E. grandis* e *E. saligna*.

Tabela 9. Diâmetro do caule, a 5 cm do nível do solo, das espécies de eucalipto, cultivadas em Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico, contaminado com chumbo, aos 45, 75 e 105 dias após o transplântio das mudas. Valores expressos em mm.

Diâmetro ao 45 dias						
Concentração de chumbo *	Espécies de eucalipto				Média	
	<i>E. grandis</i>	<i>C. citriodora</i>	<i>E. saligna</i>			
1.429	2,89	1,90	2,66	2,48	A	
3.782	3,19	2,21	3,04	2,81	A	
Média	3,04	a	2,05	c	2,85	b
CV (%)	15,12					
Diâmetro ao 75 dias						
1.429	3,44	2,17	3,35	2,99	B	
3.782	4,00	2,66	3,67	3,44	A	
Média	3,72	a	2,42	b	3,50	a
CV (%)	14,70					
Diâmetro ao 105 dias						
1.429	3,93	2,50	4,20	3,54	A	
3.782	4,67	2,62	4,21	3,83	A	
Média	4,30	a	2,56	b	4,20	a
CV (%)	15,14					

* Teor de chumbo no solo, analisado pelo método USEPA 3050b, expresso em mg.kg⁻¹. Letras maiúsculas comparam médias na vertical e letras minúsculas comparam médias na horizontal, pelo Teste de Tukey ao nível de 5%.

Com relação à concentração de chumbo no solo, nas avaliações realizadas aos 45 e 105 dias não houve efeito significativo no diâmetro do caule. No entanto, aos 75 dias, as plantas cultivadas, no solo de maior concentração de chumbo apresentaram diâmetro de caule superior.

Tabela 10. Diâmetro do caule, a 5 cm do nível do solo, das espécies de eucalipto, cultivadas em Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico, contaminado com chumbo, aos 135, 165 e 195 dias após o transplântio das mudas. Valores expressos em mm.

Diâmetro aos 135 dias											
Concentração de chumbo*	Espécies de eucalipto										
	<i>E. grandis</i>			<i>C. citriodora</i>		<i>E. saligna</i>		Média			
1.429	4,73	B	a	2,68	A	b	5,82	A	a	4,41	
3.782	6,18	A	a	2,81	A	b	5,26	A	a	4,75	
Média	5,45			2,74			5,54				
CV (%)	14,41										
Diâmetro aos 165 dias											
1.429	6,16			3,00			7,35			5,50	A
3.782	6,79			3,03			7,94			5,92	A
Média	6,47		a	3,01		b	7,64		a		
CV (%)	16,97										
Diâmetro aos 195 dias											
1.429	7,11			3,36			8,61			6,36	B
3.782	8,54			3,77			11,55			7,95	A
Média	7,83		b	3,56		c	10,08		a		
CV (%)	21,16										

* Teor de chumbo no solo, analisado pelo método USEPA 3050b, expresso em mg.kg⁻¹. Letras maiúsculas comparam médias na vertical e letras minúsculas comparam médias na horizontal, pelo Teste de Tukey ao nível de 5%.

Na avaliação realizada aos 135 após o transplântio houve efeito significativo da interação entre os fatores avaliados. Da mesma forma que aos 45, 75 e 105 dias, não houve diferença significativa no diâmetro do caule entre as espécies *E. grandis* e *E. saligna*, as quais apresentaram valores superiores ao *C. citriodora*. O *E. grandis* apresentou desenvolvimento do caule diferenciado entre as duas concentrações de chumbo no solo, para o quarto mês de avaliação, sendo que valores superiores foram obtidos nos tratamentos com concentração de chumbo no solo superior.

Na quinta avaliação, realizada aos 165 dias após o transplântio, não houve efeito significativo da interação entre espécies de eucalipto e a concentração de chumbo no solo. Entre as espécies, o *E. grandis* e o *E. saligna* não diferiram entre si e foram superiores em relação ao *C. citriodora*. Não houve efeito significativo da concentração de chumbo do solo no diâmetro do caule.

Aos 195 dias, da mesma forma que aos 75, 255 e 285 dias, o tratamento com menor concentração de chumbo resultou em diâmetro do caule inferior. Na sexta avaliação, as espécies *E. grandis* e *E. saligna* não se diferenciaram significativamente, e foram superiores ao *C. citriodora*.

Tabela 11. Diâmetro do caule, a 5 cm do nível do solo, das espécies de eucalipto, cultivadas em Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico, contaminado com chumbo, aos 225, 255 e 285 dias após o transplântio das mudas. Valores expressos em mm.

Diâmetro aos 225 dias										
Concentração de chumbo*	Espécies de eucalipto									
	<i>E. grandis</i>			<i>C. citriodora</i>			<i>E. saligna</i>			Média
1.429	9,76	B	a	3,89	A	b	11,26	B	a	8,30
3.782	12,62	A	b	4,01	A	c	16,07	A	a	10,90
Média	11,19			3,95			13,66			
CV (%)	16,69									
Diâmetro aos 255 dias										
1.429	13,36			4,06			15,92			11,11 B
3.782	17,56			5,33			18,13			13,67 A
Média	15,46		a	4,69		b	17,03		a	
CV (%)	12,77									
Diâmetro aos 285 dias										
1.429	16,32			5,86			18,73			13,64 B
3.782	20,37			6,50			20,74			15,87 A
Média	18,35		a	6,18		b	19,73		a	
CV (%)	12,80									

* Teor de chumbo no solo, analisado pelo método USEPA 3050b, expresso em mg.kg⁻¹.

Letras maiúsculas comparam médias na vertical e letras minúsculas comparam médias na horizontal, pelo Teste de Tukey ao nível de 5%.

Na sétima avaliação, aos 225 dias, houve interação entre as concentrações de chumbo no solo e as espécies de eucalipto. No tratamento de menor concentração de chumbo as espécies *E. grandis* e *E. saligna* não apresentaram diferença significativa no diâmetro do caule. No entanto, foram superiores ao *C. citriodora*. No solo de maior concentração, a espécie *E. saligna* apresentou diâmetro de caule superior às demais espécies, sendo o menor valor observado no *E. citriodora*.

Aos 255 e 285 dias, o diâmetro do caule foi superior nos tratamentos com menor concentração de chumbo. Entre as espécies *E. grandis* e *E. saligna* não houve

diferença significativa, no entanto, apresentaram diâmetro de caule superior ao *C. citriodora*.

- **Curvas de crescimento das plantas**

Nas Figuras 15 e 16 observam-se as curvas de crescimento em altura das espécies de eucalipto, durante o período de avaliação.

Na Figura 15 observa-se o crescimento diferenciado, no solo com menor concentração de chumbo, da espécie *E. saligna* em relação às demais, que se iniciou aos 225 dias após o transplante, superando 150 cm de altura, enquanto a espécie *E. grandis* durante todo o período de avaliação do experimento se desenvolveu de maneira contínua, com valor médio de altura, ao final do experimento, de 100 cm. O *C. citriodora*, apesar de seu crescimento contínuo, apresentou durante todo o período experimental desenvolvimento inferior às demais espécies avaliadas.

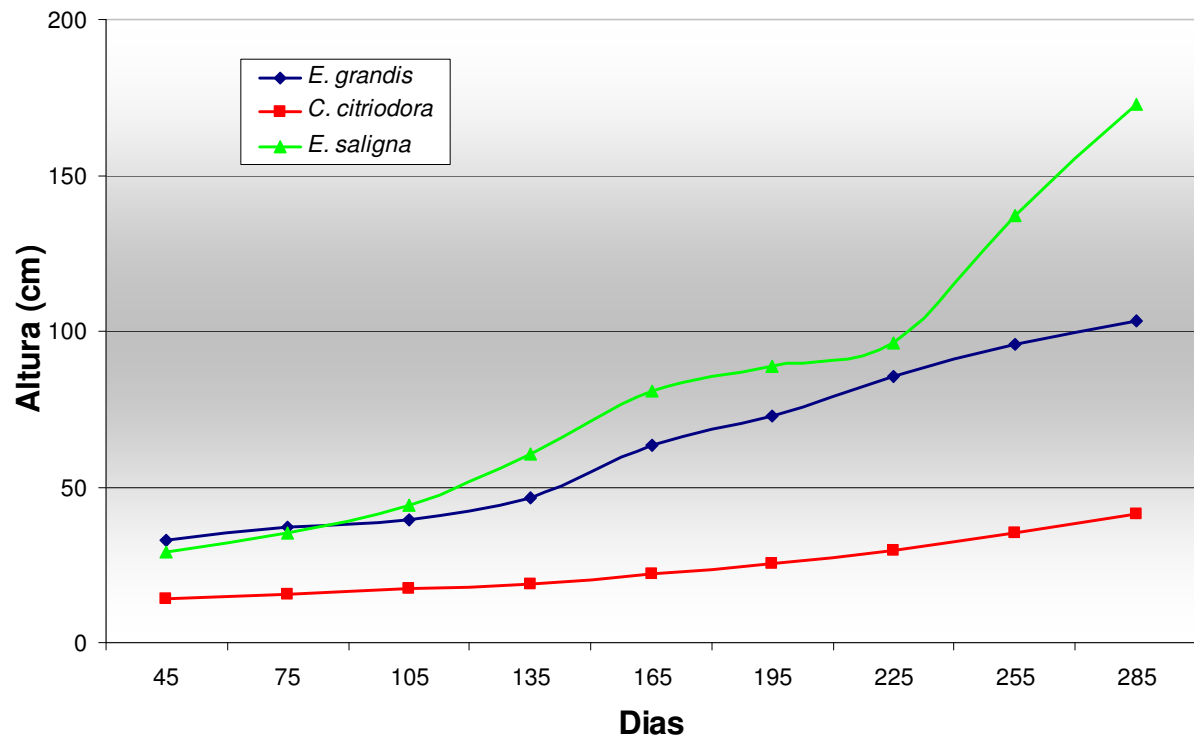


Figura 15. Curva de crescimento do *E. grandis*, *C. citriodora* e *E. saligna*, respectivamente, durante o período de avaliação experimental, cultivadas em Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico contaminado com 1.429 mg kg^{-1} TFSA.

Na Figura 16, nota-se que as curvas de crescimento das espécies *E. grandis* e *E. saligna*, no solo com maior concentração de chumbo foram similares durante o período experimental, enquanto o *C. citriodora*, similar ao ocorrido no solo com menor concentração de chumbo, apresentou crescimento inferior às demais espécies. Entretanto, aos 285 dias, ao final do experimento, apresentou altura superior ao observado no solo de menor concentração.

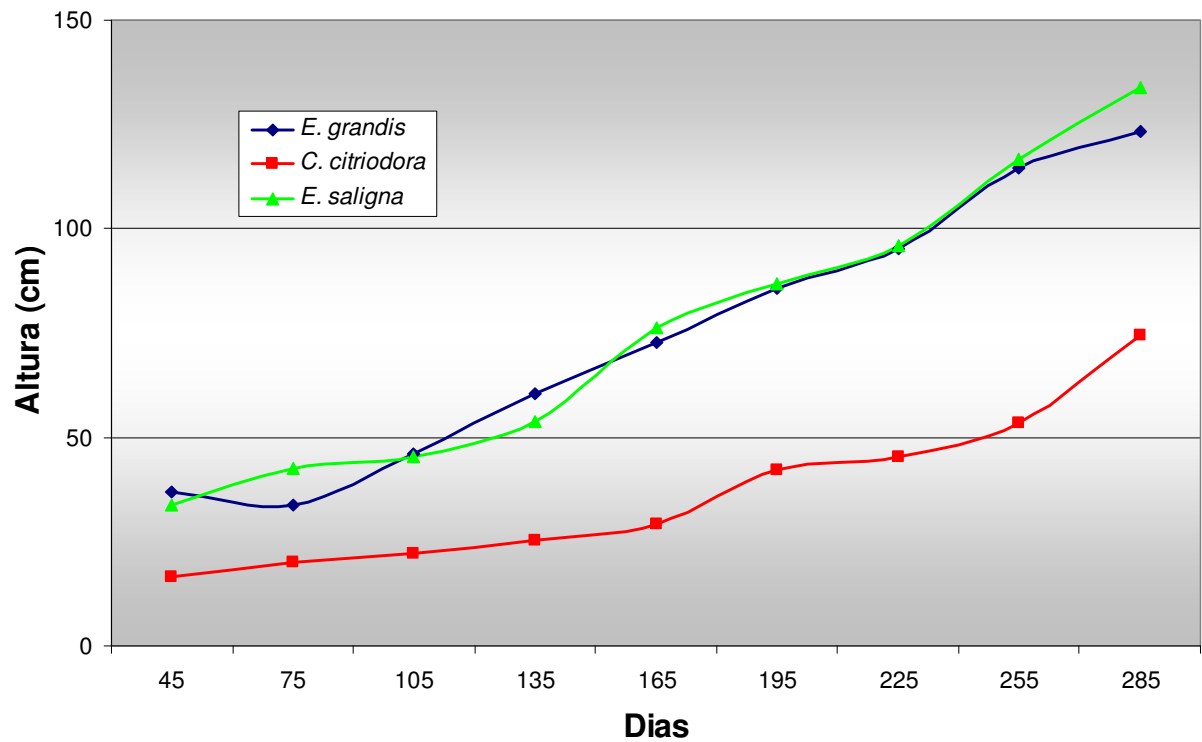


Figura 16. Curva de crescimento do *E. grandis*, *C. citriodora* e *E. saligna*, respectivamente, durante o período de avaliação experimental, cultivadas em Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico contaminado com 3.782 mg kg^{-1} TFSA.

4.2. Produção de massa seca

Na Tabela 12 estão representadas as produções de massa seca de folha, caule (caule + ramos) e raízes, das plantas de eucalipto, obtidas ao final do experimento.

Na avaliação da produção da massa seca de folha, houve diferença significativa entre as concentrações de chumbo no solo e a espécie de eucalipto, em que, no solo de maior concentração de chumbo observou-se maior produção de massa seca. As espécies *E. grandis* e *E. saligna*, apresentaram a mesma produção de massa e foram superiores ao *C. citriodora*.

Tabela 12. Produção de massa seca de folha, de caule (caule + ramos) e de raízes, das espécies de eucalipto, expressos em gramas planta⁻¹, cultivadas em Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico, contaminado com chumbo, aos 285 dias após o transplante das mudas. Valores expressos em g.

Massa seca de folha							
Concentração de chumbo	Espécies de eucalipto						
	<i>E. grandis</i>	<i>C. citriodora</i>	<i>E. saligna</i>	Média			
1.429	130,30	25,94	141,89	99,38			B
3.782	153,02	27,00	162,98	114,33			A
Média	141,66	a	26,47	b	152,44	a	
CV (%)	11,03						
Massa seca de caule							
1.429	132,85	A b	31,01	A c	186,86	A a	116,91
3.782	134,81	A a	31,29	A b	148,56	B a	104,86
Média	133,83		31,15		167,71		
CV (%)	14,29						
Massa seca de raízes							
1.429	115,03		10,78		123,03		82,95 A
3.782	122,47		9,85		104,41		78,91 A
Média	118,75	a	10,32	b	113,72	a	
CV (%)	30,55						

* Teor de chumbo no solo, analisado pelo método USEPA 3050b, expresso em mg kg⁻¹. Letras maiúsculas comparam médias na vertical e letras minúsculas comparam médias na horizontal, pelo Teste de Tukey ao nível de 5%.

Na produção de massa seca de caule e ramos, não houve diferença significativa entre as concentrações de chumbo no solo e a espécie de eucalipto, exceto no caso do *E. saligna* que apresentou maior produção de caule e ramos quando cultivado no solo com menor concentração de chumbo. O *E. saligna* destacou-se em relação às demais no tratamento de menor concentração de chumbo, enquanto que no tratamento de maior concentração, as espécies *E. grandis* e *E. saligna* não diferiram significativamente, e a espécie *C. citriodora* obteve o menor produção de massa.

Na produção de massa seca de raízes, não houve efeito significativo em função das concentrações de chumbo no solo. As espécies *E. grandis* e *E. saligna* não diferiram significativamente entre si, porém apresentaram produção de massa seca

superior ao *C. citriodora*. Nas Figuras 17 e 18 é possível observar as raízes ao final do experimento.

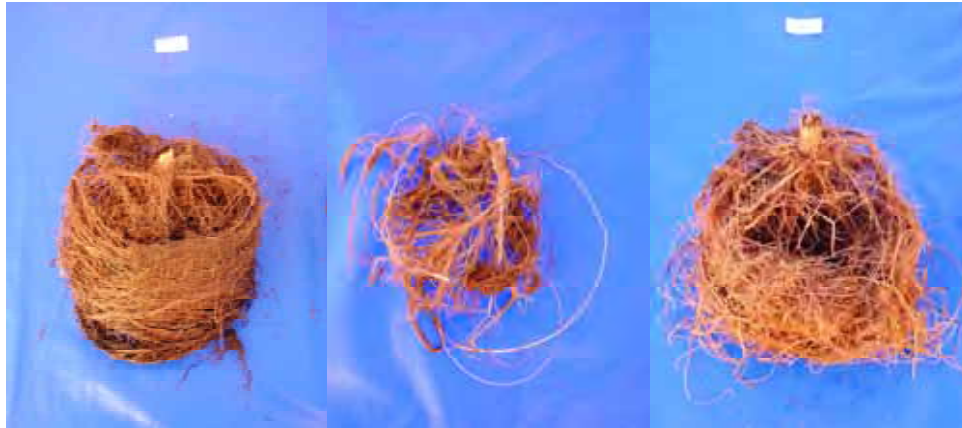


Figura 17. Sistema radicular da *Eucalyptus grandis*, *Corymbia citriodora* e *E. saligna*, respectivamente, aos 286 dias após o transplântio, cultivadas em Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico, contaminado com 1.429 mg de chumbo kg^{-1} TFSA.

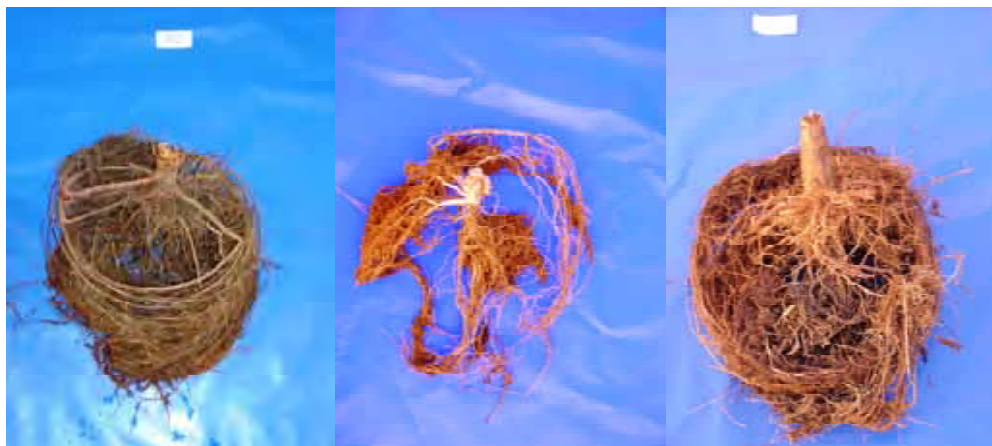


Figura 18. Sistema radicular da *Eucalyptus grandis*, *Corymbia citriodora* e *E. saligna*, respectivamente, aos 286 dias após o transplântio, cultivadas em Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico, contaminado com 3.782 mg de chumbo kg^{-1} TFSA.

SOARES (1999) descreveu o escurecimento de raízes, o encurtamento e engrossamento de raízes secundárias do *Eucalyptus maculata* e do *Eucalyptus urophylla* quando tratadas em solução nutritiva contendo chumbo. Ao final do experimento, dentre as espécies avaliadas, somente a *E. grandis*, quando cultivado no solo de maior concentração de chumbo, apresentou sistema radicular de coloração marrom escura, diferindo visualmente das demais espécies (Figura 18).

4.3. Teores de nutrientes

a) Teor de Nitrogênio Kjeldahl

Na Tabela 13 estão apresentadas às concentrações de nitrogênio, na folha, caule (caule + ramos) e raízes, das plantas de eucalipto, obtidas ao final do experimento, 286 dias após o transplântio das mudas.

A concentração de nitrogênio na folha das plantas de eucalipto não foi alterada pela concentração de chumbo no solo. A espécie *C. citriodora* diferiu estatisticamente das demais, apresentando maior teor de nitrogênio na folha, não sendo observadas diferenças entre as espécies *E. grandis* e *E. saligna*.

As espécies *E. grandis* e *E. saligna* não apresentaram alterações significativas no teor de nitrogênio no caule (caule + ramos) em função da concentração de chumbo no solo. No entanto, no *C. citriodora* as plantas cultivadas no solo com maior concentração de chumbo apresentaram concentração de nitrogênio maior. Entre as espécies avaliadas, independente da concentração de chumbo no solo, o *C. citriodora* apresentou maior concentração de nitrogênio, não havendo diferença significativa entre as espécies *E. grandis* e *E. saligna*.

Tabela 13. Concentração de nitrogênio na folha, no caule (caule + ramos) e nas raízes das espécies de eucalipto, cultivadas em Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico, contaminado com chumbo, após 286 dias do transplante. Valores expressos em g.kg^{-1} de MS 65°C .

Nitrogênio na folha										
Concentração de chumbo*	Espécies de eucalipto									
	<i>E. grandis</i>	<i>C. citriodora</i>		<i>E. saligna</i>		Média				
1.429	8,29		13,54		8,23		10,02	A		
3.782	8,57		16,99		7,77		11,11	A		
Média	8,43	b	15,26	a	8,00	b				
CV (%)	20,25									
Nitrogênio no caule										
1.429	3,05	A	b	6,79	B	a	3,53	A	b	4,46
3.782	2,89	A	b	12,10	A	a	2,53	A	b	5,84
Média	2,97			9,44			3,03			
CV (%)	17,12									
Nitrogênio nas raízes										
1.429	4,69	A	b	13,18	B	a	3,98	A	b	7,28
3.782	3,77	B	b	16,06	A	a	3,57	A	b	7,80
Média	4,23			14,62			3,77			
CV (%)	7,88									

* Teor de chumbo no solo, analisado pelo método USEPA 3050b, expresso em mg kg^{-1} . Letras maiúsculas comparam médias na vertical e letras minúsculas comparam médias na horizontal, pelo Teste de Tukey ao nível de 5%.

Na espécie *E. grandis* o maior teor de N nas raízes foi observado no solo com menor concentração de chumbo e, no *C. citriodora*, o maior teor de N ocorreu no solo de maior concentração de chumbo, sendo que o *E. saligna* não apresentou diferença significativa entre as duas concentrações de chumbo no solo.

A espécie *C. citriodora* diferiu estatisticamente das demais, em ambas as concentrações de chumbo no solo, apresentando os maiores teores de N nas raízes. Entre as espécies *E. grandis* e *E. saligna* não houve diferença significativa.

b) Teor de Fósforo

Na Tabela 14 estão representadas as concentrações de fósforo na folha, caule (caule + ramos) e raízes, respectivamente, das plantas de eucalipto, obtidas ao final do experimento, após 286 dias do transplante das mudas.

Tabela 14. Concentração de fósforo na folha, no caule (caule + ramos) e nas raízes, das espécies de eucalipto, cultivadas em Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico, contaminado com chumbo, após 286 dias do transplante. Valores expressos em g.kg^{-1} de MS 65°C .

Fósforo na folha						
Concentração de chumbo [*]	Espécies de eucalipto				Média	
	<i>E. grandis</i>	<i>C. citriodora</i>	<i>E. saligna</i>			
1.429	1,88	1,91	1,63	1,81	A	
3.782	1,95	1,93	1,61	1,83	A	
Média	1,91	a	1,92	a	1,62	a
CV (%)	23,99					
Fósforo no caule						
1.429	3,40	2,94	2,36	2,90	A	
3.782	2,93	2,76	3,07	2,92	A	
Média	3,16	a	2,85	a	2,72	a
CV (%)	23,08					
Fósforo nas raízes						
1.429	1,15	3,03	1,60	1,93	A	
3.782	1,17	2,89	1,27	1,78	A	
Média	1,16	b	2,96	a	1,44	b
CV (%)	19,61					

^{*} Teor de chumbo no solo, analisado pelo método USEPA 3050b, expresso em mg kg^{-1} . Letras maiúsculas comparam médias na vertical e letras minúsculas comparam médias na horizontal, pelo Teste de Tukey ao nível de 5%.

A concentração de fósforo na folha e no caule não foi alterada pela concentração de chumbo no solo. As espécies avaliadas apresentaram concentrações de fósforo semelhantes.

De acordo com SOARES (1999) na parte aérea das espécies *E. maculata* e *E. urophylla* o teor de P não variou de modo consistente com o aumento das doses de chumbo na solução nutritiva.

Segundo KABATA-PENDIAS & PENDIAS (1984) a presença de chumbo no solo provocará precipitação do fósforo na forma de fosfato de chumbo. No trabalho desenvolvido por FARIA (2005), com o aumento das doses chumbo não promoveu redução nos teores de fósforo na parte aérea do sorgo (*Sorghum bicolor* L.) e da mucuna preta (*Mucuna aterrina*), o mesmo ocorreu no presente trabalho com espécies de eucalipto.

Não houve diferença significativa na concentração de fósforo nas raízes em função das concentrações de chumbo no solo. Entre as espécies, o *C. citriodora* apresentou maior concentração de P, sendo que as demais espécies não diferiram entre si, contrariando os dados observados por SOARES (1999), em que houve o incremento na concentração de P nas raízes de *E. maculata* e *E. urophylla*, com o aumento no teor de Pb.

c) Teor de Potássio

Na Tabela 15 estão apresentadas às concentrações de potássio na folha, caule (caule e ramos) e raízes, das plantas de eucalipto, avaliadas ao final do experimento.

O teor de potássio na folha não apresentou diferença significativa entre as concentrações de chumbo no solo, exceto no *C. citriodora* em que as concentrações superiores de K foram observadas no solo com maior concentração de chumbo. Contrariando HUANG & CUNNINGHAM (1996) que verificaram que a presença de chumbo reduzia significativamente a concentração de K na parte aérea de *Zea mays* e *Ambrósia artemissiifolia*.

Segundo FARIA (2005) a adição de chumbo promoveu elevação na concentração de potássio na parte aérea do *Sorghum bicolor* L., porém para o *Mucuna aterrina* não ocorreu esta elevação do macroelemento.

No solo de menor concentração, a espécie *E. grandis* não apresentou diferença estatística das outras, porém as espécies *C. citriodora* e *E. saligna* diferiram significativamente entre si, sendo que a última apresentou o menor teor de K nas folhas.

No solo de maior concentração de chumbo, o *C. citriodora* diferiu das demais espécies, apresentando maior concentração de K, sendo que entre as espécies *E. grandis* e *E. saligna* não houve diferença.

Tabela 15. Concentração de potássio na folha, no caule (caule + ramos) e nas raízes, das espécies de eucalipto, cultivadas em Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico, contaminado com chumbo, após 286 dias do transplante. Valores expressos em g.kg^{-1} de MS 65°C .

Potássio na folha										
Concentração de chumbo*	Espécies de eucalipto									
	<i>E. grandis</i>			<i>C. citriodora</i>			<i>E. saligna</i>		Média	
1.429	8,88	A	ab	10,56	B	a	6,44	A	b	8,63
3.782	7,44	A	b	15,75	A	a	5,78	A	b	9,65
Média	8,16			13,16			6,11			
CV (%)	21,48									
Potássio no caule										
1.429	5,98	A	a	5,58	B	a	5,48	A	a	5,68
3.782	5,23	A	b	9,03	A	a	5,93	A	b	6,73
Média	5,60			7,30			5,71			
CV (%)	26,08									
Potássio nas raízes										
1.429	2,05			6,95			3,38			4,13 A
3.782	3,05			5,55			2,00			3,53 A
Média	2,55		b	6,25		a	2,69		b	
CV (%)	25,46									

* Teor de chumbo no solo, analisado pelo método USEPA 3050b, expresso em mg kg^{-1} . Letras maiúsculas comparam médias na vertical e letras minúsculas comparam médias na horizontal, pelo Teste de Tukey ao nível de 5%.

A concentração de chumbo no solo não influenciou a quantidade de potássio do caule das espécies *E. grandis* e *E. saligna*. No entanto, o *C. citriodora* apresentou maior concentração do macronutriente quando cultivado no solo com teor de chumbo superior.

No solo com menor concentração de chumbo, as espécies de eucalipto não diferiram estatisticamente entre si quanto ao teor de K no caule e ramos, no de concentração superior, o *C. citriodora* apresentou teor de potássio superior as demais espécies avaliadas, sendo que entre *E. grandis* e *E. saligna* não houve diferença significativa.

A concentração de chumbo no solo não influenciou o teor de potássio no sistema radicular nas espécies avaliadas. O *C. citriodora* apresentou concentração superior deste elemento independente da concentração de chumbo, sendo que entre as demais espécies não houve diferença significativa.

SOARES (1999) observou que o aumento da concentração de chumbo na solução nutritiva não interferiu na nutrição de K, uma vez que não houve efeito significativo das sobre a concentração desse macronutriente na parte aérea e raízes, das espécies de eucalipto *E. maculata* e *E. urophylla*.

d) Teor de Cálcio

Na Tabela 16 encontram-se as concentrações de cálcio, determinadas avaliadas na folha, caule (caule e ramos) e raízes, respectivamente, das plantas de eucalipto, obtidas ao final do experimento, após 286 dias do transplântio das mudas.

A concentração de cálcio na folha, independentemente da espécie de eucalipto, foi superior nas plantas cultivadas no solo de maior concentração de chumbo. Dentre as espécies avaliadas, o *C. citriodora* diferenciou significativamente dos *E. grandis* e *E. saligna*, estes últimos apresentaram os menores valores e não diferiram entre si.

Segundo SOARES (1999) nas doses mais baixas de chumbo na solução nutritiva, houve uma redução do teor de Ca na parte aérea das espécies *E. maculata* e *E. urophylla*.

FARIA (2005) observou que a adição de doses crescentes de chumbo ao solo não promoveu alterações significativas na concentração de cálcio na parte aérea do sorgo, porém na mucuna preta a incorporação de chumbo ao solo promoveu redução nos teores de cálcio na parte aérea.

A concentração do cálcio no caule e ramos, houve interação significativa entre as concentrações de chumbo no solo e as espécies avaliadas. No solo com menor concentração de chumbo não houve diferença significativa na quantidade do macronutriente entre as espécies avaliadas. No solo com maior concentração o *C. citriodora* apresentou concentração de cálcio superior, diferindo somente do *E. grandis*.

Tabela 16. Concentração de cálcio na folha, no caule (caule + ramos) e nas raízes, das espécies de eucalipto, cultivadas em Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico, contaminado com chumbo, após 286 dias do transplante. Valores expressos em g.kg^{-1} de MS 65°C .

Cálcio na folha										
Concentração de chumbo*	Espécies de eucalipto									
	<i>E. grandis</i>	<i>C. citriodora</i>		<i>E. saligna</i>		Média				
1.429	3,94	6,41		4,38		4,91			B	
3.782	4,88	9,22		4,69		6,26			A	
Média	4,41	b	7,81	a	4,53	b				
CV (%)	22,12									
Cálcio no caule										
1.429	9,24	B	a	7,06	B	a	8,53	A	a	8,28
3.782	7,45	A	b	12,52	A	a	9,48	A	ab	9,81
Média	8,35			9,79			9,00			
CV (%)	29,12									
Cálcio nas raízes										
1.429	5,42	A	b	10,66	B	a	5,81	A	b	7,29
3.782	4,05	A	b	14,13	A	a	4,92	A	b	7,70
Média	4,73			12,39			5,36			
CV (%)	22,97									

* Teor de chumbo no solo, analisado pelo método USEPA 3050b, expresso em mg kg^{-1} . Letras maiúsculas comparam médias na vertical e letras minúsculas comparam médias na horizontal, pelo Teste de Tukey ao nível de 5%.

Nas raízes, o teor de Ca nas espécies *E. grandis* e *E. saligna* não foi influenciado pela concentração de chumbo no solo, no entanto no *C. citriodora* foi observada concentração superior nas plantas cultivadas no solo com menor concentração de chumbo.

Entre as espécies a *C. citriodora* apresentou concentração do macronutriente superior às demais espécies, independente da concentração de chumbo no solo.

SOARES (1999) observou o efeito de inibição competitiva da absorção de Ca pelo chumbo nas raízes. O autor relata que quanto maior é a concentração de chumbo na raiz menor é a concentração de cálcio nos tecidos radiculares.

Em milho, HUANG & CUNNINGHAM (1996) observaram queda no teor de Ca na raiz e parte aérea de plantas submetidas a $20 \mu\text{M Pb}$. De acordo com MARSCHNER (1995), cátions divalentes como Pb^{+2} competem com outros cátions, como no caso Ca^{+2} .

e) Teor de Magnésio

Na Tabela 17 encontram-se as concentrações de magnésio, avaliadas na folha, caule (caule e ramos) e raízes, respectivamente, das plantas de eucalipto, obtidas ao final do experimento, após 286 dias do transplântio das mudas.

Na concentração de magnésio na folha houve interação significativa na relação entre as concentrações de chumbo e a espécie de eucalipto. Nas espécies *C. citriodora* e *E. saligna* o maior teor de Mg foi observado no tratamento com concentração de chumbo superior. No caso do *E. grandis*, não foi observada diferença significativa. No solo de menor concentração de chumbo as espécies não diferiram significativamente entre si. Porém, no solo de concentração de chumbo superior o teor de magnésio na folha seguiu a seguinte ordem: *C. citriodora* > *E. saligna* > *E. grandis*.

Quanto ao teor de magnésio no caule tanto o *E. grandis* quanto o *E. saligna* não diferiram quanto as diferentes concentrações de chumbo no solo. Porém para o *C. citriodora* o maior teor de magnésio no caule foi observado no solo com maior concentração de chumbo. SOARES (1999) observou que doses crescentes de chumbo na solução nutritiva, não afetaram significativamente a concentração de Mg na parte aérea das espécies *E. maculata* e *E. urophylla*.

Estes dados não estão de acordo com HUANG & CUNNINGHAM (1996) que verificaram redução no teor de magnésio na parte aérea das plantas *Zea mays* e *Ambrósia atermisiifolia*, quando expostas ao chumbo.

Segundo FARIA (2005) no caso da mucuna preta uma ligeira redução na concentração de magnésio com a adição de doses crescentes de chumbo ao solo. Para o sorgo, observou um aumento na concentração do nutriente nas diferentes doses de chumbo aplicadas ao solo.

No solo de menor teor de chumbo não houve diferença significativa entre as espécies avaliadas, no de concentração superior de chumbo o *C. citriodora* apresentou quantidade do macronutriente no caule superior aos demais tratamentos.

O teor de Mg nas raízes, independente da espécie não foi influenciado pela concentração de chumbo no solo, sendo que os teores superiores de Mg foram

observados nas plantas cultivadas no solo de maior concentração de chumbo. Entre as espécies, o *C. citriodora* obteve a maior concentração do macronutriente no tecido radicular. Contrariando ao observado por SOARES (1999), que relata decréscimo da concentração de Mg nas raízes de *E. maculata* e *E. urophylla*, em virtude do aumento da concentração de chumbo na solução nutritiva.

Tabela 17. Concentração de magnésio na folha, no caule (caule + ramos) e nas raízes, das espécies de eucalipto, cultivadas em Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico, contaminado com chumbo, após 286 dias do transplante. Valores expressos em g.kg^{-1} de MS 65°C.

Magnésio na folha								
Concentração de chumbo*	Espécies de eucalipto							
	<i>E. grandis</i>		<i>C. citriodora</i>		<i>E. saligna</i>		Média	
1.429	1,17	A a	1,22	B a	1,21	B a	1,20	
3.782	1,19	A c	2,05	A a	1,74	A b	1,65	
Média	1,18		1,62		1,47			
CV (%)	7,21							
Magnésio no caule								
1.429	0,96	A a	1,06	B a	0,92	A a	0,98	
3.782	0,88	A b	1,92	A a	0,96	A b	1,25	
Média	0,92		1,49		0,94			
CV (%)	29,07							
Magnésio nas raízes								
1.429	0,70		1,27		0,63		0,87	A
3.782	0,67		1,41		0,66		0,91	A
Média	0,69	b	1,49	a	0,64	b		
CV (%)	12,95							

* Teor de chumbo no solo, analisado pelo método USEPA 3050b, expresso em mg kg^{-1} . Letras maiúsculas comparam médias na vertical e letras minúsculas comparam médias na horizontal, pelo Teste de Tukey ao nível de 5%.

f) Teor de Enxofre

Na Tabela 18 estão apresentadas às concentrações de enxofre na folha, caule (caule + ramos) e raízes, das plantas de eucalipto, obtidas ao final do experimento, após 286 dias do transplante das mudas.

Tabela 18. Concentração de enxofre na folha, no caule (caule + ramos) e nas raízes, das espécies de eucalipto, cultivadas em Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico, contaminado com chumbo, após 286 dias do transplante. Valores expressos em g.kg^{-1} de MS 65°C.

Enxofre na folha										
Concentração de chumbo*	Espécies de eucalipto									
	<i>E. grandis</i>			<i>C. citriodora</i>			<i>E. saligna</i>		Média	
1.429	1,00	A	a	0,86	A	a	0,08	B	b	0,65
3.782	0,38	B	b	0,55	B	b	1,03	A	a	0,65
Média	0,69			0,70			0,56			
CV (%)	28,19									
Enxofre no caule										
1.429	0,042	A	b	0,16	B	a	0,025	A	b	0,075
3.782	0,063	A	b	1,16	A	a	0,031	A	b	0,42
Média	0,053			0,66			0,028			
CV (%)	18,62									
Enxofre nas raízes										
1.429	0,78	B	b	3,90	A	a	1,28	A	b	1,99
3.782	1,60	A	b	2,91	A	a	1,00	A	b	1,84
Média	1,19			3,41			1,14			
CV (%)	17,87									

* Teor de chumbo no solo, analisado pelo método USEPA 3050b, expresso em mg kg^{-1} . Letras maiúsculas comparam médias na vertical e letras minúsculas comparam médias na horizontal, pelo Teste de Tukey ao nível de 5%.

No teor de enxofre na folha houve interação significativa entre espécie e concentração de chumbo no solo, sendo que as espécies *E. grandis* e *C. citriodora* o maior teor do macronutriente na folha ocorreu no solo de menor concentração de chumbo. Ao contrário, o *E. saligna* apresentou o maior teor de enxofre quando cultivado no solo de menor concentração.

No solo com menor teor de chumbo, as espécies *E. grandis* e *C. citriodora* não diferiram entre si e, apresentaram concentração superior ao *E. saligna*.

No tratamento com maior teor de chumbo no solo, o *E. saligna* obteve a maior quantidade do macronutriente e diferiu significativamente das demais espécies, sendo que estas, não diferiram entre si.

Na mucuna preta, FARIA (2005) observou que com o acréscimo de chumbo ao solo houve um aumento na concentração de enxofre, inversamente na mucuna ocorreu

uma redução quando adicionado o chumbo ao solo e de forma mais intensa para a dose 900 kg ha⁻¹.

Dentre as espécies avaliadas, independente da concentração de chumbo no solo, o *C. citriodora* apresentou concentração de enxofre no caule superior.

Entre as espécies *E. grandis* e *E. saligna* não houve diferença na concentração de enxofre no caule em função da concentração de chumbo no solo. Comportamento diferenciado foi observado no *C. citriodora*, que apresentou elevação da concentração de enxofre quando cultivado no solo de maior concentração de chumbo.

SOARES (1999) observou que independentemente da espécie, *E. maculata* ou *E. urophylla*, houve aumento no teor do macronutriente em função do aumento do teor de chumbo na solução nutritiva.

A concentração de S nas raízes foi não significativa na relação entre as concentrações de chumbo no solo e a espécie para *C. citriodora* e *E. saligna*, no caso do *E. grandis* que apresentou um teor de enxofre superior no tratamento de maior concentração de chumbo. Contrariando ao observado por SOARES (1999) cujas espécies, *E. maculata* e *E. urophylla*, apresentaram queda no teor de S nas raízes com o aumento da concentração de chumbo na solução nutritiva.

g) Teor de Cobre

Na Tabela 19 estão apresentadas às concentrações de cobre na folha, caule (caule + ramos) e raízes, das plantas de eucalipto, obtidas ao final do experimento.

Na folha, o teor de cobre apresentou interação significativa entre os fatores avaliados. No tratamento com menor concentração de observou-se maior teor de Cu, com exceção da *E. grandis* que não apresentou diferença significativa quanto a concentração de cobre na folha e o teor de chumbo presente no solo. KABATA-PENDIAS & PENDIAS (1984) preconizam que a presença de metais pesados como Cd e Ni provoca interação com a absorção de Cu, podendo, em algumas espécies ser antagônica e, em outras ser sinérgica.

Tabela 19. Concentração de cobre na folha, no caule (caule + ramos) e nas raízes, das espécies de eucalipto, cultivadas em Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico, contaminado com chumbo, após 286 dias do transplante. Valores expressos em mg.kg^{-1} de MS 65°C.

Cobre na folha									
Concentração de chumbo*	Espécies de eucalipto								
	<i>E. grandis</i>		<i>C. citriodora</i>			<i>E. saligna</i>		Média	
1.429	3,19	A b	4,50	A a	4,40	A a	4,03		
3.782	3,64	A a	3,49	B a	3,33	B a	3,49		
Média	3,41		3,99		3,86				
CV (%)	8,05								
Cobre no caule									
1.429	5,92		4,71		6,56		5,73	A	
3.782	4,00		3,63		4,99		4,21	B	
Média	4,96	b	4,17	c	5,78	a			
CV (%)	9,16								
Cobre nas raízes									
1.429	25,64		41,73		23,52		30,29	A	
3.782	25,36		43,29		20,35		29,67	A	
Média	25,50	b	42,61	a	21,93	c			
CV (%)	6,22								

* Teor de chumbo no solo, analisado pelo método USEPA 3050b, expresso em mg kg^{-1} . Letras maiúsculas comparam médias na vertical e letras minúsculas comparam médias na horizontal, pelo Teste de Tukey ao nível de 5%.

No solo com menor concentração de chumbo as espécies *E. citriodora* e *E. saligna* não se diferiram significativamente, sendo que o *E. grandis* apresentou a menor quantidade do microelemento nas folhas. No solo com maior concentração de chumbo as espécies não diferiram significativamente entre si.

As espécies quando cultivadas no solo com maior concentração de chumbo apresentaram elevação nos teores de cobre no caule e apresentaram a seguinte ordem decrescente *E. saligna* > *E. grandis* > *C. citriodora*.

SOARES (1999) observou o comportamento distinto entre duas espécies de Eucalipto, com o aumento das doses de chumbo na solução nutritiva, houve um aumento no teor de Cu na parte aérea da *E. urophylla*, ao contrário, na *E. maculata* houve redução do microelemento.

Entre as espécies avaliadas houve diferenciação significativa quanto ao teor de cobre nas raízes, apresentando a seguinte ordem decrescente *C. citriodora* >

E. grandis > *E. saligna*. Não houve diferença no teor do elemento em função da concentração de chumbo no solo. SOARES (1999) observou que ao contrário do ocorrido com a parte aérea, a concentração de Cu nas raízes de *E. maculata* e *E. urophylla* não foi influenciada pelas doses de chumbo.

h) Teor de Ferro

Na Tabela 20 estão apresentadas às concentrações de ferro das amostras de folha, caule (caule + ramos) e raízes, das plantas de eucalipto, obtidas ao final do experimento, após 286 dias do transplântio das mudas.

O chumbo é considerado por KAVATA-PENDIAS & PENDIAS (1984) como sendo um elemento que não interfere na absorção de ferro. As espécies *E. grandis* e *E. saligna* não apresentaram diferença no teor do ferro nas folhas em função da concentração de chumbo no solo, no entanto no *C. citriodora* concentrações superiores de Fe foram obtidos no tratamento de menor concentração de chumbo.

No tratamento de menor concentração de chumbo no solo, as espécies de eucalipto diferiram entre si significativamente, sendo que o teor de Fe nas folhas das espécies avaliadas, apresentou a seguinte ordem decrescente *C. citriodora* > *E. saligna* > *E. grandis*.

No solo com maior concentração de chumbo, as espécies *E. grandis* e *E. saligna* não diferiram estatisticamente, mas diferiram da *C. citriodora*, sendo que esta última apresentou o menor teor de Fe nas folhas.

No caule e ramos, houve interação significativa entre as concentrações de chumbo no solo e as espécies de eucalipto. As espécies *E. grandis* e *E. saligna* apresentaram, no solo de menor concentração de chumbo, os maiores teores de Fe, comportamento inverso foi observado no *C. citriodora*.

No tratamento com menor teor de chumbo no solo, a espécie *E. saligna* diferiu significativamente das demais, apresentando maior concentração de Fe no caule e ramos, entre as outras espécies não houve interação significativa.

No solo com maior concentração de chumbo, a *C. citriodora* apresentou maior teor de Fe no caule e ramos, diferindo das espécies *E. grandis* e *E. saligna*, sendo que estas não diferiram entre si.

Tabela 20. Concentração de ferro na folha, no caule (caule + ramos) e nas raízes, das espécies de eucalipto, cultivadas em Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico, contaminado com chumbo, após 286 dias do transplante. Valores expressos em mg.kg^{-1} de MS 65°C .

Ferro na folha								
Concentração de chumbo ¹	Espécies de eucalipto							
	<i>E. grandis</i>		<i>C. citriodora</i>		<i>E. saligna</i>		Média	
1.429	35,42	A c	11,68	A a	58,38	A b	68,82	
3.782	41,62	A a	65,59	B b	58,42	A a	55,21	
Média	38,52		88,63		58,90			
CV (%)	8,18							
Ferro no caule								
1.429	16,63	A b	18,76	B b	22,81	A a	19,40	
3.782	8,22	B b	28,36	A a	9,51	B b	15,36	
Média	12,43		23,56		16,16			
CV (%)	12,50							
Ferro nas raízes								
1.429	5,22	B a	2,85	A c	3,86	B b	3,98	
3.782	6,64	A a	2,40	A c	4,57	A b	4,54	
Média	5,93		2,62		4,21			
CV (%)	9,46							

¹ Teor de chumbo no solo, analisado pelo método USEPA 3050b, expresso em mg kg^{-1} . Letras maiúsculas comparam médias na vertical e letras minúsculas comparam médias na horizontal, pelo Teste de Tukey ao nível de 5%.

Nas espécies *E. grandis* e *E. saligna* concentrações superiores de ferro nas raízes foram observadas nas plantas cultivadas no solo de maior teor de chumbo. Sendo que para o *C. citriodora* não houve efeito da concentração de chumbo no solo sobre o teor de ferro nas raízes. SOARES (1999) descreveu que nas raízes de *E. maculata*, a concentração de Fe não foi afetada pelas doses de Pb na solução nutritiva, porém para o *E. urophylla* em uma dose de $388 \mu\text{mol L}^{-1}$ de chumbo o teor de Fe aumentou em até 407%, em relação ao controle.

Em ambos os tratamentos com solos contaminados com chumbo o teor de Fe nas raízes foi significativo entre as espécies, apresentando a seguinte ordem decrescente *E. grandis* > *E. saligna* > *C. citriodora*.

Da mesma forma que SOARES (1999), o Fe ficou retido nas raízes, reduzindo, assim sua translocação para a parte aérea.

i) Teor de Manganês

Na Tabela 21 estão apresentadas às concentrações de manganês na folha, caule (caule + ramos) e raízes, das plantas de eucalipto, obtidas ao final do experimento.

Os teores de manganês na folha das espécies *E. grandis* e *C. citriodora* não foram afetadas pela concentração de chumbo no solo, o *E. saligna*, no entanto, apresentou maior teor de manganês na folha quando este foi cultivado no solo de maior concentração de chumbo.

No solo com menor teor de chumbo a *C. citriodora* diferiu das demais espécies, apresentando a maior concentração de Mn na folha, enquanto que *E. grandis* e *E. saligna* não diferiu.

Na maior concentração de chumbo no solo, as espécies de eucalipto avaliadas diferenciam significativamente entre si, sendo que o teor de Mn na folha apresentou a seguinte ordem decrescente de concentração *C. citriodora* > *E. saligna* > *E. grandis*.

O teor de Mn presente no caule das espécies, com exceção do *E. grandis*, difere significativamente entre as concentrações de chumbo no solo, apresentando os maiores teores do nutriente no solo com concentração de chumbo superior. A concentração de Mn na parte aérea das espécies *E. maculata* e *E. urophylla*, segundo SOARES (1999) observou um decréscimo do micronutriente na dose 97 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de chumbo na solução nutritiva, com posterior elevação nas doses mais altas do metal pesado.

No solo de menor concentração de chumbo, o teor de Mn no caule, das espécies *C. citriodora* e *E. saligna* não diferem estatisticamente entre si e foram superiores ao *E. grandis*.

No solo de maior concentração de chumbo as três espécies de eucalipto diferem significativamente entre si, sendo que a concentração do micronutriente decresceu na seguinte ordem *C. citriodora* > *E. saligna* > *E. grandis*.

Tabela 21. Concentração de manganês na folha, no caule (caule + ramos) e nas raízes, das espécies de eucalipto, cultivadas em Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico, contaminado com chumbo, após 286 dias do transplante. Valores expressos em mg.kg^{-1} de MS 65°C.

Manganês na folha								
Concentração de chumbo*	Espécies de eucalipto							
	<i>E. grandis</i>		<i>C. citriodora</i>		<i>E. saligna</i>		Média	
1.429	188,26	A b	353,91	A a	163,03	B b	235,06	
3.782	163,21	A c	348,80	A a	259,27	A b	257,10	
Média	175,73		351,36		211,15			
CV (%)	8,45							
Manganês no caule								
1.429	65,57	A b	104,74	B a	93,60	B a	87,97	
3.782	62,30	A c	187,80	A a	108,76	A b	119,62	
Média	63,93		146,27		101,18			
CV (%)	9,53							
Manganês nas raízes								
1.429	56,94		93,04		36,91		62,30	A
3.782	36,08		114,75		38,71		63,18	A
Média	46,51	b	103,89	a	37,81	c		
CV (%)	5,01							

* Teor de chumbo no solo, analisado pelo método USEPA 3050b, expresso em mg kg^{-1} . Letras maiúsculas comparam médias na vertical e letras minúsculas comparam médias na horizontal, pelo Teste de Tukey ao nível de 5%.

A concentração de chumbo no solo não influenciou os teores de manganês nas raízes. Concordando com SOARES (1999), em que a concentração de Mn nas raízes dos eucaliptos, nas espécies *E. maculata* e *E. urophylla*, não foi influenciada pelas doses de chumbo na solução nutritiva. Entre as espécies, houve diferença significativa no teor de Mn, apresentando a seguinte ordem decrescente *C. citriodora* > *E. grandis* > *E. saligna*.

j) Teor de Zinco

Nas Tabelas 22 estão apresentadas às concentrações de manganês nas amostras de folha, caule (caule + ramos) e raízes, das plantas de eucalipto, obtidas ao final do experimento.

Tabela 22. Concentração de zinco na folha, no caule (caule + ramos) e nas raízes, das espécies de eucalipto, cultivadas em Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico, contaminado com chumbo, após 286 dias do transplante. Valores expressos em mg.kg^{-1} de MS 65°C .

Zinco na folha									
Concentração de chumbo*	Espécies de eucalipto								
	<i>E. grandis</i>		<i>C. citriodora</i>		<i>E. saligna</i>		Média		
1.429	18,84	A b	30,55	B a	17,18	A b	22,19		
3.782	20,91	A b	45,21	A a	16,62	A b	27,58		
Média	17,87		37,88		17,90				
CV (%)	17,81								
Zinco no caule									
1.429	26,18		26,52		23,61		25,43	B	
3.782	22,00		50,61		23,74		32,11	A	
Média	24,09	b	38,56	a	23,67	b			
CV (%)	11,44								
Zinco nas raízes									
1.429	60,24	A b	88,14	B a	68,25	A b	72,21		
3.782	61,08	A b	130,08	A a	44,11	B c	78,42		
Média	60,66		109,11		56,18				
CV (%)	7,53								

* Teor de chumbo no solo, analisado pelo método USEPA 3050b, expresso em mg kg^{-1} . Letras maiúsculas comparam médias na vertical e letras minúsculas comparam médias na horizontal, pelo Teste de Tukey ao nível de 5%.

A concentração de zinco nas folhas, das espécies *E. grandis* e *E. saligna*, não foi afetada pela concentração de chumbo no solo, no entanto, o *C. citriodora* apresentou maior concentração de zinco na folha quando este foi cultivado no solo com teor superior de chumbo.

Nas duas concentrações de chumbo, o *C. citriodora* diferiu significativamente das outras espécies, apresentando o maior teor de Zn nas folhas. Entre *E. grandis* e *E. saligna* não houve diferença estatística.

Independente da espécie, as plantas cultivadas no solo com maior teor de chumbo apresentaram teores de zinco no caule superiores. Diferindo do estudo realizado por SOARES (1999) com as espécies de eucalipto, *E. maculata* e *E. urophylla*, utilizando solução nutritiva, em que a concentração de Zn na parte aérea foi pouco influenciada pelas doses de chumbo.

De acordo com KATARA-PENDIAS & PENDIAS (1984) metais pesados como o chumbo podem ser antagonísticos ao zinco. Fato conflitante ao observado neste trabalho.

Entre espécies houve diferença estatística, sendo que, o *C. citriodora* apresentou maior teor de Zn no caule em relação às demais, entre *E. grandis* e *E. saligna* não diferiram significativamente.

Para o sorgo, FARIA (2005) observou que doses crescentes de chumbo promoveram elevação nos teores de zinco na parte aérea.

Em relação à concentração de chumbo nas raízes, o maior acúmulo de zinco pelas raízes do *E. saligna* foi observada no solo com teor de chumbo superior, no entanto, na concentração inferior o comportamento foi inverso para o *C. citriodora*. e *E. grandis* não foi influenciada.

SOARES (1999) observou que a concentração de Zn na matéria seca das raízes dos Eucaliptos não foi influenciada pelas doses de chumbo na solução nutritiva.

No solo com menor teor de chumbo, o *C. citriodora* diferiu estatisticamente das demais espécies estudadas, apresentando teor de Zn nas raízes superior aos *E. grandis* e *E. saligna*, estes últimos não diferiram entre si.

Na maior concentração de chumbo no solo as espécies de Eucalipto diferiram entre si quanto ao teor de Zn nas raízes, este micronutriente nas espécies avaliadas apresentou a seguinte ordem de concentração *C. citriodora* > *E. grandis* > *E. saligna*.

I) Teor de Molibdênio

Na Tabela 23 estão apresentadas às concentrações de molibdênio na folha, caule (caule + ramos) e raízes, das plantas de eucalipto, obtidas ao final do experimento.

As espécies *C. citriodora* e *E. saligna* apresentaram comportamento diferenciado na concentração de molibdênio na folha em virtude da concentração de chumbo no solo. Na primeira espécie, os teores superiores de Mo na folha foram observados no solo com menor concentração de chumbo, comportamento inverso ocorrido ao *E. saligna*.

No solo com menor concentração de chumbo, a *C. citriodora* diferiu significativamente das demais, com o maior teor de Mo na folha, enquanto que entre *E. grandis* e *E. saligna* não houve diferença.

Na maior concentração de chumbo no solo, as espécies de Eucalipto diferiram significativamente entre si, e o teor de Mo nas folhas decresceu na ordem *E. saligna* > *C. citriodora* > *E. grandis*.

As espécies *E. grandis* e *E. saligna* apresentaram maiores teores de Mo no caule quando estas foram cultivadas no solo com maior concentração de chumbo, comportamento inverso ao observado no *C. citriodora*.

No solo com menor concentração de chumbo as espécies de Eucalipto apresentaram comportamento diferenciado entre si quanto ao teor de Mo no caule, observando-se a seguinte ordem decrescente *C. citriodora* > *E. saligna* > *E. grandis*.

No solo com maior concentração de chumbo, as espécies *C. citriodora* e *E. saligna* apresentaram concentração de molibdênio no caule superior ao *E. grandis*.

Tabela 23. Concentração de molibdênio na folha, no caule (caule + ramos) e nas raízes, das espécies de eucalipto, cultivadas em Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico, contaminado com chumbo, após 286 dias do transplante. Valores expressos em mg.kg^{-1} de MS 65°C .

Molibdênio na folha								
Concentração de chumbo*	Espécies de eucalipto							
	<i>E. grandis</i>		<i>C. citriodora</i>		<i>E. saligna</i>		Média	
1.429	27,67	A b	285,84	A a	66,30	B b		126,60
3.782	14,77	A c	111,75	B b	247,09	A a		124,53
Média	21,22		198,79		156,69			
CV (%)	17,63							
Molibdênio no caule								
1.429	44,58	B c	282,50	A a	133,17	B b		153,42
3.782	132,90	A b	159,34	B a	148,35	A a		146,86
Média	88,74		220,92		140,76			
CV (%)	4,30							
Molibdênio nas raízes								
1.429	15,62	B a	13,95	B a	14,89	A a		14,82
3.782	18,56	A a	16,24	A b	14,39	A c		16,40
Média	17,09		15,09		14,64			
CV (%)	6,05							

* Teor de chumbo no solo, analisado pelo método USEPA 3050b, expresso em mg kg^{-1} . Letras maiúsculas comparam médias na vertical e letras minúsculas comparam médias na horizontal, pelo Teste de Tukey ao nível de 5%.

As espécies *E. grandis* e *C. citriodora* apresentaram concentração de molibdênio nas raízes superior quando cultivadas no solo de maior concentração de chumbo, fato este não observado na espécie *E. saligna*, em que o teor de molibdênio nas raízes não foi influenciado pelas concentrações de chumbo no solo.

O tratamento com menor concentração de chumbo não apresentou diferença significativa do teor de Mo nas raízes nas espécies de eucalipto avaliadas. No de maior concentração, as espécies avaliadas diferiram entre si, sendo observada seguinte ordem decrescente de concentração de Mo nas raízes *E. grandis* > *C. citriodora* > *E. saligna*.

m) Teor de Boro

Na Tabela 24 estão apresentadas às concentrações de boro nas amostras de folha, caule (caule + ramos) e raízes, das plantas de eucalipto, obtidas ao final do experimento, após 286 dias do transplântio das mudas.

Tabela 24. Concentração de boro na folha, no caule (caule + ramos) e nas raízes, das espécies de Eucalipto, cultivadas em Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico, contaminado com chumbo, após 286 dias do transplante. Valores expressos em mg.kg^{-1} de MS 65°C.

Boro na folha										
Concentração de chumbo*	Espécies de eucalipto									
	<i>E. grandis</i>			<i>C. citriodora</i>			<i>E. saligna</i>		Média	
1.429	31,15	B	c	55,50	B	a	47,10	B	b	44,58
3.782	49,97	A	b	84,77	A	a	56,77	A	b	63,84
Média	40,56			70,14			51,94			
CV (%)	8,32									
Boro no caule										
1.429	38,80	A	a	38,61	A	a	22,08	A	b	33,16
3.782	23,75	B	b	37,68	A	a	20,55	A	b	27,33
Média	31,28			38,14			21,31			
CV (%)	8,91									
Boro nas raízes										
1.429	82,18			78,04			87,45			82,56 A
3.782	70,12			77,64			78,55			75,47 B
Média	76,19		a	77,84		a	83,00		a	
CV (%)	7,09									

* Teor de chumbo no solo, analisado pelo método USEPA 3050b, expresso em mg kg^{-1} . Letras maiúsculas comparam médias na vertical e letras minúsculas comparam médias na horizontal, pelo Teste de Tukey ao nível de 5%.

Independente da espécie avaliada, plantas cultivadas no solo de maior concentração de chumbo apresentaram teores de boro na folha superiores.

No solo com menor concentração de chumbo, as espécies diferiram significativamente entre elas, sendo que o teor de B na folha, entre as espécies, apresentou seguinte ordem decrescente: *C. citriodora* > *E. saligna* > *E. grandis*.

Na maior concentração, a *C. citriodora* diferiu significativamente das outras espécies avaliadas, sendo esta superior às demais espécies estudadas.

O teor de B no caule das plantas não foi significativo entre as concentrações de chumbo no solo, exceto para *E. grandis*, que a maior concentração de B no caule foi observada no solo com menor teor de chumbo.

No solo com menor teor de chumbo a *E. grandis* e *C. citriodora* apresentaram concentração de boro no caule superior ao *E. saligna*. No solo de maior concentração de chumbo o *C. citriodora* diferiu das demais, apresentando quantidade superior do micronutriente na folha. As espécies *E. grandis* e *E. saligna* não diferiram entre si.

Independente das espécies avaliadas, as plantas cultivadas no solo de menor concentração de chumbo apresentaram teores mais elevados de B nas raízes. Entre as espécies avaliadas não foi observada diferença significativa.

4.4. Concentração de chumbo na massa seca vegetal

Na Tabela 25 estão apresentadas às concentrações de chumbo na folha, caule (caule + ramos) e raízes, das plantas de eucalipto, obtidas ao final do experimento.

No solo de menor concentração de chumbo, as espécies avaliadas apresentaram a mesma concentração do elemento na folha. No entanto, no de concentração superior a *E. grandis* apresentou, nas folhas, teor do elemento superior às demais espécies.

O teor de Pb no caule não diferiu significativamente entre *E. grandis* e *E. saligna*, mas estas diferiram do *C. citriodora*, que apresentou os menores valores de Pb no caule. Independente da espécie avaliada, as plantas cultivadas no solo com maior concentração de chumbo apresentaram teores superiores do elemento no caule.

Para a concentração de chumbo nas raízes houve interação entre o teor de chumbo no solo e a espécie, exceto para o *C. citriodora*, em que o teor do metal nas raízes não diferiu quanto à concentração de chumbo no solo.

No solo de menor concentração de Pb a espécie *C. citriodora* diferiu das demais, apresentando elevados teores de Pb nas raízes. No solo de maior concentração, não houve diferença estatística entre as espécies.

Tabela 25. Concentração de chumbo total nas partes vegetais das espécies de eucalipto, cultivadas em Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico, contaminado com chumbo. Valores expressos em mg.kg^{-1} de MS 65°C.

Concentração de chumbo na folha									
Concentração de chumbo*	Espécies de eucalipto								
	<i>E. grandis</i>			<i>C. citriodora</i>			<i>E. saligna</i>	Média	
1.429	15,63	B	a	15,32	A	a	19,58	A a	16,84
3.782	26,55	A	a	18,52	A	b	13,71	A b	19,59
Média	21,09			16,92			16,64		
CV (%)	22,50								
Concentração de chumbo no caule									
1.429	68,51			42,07			77,82		62,80 B
3.782	109,36			72,48			88,38		90,07 A
Média	88,93		a	57,28		b	83,10		a
CV (%)	21,60								
Concentração de chumbo nas raízes									
1.429	2.128,84	B	b	4.726,88	A	a	2.167,88	B b	3.007,86
3.782	6.030,25	A	a	3.643,06	A	a	4.777,69	A a	4.850,33
Média	1.079,54			4.184,97			3.522,78		

* Teor de chumbo no solo, analisado pelo método USEPA 3050b, expresso em mg kg^{-1} . Letras maiúsculas comparam médias na vertical e letras minúsculas comparam médias na horizontal, pelo Teste de Tukey ao nível de 5%.

Dentre as espécies estudadas, nenhuma alcançou a quantidade de chumbo na folha determinada em amostras de Eucalipto da área contaminada original. Este fato pode ser explicado provavelmente pela diferença de idade entre as plantas, visto que no local de coleta o Eucalipto, provavelmente um *Eucalyptus saligna*, aparentava altura de uma planta com idade de 4 a 5 anos.

4.5. Chumbo acumulado nas plantas de Eucalipto

Na Tabela 26 estão representadas as concentrações de chumbo acumulado na folha, caule (caule + ramos) e raízes, das plantas de eucalipto, obtidos ao final do experimento.

Tabela 26. Concentração de chumbo acumulado nas partes vegetais das espécies de eucalipto, cultivadas em Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico, contaminado com chumbo. Valores expressos em mg planta⁻¹.

Chumbo acumulado na folha								
Concentração de chumbo*	Espécies de eucalipto							
	<i>E. grandis</i>		<i>C. citriodora</i>		<i>E. saligna</i>		Média	
1.429	1,81	B b	0,40	A c	2,56	A a		1,59
3.782	4,61	A a	0,42	A c	2,22	A b		2,42
Média	3,21		0,41		3,89			
CV (%)	20,52							
Chumbo acumulado no caule								
1.429	9,67	B b	1,27	A c	12,85	A a		7,93
3.782	13,82	A a	2,26	A c	11,63	A b		9,24
Média	11,74		1,76		12,24			
CV (%)	13,13							
Chumbo acumulado nas raízes								
1.429	237,22	B a	54,44	A b	224,37	B a		172,01
3.782	696,34	A a	32,97	A c	447,97	A b		392,42
Média	466,78		43,70		336,17			
CV (%)	16,50							

* Teor de chumbo no solo, analisado pelo método USEPA 3050b, expresso em mg kg⁻¹.

Letras maiúsculas comparam médias na vertical e letras minúsculas comparam médias na horizontal, pelo Teste de Tukey ao nível de 5%.

Os teores de chumbo acumulado na folha e no caule (caule + ramos) apresentaram o mesmo comportamento. Entre as espécies avaliadas, o *C. citriodora* e o *E. saligna* não apresentaram alterações no total acumulado em função do aumento da concentração de chumbo no solo. Comportamento diferenciado foi observado no *E. grandis*, em que com o aumento do teor do contaminante no solo houve aumento no total acumulado na parte aérea.

No solo de menor concentração de chumbo pode-se observar a seguinte ordem decrescente de acúmulo de Pb na parte aérea *E. saligna* > *E. grandis* > *C. citriodora*.

No tratamento com maior concentração de chumbo no solo o teor de Pb acumulado na folha e no caule foi significativo entre as espécies avaliadas, o teor de Pb acumulado decresceu na ordem *E. grandis* > *E. saligna* > *C. citriodora*.

No solo com menor teor de Pb, as espécies *E. grandis* e *E. saligna* não diferiram entre si, com relação ao total de chumbo acumulado pelas raízes, mas ambas diferiram

da *C. citriodora*, que apresentou o menor acúmulo. No solo de maior concentração do contaminante, o teor de chumbo acumulado nas raízes, nas espécies de Eucalipto, apresentou a seguinte ordem decrescente de acúmulo: *E. grandis* > *E. saligna* > *C. citriodora*.

Observa-se que independentemente da espécie de eucalipto avaliada neste experimento o maior concentração de chumbo acumulado se apresenta no sistema radicular das plantas. Segundo METZGER et al. (1992) e VARENNES et al. (1996) uma das estratégias de defesa das plantas à toxidez de Pb é a restrição do transporte desse elemento para a parte aérea, imobilizando-o nas raízes, nas quais é ligado a polímeros orgânicos insolúveis.

SOARES (1999) caracterizou a maior tolerância da *E. urophylla* ao Pb, em parte, ocorreu devido a maior capacidade dessa espécie em restringir a translocação do Pb.

Na Tabela 27 estão representadas as porcentagens de chumbo acumulado pelas partes vegetais das espécies de eucalipto. Observando que a maior porcentagem de chumbo acumulado pelas espécies de eucalipto é a raiz. De acordo com ZIMDAH (1975), somente 3% do Pb nas raízes é translocado para as partes superiores da planta.

Tabela 27. Porcentagem de chumbo acumulado nas partes vegetais das espécies de eucalipto cultivadas em Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico, contaminado com chumbo. Valores expressos em %.

Concentração de chumbo *	Espécie	Folha	Caule (caule + ramos)	Raízes
1.429	<i>E. grandis</i>	0,73	3,89	95,38
	<i>C. citriodora</i>	0,71	2,26	97,02
	<i>E. saligna</i>	1,07	5,36	93,57
3.782	<i>E. grandis</i>	0,63	1,93	97,42
	<i>C. citriodora</i>	1,18	6,34	92,48
	<i>E. saligna</i>	0,48	2,52	97,00

* Teor de chumbo no solo, analisado pelo método USEPA 3050b, expresso em mg kg⁻¹.

Na Tabela 28 estão representados a porcentagem do chumbo acumulado na massa seca das partes vegetais. Segundo MCGRATH (1998) as plantas chamadas hiperacumuladoras de metais, precisam ter de 0,1 a 1% do peso seco a porcentagem de metal acumulado. No presente trabalho, independentemente da concentração de chumbo no solo, tanto o *E. grandis* como o *E. saligna* se destacam como hiperacumuladoras de chumbo, por poderem acumular o chumbo na massa seca de raízes.

Tabela 28. Porcentagem do chumbo acumulado na massa seca das partes vegetais das espécies de eucalipto cultivadas em Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico, contaminado com chumbo. Valores expressos em %.

Concentração de chumbo *	Espécie	Folha	Caule (caule + ramos)	Raízes
1.429	<i>E. grandis</i>	0,001	0,007	0,206
	<i>C. citriodora</i>	0,002	0,004	0,005
	<i>E. saligna</i>	0,002	0,007	0,182
3.782	<i>E. grandis</i>	0,003	0,010	0,269
	<i>C. citriodora</i>	0,002	0,007	0,385
	<i>E. saligna</i>	0,001	0,008	0,429

* Teor de chumbo no solo, analisado pelo método USEPA 3050b, expresso em mg kg⁻¹.

V. CONCLUSÕES

- ✓ A espécie *C. citriodora* não apresentou desenvolvimento satisfatório, afirmativa corroborada pelo baixo desenvolvimento;
- ✓ A concentração de chumbo nas plantas foi maior nas raízes, demonstrando que o chumbo foi pouco translocado para a parte aérea;
- ✓ Nenhuma das plantas avaliadas atingiu o teor de chumbo obtido da amostra de Eucalipto obtido na área contaminada;
- ✓ As espécies *E. grandis* e *E. saligna* destacaram-se como hiperacumuladoras de chumbo.

VI. REFERÊNCIAS

ABREU, C. A.; ABREU, M. F.; RAIJ, B. van; SANTOS, W. R. Comparação de métodos de análise para avaliar a disponibilidade de metais pesados em solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 19, p. 463-468, 1995.

ABREU, M. F. de; ABREU, C. A.; ANDRADE, J. C. Determinação de fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, cobre, ferro, manganês, zinco, níquel, cádmio, crômio e chumbo em ácido nítrico usando métodos da USEPA. In: RAIJ, B van; ANDRADE, J. C. de; CANTARELLA, H; QUAGGIO, J. A. (eds.) **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, p. 251-261, 2001.

ACCIOLY, A. M. A.; SIQUEIRA, J. O. Contaminação química e biorremediação do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V.; V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. v. 1. p. 299-352, 2000.

ADRIANO, D. C. **Trace elements in the terrestrial environment**. New York: Springer Veriag, 533p. 1986.

AINSWORTH, C. C.; PELON, J. L.; GASSMAN, P. L.; SLUYS, W. G. V. D. Cobalt, cadmium and lead sorption to hydrous iron oxide: residence time effect. **Soil Science Society of America Journal**. V.58, n.6, p. 1615-1623, 1994.

ALLOWAY, B. J. **Heavy metals in soils**. 2 ed. Glasgow: Blackie Academic, 1995. 364p.

ANDERSON, T. A.; COATS, J. R. Screening rhizosphere soil samples for the ability to mineralize elevated concentrations of atrazine and metolachlor. **J. Environ. Sci. Health**, B, v. 30, p. 473-484, 1995.

BAKER, A. J. M. Accumulators and excluders – strategies in the response of plants to heavy metals. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 3, n. 1-4, p. 643-654, 1981.

BRECKLE, S. W.; KAHLE, H. Effects of toxic heavy metals (Cd, Pb) on growth and mineral nutrition of beech (*Fagus sylvatica* L.. **Vegetatio**, Belgium, v. 101, p. 43-53, 1992.

BROOKS, R. R. Phytoremediation by volatisation. **Plants that Hyperaccumulate Heavy Metals**. CAB International, Wallingford, p. 289, 1998.

BURGUERA, J. L.; BURGUERA, A. M. Lead in roadside soils of Merida City. Venezuela. **Sci. Total Environ.**, v.77, p. 45-9. 1998.

CASSERET, A.; DOULL'S, D. **Toxicology (the basic science of poison)** 3 ed., New York: McMillan, 1986, 820p.

CETESB: www.cetesb.sp.gov.br., acesso em 03 fev 2007.

COSTA, N. C.; MEURER, E. J.; BISSANI, C. A.; SELBACH, P. A. Contaminantes do solo e o meio ambiente. **Fundamentos de Química do Solo**. 2^a ed. Porto Alegre: Gênese, 2004, p. 239–279.

CUNNINGHAM, S. D.; ANDERSON, T. A.; SCHWAB, A. P. Phytoremediation of soils contaminated with organic pollutants. **Adv. Agron.**, v. 56, p. 55-114, 1996.

DAVIES, B. E. Lead. In: **Heavy metals in soils**. New York: John Wiley, cap. 9, p. 177-193, 1990.

DIAS, C. L.; CASARINI, D. C. P. **Gerenciamento da qualidade de solos e águas subterrâneas: relatório técnico de viagem à Holanda**. São Paulo. CETESB, 1996. 50P.

EGREJA FILHO, F. B. **Avaliação da ocorrência e distribuição química de metais pesados na compostagem do lixo domiciliar urbano**. Viçosa, 1993, 176p., Tese (Doutorado em Agroquímica) – Universidade Federal de Viçosa.

EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Classificação de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: Embrapa-SNLCS, 255p. 1979.

FARIA, A. U. Absorção de chumbo, macro e micronutrientes por plantas de mamona, mucuna preta e sorgo cultivadas em solo contaminado por chumbo. Julho 2005. 70f. Trabalho de Graduação (Biogeoquímica do solo) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária, UNESP, Jaboticabal, 2005.

FERNANDEZ, R. T. et al. Evaluating semiaquatic herbaceous perennials for use in herbicide phytoremediation. **J. Am. Soc. Hortic. Sci.**, v. 124, p. 539-544, 1999.

FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P.; RAY, B. van; ABREU, C. A. Micronutrientes e Elementos Tóxicos na Agricultura, Jaboticabal, **CNPq / FAPESP / POTAFOS**, 600p., 2001.

FODOR, F.; CSEH, E.; VARGA, A.; ZÁRAV, G. Lead uptake, distribution, and remobilization in cucumber. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v.21, n.7, p. 1363-1373, July 1998.

GALVÃO, L. A.; COREY, G., Organización Mundial de la Salud/Organización Panamericana de la Salud/ Centro Americano de Ecología Humana y Salud. **Plomo**. Série Vigilância. México, DF. V.8, 1989.

GAMBRELL, R. P. Trace and toxic metals in wetlands: a review. **Journal of Environmental Quality**. V.58, n.6, p. 19615-1623, 1994.

GLASS, D. J. **The 1998 United States Market for Phytoremediation**, D. Glass Associates, Needham, p. 139, 1998.

GRATÃO, P.L.; PRASAD, M. N.V.; CARDOSO, P. F.; LEAD, P.J.; AZEVEDO, R.A.A.. Phytoremediation: green technology for the clean up of toxic metals in the environment. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Campinas, v.17, n.1, p.53-64, 2005.

HAAN, S. Results of municipal waste compost research over more than fifty years at the Institute for soil fertility at Hares / Groningen, teh Netherlandas. **Nethland Journal Agriculture Science**, Melbourn, v.29, p. 49-61, 1981.

HATTARI, H. Influence of cadmium on decomposition of glucose and cellulose in soil. **Soil Science Plant**. Tokio, v. 37, n. 1, p. 39-45, 1996.

HUANG, J. W.; CUNNINGHAM, S. D. Lead phytoextraction: Species variation in lead uptake and translocation. **New Phytologist**, 134 p., 1996.

JACKSON, M. L. **Soil chemical analysis**. New Jersey: Prentice Hall, 498p. 1965.

KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. **Trace elements in soils and plants**, Boca Raton: CRC Press, 315p., 1984.

KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. **Trace elements in soils and plants**, Boca Raton: 2ed. CRC Press, 365p., 1992.

KERR, J. C.; MOTTA, P. E. F.; RESENDE, M.; CARVALHO FILHO, A.; ARAÚJO, W. S. Elementos traços em Latossolos Roxos desenvolvidos de diferentes materiais de origem. In: Resumos... **Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**, 24. SBCS, Goiânia, 1993.

JORDÃO, C. P.; PEREIRA, J. C.; BRUNE, W., PEREIRA, J. L.; BRAATHEN, P. C. Heavy metal dispersion from industrial wastes in the Vale do Aço, Minas Gerais, Brazil. **Environmental Technology**, London, v.17, p. 489-500, 1996.

LASAT, M. M. Phytoextraction of toxic metals: A review of biological mechanisms. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v.31, p.109-120, 2002.

MALAVOLTA, E. **Micronutrientes e metais pesados: mitos, mistificação e fatos**. São Paulo: Produquímica, 140p. 1994.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. London: Academic, 889p. 1995.

MARQUES, T. C. L. L. de S. e M. **Crescimento e absorção mineral de mudas de espécies arbóreas em material de solo contaminado com metais pesados**. Dissertação de Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas. Lavras – UFLA, 116p, 1996.

MATOS, A. T. **Fatores de retardamento e coeficiente de dispersão-difusão dos metais zinco, cádmio, cobre e chumbo em solos do município de Viçosa – MG**. 110f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1995.

MATTIAZZO-PREZOTO, M. E. **Comportamento de Cu, Cd, Cr, Ni, Zn adicionados a solos de clima tropical em diferentes valores de pH**. Piracicaba, 1994, 197p. Tese (Livre-Docência) ESALQ, USP.

MATTIAZZO, M. E.; GLÓRIA, N. A. Parâmetros para adição a solos de resíduos contendo metais. I: Estudos com soluções. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS DO SOLO. 25., Viçosa, MG. **Resumos expandidos...** Viçosa: SBCS, p. 2315-1317, 1995.

MATTIAZZO, M. E.; GLÓRIA, N. A.; MORENO, P. R. Avaliação da presença de metais na degradação da matéria orgânica adicionada a solos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS DO SOLO. 25., Viçosa, MG. **Resumos expandidos...** Viçosa: SBCS, p. 2317-2320, 1995.

MCGRATH, S. P. Phytoextraction for soil remediation. **Plant that Hyperaccumulate Heavy Metals.** CAB International, Wallingford, p. 261, 1998.

MELO, W. J.; MELO, G. M. P.; BERTIPAGLIA, L. M. A.; MELO, V. P. **Experimento sob condições controladas.** Jaboticabal: FUNEP, 1998, 81p.

MEHLICH, A. Mehlich 3 soil text extractant: a modification of Mehlich 2 extractant. **Commun. Soil Sci. Plant Anal.**, New York, v.15, n.12, p.1409-1416. 1984.

MIDIO, A. J., MARTINS, D. I. Toxicologia de alimentos. **Livraria Varela.** São Paulo, p. 117, 2000.

MOREIRA-NODERMANN, L. M. A Geoquímica e o meio ambiente. **Geochimica Brasiliensis**, v. 1, n. 1, p. 89-107, 1987.

PARMIGIANI, M. P. C. V. D.; MIDIO, A. F. Chumbo na alimentação da população infantil. **Cadernos de Nutrição**, v. 9, p. 25-34, 1995.

PAIVA, H. N de; CARVALHO, J. G. de; SIQUEIRA, J. O.; FERNANDES, A. R.; MIRANDA, J. R. P. de. Influência de doses crescentes de chumbo sobre o teor e o conteúdo de nutrientes e Pb em mudas de ipê-roxo (*Tabebuia impetiginosa* (Mart.) Standl.). **Revista Árvore**. Viçosa – MG, v. 27, n. 2, p. 151–158, 2003.

PERKOVICH, B. S. et al. Enhanced mineralization of [¹⁴C] atrazine in *K. scoparia* rhizospheric soil from a pesticide-contaminated site. **Pestic. Sci.**, v. 46, p. 391-396, 1996.

PETERSON, P. J. Unusual accumulations of elements by plants and animals. **Scientific Progress**, v. 59, p. 505-526, 1971.

PIRES, F. R. et al. Uso da fitorremediação na descontaminação do solo. In: ENCONTRO REGIONAL DE BOTÂNICOS, 23., 2001, Viçosa, MG. **Resumos...** Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, p. 104, 2001.

POLLARD, A. J.; BAKER, A. J. M. Deterrence of herbivory by zinc hyperaccumulation in *Thlaspi caerulescens* (Brassicaceae). **New Phytologist**, London, v. 135, p. 655-658, 1997.

RAIJ, B.; CANATRELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. Campinas, Instituto Agrônomo - Fundação IAC, Boletim Técnico 100, 285p, 1996.

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

SALT, D. E.; SMITH, R. D.; RASKIN, I. Phytoremediation. **Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Molec. Biol.**, v. 49, p. 643-668, 1998.

SCRAMIN, S.; SKORUPA, L. A.; MELO, I. S. Utilização de plantas na remediação de solos contaminados por herbicidas – levantamento da flora existente em áreas de cultivo de cana-de-açúcar. In: MELO, I. S. et al. **Biodegradação**. Jaguariúna, SP: EMBRAPA Meio Ambiente, 2001. p. 369-371.

SINGH, B. R.; STEINNES, E. Soil and water contamination by heavy metals. In: LAI, R.; STEWART, B. A. (Ed.) **Advances in soil science: soil process and water quality**. Lewis, p. 233-237, 1994.

SHAW, A. J. **Heavy metal tolerance in plants: Evolutionary aspects**. New York, cRc Press, 1989, 355p.

SHEN, Z. G., LI, X. D., WANG, C. C., CHEN, H. M.; CHUA, H. Lead phytoextraction from contaminated soil with highbiomass plant species. **Journal Environmental Quality**, Madison, v.31, p.1893-1900, 2002.

SOARES, C. R. F. S. **Toxidez de zinco, cobre, cádmio e chumbo para o eucalipto em solução nutritiva**. Lavras: UFLA, 1999. 132p. Dissertação (mestrado em solos e nutrição de plantas) – Universidade Federal de Lavras.

SPOSITO, G. **The chemist of soils**. New York: Oxford University Press, 1989, 234p.

TAVARES, T. M.; CARVALHO, F. M. Avaliação da exposição de populações urbanas a metais pesados no ambiente. Exemplos do Recôncavo Baiano. **Química Nova**. SP v.15, n.2, p. 147-153, 1992.

USEPA (United States Environmental Protection Agency). **The method for evaluating solid waste**. Report Number SW-840, Washington, DC, 1986.

USEPA (United States Environmental Protection Agency). **The method for evaluating solid waste**. Report Number SW-846, Washington, DC, 1995.

VAN ASSCHE, F.; CLIJSTERS, H. Effect of metals on enzyme activity in plants. **Plant, Cell and Environment**, v. 13, p. 195-206, 1990.

VOSE, J. M. et al. Leaf water relations and sapflow in Eastern cottonwood (*Populus deltoides* Bartr.) trees planted for phytoremediation of a groundwater pollutant. **Intern. J. Phytoremediation**, v. 2, p. 53-73, 2000.

WALLACE, G. A.; WALLACE, A. Lead and other potentially toxic heavy metals in soil. **Communication Soil Science Plants Analysis**, v. 25, p. 137-141, 1994.

YOSHINAGA, S. Curso de águas subterrâneas: controle e prevenção de poluição. **Conceitos básicos de hidrogeologia**. São Paulo: CETESB, 30p. 1993.

ZIMDAHL, R. L. Entry and movement in vegetation of lead derived air and soil sources. **68th Annu. Meeting of the Air Pollution Control Association**, Boston, MA, June 15, 1975.