



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SOLOS E QUALIDADE DE
ECOSSISTEMAS

**RELAÇÃO SOLO-VEGETAÇÃO E ANATOMIA FOLIAR DAS
PRINCIPAIS ESPÉCIES OCORRENTES EM ÁREA CONTAMINADA
POR METAIS PESADOS EM SANTO AMARO, BAHIA**

MARCOS VINÍCIUS VARJÃO ROMÃO

CRUZ DAS ALMAS - BAHIA

MAIO - 2014

**RELAÇÃO SOLO-VEGETAÇÃO E ANATOMIA FOLIAR DAS
PRINCIPAIS ESPÉCIES OCORRENTES EM ÁREA CONTAMINADA
POR METAIS PESADOS EM SANTO AMARO, BAHIA**

MARCOS VINÍCIUS VARJÃO ROMÃO

Biólogo

Universidade do Estado da Bahia, 2010

Dissertação submetida ao Colegiado de Curso do Programa de Pós-Graduação em Solos e Qualidade de Ecossistemas da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, como requisito parcial para obtenção do Grau de Mestre em Solos e Qualidade de Ecossistemas, área de concentração: Manejo e Qualidade de Ecossistemas.

ORIENTADORA: PROFA. DRA. ADRIANA MARIA DE AGUIAR ACCIOLY

CO-ORIENTADORES: PROFA. DRA. ALESSANDRA NASSER CAIAFA

PROF. DR. FABIANO MACHADO MARTINS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA

MESTRADO EM SOLOS E QUALIDADE DE ECOSSISTEMAS

CRUZ DAS ALMAS - BAHIA - 2014

FICHA CATALOGRÁFICA

R761r

Romão, Marcos Vinícius Varjão.

Relação solo-vegetação e anatomia foliar das principais espécies em área contaminada por metais pesados, Santo Amaro, Bahia / Marcos Vinícius Varjão Romão._ Cruz das Almas, BA, 2014.

64f.; il.

Orientadora: Adriana Maria de Aguiar Accioly.

Coorientadora: Alessandra Nasser Caiafa.

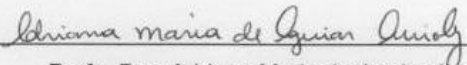
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas.

1.Solos – Plantas. 2.Metals pesados – Análise. I.Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas. II.Martins, Fabiano Machado. III.Título.

CDD: 631.41

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM SOLOS E QUALIDADE DE ECOSISTEMAS

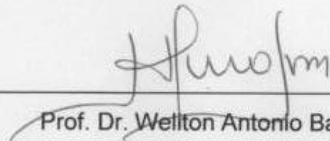
COMISSÃO EXAMINADORA DA DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE
MARCOS VINÍCIUS VARJÃO ROMÃO



Profa. Dra. Adriana Maria de Aguiar Accioly
Embrapa Mandioca e Fruticultura
(Orientadora)



Prof. Dr. André Dias de Azevedo Neto
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia



Prof. Dr. Wellton Antonio Bastos de Almeida
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

Dissertação homologada pelo Colegiado do Curso de Mestrado em Solos e
Qualidade de Ecossistemas em....., conferindo o
Grau de Mestre em Solos e Qualidade de Ecossistemas em.....

Aos meus pais José Gonçalves Romão e
Maria Eulina Varjão Romão
pelo amor, apoio e incentivo,
durante toda jornada acadêmica.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Deus e aos orixás pela força espiritual nos momentos de dificuldades.

À minha orientadora, profa. Dra. Adriana Maria de Aguiar Accioly por apoiar a proposta deste trabalho.

Aos meus co-orientadores, profa. Dra. Alessandra Nasser Caiafa e Prof. Dr. Fabiano Machado Martins pelas contribuições na minha formação acadêmica nas áreas de ecologia e anatomia vegetal.

Aos técnicos do Laboratório de Solos e Nutrição de Plantas da Embrapa Mandioca e Fruticultura, por proporcionar condições necessárias para realização das análises químicas dos solos e plantas.

Aos colegas dos Laboratórios de Ecologia e Anatomia Vegetal da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, pelos auxílios nas coletas de campo e processamento das amostras.

Aos colegas do mestrado Maria Carolina Brandão, Gerlange Silva, Maria Elisa Falcão, Emylly Figueredo, Dryelle Lobo, Éder Rodrigues, Joseane Passos, Kátia Núbia e Higina do Nascimento pelos momentos de aprendizagem.

Aos professores do mestrado Jorge Antonio Gonzaga Santos, Luciano da Silva Souza e Francisco de Souza Fadigas.

À minha madrinha Maria Luiza Maia pelos conselhos durante todo mestrado.

À CAPES pela concessão da bolsa de mestrado.

SUMÁRIO

RESUMO

ABSTRACT

INTRODUÇÃO GERAL.....10

REFERÊNCIAS.....14

CAPÍTULO I

RELAÇÃO SOLO-VEGETAÇÃO EM ÁREA CONTAMINADA POR METAIS PESADOS, SANTO AMARO - BA.....16

CAPÍTULO II

ANATOMIA FOLIAR DE *Psidium guajava* L. (MYRTACEAE) E *Schinus terebinthifolius* RADDI (ANACARDIACEAE) EM ÁREA CONTAMINADA POR METAIS PESADOS, SANTO AMARO, BAHIA.....46

CONSIDERAÇÕES FINAIS.....64

RELAÇÃO SOLO-VEGETAÇÃO E ANATOMIA FOLIAR DAS PRINCIPAIS ESPÉCIES OCORRENTES EM ÁREA CONTAMINADA POR METAIS PESADOS EM SANTO AMARO, BAHIA

Autor: Marcos Vinícius Varjão Romão

Orientadora: Profa. Dra. Adriana Maria de Aguiar Accioly

Co-Orientadores: Profa. Dra. Alessandra Nasser Caiafa

Prof. Dr. Fabiano Machado Martins

RESUMO: A cidade de Santo Amaro no Recôncavo da Bahia foi alvo de contaminação por chumbo e cádmio nos diversos compartimentos ambientais, causadas pela desativada fábrica Plumbum Mineração e Metalurgia Ltda, que expôs resíduos industriais contaminados. Perante esse contexto, foi realizado estudo com objetivo de avaliar a relação solo-vegetação e anatomia foliar das principais espécies em área contaminada por metais pesados. Foram demarcadas 20 parcelas (10 x 10 m) para amostragem de solos e plantas, as amostras de solos foram analisadas nos Laboratórios de Solos e Nutrição de Plantas e Física do Solo da Embrapa Mandioca e Fruticultura, as amostras de plantas foram analisadas no Laboratório de Ecologia Vegetal e Restauração Ecológica e Anatomia Vegetal da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia. No estudo fitossociológico, as espécies que se destacaram foram *Schinus terebinthifolius* Raddi e *Psidium guajava* L., que apresentaram maiores valores de frequência, densidade, dominância e importância. As mesmas formam agrupamentos por similaridades florísticas com demais vegetais nas parcelas. A partir disso, essas duas espécies foram selecionadas para estudo da anatomia foliar, sendo observadas alterações em *P. guajava* como aumento do espaço intercelular e redução do número de elementos de vasos do xilema. Em *S. terebinthifolius* as modificações foram aumento no número de cristais de oxalato de cálcio, formação de tilose em elementos de vasos do xilema, aumento no número e deformação das cavidades secretoras. Tais alterações são possíveis respostas aos estresses ambientais provocados pelos metais pesados. Portanto, as espécies *P. guajava* e *S. terebinthifolius* têm potenciais para testes em restauração ecológica e técnicas de fitorremediação em áreas contaminadas por metais pesados.

Palavras-chave: Regeneração natural, anatomia foliar, metais pesados.

SOIL-VEGETATION RELATIONSHIP AND LEAF ANATOMY OF MAIN SPECIES OCCURRING IN A HEAVY METALS CONTAMINATED AREA IN SANTO AMARO, BAHIA

Author: Marcos Vinícius Varjão Romão

Advisor: Dr. Adriana Maria de Aguiar Accioly

Co-Advisors: Dr. Alessandra Nasser Caiafa

Dr. Fabiano Machado Martins

ABSTRACT: Santo Amaro city in Recôncavo of Bahia has undergone contamination by lead and cadmium in some environmental compartments caused by the down factory Plumbum Mineração e Metalurgia Ltda waste. Given this context, the aim of this study was evaluate the soil-vegetation relationship and leaf anatomy of main species in a heavy metals contaminated area. 20 parcels (10 x 10 m) were marked for soils and plants sampling. Soil samples were analyzed in the Laboratory of Soils/Plant Nutrition and Soil Physics - Embrapa Cassava and Fruits. The plant samples were analyzed in the Laboratory of Plant Ecology/Ecological Restoration and Plant Anatomy - Federal University of Bahia Recôncavo. The phytosociological study shows that species *Schinus terebinthifolius* Raddi and *Psidium guajava* L. showed higher values of frequency, density, dominance and importance. They form clusters by floristic similarities with other plants in the plots. From this, these two species were selected to study leaf anatomy, changes in *P. guajava* was observed for example: increased in intercellular space and reducing the number of elements of the xylem vessels. In *S. terebinthifolius* the modifications were: increase in the number of calcium oxalate crystals, tylose formation in the xylem vessels elements, increase in the number and deformation of secretory cavities. Such alterations are possible responses to environmental stresses caused by heavy metals. Therefore, *P. guajava* and *S. terebinthifolius* species have potential for testing in ecological restoration and phytoremediation techniques in a heavy metals contaminated area.

Keywords: Natural regeneration, leaf anatomy, heavy metals.

INTRODUÇÃO GERAL

A contaminação dos solos com metais pesados é um grave problema ambiental, devido a sua persistência e elevado poder de toxicidade, muitas vezes resultado de atividades humanas. As principais atividades estão relacionadas à mineração, emissões industriais, descarte ou vazamento de resíduos industriais, aplicação de lodo de esgoto em solos agrícolas, adubos, fertilizantes e pesticidas (NASCIMENTO e XING, 2006; SANTOS e RODELLA, 2007).

As atividades de mineração são importantes geradoras de passivos ambientais. Os principais resíduos sólidos gerados por atividades mineradoras são o estéril e os rejeitos, sendo geralmente depositados em áreas de grande extensão a céu aberto, servindo como fonte de dispersão da poluição devido à presença de metais pesados (BOSSO et al., 2008).

Os metais pesados são elementos com densidade maior que $5,0 \text{ g cm}^{-3}$ (ADRIANO, 1986). Alguns são essenciais para várias funções biológicas, como ferro (Fe), cobre (Cu), zinco (Zn) e manganês (Mn), enquanto outros, como cádmio (Cd), chumbo (Pb) e mercúrio (Hg), não apresentam funções conhecidas nos organismos.

O Cd é um elemento não essencial que negativamente afeta o crescimento e o desenvolvimento de plantas, além de reduzir a população de microorganismos do solo e a absorção de nitrato e o seu transporte das raízes para a parte aérea (BERNAVIDES et al., 2005).

Nos solos, os teores médios de cádmio normalmente encontram-se entre 0,2-1,1 mg kg^{-1} , tendo como principal fator determinante o material de origem. Entretanto, nessas baixas concentrações já podem afetar mecanismos fisiológicos e bioquímicos de algumas plantas (KABATA-PENDIAS, 2011).

O Pb ocorre naturalmente nos solos em níveis muito baixos, não oferecendo maiores riscos ao ambiente. Porém, o enriquecimento dos solos com este elemento através de fontes antrópicas tem causado sérias preocupações devido à sua elevada toxicidade aos seres humanos e animais, mesmo em baixas concentrações (KUMMER, 2008).

O valor médio global de chumbo para diferentes solos é estimado em 27 mg kg^{-1} . Nos vegetais, concentrações como 1 mg kg^{-1} inibem reações nas mitocôndrias e teores mais baixos ainda, como 1 $\mu\text{M g}^{-1}$ já alteram a fotossíntese (KABATA-PENDIAS, 2011).

Nos seres humanos o chumbo pode afetar o sistema nervoso central e periférico, as células do sangue, o metabolismo da vitamina D e do cálcio. Esse metal não tem função no organismo humano e a sua presença pode levar a efeitos tóxicos independentemente da via de exposição (CARVALHO et al., 2003).

O Brasil tem graves problemas com contaminação de solos por chumbo. Entre os locais cuja população está exposta ao chumbo, estão Adrianópolis (Vale do Ribeira, PR) e Santo Amaro (Recôncavo Baiano, BA). Reconhecidamente são os dois casos brasileiros mais graves de contaminação por esse metal, conforme dados da literatura e do Ministério da Saúde (GIULIO et al., 2010).

O caso de contaminação em Santo Amaro começou em 1960, quando a Companhia Brasileira de Cobre (COBRAC) foi instalada na cidade, com objetivo de produzir chumbo, usando material extraído da jazida de Boquira-BA. No processo de beneficiamento resultava a escória, que foi utilizada ou disposta de diversas formas durante a operação da fábrica, causando diversos problemas ambientais (MACHADO et al., 2004).

Os principais impactos socioambientais gerados pela contaminação foram mortes de animais no entorno da metalúrgica, poluição do ar pela emissão de fumaça, contaminação do rio Subaé por substâncias tóxicas e efeitos dos contaminantes na saúde da população de vizinhos da fábrica, ex-trabalhadores e crianças (ANDRADE, 2010).

Os estudos ambientais em Santo Amaro abordam como a contaminação existente afeta a estrutura e o funcionamento dos ecossistemas atingidos e, conseqüentemente, os recursos oferecidos pelos ecossistemas para a vida humana. Para obtenção dessas informações são necessários levantamentos de campo, como por exemplo, a análise da estrutura e diversidade da comunidade vegetal ou de comunidades aquáticas *in situ* (NIEMEYER et al., 2012).

A vegetação é uma alternativa para a recuperação de solos degradados por metais pesados (MARQUES et al., 2000; AMARAL et al., 2013), por isso a comunidade vegetal em área de metalurgia precisa ser investigada, a partir dos índices de frequência, densidade, dominância e distribuição. O método fitossociológico apresenta essas informações e pode ser utilizado como ferramenta para outras técnicas, no caso a fitorremediação.

A comunidade arbustivo-arbórea possui potencial fitorremediador, tendo em vista, que as plantas arbóreas possuem elevada produção de biomassa, sistema

radicular profundo, altas taxas de crescimento e capacidade de concentrar metais no caule, que podem ser alternativas importantes para a estabilização de solos com excesso de elementos metálicos (ALMEIDA et al., 2007).

A fitorremediação de áreas poluídas é bastante útil para o meio ambiente devido à utilização de plantas específicas, no intuito de amenizar ou até mesmo despoluir totalmente áreas contaminadas (COUTINHO e BARBOSA, 2007). As técnicas de fitorremediação incluem fitoextração, rizofiltração, fitoestabilização e fitotransformação - fitovolatilização e fitodegradação (ALI et al., 2013).

Para selecionar as espécies com potencial para fitorremediação, é necessário primeiramente identificar espécies resistentes e compreender como essas reagem à contaminação. Portanto, a análise anatômica pode revelar se a planta apresenta reações positivas ou negativas em relação ao estresse causado pelo contaminante no solo (BONA et al., 2011).

O objetivo deste trabalho foi avaliar a relação solo-vegetação e anatomia foliar das principais espécies em área contaminada por metais pesados.

A dissertação está estruturada em dois capítulos. O primeiro tem como tema a relação entre o solo e a vegetação em área contaminada por metais pesados, Santo Amaro, Bahia. Foram registradas ocorrências das espécies vegetais, padrão de agrupamento florístico e teores de metais pesados nas parcelas. O segundo capítulo descreve as modificações na anatomia foliar das espécies *Psidium guajava* L. e *Schinus terebinthifolius* Raddi provocadas pelo estresse ambiental causado pelos metais pesados.

REFERÊNCIAS

ADRIANO, D. C. **Trace elements in the terrestrial environment**. Springer, Berlin Heidelberg, New York, 1986.533p.

ALI, H. et al. Phytoremediation of heavy metals - Concepts and applications. **Chemosphere**, v.91, p. 869-881, 2013.

ALMEIDA, A. A. F. et al. Tolerance and prospection of phytoremediator woody species of Cd, Pb, Cu and Cr. **Brazilian Journal Plant Physiology**, v. 19, p. 83-98, 2007.

AMARAL, W. G. et al. Dinâmica da flora arbustivo-arbórea colonizadora em uma área degradada pela extração de ouro em Diamantina, MG. **Ciência Florestal**, v. 23, n. 4, p. 713-725, 2013.

ANDRADE, M. M. Cidade de chumbo: uma experiência de divulgação em vídeo sobre a contaminação ambiental na cidade de Santo Amaro da Purificação. **Diálogos & Ciência**, n. 12, p. 107-118, 2010.

BERNAVIDES, M. P. et al. Cadmium toxicity in plants. **Brazilian Journal Plant Physiology**, n. 17, v. 1, p. 21-34, 2005.

BONA, C. et al. Efeito do solo contaminado com óleo diesel na estrutura da raiz e da folha de plântulas de *Sebastiania commersoniana* (Euphorbiaceae) e *Schinus terebinthifolius* (Anacardiaceae). **Acta Botanica Brasilica**, v. 25, n.2, p. 277-285, 2011.

BOSSO, S. T. et al. Lead bioaccessibility in soil and mine wastes after immobilization with phosphates. **Water Air Soil Pollut.**, v. 195, p. 257-273, 2008.

CARVALHO, F. M. et al. Chumbo no sangue de crianças e passivo ambiental de uma fundição de chumbo no Brasil. **Revista Panamericana Salud Pública**, v. 13, n. 1, p. 19-24, 2003.

COUTINHO, H. D.; BARBOSA, A. R. Fitorremediação: considerações gerais e características de utilização. **Silva Lusitana**, v. 15, n. 1, p. 103-117, 2007.

GIULIO, G. M. et al. Comunicação e governança do risco: A experiência brasileira em áreas contaminadas por chumbo. **Ambiente & Sociedade**, v. 13, n. 2, p. 283-297, 2010.

KABATA-PEDIAS, A. **Trace elements in soils and plants**. 4.ed. Boca Raton, CRC. Press, 2011. 503p.

KUMMER, L. **Mineralogia e fracionamento de metais pesados em solos de área de mineração e processamento de chumbo, Adrianópolis-PR**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

MACHADO, S. L. et al. Diagnóstico da contaminação por metais pesados em Santo Amaro – BA. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 9, n. 2, p. 140-155, 2004.

MARQUES, T. C. L. L. DE S. E M. et al. Crescimento e teor de metais de mudas de espécies arbóreas cultivadas em solo contaminado com metais pesados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 1, p. 121-132, 2000.

NASCIMENTO, C. W. A; XING, B. Phytoextraction: a review on enhanced metal availability and plant accumulation. **Science Agrícola**, v. 63, n. 3, p. 299-311, 2006.

NIEMEYER, J. C. et al. **Avaliações ecológicas e ecotoxicológicas relacionadas ao caso da Plumbum em Santo Amaro (BA)**. In: FERNANDES, F. R. C.; BERTOLINO, L. C. Projeto Santo Amaro-BA: Aglutinando ideias, construindo soluções diagnósticos. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2012. 2ª Edição.

SANTOS, G. C. G.; RODELLA, A. A. Efeito da adição de fontes de matéria orgânica como amenizantes do efeito tóxico de B, Zn, Cu, Mn e Pb no cultivo de *Brassica juncea*. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, v. 31, p. 793-804, 2007.

CAPÍTULO I

RELAÇÃO SOLO-VEGETAÇÃO EM ÁREA CONTAMINADA POR METAIS PESADOS, SANTO AMARO - BA¹

¹ Artigo a ser ajustado para submissão ao Comitê Editorial do periódico científico Revista Árvore

Relação solo-vegetação em área contaminada por metais pesados, Santo Amaro-BA

RESUMO: A contaminação por metais pesados tem gerado impactos sócio-ambientais nos ecossistemas. Uma das ferramentas de recuperação de áreas degradadas por contaminantes é a restauração ecológica, que visa reconstituir as condições naturais mais próximas do original. Assim, o estudo da comunidade vegetal é essencial para o desenvolvimento de projeto de restauração. A partir disso, o objetivo deste trabalho foi avaliar a relação solo-vegetação em área contaminada por metais pesados em Santo Amaro-BA. Foi realizado estudo fitossociológico em área da fábrica Plumbum, com 20 parcelas de 10 x 10 m, para coletas de indivíduos arbustivos e arbóreos, calculando densidade, dominância, frequência e valor de importância. Nas parcelas também foram coletadas amostras de solo nas camadas de 0-20 cm de profundidade, para realização de análises químicas e físicas. Com estes dados foram analisadas similaridade entre as parcelas da fitossociologia e metais pesados, utilizando software FITOPAC 2. As espécies que se destacaram foram *Schinus terebinthifolius* Raddi, com maior dominância relativa e valor de importância, e *Psidium guajava* L., com maior frequência e densidade relativa. Estas espécies possuem maior riqueza, abundância e agrupam demais espécies por similaridade florística. As análises de solos nas parcelas evidenciam ampla variação nos teores de cádmio, chumbo e zinco. Em comparação dos dendrogramas de vegetação e metais pesados no solo é possível concluir que os grupos não apresentam similaridades, indicando pouca relação direta dos metais pesados com a expressão da comunidade regenerante.

Palavras-chave: Contaminação, comunidade regenerante, restauração ecológica.

SOIL-VEGETATION RELATIONSHIP IN A HEAVY METALS CONTAMINATED AREA, SANTO AMARO, BAHIA

ABSTRACT: Heavy metal contamination has generated socio-environmental impacts on ecosystems. Ecological restoration is a tool aimed to reconstruct natural conditions closest to the original in areas degraded by contaminants. Thus, the plant community study is essential for the restoration project development. From this, the aim of this study was to evaluate the soil-vegetation relationship in a heavy metals contaminated area, Santo Amaro, Bahia. A phytosociological study was conducted in the Plumbum factory area with 20 parcels (10 x 10 m), for shrubs and tree collection, calculating density, dominance, frequency and importance value. Also soil samples were collected (0-20 cm depth), for conducting chemical and physical analyzes. These data was used to analyze similarity between the phytosociological plots and heavy metals with the Fitopac 2 software. Highlighted species were *Schinus terebinthifolius* Raddi, with the highest relative dominance and importance value, and *Psidium guajava* L., with higher frequency and relative density. These species have greater wealth, abundance and grouped other species by floristic similarity. Soil analyses in the plots show wide variation in the cadmium, lead and zinc levels. In vegetation and heavy metals clusters comparison in soil, is possible to conclude that the groups do not show similarities, indicating little direct relationship of heavy metals with the regenerating community expression.

Keywords: Contamination, regenerating community, ecological restoration.

1. INTRODUÇÃO

A rápida industrialização, aumento das atividades antrópicas, as práticas agrícolas modernas e os métodos de eliminação de resíduos têm aumentado as concentrações de poluentes no ambiente, que causam toxicidade para todos os organismos (EAPEN e D'SOUZA, 2005).

A contaminação dos solos e recursos hídricos com elementos químicos perigosos pode ocorrer por disposição e derrame proposital ou acidental de resíduos provenientes de atividades de mineração, agrícolas, industriais, domésticas ou deposição atmosférica, os quais modificam as características dos recursos naturais (MARQUES et al., 2011).

Dentre os contaminantes, encontram-se os metais pesados, como chumbo, cádmio, mercúrio e zinco, que em altas concentrações causam toxicidade nos vegetais, restringindo crescimento das plantas. Também podem afetar a diversidade e atividade dos organismos do solo, inibindo a decomposição da matéria orgânica e processos de mineralização de nitrogênio (WONG, 2003).

A mineração e metalurgia de metais pesados geram impactos na vegetação pela supressão ou impedimento de sua regeneração. O solo superficial de maior fertilidade é removido e os solos remanescentes ficam expostos aos processos erosivos. Além disso, as águas dos rios e reservatórios são contaminadas por substâncias lixiviadas ou carregadas (MECHI e SANCHES, 2010; MENTA et al., 2013).

A reversão e minimização desses impactos são possíveis através da ecologia da restauração ou restauração ecológica, que é o processo de auxílio ao restabelecimento de um ecossistema que foi degradado, danificado ou destruído. É uma atividade deliberada, que inicia ou acelera a recuperação de um ecossistema, com respeito à sua saúde, integridade e sustentabilidade (Sociedade Internacional para a Restauração Ecológica - SER, 2004; 2005).

A prática da restauração ecológica é de muitas décadas, pelo menos em suas formas mais aplicadas, tais como controle da erosão, reflorestamento e melhoramento do habitat (YOUNG et al., 2005). Essa restauração deve ser baseada em aspectos ecológicos para a melhoria dos danos ambientais do passado e tolerância das atuais pressões ambientais (JONES, 2013).

A restauração na mineração precisa ocorrer de forma mais semelhante possível em relação às condições naturais da região (JEFERSON, 2004). Por isso, antes de adotar um projeto de restauração ecológica são necessários estudos ambientais para compreender os processos de sucessões ecológicas (ANAWAR et al., 2013).

O estudo da vegetação em áreas contaminadas produz dados da composição e cobertura vegetal que são importantes informações para o monitoramento da qualidade desse ecossistema, que pode mudar em resposta ao estresse da poluição (NIEMEYER et al., 2012). Nesse caso, a fitossociologia é a ferramenta que permite inferir o padrão de regeneração natural das comunidades, aumentando as chances de sucesso da restauração ecológica (ARAÚJO et al., 2006).

A comunidade arbustivo-arbórea tem vantagens devido a proporcionar uma cobertura permanente em áreas perturbadas com pouca ou nenhuma manutenção, além do potencial de absorção de metais pesados para a parte aérea ou diminuir a mobilidade dos metais (SINGH et al., 2004; BRUNNER et al., 2008), desta forma cumprindo os objetivos de estabilização, controle da poluição, melhoria visual e remoção de ameaças para os seres humanos (WONG, 2003).

A observação e perfeita identificação das espécies vegetais que colonizam locais com altos teores de metais pesados contribui para o desenvolvimento mais eficaz da técnica de fitorremediação, que visa reduzir as concentrações ou efeitos tóxicos dos contaminantes no ambiente (OLSON e FLETCHER, 2000; GREIPSSON, 2011).

A partir dessa perspectiva o presente estudo tem como objetivo avaliar a relação solo-vegetação em área contaminada por metais pesados em Santo Amaro, Bahia.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização da área de estudo

O estudo foi realizado na desativada fábrica Plumbum Mineração e Metalurgia Ltda., localizada no município de Santo Amaro, Recôncavo da Bahia (Figura 1). Os solos predominantes no ecossistema de referência são cambissolos e vertissolos, esse último conhecido popularmente por massapé, formados por argila (esmectita)

oriunda dos folhelhos do grupo geológico Santo Amaro, tendo como característica a alta capacidade de adsorção de metais pesados (MACHADO, 2004).

Segundo classificação de Thornthwaite o clima característico é úmido a subúmido, com temperatura média anual de 25,4°C e pluviosidade média anual de 1.000 a 1.600 mm (SEI, 1997). A vegetação predominante em Santo Amaro é Floresta Ombrófila Densa Atlântica e formações pioneiras, com influência fluviomarinha, como Manguezais e Restingas (RADAMBRASIL, 1981). Vale destacar que a região onde a fábrica está inserida era formação florestal atlântica em diferentes estágios sucessionais, porém essa vegetação pretérita não foi documentada. Na atualidade, após 54 anos de abandono tem-se na área uma comunidade vegetal regenerante, formada por ervas, arbustos e árvores (Figura 2), porém ainda incipiente e pouco diversa como caracterizado nos resultados.

O processo de “encapsulamento” da escória no sítio da Plumbum ocorreu com recobrimento deste rejeito numa camada de 30 cm de profundidade em alguns pontos da fábrica, utilizando o próprio solo da área e a colocação de bambus para fixação do terreno (ANJOS, 2003). Porém, estudos ambientais não foram apresentados e tal solução foi pensada como contenção do problema ambiental em curto prazo.

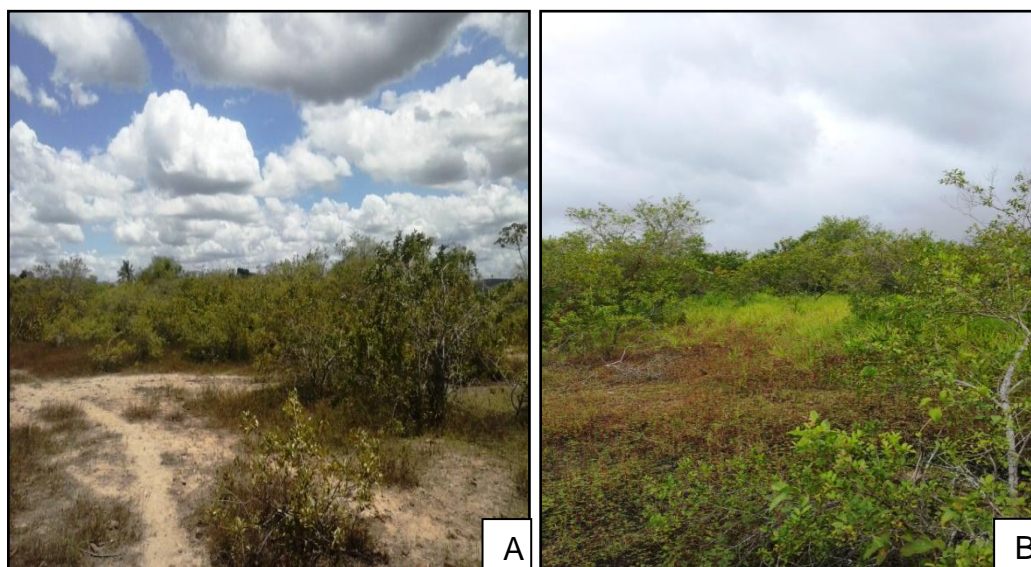


Figura 1. Área de estudo na desativada fábrica Plumbum. A - Período Seco; B - Período chuvoso.

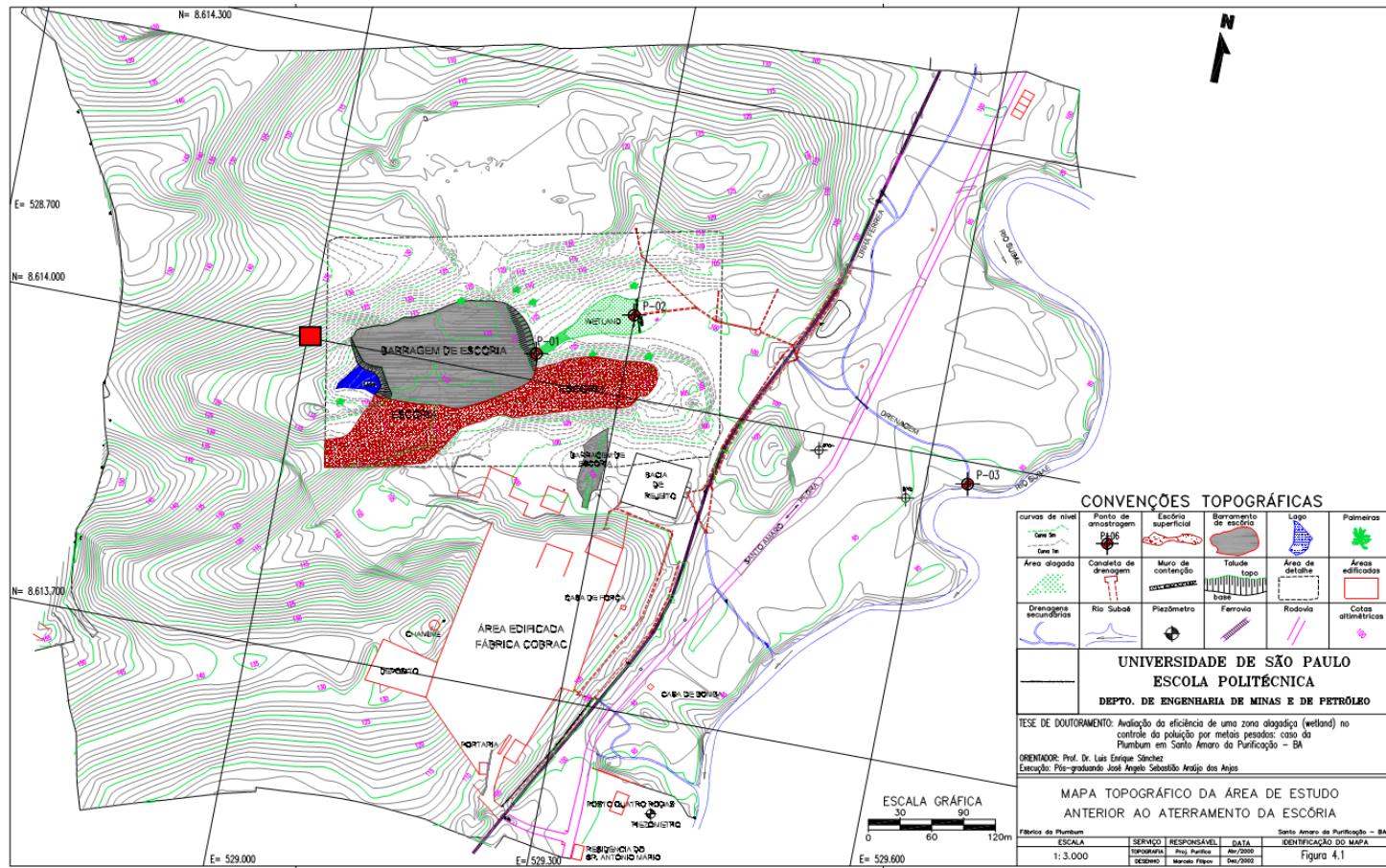


Figura 2. Fábrica Plumbum Mineração e Metalurgia Ltda, Santo Amaro, Bahia. ■ Área de amostragem das parcelas solos e plantas (529.098E e 8.613.904 N a 529.114N e 8.613.967E).

2.2 Análises químicas e físicas do solo

Foram demarcadas 20 parcelas de 10 x 10 m para coletas de três amostras simples de solo por parcela, com formação de uma amostra composta. A amostragem foi realizada por tradagem, com trado holandês, na camada de 0-20 cm de profundidade. Essa camada foi utilizada para análise de agrupamentos dos metais pesados, devido apresentar rejeitos de escória e de construção da fábrica, sendo barreiras físicas para alcançar outras profundidades.

As análises químicas dos solos foram realizadas no Laboratório de Solos e Nutrição de Plantas da Embrapa Mandioca e Fruticultura, seguindo metodologias descritas em EMBRAPA (1997; 1999). As análises realizadas foram as seguintes: cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), e alumínio (Al^{3+}) trocáveis extraídos com solução de cloreto de potássio 1 mol L^{-1} , sendo quantificados o Ca^{2+} e Mg^{2+} por espectrofotometria de absorção atômica e o Al^{3+} por titulometria; H+Al extraído em solução de acetato de cálcio $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ dosados por titulometria; fósforo disponível por colorimetria; sódio (Na^+) e potássio (K^+) trocáveis extraídos em solução de Mehlich 1 dosados por fotometria de chama; Os metais pesados cádmio, chumbo e zinco foram extraídos por solução de Mehlich 1 e determinados por espectrofotometria de absorção atômica; A matéria orgânica foi obtida a partir do cálculo e extração do carbono orgânico, com solução de dicromato de potássio em meio sulfúrico e titulado por solução de sulfato ferroso amoniacal 0,1 N (método Walkley-Black); pH em água. A análise física do solo foi realizada no Laboratório de Física do Solo da Embrapa Mandioca e Fruticultura e consistiu na determinação granulométrica dos teores de argila e silte pelo método da pipeta, com dispersão química (NaOH) e mecânica, areia grossa e fina quantificadas por tamisação.

2.3 Levantamento fitossociológico

O estudo fitossociológico foi realizado por meio do método de parcelas múltiplas (MUELLER-DOMBOIS; ELLENBERG, 1974), sendo utilizadas 20 parcelas de 10 x 10 m das coletas de solos para amostragem dos indivíduos arbustivos e arbóreos, com critério de inclusão PAS (perímetro na altura do solo) igual ou maior a 3 cm.

O material coletado foi herborizado e colocado em estufa de circulação forçada a 60° para secagem, seguindo a metodologia Mori et al. (1989). O processo foi realizado no laboratório de ecologia vegetal e restauração ecológica (LEVRE), e posteriormente o material em estagio reprodutivo foi incorporado ao Herbário do Recôncavo da Bahia (HURB), ambos localizados na Universidade Federal do Recôncavo da Bahia – UFRB.

A identificação taxonômica das espécies estabelecidas na área contaminada foi por meio de literatura especializada e consultas a material depositado no HURB. O sistema de classificação adotado foi Angiosperm Phylogeny Group - APG III (2009), com validação dos nomes das espécies a partir da base de dados fornecida pelo Jardim Botânico do Rio de Janeiro (<http://floradobrasil.jbrj.gov.br>).

Os parâmetros fitossociológicos calculados segundo Mueller-Dombois e Ellenberg (1974) foram:

$$\text{Frequência Absoluta (FA)} = U_{Ai}/UAT$$

$$\text{Frequência Relativa (FR)} = (FA/\sum FA) \times 100$$

$$\text{Densidade Absoluta (DA)} = n_i/A$$

$$\text{Densidade Relativa (DR)} = (n_i/N) \times 100$$

$$\text{Dominância Absoluta (DoA)} = \sum AB_i/A$$

$$\text{Dominância Relativa (DoR)} = (AB_i/ABT) \times 100$$

$$\text{Valor de Importância (VI)} = DR + FR + DoR$$

Onde: U_{Ai} = Número de unidades amostrais da espécie “i”; UAT = Número total de unidades amostrais; $\sum FA$ = Somatório da frequência absoluta; n_i = Número de indivíduos amostrados da espécie “i”; A = Área amostrada; N = Número total de indivíduos amostrados da comunidade; $\sum AB_i$ = Somatório da área basal de todos indivíduos da espécie “i”; AB_i = Área basal da espécie “i”; ABT = Área basal total.

2.4 Análise de similaridade

A análise de similaridade entre as parcelas da fitossociologia e entre as parcelas da química do solo, enfatizando os metais pesados, na área de estudo foram realizadas com software FITOPAC 2 (SHEPHERD, 2006), sendo descartadas as parcelas que não continham plantas na primeira análise.

A análise de agrupamento ocorreu inicialmente com a conversão da matriz de dados fitossociológica em uma matriz de presença e ausência das espécies

(SNEATH e SOKAL, 1973). A partir dessa matriz foi adotado o índice de similaridade de Bray-Curtis, devido à homogeneidade da vegetação e a dominância de apenas duas espécies. Este índice é baseado nas diferenças absolutas e nas somas das abundâncias de cada espécie (VALENTIN, 2000). Para interpretação utilizou-se o método de média de grupo não ponderada (UPGMA).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Propriedades químicas e físicas do solo

Os resultados das análises químicas e físicas do solo das parcelas encontram-se na Tabela 1. Os solos de todas as parcelas são alcalinos, decorrentes dos elevados valores de pH e teores de bases trocáveis, além da ausência dos íons alumínio e hidrogênio. Em pH elevado pode ocorrer complexação dos metais pesados com matéria orgânica, fenômenos de quimiosorção com óxidos, argilominerais e precipitação com carbonato, hidróxido ou fostato (NASCIMENTO et al., 2006).

Em relação aos nutrientes do solo, as parcelas 8, 9, 10, 13, 18 e 19 registraram maiores teores de fósforo (P), que pode ser capaz de imobilizar os metais pesados por precipitação formando fosfatos de cádmio (Cd), chumbo (Pb) ou zinco (Zn) (PAIM et al., 2003). Além do fósforo, o cálcio (Ca) também atua na imobilização de metais (KABATA-PEDIAS, 2011). Na área de estudo Ca^{+2} apresentou altas concentrações (Tabela 1), provavelmente devido à formação do solo derivado do Grupo Santo Amaro, que é mais calcário, apresentando carbonatos associados aos folhelhos (ASEVEDO et al., 2012).

Tanto os altos valores de pH e altas concentrações de Ca^{+2} interferem amplamente nos processos de adsorção e de solubilização de íons, responsáveis pela concentração de nutrientes na solução do solo (MOREIRA et al., 2000). Já os teores de K^{+} e Na^{+} encontravam-se abaixo de $0,6 \text{ cmolc dm}^{-3}$, e não foram identificados teores de Al^{+3} e H+Al nos solos. O contrário ocorreu para a capacidade de troca catiônica (CTC) que apresentou altos valores, sendo característico deste tipo de solo (vertissolos).

Em relação à matéria orgânica na parcela 7, que apresentou maior teor, também é a parcela onde foram encontrados os maiores teores de chumbo e zinco.

Essas interações entre matéria orgânica e metais podem acontecer através de adsorção, reações de troca catiônica e por complexação. As reações de complexação são as mais importantes, pois afetam profundamente a geoquímica dos íons metálicos, modificando a sua solubilidade (BEZERRA et al., 2009).

Santos (2012) analisou a fração da matéria orgânica dos solos de Santo Amaro e verificou aumento no teor de chumbo. Esse comportamento evidencia que a matéria orgânica forma complexos organometálicos o que diminui a fitodisponibilidade deste metal no solo, reduzindo com isso os riscos de bioacumulação na cadeia trófica.

Os teores de Cd, Pb e Zn nos solos encontravam-se elevados, acima do regulamentado pelo CONAMA (2009) para valores de prevenção e/ou intervenção industrial. Tais limites são: para cádmio limite de prevenção $1,3 \text{ mg kg}^{-1}$ e intervenção industrial 20 mg kg^{-1} ; para chumbo limite prevenção 72 mg kg^{-1} e intervenção industrial 900 mg kg^{-1} ; e para zinco limite de prevenção 300 mg kg^{-1} e intervenção industrial 2000 mg kg^{-1} .

O cádmio apresentou valores acima da faixa de prevenção em quase todas as parcelas, as únicas exceções foram as parcelas 6, 14 e 16. Em relação aos valores de intervenção industrial as parcelas 1, 2, 3, 4, 8, 10 e 12 possuem teores de Cd acima do estabelecido pelo Conama, indicando contaminação dos solos.

No caso de solos com teores acima do limite de intervenção industrial é necessário monitoramento constante dos contaminantes, pois representa risco direto ou indireto à saúde humana, além de prejudicial à qualidade dos recursos naturais.

As parcelas 7, 8, 9, 10, 18, 19 e 20, o chumbo apresentou teores acima do limite de prevenção. Já zinco nas parcelas 7, 8 e 20 apresentaram teores acima do limite de prevenção. Segundo CONAMA (2009), o limite de prevenção representa a concentração de determinada substância no solo, que seja capaz de sustentar as condições necessárias para os seres vivos.

A textura argilosa representa um dos fatores de indisponibilidade dos metais. Nesse estudo 50% das amostras nas parcelas apresentaram maiores teores de argila, e 50% maiores teores de areia, que permite classificar os tipos de texturas predominantes entre argila a franco-argiloso-arenoso (Tabela 1).

Tabela 1. Propriedades químicas e físicas do solo da fábrica Plumbum, Santo Amaro.

PA	pH	P	K+	Na+	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	CTC	Cd	Pb	Zn	MO	Areia	Silte	Argila
1	8,9	7,00	0,25	0,29	19,15	5,18	0,00	0,00	24,58	35,44	32,51	76,65	16,33	470	182	348
2	8,8	6,00	0,23	0,29	17,96	5,81	0,00	0,00	24,00	68,73	0,39	0,57	6,55	469	212	319
3	8,3	12,00	0,27	0,30	21,77	2,23	0,00	0,00	24,27	125,41	60,54	18,78	4,36	320	187	493
4	8,3	4,00	0,33	0,30	30,28	2,45	0,00	0,00	33,06	39,01	6,86	4,63	9,46	227	256	514
5	8,9	5,00	0,17	0,14	34,29	2,29	0,00	0,00	36,75	17,06	6,79	4,77	12,69	396	233	371
6	8,4	3,00	0,31	0,20	33,76	1,88	0,00	0,00	35,95	0,50	0,72	0,52	8,05	205	317	478
7	7,6	27,00	0,10	0,06	4,46	0,80	0,00	0,00	5,36	13,58	482,46	501,01	19,55	577	87	336
8	8,3	60,00	0,33	0,28	8,61	1,68	0,00	0,00	10,62	31,74	394,13	372,09	13,29	493	117	390
9	8,5	70,00	0,20	0,20	9,31	1,63	0,00	0,00	11,14	17,14	114,92	85,81	2,71	461	106	433
10	8,2	60,00	0,31	0,25	15,88	1,31	0,00	0,00	17,50	211,55	194,83	129,61	5,31	420	155	425
11	8,4	7,00	0,23	0,20	21,77	1,76	0,00	0,00	23,76	19,52	4,7	2,14	14,55	447	213	340
12	8,5	8,00	0,31	0,25	29,15	2,12	0,00	0,00	31,58	47,81	7,14	4,56	15,48	311	320	369
13	8,3	60,00	0,31	0,33	10,94	2,93	0,00	0,00	14,18	2,79	20,20	49,96	5,41	469	118	413
14	8,6	9,00	0,46	0,44	23,46	4,93	0,00	0,00	28,85	1,15	2,90	0,76	13,93	67	374	559
15	8,7	8,00	0,41	0,43	22,39	4,01	0,00	0,00	26,81	3,62	1,36	1,05	4,12	215	284	501
16	8,6	9,00	0,31	0,42	26,29	4,76	0,00	0,00	31,36	0,88	23,58	0,72	8,95	238	339	423
17	8,5	8,00	0,43	0,37	22,58	3,18	0,00	0,00	26,19	2,13	3,59	1,49	7,02	196	350	454
18	8,1	100,00	0,29	0,25	11,79	1,47	0,00	0,00	13,55	5,28	214,35	56,18	15,81	753	93	154
19	8,4	60,00	0,28	0,27	8,98	1,30	0,00	0,00	10,56	6,55	166,17	238,29	15,65	515	91	394
20	8,1	24,00	0,54	0,22	6,44	1,16	0,00	0,00	8,14	4,87	300,47	487,07	15,65	447	84	469

PA = parcelas; pH = potencial hidrogênio; H+Al=acidez potencial; CTC = capacidade de troca catiônica; MO = matéria orgânica.

3.2 Levantamento fitossociológico

A comunidade vegetal regenerante do componente arbustivo-arbóreo ocorre em ilhas com dominância de duas espécies, apresentando forte impacto da ação antrópica pela metalúrgica. Com número médio de duas espécies por parcelas, sendo mínimo uma espécie e máximo seis espécies por parcelas, apenas duas parcelas não apresentaram plantas.

O total dos 142 indivíduos amostrados se distribuíram em cinco famílias, quatro gêneros e seis espécies, sendo a área basal total de 20,3 m² e diâmetro máximo encontrado foi de 28,7 cm. A espécie que apresentou maior dominância relativa e valor de importância foi *Schinus terebinthifolius* Raddi (Tabela 2). Já a espécie que registrou maiores valores de frequência e densidade relativas foi *Psidium guajava* L. (Tabela 2).

Tabela 2. Relação e parâmetros fitossociológicos das espécies amostradas na área contaminada da antiga fábrica Plumbum, Santo Amaro, BA.

Família	Espécies	N	FA	FR	DA	DR	DoA	DoR	VI
Anacardiaceae	<i>Schinus terebinthifolius</i> Raddi	62,00	0,75	37,50	0,03	43,66	14,44	71,00	152,16
Myrtaceae	<i>Psidium guajava</i> L.	65,00	0,85	42,50	0,03	45,77	5,13	25,22	113,49
Fabaceae/ Mimosoideae	<i>Leucaena leucocephala</i> (Lam.) de Wit	7,00	0,10	5,00	0,00	4,93	0,57	2,81	12,74
Verbenaceae	<i>Lantana camara</i> L.	5,00	0,15	7,50	0,00	3,52	0,14	0,69	11,71
Asteraceae	Asteraceaes1	2,00	0,10	5,00	0,00	1,41	0,05	0,25	6,66
Fabaceae/ Mimosoideae	<i>Desmanthus</i> <i>pernambucanus</i> (L.) Thell.	1,00	0,05	2,50	0,00	0,70	0,01	0,03	3,23

N = número de indivíduos; FA = frequência absoluta; FR = frequência relativa; DA = densidade absoluta; DR = densidade relativa; DoA = dominância absoluta; DoR = dominância relativa; VI = valor de importância.

A espécie *Schinus terebinthifolius* Raddi (aroeirinha ou aroeira-pimenteira) é muito indicada na recuperação e na restauração florestal, além de frequentemente ser utilizada na arborização urbana (ANDRADE e BOARETTO, 2012). Também é colonizadora de áreas degradadas por mineração de caulim (ARAÚJO et al., 2006), e estudos avaliaram o potencial fitorremediador para cobre (SILVA, 2008) e o metalóide arsênio (SILVA, 2008). Também essa espécie possui potencial para

fitoestabilização de solos contaminados de Santo Amaro, por apresentar capacidade de concentrar chumbo ($165,72 \text{ mg kg}^{-1}$) e zinco ($129,15 \text{ mg kg}^{-1}$) no caule (ASSUNÇÃO, 2012).

Psidium guajava L. (Myrtaceae), a goiabeira ou araçá, é uma espécie não endêmica do Brasil e pode ser instrumento importante para a restauração, devido atrair aves frugívoras que melhoram a dispersão de semente local (BERENS et al., 2008; SILVA et al., 2013). Essa espécie possui potencial para biomonitoramento de níquel (PERRY et al., 2010) e ozônio (TRESMONDI, 2010).

Leucaena leucocephala (Lam.) de Wit é originária da América Central e amplamente distribuída fornece rápida proteção aos solos e melhoria de sua qualidade pela fixação de nitrogênio, porém não é recomendável para recuperação de áreas degradadas quando a meta do plantio for a diversidade de espécies arbóreas (COSTA e DURIGAN, 2010). Além disso, a planta apresenta potencial para fitoestabilização dos metais pesados cádmio, níquel, zinco (SARASWAT e RAI, 2011; HO et al., 2013).

Lantana camara L. (Verbenaceae) é um arbusto nativo da América do Sul, que ocorre em diversos habitats e numa variedade de tipos de solo. Geralmente cresce em locais abertos, terras degradadas, pastagens, bordas das florestas tropicais e subtropicais e as florestas em recuperação de incêndio (OSUNKOYA et al., 2013). A espécie possui alta potencialidade para fitoextração do metal pesado chumbo (JUSSELME et al., 2012; 2013).

Souza (2013) em coletas de plantas para caracterização da área no entorno da fábrica Plumbum, do mesmo modo registrou uma baixa riqueza de espécies com hábitos arbustivo-arbóreos, sendo as ocorrentes *Psidium guajava* L, *Mimosa pigra* L, *Erythrina velutina* Willd., *Cecropia pachystachya* Trécul, *Ricinus comunis* L. Na área deste estudo foi identificada apenas *Psidium guajava* L, que possui grande importância ecológica na comunidade.

Niemeyer et al. (2012) em estudo de ecologia de risco, que visa estimar os efeitos adversos esperados como resultado da exposição ambiental aos contaminantes na Plumbum, caracterizou a vegetação como muito homogênea e em alguns locais evidenciou uma vegetação secundária em estágio inicial de sucessão. Concluiu que os rejeitos ricos em metais pesados e a tentativa fracassada no passado de encapsulá-los têm prejudicado o estabelecimento da vegetação.

Corrêa e Mélo Filho (2007) em levantamento florístico do estrato lenhoso das áreas mineradas do Distrito Federal, em semelhança florística com este estudo, registraram as espécies *L. leucocephala*, *P. guajava* e *L. camara*, porém com baixa frequência e abundância. Além disso, observaram que as espécies regenerantes representavam a flora mais comum dessas áreas, ocorrendo de forma esparsa e abandonada à sucessão.

Frizzo (2002) em estudo florístico na mineração de cobre de Lavras do Sul identificou manchas homogêneas de vegetação, com gênero *Schinus* L. mais frequente, identificando as espécies *Schinus lentiscifolius* March, *Schinus molle* Linn, *Schinus polygamus* (Cav.) Cabrera. Essa informação é importante para elaboração de projetos de revegetação em áreas degradadas por mineração.

França (2011) realizando levantamento florístico de espécies nativas em solos contaminados por metais pesados (zinco e cádmio), também registrou uma baixa biodiversidade, como *Gomphrena globosa* L, *Anacardium cf. nanum* A. St. Hil., *Vernonia* sp. Schreb., *Inga* sp. Mill., *Machaerium villosum* Vogel, *Eugenia dysenterica* DC., *Qualea grandiflora* e *Cecropia* sp. Loefl. Essas espécies apresentam potencial uso na recuperação de áreas degradadas.

Nessas áreas de mineração a revegetação parcialmente “natural” ocorre devido à colonização de espécies espontâneas ou nativas, apresentando uma baixa diversidade biológica composta por poucas espécies. As comunidades vegetais nestes locais fornecem proteção contra os efeitos da erosão, reduzindo a dispersão de contaminantes (CONESA et al., 2006).

A baixa diversidade de espécies vegetais em minas de rejeitos está relacionada com fatores adversos dos solos, como acidez, deficiências de nutrientes, metais pesados tóxicos ou má estrutura física do solo, mas algumas plantas podem tolerar essas condições de estresses. Portanto, espécies de plantas estabelecidas nestes locais provavelmente são úteis para corrigir e restaurar solos degradados (PRATAS et al., 2013).

3.3 Similaridade florística

Os índices de similaridade de Bray-Curtis nas parcelas da fitossociologia entre 2 e 5, 5 e 19, 5 e 20 apresentaram 100% de similaridade, já as parcelas entre 4 e 14, 19 e 20 apresentaram 0% de similaridade (Tabela 3). Através desses valores foi

gerado um dendrograma pelo método de média de grupos não ponderada (UPGMA), com valor de coeficiente de correlação cofenética de 0,81 que indicou formação de três grupos.

As parcelas do grupo um (1) apresentaram abundância de 4 a 7 indivíduos, exclusivamente composta por *P. guajava* e *S. terebinthifolius*, essa última espécie é dominante em todas as parcelas. Apenas na parcela 5 - *P. guajava* esteve ausente, a ligação da mesma com subgrupo formado pelas demais parcelas apresentou nível de corte de 0,26. Além disso, as parcelas 4 e 14 são totalmente homogêneas em relação a sua abundância e riqueza (Figura 3).

O grupo dois (2) foi formado por parcelas de maior abundância de 10 a 23 indivíduos e riqueza de 6 espécies: *S. terebinthifolius*; *P. guajava*; *L. leucocephala*; *L. camara* L.; *D. pernambucanus* e Asteraceae. As parcelas desse grupo foram ligadas devido a dominância de *P. guajava*, com exceção das parcelas 6 e 7 que apresentaram dominância de *S. terebinthifolius* (Figura 3).

O grupo três (3) apresentou abundância de 1 a 5 indivíduos e riqueza de 3 espécies, *P. guajava* também dominou em todas as parcelas e *S. terebinthifolius* esteve ausente, com exceção da parcela 15 em que *S. terebinthifolius* tem número proporcional de indivíduo de *P. guajava*. As parcelas 19 e 20 são totalmente homogêneas, compostas por *P. guajava* e *L. camara* (Figura 3).

Frizzo e Porto (2004) em análise de similaridade florística na mineração de cobre de Lavras do Sul reconheceram cinco grupos de componentes arbóreos (grupo 1), arbustivo-herbáceo (grupo 4), herbáceo baixo aberto (grupo 3) e herbáceo (grupos 2 e 5). As espécies *Schinus lentiscifolius* e *Heterothalamus alienus* foram as formadoras de unidade de vegetação, podendo estar ligada às ocorrências de mineralizações (filões) de ouro e cobre na mina Volta Grande.

Araújo et al (2005) em estudo de similaridade florística da vegetação arbustivo-arbóreo da mineração de caulim, indicou a formação de três grupos distintos comparando áreas em situação de regeneração natural, além de espécies exclusivas como pertencente ao gênero *Psidium* (*P. rufum*), o que destaca a importância da conservação dessas áreas.

Portanto, as espécies *S. terebinthifolius* e *P. guajava* são importantes na comunidade vegetal por apresentarem maior abundância e riqueza nos grupos, como também pela associação com outras espécies (*L. leucocephala*, *L. camara* L.

Asteraceae sp1, *D. pernambucanus*). Provavelmente elas atuam na estabilização dos solos contaminados de Santo Amaro.

Tabela 3. Matriz triangular dos índices de similaridade Bray-Curtis, entre as parcelas (P) fitossociológicas, Fábrica Plumbum, Santo Amaro, Bahia.

P	1	2	3	4	5	6	7	8	10	11	12	13	14	15	17	18	19	20
1	1,00																	
2	0,85	1,00																
3	0,44	0,71	1,00															
4	0,50	0,60	0,20	1,00														
5	0,50	1,00	0,20	0,25	1,00													
6	0,31	0,90	0,54	0,67	0,67	1,00												
7	0,27	0,82	0,25	0,43	0,43	0,33	1,00											
8	0,37	0,75	0,23	0,27	0,27	0,56	0,29	1,00										
10	0,41	0,67	0,09	0,11	0,11	0,60	0,33	0,17	1,00									
11	0,37	0,75	0,08	0,27	0,27	0,48	0,18	0,14	0,17	1,00								
12	0,41	0,67	0,27	0,11	0,33	0,60	0,33	0,17	0,20	0,17	1,00							
13	0,43	0,92	0,79	0,78	0,85	0,58	0,64	0,67	0,79	0,73	0,71	1,00						
14	0,50	0,60	0,20	0,00	0,25	0,67	0,43	0,27	0,11	0,27	0,11	0,78	1,00					
15	0,71	0,33	0,50	0,33	0,67	0,82	0,67	0,56	0,43	0,56	0,43	0,84	0,33	1,00				
17	0,41	0,67	0,64	0,56	0,78	0,60	0,33	0,50	0,60	0,50	0,40	0,64	0,56	0,43	1,00			
18	0,17	0,89	0,57	0,62	0,62	0,41	0,41	0,50	0,55	0,50	0,55	0,25	0,62	0,79	0,55	1,00		
19	0,65	0,67	0,82	0,78	1,00	0,76	0,60	0,67	0,80	0,67	0,60	0,71	0,78	0,71	0,40	0,73	1,00	
20	0,65	0,67	0,82	0,78	1,00	0,76	0,60	0,67	0,80	0,67	0,60	0,71	0,78	0,71	0,40	0,73	0,00	1,00

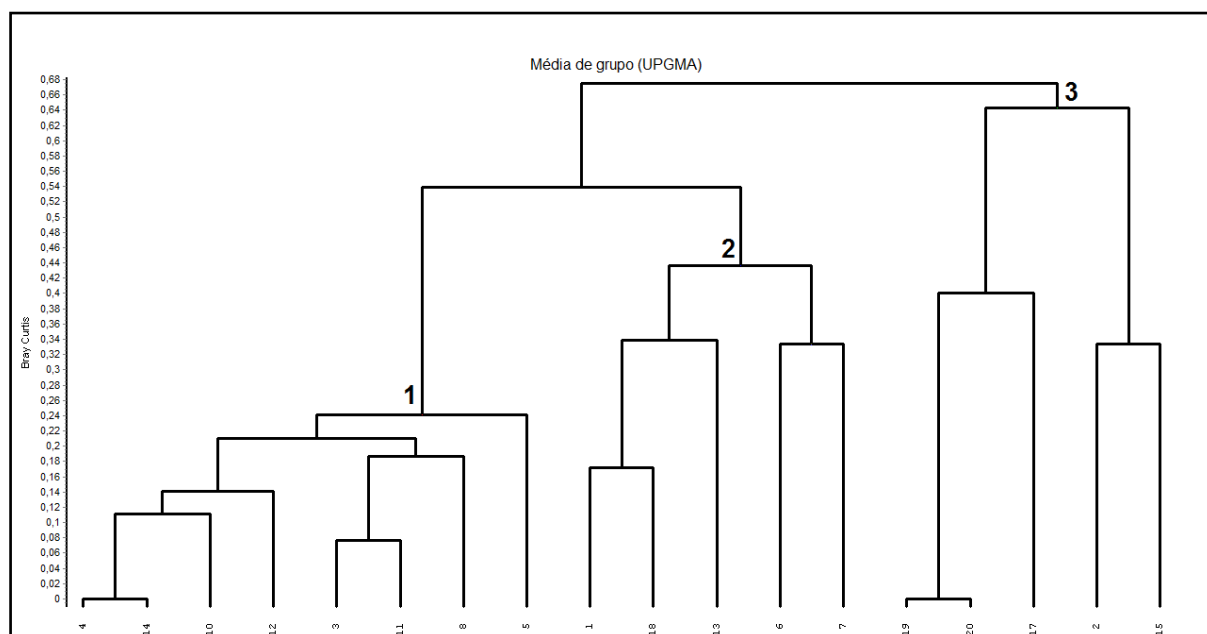


Figura 3. Dendrograma pelo método média de grupo não ponderado (UPGMA), com base no índice de similaridade Bray-Curtis para comunidade de plantas arbustivo-arbóreas na área da Fábrica Plumbum, Santo Amaro, Bahia.

3.4 Agrupamentos dos metais pesados no solo

Os índices de similaridade de Bray-Curtis para parcelas de análise química do solo (metais pesados) registrou índice máximo de 100% entre as parcelas 14 e 19, 14 e 20, 17 e 19, 17 e 20, e apresentou índice mínimo 6% entre as parcelas 3 e 10 de similaridade (Tabela 4). A partir desses índices foi gerado um dendrograma pelo método de média de grupos não ponderada (UPGMA), com valor de coeficiente de correlação cofenética de 0,92 que estabeleceu a formação de quatro grupos.

Percebeu-se que o dendrograma entre as parcelas de vegetação não apresenta similaridade alguma entre as parcelas analisando a distribuição dos metais pesados na área de estudo. Isso indica pouca relação direta dos metais pesados com a expressão da regeneração natural crescendo sobre ele, pela baixa similitude dos grupos formados nas duas análises.

O dendrograma respondeu aos valores máximos do chumbo, pois na área de estudo esse metal é dominante em relação cádmio e zinco. A parcela de maior teor de Pb na camada de 0-20 cm foi a parcela 7 (482,46 mg kg⁻¹) e de menor teor foi a parcela 2 (0,39 mg kg⁻¹). Os teores de metais pesados apresentados nos grupos estão conforme a Tabela 1.

O grupo um (1) é formado por parcelas que apresentaram maiores teores de cádmio (17,06 mg kg⁻¹–68,73 mg kg⁻¹) em relação a chumbo (4,70 mg kg⁻¹–7,14 mg kg⁻¹) e zinco (2,14 mg kg⁻¹–4,56 mg kg⁻¹). Também registrou dominância de *S. terebinthifolius* em relação *P. guajava*, a exemplo do observado no grupo um (1) de similaridade florística, com exceção da parcela 2 em que esteve presente apenas *P. guajava*. Já as parcelas 14, 10, 3 e 8 não estão ligadas nesse grupo como no dendrograma anterior, devido apresentarem valores de metais pesados muito variáveis em relação às demais parcelas desse grupo.

Nas parcelas do grupo dois (2) o zinco possuía valores mais elevados (49,96 mg kg⁻¹–76,65 mg kg⁻¹) que cádmio (2,79 mg kg⁻¹–35,44 mg kg⁻¹) e chumbo (20,20 mg kg⁻¹–32,51 mg kg⁻¹). Nesse grupo *P. guajava* é dominante em relação as demais espécies, com exceção da parcela 3 que possui maiores valores de cádmio (125,41 mg kg⁻¹) e chumbo (60,54 mg kg⁻¹), além de dominância *S. terebinthifolius* em relação *P. guajava*.

No dendrograma as parcelas do grupo três (3) apresentaram maiores teores de zinco (56,18 mg kg⁻¹–501,01 mg kg⁻¹) e chumbo (166,17 mg kg⁻¹–482,46 mg kg⁻¹), do

que cádmio ($4,87 \text{ mg kg}^{-1}$ - $31,74 \text{ mg kg}^{-1}$). Com exceção da parcela 10 que registrou maior teor de cádmio ($211,55 \text{ mg kg}^{-1}$) que chumbo ($194,83 \text{ mg kg}^{-1}$) e zinco ($129,61 \text{ mg kg}^{-1}$). Nessas parcelas *P. guajava* sempre estava presente, ligada *S. terebinthifolius* (7, 8, 18, 10), *L. camara* (19, 20), *L. leucocephala* (8). Esse foi grupo que registrou maior riqueza e abundância de espécies.

Já grupo quarto (4) foi constituído de parcelas com valores mais baixos de zinco ($0,52 \text{ mg kg}^{-1}$ - $1,49 \text{ mg kg}^{-1}$), cádmio ($0,50 \text{ mg kg}^{-1}$ - $3,62 \text{ mg kg}^{-1}$) e chumbo ($0,72 \text{ mg kg}^{-1}$ - $3,59 \text{ mg kg}^{-1}$), sendo composta apenas por *S. terebinthifolius* e *P. guajava*. Essa baixa diversidade no grupo de menores teores de metais pesados, possivelmente está relacionada à deficiência de zinco no solo, teores desse elemento no solo abaixo de 10 a 20 mg kg^{-1} são considerados deficientes, enquanto aqueles solos com teores entre 25 a 150 mg kg^{-1} apresentam metal em quantidades ideais à nutrição das plantas (CHAVES et al., 2010).

Nos grupos de elevadas concentrações de metais pesados (1, 2, 3) foi observado que quando zinco apresentava alto teor no solo, o metal cádmio tinha baixo teor e vice-versa. Essa interação pode estar ocorrendo devido ao fato da adsorção de Zn em argila ser mais forte do que Cd. Além disso, esses metais têm estruturas iônicas, eletronegatividade e propriedades químicas, semelhantes favorecendo a competição entre eles pelos sítios de adsorção (KABATA-PENDIAS 2011).

O zinco interage mais com o chumbo, provavelmente devido ao raio hidratado do Pb^{2+} ser menor que do Cd^{2+} ($\text{Pb}^{2+} = 0,401 \text{ nm}$; $\text{Cd}^{2+} = 0,426 \text{ nm}$), sendo as interações coulombianas do chumbo com os sítios de troca favorecidas (LINHARES et al., 2009). Para mais comprovações sobre essas interações são necessários estudos de isotermas de adsorção com os vertissolos contaminados de Santo Amaro.

As análises dos metais pesados no solo evidenciaram contaminação, também referenciado na ampla literatura por chumbo, zinco e cádmio. Este último metal possui valores acima do permitido para intervenção industrial, representando risco à saúde humana e a qualidade dos recursos naturais da região.

Tabela 4. Matriz triangular dos índices de similaridade Bray-Curtis, entre as parcelas (P) de análise química de metais pesados no solo, Fábrica Plumbum, Santo Amaro, Bahia.

P	1	2	3	4	5	6	7	8	10	11	12	13	14	15	17	18	19	20
1	1,00																	
2	0,93	1,00																
3	0,35	0,96	1,00															
4	0,73	0,62	0,86	1,00														
5	0,91	0,33	0,96	0,54	1,00													
6	0,89	0,84	0,95	0,63	0,52	1,00												
7	0,50	0,99	0,38	0,96	0,97	0,95	1,00											
8	0,52	0,97	0,34	0,90	0,97	0,96	0,13	1,00										
10	0,38	0,97	0,06	0,87	0,96	0,95	0,38	0,28	1,00									
11	0,88	0,51	0,94	0,47	0,22	0,25	0,96	0,95	0,94	1,00								
12	0,28	0,88	0,57	0,67	0,85	0,81	0,64	0,66	0,59	0,80	1,00							
13	0,64	0,86	0,81	0,70	0,72	0,61	0,83	0,85	0,82	0,60	0,44	1,00						
14	0,98	0,72	0,99	0,89	0,67	0,73	0,99	0,99	0,99	0,75	0,97	0,92	1,00					
15	0,88	0,53	0,94	0,50	0,23	0,46	0,96	0,96	0,95	0,21	0,80	0,59	0,74	1,00				
17	0,96	0,72	0,98	0,79	0,52	0,64	0,98	0,99	0,98	0,62	0,94	0,85	0,32	0,55	1,00			
18	0,93	0,69	0,96	0,62	0,30	0,30	0,97	0,97	0,97	0,26	0,88	0,71	0,60	0,26	0,48	1,00		
19	0,84	0,99	0,74	0,98	0,99	0,99	0,63	0,57	0,71	0,99	0,89	0,96	1,00	0,99	1,00	0,99	1,00	
20	0,88	0,99	0,80	0,99	0,99	0,99	0,72	0,67	0,78	0,99	0,92	0,97	1,00	0,99	1,00	0,99	0,17	1,00

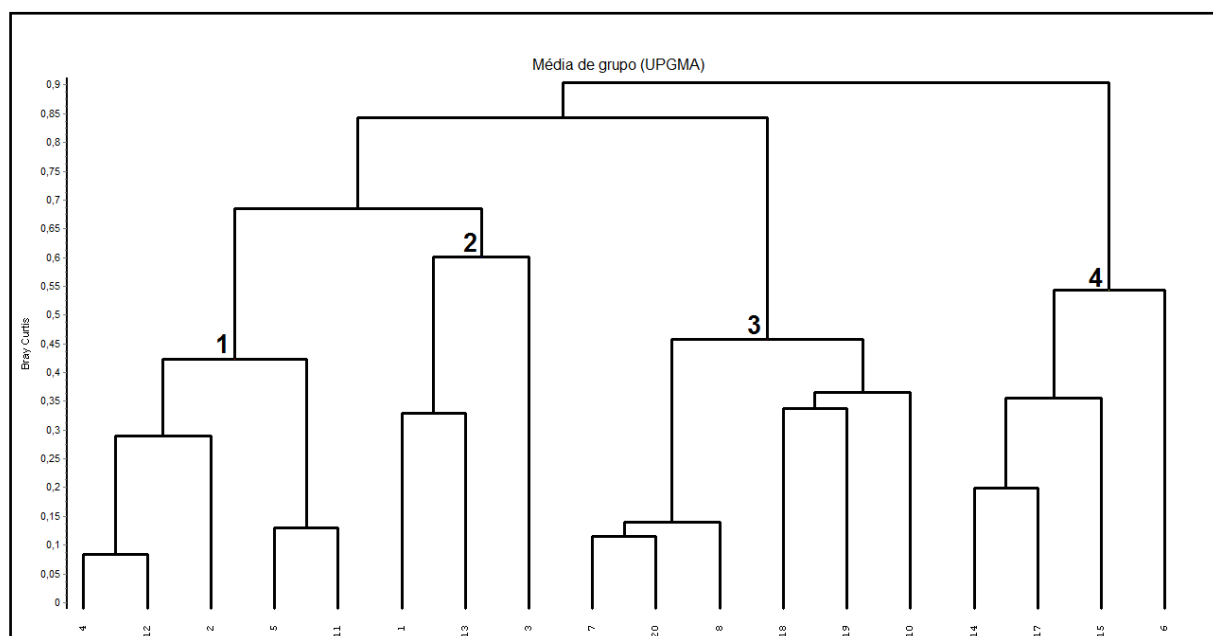


Figura4. Dendrograma pelo método média de grupo não ponderado (UPGMA), com base no índice de similaridade Bray-Curtis para parcelas de análise química do solo (metais pesados), área da Fábrica Plumbum, Santo Amaro, Bahia.

4. CONCLUSÕES

- A expressão da regeneração natural da vegetação não apresenta relação com a contaminação dos solos da fábrica Plumbum.
- As espécies de maior importância para comunidade foram *Schinus terebinthifolius* Raddi e *Psidium guajava* L., que registraram maiores valores de frequência, densidade e dominância absolutas e relativas. Essas espécies podem ser testadas na restauração ecológica e técnicas de fitorremediação de áreas contaminadas por metais pesados.
- Os metais pesados chumbo e zinco se agruparam no dendrograma de solos, com presença marcante nas parcelas das espécies *Psidium guajava* L. sempre ligada *Schinus terebinthifolius* Raddi, *Lantana camara* L., *Leucena leucocephala* (Lam.) de Wit.

5. REFERÊNCIAS

ANAWAR, H. M. et al. Adaptation, tolerance, and evolution of plant species in a pyrite mine in response to contamination level and properties of mine tailings: sustainable rehabilitation. **Journal of Soils and Sediments**, v. 13, n. 4, p. 730-741, 2013.

ANJOS, J. A. S. A. **Avaliação da eficiência de uma zona alagadiça (*Wetland*) no controle da poluição por metais pesados: O caso da Plumbum em Santo Amaro da Purificação/BA**. 2003. 301 f. Tese (Doutorado em Engenharia) Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

ANDRADE, M. L. F.; BOARETTO, A. E. Deficiência nutricional em plantas jovens de aroeira-pimenteira (*Schinus terebinthifolius* Raddi). **Scientia Forestalis**, v. 40, n. 95, p. 383-392, 2012.

APG III. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG III. **Botanical Journal of the Linnean Society**, v. 161, p. 105-121, 2009.

ARAÚJO, F. S. D. et al. Estrutura da vegetação arbustivo-arbórea colonizadora de uma área degradada por mineração de caulim, Brás Pires, MG. **Revista Árvore**, v. 30, n. 1, p. 107-116, 2006.

ASSUNÇÃO, S. J. R. **Seleção de plantas para fitorremediação de chumbo, cádmio e zinco, de uma área contaminada na Bacia do Rio Subaé**. 2012. 90 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Qualidade de Ecossistemas) Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, 2012.

ASEVEDO, L. P. **Mapeamento geoquímico de solos contaminados por metais (Pb, Zn, As e Cu), Santo Amaro da Purificação, Bahia**. 2012. 92 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Qualidade de Ecossistemas) Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, 2012.

BERENS, D. G. et al. Exotic guavas are foci of forest regeneration in Kenyan farmland. **Biotropica**, v. 40, n. 1, p. 104-112, 2008.

BEZERRA, P. S. S. et al. Complexação de íons de metais por matéria orgânica dissolvida: modelagem e aplicação em sistemas reais. **Acta Amazonica**, vol. 39, n.3, p. 639-648, 2009.

BRUNNER, I. et al. Heavy metal accumulation and phytostabilisation potential of tree fine roots in a contaminated soil. **Environmental Pollution**, v. 152, p.559-568, 2008.

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Relatório de estabelecimento de valores orientadores para solos e águas subterrâneas no estado de São Paulo**, 73p. 2005.

CHAVES, L. H. G. Crescimento, distribuição e acúmulo de cobre e zinco em plantas de pinhão-manso. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, n. 2, p. 167-176, 2010.

CONESA, H. M.; FAZ, A.; ARNALDOS, R. Heavy metal accumulation and tolerance in plants from mine tailings of the semiarid Cartagena–La Unión mining district (SE Spain). **Science of the Total Environment**, v. 366, p. 1-11, 2006.

CORRÊA, R. S.; FILHO, B. M. Levantamento florístico do estrato lenhoso das áreas mineradas no Distrito Federal. **Revista Árvore**, v. 31. n. 6, p. 1099-1108, 2007.

COSTA, J. N. M. N.; DURIGAN, G. *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit (Fabaceae): Invasora ou ruderal. **Revista Árvore**, v. 34, n. 5, p. 825-833, 2010.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE- CONAMA. **Resolução n. 420**, de 28 de dezembro de 2009, 2009.

EAPEN, S.; D'SOUZA, S. F. Prospects of genetic engineering of plants for phytoremediation of toxic metals. **Biotechnology Advances**, v. 23, p. 97-114, 2005.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Manual de análises de

solo. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997. 212p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Manual de análises química de solos, plantas e fertilizantes. Brasília: EMBRAPA, 1999. 370p.

FRANÇA. A. C. M. **Levantamento florístico e características anatômicas de espécies nativas do Cerrado em solos contaminados por metais pesados.** 2011. 112 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia Aplicada) Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.

FRIZZO, T. C. E. **Zoneamento da vegetação e sua relação com metais pesados na Mina Volta Grande, Lavras do Sul, RS.** 2002. 137 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

FRIZZO, T. C. E.; PORTO, M. L. Zoneamento da vegetação e sua relação com a ocorrência de estruturas mineralizadas na mina Volta Grande, Lavras do Sul, RS, Brasil. **IHERINGIA**, Sér. Bot.,v. 59, n. 1, p. 5-12,2004.

GREIPSSON, S. Phytoremediation.**NAT. EDUC. KNOWL**, v. 2, n. 7, 2011.

HO, C. P. et al. Evaluating heavy metal concentration of plants on a serpentine site for phytoremediation applications. **Environmental Earth Sciences**, v. 70, n. 1, p. 191-199, 2013.

JEFFERSON, L.V. Implications of plant density on the resulting community structure of mine site land. **Restoration Ecology**, v. 12, p. 429-438, 2004.

JONES, T. A. Ecologically appropriate plant materials for restoration applications. **BioScience**, v. 63, n. 3, p. 211-219, 2013.

JUSSELME, M. D. et al. Effect of earthworms on plant *Lantana camara*Pb-uptake and on bacterial communities in root-adhering soil. **Science of the Total Environment**, v. 416, p. 200-207, 2012.

JUSSELME, M. D. et al. Increased lead availability and enzyme activities in root-adhering soil of *Lantana camara* during phytoextraction in the presence of earthworms. **Science of the Total Environment**, v. 445, p. 101-109, 2013.

LINHARES, L. A. et al. Adsorção de cádmio e chumbo em solos tropicais altamente intemperizados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, n.3, p.291-299, 2009.

KABATA-PEDIAS, A. **Trace elements in soils and plants**.4.ed. Boca Raton, CRC Press, 2011. 503p.

MACHADO, S. L. et al. Diagnostico da contaminação por metais pesados em Santo Amaro-BA. **Engenharia sanitária e ambiental**, v. 9, n. 2, p.140-155, 2004.

MAGNA, G. A. M. et al. Chumbo e cádmio detectados em alimentos vegetais e gramíneas no município de Santo Amaro-Bahia. **Química Nova**, v. 36, n. 7, p. 989-997, 2013.

MARQUES, M. et al. Desafios técnicos e barreiras sociais, econômicas e regulatórias na fitorremediação de solos contaminados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 1-11, 2011.

MECHI, A.; SANCHES, D.L. Impactos ambientais da mineração no Estado de São Paulo. **Estudos avançados**, v. 24, n. 68, p. 209-220, 2010.

MENTA, C. et al. Monitoring soil restoration in an open-pit mine in northern Italy. **Applied Soil Ecology**, p.1-8, 2013.

MORI, S. A; SILVA, L. A. M.; LISBOA, G.; CORADIN, L. **Manual de manejo do herbário fanerogâmico**. Centro de Pesquisas do Cacau. p. 186, 1989.

MOREIRA, A. et al. Disponibilidade de nutrientes em vertissolo calcário. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, n.10, p. 2107-2113, 2000.

MUELLER–DOMBOIS, D.; ELLENBERG, H. **Aims and methods of vegetation ecology**. New York: John Wiley & Sons, 1974. 547p.

NASCIMENTO, S. C. et al. Disponibilidade de metais pesados em aterro de indústria siderúrgica. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 11, n. 3, p. 196-202, 2006.

NIEMEYER, J. C.; EGLER, S.; SILVA, E. M. D. Avaliações ecológicas e ecotoxicológicas relacionadas ao caso da Plumbum em Santo Amaro (BA) In: FERNANDES, F. R. C.; BERTOLINO, L. C., et al (Ed.). **Projeto Santo Amaro – BA: aglutinando ideias, construindo soluções – diagnósticos**. 2ª Edição: CETEM/MCTI, 2012. p. 131-149.

NIEMEYER, J. C. et al. Functional and structural parameters to assess the ecological status of a metal contaminated area in the tropics. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 86, p. 188-197, 2012.

OLSON, P. E.; FLETCHER, J. S. Ecological recovery of vegetation at a former industrial sludge basin and its implications to phytoremediation. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 7, n. 4, p.195-204, 2000.

OSUNKOYA, O. O. et al. Modeling population growth and site specific control of the invasive *Lantana camara* L. (Verbenaceae) under differing fire regimes. **Population Ecology**, v. 55, n. 2, p. 291-303, 2013.

PAIM, L. A. et al. Efeito do silício e do fósforo na disponibilidade de metais pesados do solo pelo extrator Mehlich-1. **Revista Ciência agrotecnica**, v.27, n.4, p.780-787, 2003.

PERRY, C. T. et al. *Psidium guajava* as a bioaccumulator of nickel around an oil refinery, southern Brazil. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v.73, p. 647–654, 2010.

PRATAS, J. et al. Phytoremedial assessment of flora tolerant to heavy metals in the contaminated soils of an abandoned Pb mine in Central Portugal. **Chemosphere**, v. 90, p. 2216-2225, 2013.

RADAMBRASIL. **Folha SD. 24 Salvador: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra.** Ministério das Minas e Energia, Brasil, 1981. p. 624.

SANTOS, N. M. **Ácidos húmicos e carvão vegetal ativado na redução da disponibilidade de metais pesados em solo contaminado.** 2012. 58 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Qualidade de Ecossistemas) Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, 2012.

SARASWAT, S.; RAI, J. P. N. Prospective application of *Leucaena leucocephala* for phytoextraction of Cd and Zn and nitrogen fixation in metal polluted soils. **International Journal of Phytoremediation**, v. 13, n. 3, p. 271-288, 2011.

SHEPHERD, G. J. **Fitopac 1.6: Manual usuário.** Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006. 78 p.

SILVA, A. P. M. **Potencial de uso de *Schinus lentiscifolius* March. e *Schinus terebinthifolius* Raddi na recuperação de áreas degradadas pela mineração e respostas fisiológicas ao cobre.** 2008. 82 f. Dissertação (Mestrado em Botânica) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

SILVA, K. L. F. **Avaliação de biomarcadores anatômicos e fisiológicos em plantas expostas ao arsênio.** 2008. 97 f. Tese (Doutorado em Botânica) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.

SILVA, S. F.; MEIRELLES, S. T.; MORAES, R. M. The guava tree as bioindicator during the process of fuel replacement of an oil refinery. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 91, p. 39-45, 2013.

SINGH, A. N. et al. Impact of native tree plantations on mine spoil in a dry tropical environment. **Forest Ecology and Management**, v. 187, p. 49-60, 2004.

SISTEMA DE INFORMAÇÕES MUNICIPAIS - SEI, 1997. Disponível em: http://sim.sei.ba.gov.br/sim/informacoes_municipais.wsp. Acesso em: 05 de janeiro de 2014.

SNEATH, P. H.; SOKAL, R. R. **Numerical taxonomy: The principles and practice of numerical classification**. San Francisco: W.H. Freeman, 1973. 573p.

SOCIETY FOR ECOLOGICAL RESTORATION (SER). Princípios da SER Internacional sobre a restauração ecológica. 2ª edição, 2004. Disponível em: <http://www.ser.org/docs/default-document-library/ser-primer-portuguese.pdf>. Acesso em: 05 de fevereiro de 2013.

SOCIETY FOR ECOLOGICAL RESTORATION (SER). Diretrizes para Desenvolver e Gerenciar Projetos de Restauração ecológica. 2ª edição, 2005. Disponível em: http://www.ser.org/docs/default-document-library/guidelines_portuguese.pdf. Acesso em: 15 de fevereiro de 2013.

SOUZA, K. V.; LIMA, M. F. D. S. Avaliações ecológicas e ecotoxicológicas relacionadas ao caso da Plumbum em Santo Amaro (BA) In: FERNANDES, F. R. C.; BERTOLINO, L. C., et al (Ed.). **Projeto Santo Amaro – BA: aglutinando ideias, construindo soluções – diagnósticos**. 2ª Edição: CETEM/MCTI, 2012. p. 131-149.

SOUZA, A. F. C. **Caracterização molecular e avaliação de resistência a chumbo e cádmio em bactérias isoladas de rizosferas de plantas coletadas em Santo amaro (BA)**. 2013. 213 f. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia) Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2013.

TRESMONDI, F. **Análises estruturais e ultraestruturais em folhas de *Psidium guajava* ‘Paluma’ expostas em ambiente com ozônio**. 2010. 80 f. Dissertação (Mestrado em Biodiversidade vegetal e meio ambiente) Instituto Botânico, São Paulo, 2010.

VALENTIM, J. L. **Ecologia numérica: uma introdução à análise multivariada de dados**. Rio de Janeiro: Interciências, 2000. 118p.

WONG, M. H. Ecological restoration of mine degraded soils, with emphasis on metal contaminated soils. **Chemosphere**, v. 50, n. 6, p. 775-780, 2003.

YOUNG, T. P.; PETERSEN, D. A.; CLARY, J. J. The ecology of restoration: historical links, emerging issues and unexplored realms. **Ecology Letters**, v. 8, p. 662-673, 2005.

CAPÍTULO II

ANATOMIA FOLIAR DE *Psidium guajava* L. (MYRTACEAE) E *Schinus terebinthifolius* RADDI (ANACARDIACEAE) EM ÁREA CONTAMINADA POR METAIS PESADOS, SANTO AMARO, BAHIA¹

¹ Artigo a ser ajustado para submissão ao Comitê Editorial do periódico científico Water, Air and Soil Pollution.

Anatomia foliar de *Psidium guajava* L. (Myrtaceae) e *Schinus terebinthifolius* Raddi (Anacardiaceae) em área contaminada por metais pesados, Santo Amaro, Bahia

RESUMO: Os metais pesados são elementos que dependendo das concentrações no solo causam contaminações ambientais, geralmente provocadas pela ação antrópica. O caso reconhecido internacionalmente como mais grave de contaminação de solos, plantas, animais e seres humanos por chumbo é o de Santo Amaro, Bahia. A partir desse contexto, foi realizado estudo com objetivo de identificar as alterações na anatomia foliar de *P. guajava* e *S. terebinthifolius* em área contaminada por metais pesados. As coletas de folhas adultas dessas espécies foram realizadas na fábrica Plumbum Mineração e Metalurgia Ltda em Santo Amaro, e área controle na Universidade Federal do Recôncavo da Bahia em Cruz das Almas. A anatomia foliar de *P. guajava* apresentou alterações no mesofilo, como aumento do espaço intercelular na nervura mediana e redução dos elementos de vasos do xilema. Em *S. terebinthifolius* as modificações observadas foram: aumento de cristais de oxalato de cálcio no mesofilo, formação de tilose nos elementos de vasos do xilema na nervura mediana e aumento e formato das cavidades secretoras. Essas alterações na anatomia das plantas são respostas ao estresse ambiental causados pelos metais pesados. Portanto, essas espécies apresentam potencial para testes em projetos de restauração ecológica e fitorremediação.

Palavras chave: Estresse ambiental, modificações anatômicas, fitorremediação

LEAF ANATOMY OF *PSIDIUM GUAJAVA* L. (MYRTACEAE) AND *SCHINUS TEREBINTHIFOLIUS* RADDI (ANACARDIACEAE) IN A HEAVY METALS CONTAMINATED AREA, SANTO AMARO, BAHIA

ABSTRACT: Heavy metals are elements that depending on the concentrations in the soil cause environmental contamination, usually caused by anthropic pollution. The case internationally recognized as more severe contamination of soils, plants, animals and humans by lead is in Santo Amaro, Bahia. From this context, the aim of this study was identify changes in leaves anatomy of *P. guajava* and *S. terebinthifolius* in heavy metals contaminated areas. Mature leaves collection of these species were carried out in the Plumbum Mineração e Metalurgia Ltda factory, Santo Amaro, and in a control area in Federal University of Bahia Recôncavo, Cruz das Almas. The leaf anatomy of *P. guajava* showed changes in the mesophyll, as increased intercellular space in the midrib and xylem vessels elements reduction. In *S. terebinthifolius* changes observed were increased of calcium oxalate crystals in the mesophyll, tylose formation in the xylem vessels elements in the midrib and median ridge increase and secretory cavities shape. These changes in the plants anatomy are responses to environmental stress caused by heavy metals. Therefore, these species have potential for testing in ecological restoration projects and phytoremediation.

Keywords: Environmental stress, anatomical changes, phytoremediation

1. INTRODUÇÃO

É crescente o impacto das atividades industriais e agrícolas sobre o meio ambiente, causando contaminação de extensas áreas com poluentes orgânicos, que podem ser degradados, ou metais pesados que são persistentes no ambiente (ZORRIG et al., 2010).

Os metais pesados são elementos essenciais e não essenciais com densidade relativa maior que 5 g cm^{-3} . Alguns desses elementos essenciais em concentrações elevadas são tóxicos, tais como cobre (Cu), zinco (Zn) e cobalto (Co), que desempenham papel importante no crescimento e desenvolvimento de plantas, animais e seres humanos (MAGNA et al., 2013).

A poluição ambiental por metais pesados não essenciais, como cádmio (Cd), chumbo (Pb) e mercúrio (Hg) tem efeitos adversos sobre praticamente todos os organismos vivos e pode tornar terras impróprias para a produção de alimentos e a preservação da biodiversidade (MELO et al., 2009; SYTAR et al., 2013).

Neste contexto, a cidade de Santo Amaro é considerada uma das mais poluídas por chumbo no mundo, sendo referência para estudar a contaminação por metais pesados (ALCÂNTARA, 2010). Os principais estudos dos efeitos da contaminação nas plantas de Santo Amaro, são: Niemeyer et al. (2010) com ecologia de risco, que observou a homogeneidade da composição da vegetação no interior da fábrica e Magna et al. (2013) com determinação de chumbo e cádmio em frutos de diversas plantas. Porém, nenhum estudo em Santo Amaro foi realizado com modificações anatômicas desses vegetais.

As análises anatômicas das raízes e folhas de plantas são importantes na identificação de sintomas de toxidez e resposta ao estresse causado pelos metais, como cádmio (DJEBALI et al., 2010; ARCANJO e SILVA et al., 2013), chumbo (GOMES et al., 2011), ferro (SANTANA et al., 2013) e zinco (DI BACCIO et al., 2010).

A anatomia foliar reflete seu papel essencial no crescimento e na saúde das plantas. Por conseguinte modificações na anatomia das folhas podem ajudar a entender as respostas ao estresse ambiental, nesse caso de metais pesados. O estudo dos efeitos dos metais pesados nas plantas é especialmente interessante, pois elas podem ser utilizadas para recuperação de solos contaminados, a partir da técnica de fitorremediação (TODESCHINI et al., 2011).

A fitorremediação é uma técnica promissora em que diferentes espécies de plantas são utilizadas para assimilar e desintoxicar metais pesados e compostos orgânicos (KAMRAN et al., 2014). Para compreender o processo global da fitorremediação é importante estudar as mudanças estruturais em diferentes partes da planta (SRIDHAR et al., 2005).

Na área da fábrica Plumbum as espécies arbustivo-arbóreas *Psidium guajava* e *Schinus terebinthifolius* apresentam maiores frequências, densidades e dominâncias, podendo ser testadas em técnicas de fitorremediação (Capítulo 1 dessa dissertação).

Psidium guajava é bioindicadora de acumulação de níquel (PERRY et al., 2010) e *Schinus terebinthifolius* apresenta potencial fitorremediador para o metalóide arsênio e metal pesado cobre (SILVA, 2008; SILVA et al., 2011).

Os estudos da anatomia foliar de *P. guajava* e *S. terebinthifolius* expostas aos poluentes são escassos, principalmente para metais pesados. Tresmondi e Alves (2011) avaliaram modificações anatômicas de *P. guajava* com potencial para biomonitoramento do ozônio. Bona et al. (2011) observaram alterações na anatomia de raiz e folhas de plântulas com solo contaminado por óleo diesel.

O objetivo deste trabalho foi identificar as alterações na anatomia foliar *S. terebinthifolius* e *P. guajava* em área contaminada por metais pesados.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

O estudo foi realizado com plantas coletadas na fábrica Plumbum Mineração e Metalurgia Ltda, localizada no município de Santo Amaro, Recôncavo Baiano. Esta indústria, entre os anos de 1960 a 1993, produziu e depositou indiscriminadamente sobre o solo 490.000t de escória contaminada com metais pesados, sobretudo chumbo e cádmio (ANJOS e SÁNCHEZ, 2001).

O solo dessa região é representado na sua maioria por vertissolos e cambissolos, originários de folhelhos esverdeados intercalados com calcário do grupo Santo Amaro (ANJOS et al., 2003). O clima da região segundo classificação de Thornthwaite é úmido a subúmido, com temperatura média anual de 25,4°C e pluviosidade média anual de 1.000 a 1.600 mm (SEI, 1997). A vegetação

predominante em Santo Amaro é floresta ombrófila densa e formações pioneiras, com influência fluviomarinha - mangue (RADAMBRASIL, 1981).

2.2 Estudos da anatomia vegetal

O material do estudo foi coletado na área contaminada da fábrica Plumbum Mineração e Metalurgia Ltda e comparado com amostras controles da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia - UFRB, município de Cruz das Almas. As folhas adultas de *Schinus terebinthifolius* e *Psidium guajava* foram fixadas em FAA (formalina, ácido acético, álcool etílico 50%) por 24 horas (JOHANSEN 1940) e FNT (formalina neutra tamponada; tampão fosfato, formalina) por 48 horas (LILLIE 1948 in CLARK 1973). O material foi submetido a dessecação a vácuo, posteriormente conservado em álcool etílico a 70%.

As amostras foram desidratadas através de uma série butílica terciária, em seguida, incluídas em parafina para os estudos histológicos (JOHANSEN, 1940). As secções transversais foram obtidas com auxílio de micrótomo rotativo (Model RM2245, Leica Microsystems), com espessuras variável (14 - 18 μm), depois coradas com safranina alcoólica 1.5% e azul de astra aquoso 1% (GERLARCH, 1969).

A fotomicroscopia foi realizada com Olympus BX51 e câmara digital Olympus A330. As imagens provenientes de fotomicrografias foram digitalizadas no Software CorelDRAW X3 e as escalas de figuras com projeção de lâmina micrométrica fotografada/digitalizada no Software Adobe Photoshop 9.0

2.3 Estudos dos teores de metais pesados nos solos e plantas

As amostras de solos simples foram coletadas próximas as plantas na área contaminada da fábrica Plumbum, nas coordenadas 12°32'18.0'S e 38°43'55.7'W, e na área controle da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, nas coordenadas 12°40'39'S e 39°06'26'W. A amostragem foi realizada por tradagem, com trado holandês na camada de 0-20 cm de profundidade.

As análises químicas dos solos foram realizadas no Laboratório de Solos e Nutrição de Plantas da Embrapa Mandioca e Fruticultura, seguindo metodologia descrita em EMBRAPA (1997; 1999), cujos resultados encontram-se na tabela 1.

Tabela 1. Propriedades químicas dos solos das áreas de estudos

Análise Química	UFRB	Fábrica Plumbum (Mín.-Máx.)
pH	6,40	8,1-8,9
P (mg dm ⁻³)	11,00	5,00-100,00
K ⁺ (cmolc dm ⁻³)	0,14	0,17-0,46
Na ⁺ (cmolc dm ⁻³)	0,05	0,14-0,44
Ca ²⁺ (cmolc dm ⁻³)	1,84	11,79-34,29
Mg ²⁺ (cmolc dm ⁻³)	0,62	1,47-5,81
Al ³⁺ (cmolc dm ⁻³)	0,00	0,00
H + Al (cmolc dm ⁻³)	0,22	0,00
CTC (cmolc dm ⁻³)	2,60	13,43-40,56
MO (g kg ⁻¹)	16,75	4,36-16,33
Cd (mg kg ⁻¹)	0,00	1,15-125,41
Pb (mg kg ⁻¹)	0,00	0,39-214,35
Zn (mg kg ⁻¹)	8,33	0,57-76,65

pH = potencial hidrogênio; H+Al = acidez potencial; MO = matéria orgânica;
CTC = capacidade de troca catiônica.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Caracterização anatômica

3.1.1 *Psidium guajava* L.

Na folha da planta controle observou-se presença de estômatos na face abaxial, epiderme uniestratificada e três camadas de hipoderme (Figuras 1A-B). Mesofilo dorsiventral com duas a três camadas de parênquima paliçádico, quatro a cinco camadas de parênquima lacunoso, drusas e cavidades secretoras no mesofilo e nervura mediana, além de poucos espaços intercelulares (Figura 1C). Nervura mediana com fibras de esclerênquima muito pronunciada, formando bainha, dois feixes vasculares bicolaterais e elementos de vasos do xilema bem desenvolvidos (Figuras 1D-E).

Na área contaminada a planta apresentou cutícula mais espessa na epiderme abaxial (Figura 1G-H), estômatos na face abaxial, epiderme uniestratificada, porém apenas duas camadas da hipoderme (Figuras 1F-G). Mesofilo dorsiventral com duas camadas de parênquima paliçádico e quatro camadas de parênquima lacunoso, drusas e cavidades secretoras ao longo do mesofilo e na nervura mediana. Observou-se também maior presença de espaços intercelulares (Figura 1H).

Nervura mediana com fibras de esclerênquima pouco pronunciada, dois feixes vasculares bicolaterais e número de elementos de vasos do xilema reduzidos (Figura 11-J).

A cutícula foi observada apenas na planta da área contaminada, essa estrutura tem como funções a redução da perda de água pelo processo de evapotranspiração e difusão de gases (TAFOLLA et al., 2013). Assim, a presença da cutícula pode estar relacionada com a diminuição da transpiração excessiva, desta forma, reduzindo a absorção e o transporte de água e metais pesados para o interior da planta.

No mesofilo de *P. guajava* da área contaminada observou-se aumento do espaço intercelular, fato também registrado por Bini et al. (2012) com a espécie *Taraxacum officinale* exposta a cobre, chumbo, zinco, cromo e níquel. Estes autores observaram grandes espaços intercelulares, analisou o formato e a estrutura das células do parênquima clorofiliano (arredondado), concluindo que o aumento do espaço intercelular possivelmente está relacionado com deposição de metais pesados, que também podem ser compartimentalizados na parede celular e vacúolos das células (SHARMA e DUBEY, 2005).

Na nervura mediana da planta de área contaminada notou-se fibras de esclerênquima pouco pronunciada, formando uma bainha ao redor dos feixes vasculares. Essa redução nas fibras, possivelmente seja uma desordem no metabolismo, causando inibição da síntese de lignina nas plantas estressadas (CUNHA et al., 2008).

Nos elementos de vasos do xilema foi observada uma redução, o que pode indicar uma reação da planta ao estresse provocado pelos contaminantes, tendo como consequência diminuir a absorção e o transporte de água e metais pelas plantas (KASIM, 2007; CUNHA e NASCIMENTO, 2009; SILVA et al., 2012).

No mesofilo e nervura mediana de *P. guajava* da área contaminada em comparação com a controle notou-se coloração mais intensa da safranina relacionada com aumento de compostos fenólicos. Esses compostos possuem elevada tendência para a quelação de metais, devido possuírem grupos hidroxilo e carboxilo (MICHALAK, 2006).

Os indivíduos de *P. guajava* apresentavam manchas vermelhas, possivelmente decorrentes do acúmulo de antocianinas na face adaxial, fato também registrado por Tresmondi (2010) nesta espécie exposta ao ambiente com ozônio.

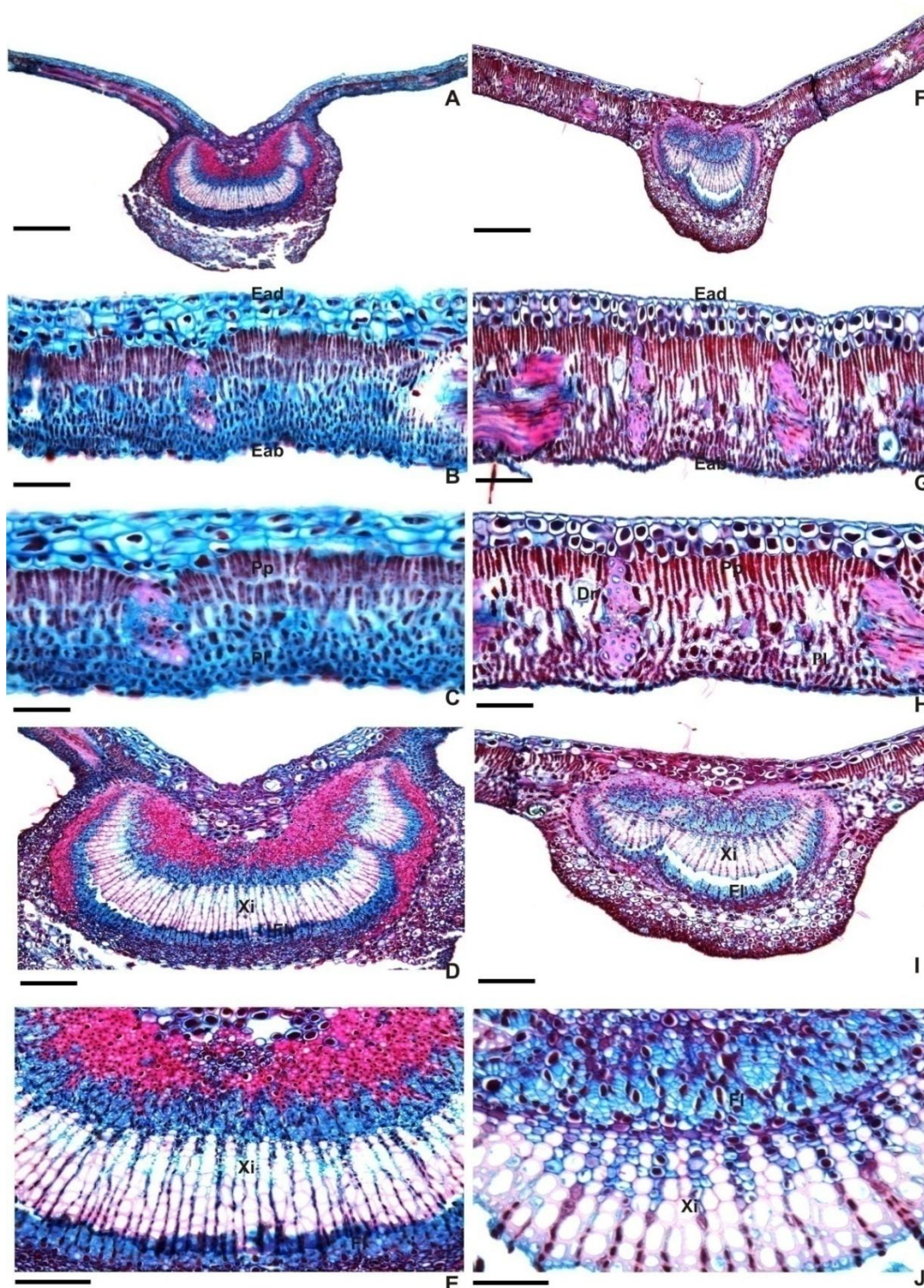


Figura 1. Secção transversal da lâmina foliar de *Psidium guajava* em área controle (A-E) e contaminada (F-J). A e F: Visão geral; B-C e G-H: Detalhes do mesofilo; D-E e I-J: Nervura mediana. Ead: Epiderme adaxial; Eab: Epiderme abaxial; Pp: Parênquima paliçádico; Pr: Parênquima lacunoso; Dr: Drusas; Cs: Cavidades secretoras; Xi: Xilema; Fl: Floema. Escalas: A; F - 500 μ m; B; G - 60 μ m; C; D; H; I - 15 μ m; E; J - 5 μ m.

3.1.2 *Schinus terebinthifolius* Raddi

Na folha da planta controle observou-se epiderme uniestratificada com formato retangular, células da face adaxial maiores que abaxial, hipoderme com uma camada de células, estômatos na face abaxial, câmaras subestomáticas podendo atingir até duas camadas de células do mesofilo (Figuras 2A-B). O mesofilo dorsiventral com duas camadas de parênquima paliçádico e três camadas de parênquima lacunoso, cristais de oxalato de cálcio do tipo drusas reduzidos e presença de cavidades secretoras menores no mesofilo (Figura 2C). A nervura mediana com quatro feixes vasculares colaterais, quatro cavidades secretoras, associadas ao floema, número reduzido dos vasos do xilema, sem tilose (Figuras 2D-E).

A folha de *S. terebinthifolius* da área contaminada apresentou epiderme uniestratificada com formato retangular, células da face adaxial maiores que abaxial, hipoderme com uma camada de células, os estômatos na face abaxial, câmaras subestomáticas que podem atingir até duas camadas de células do mesofilo (Figuras 2F-G). O mesofilo dorsiventral com duas a três camadas de parênquima paliçádico e quatro camadas de parênquima lacunoso, cristais de oxalato de cálcio do tipo drusas, aglomerados e presença de cavidades secretoras menores no mesofilo (Figura 2H). A nervura mediana com quatro feixes vasculares colaterais, quatro a sete cavidades secretoras, associadas ao floema, maior quantidade de elementos de vasos do xilema e presença de tilose (Figuras 2I-J).

O aumento de cristais de oxalato de cálcio (CaOx) no mesofilo de *S. terebinthifolius* da área contaminada provavelmente está associado aos teores de metais pesados. Como registrado por Mazen e El Maghraby (1998) nas folhas de *Eichhornia crassipes*, em que a planta foi exposta a cádmio, chumbo e estrôncio em várias concentrações (0 a 100 $\mu\text{g cm}^{-3}$), e através de microanálises foi possível indicar o aumento da presença desses metais nos cristais de oxalato de cálcio.

Mazen (2004) também estudou cristais de oxalato de cálcio na espécie *Corchorus olitorius* com os metais Cd, Pb, Cu e Al (0 a 10 $\mu\text{g ml}$) por 20 dias, e verificou apenas a incorporação de Al nos cristais. Esses estudos sugerem que os cristais em células podem funcionar para a deposição e compartimentalização de metais tóxicos, tornando-os fisiologicamente inofensivos (MAZEN e EL MAGHRABY, 1998).

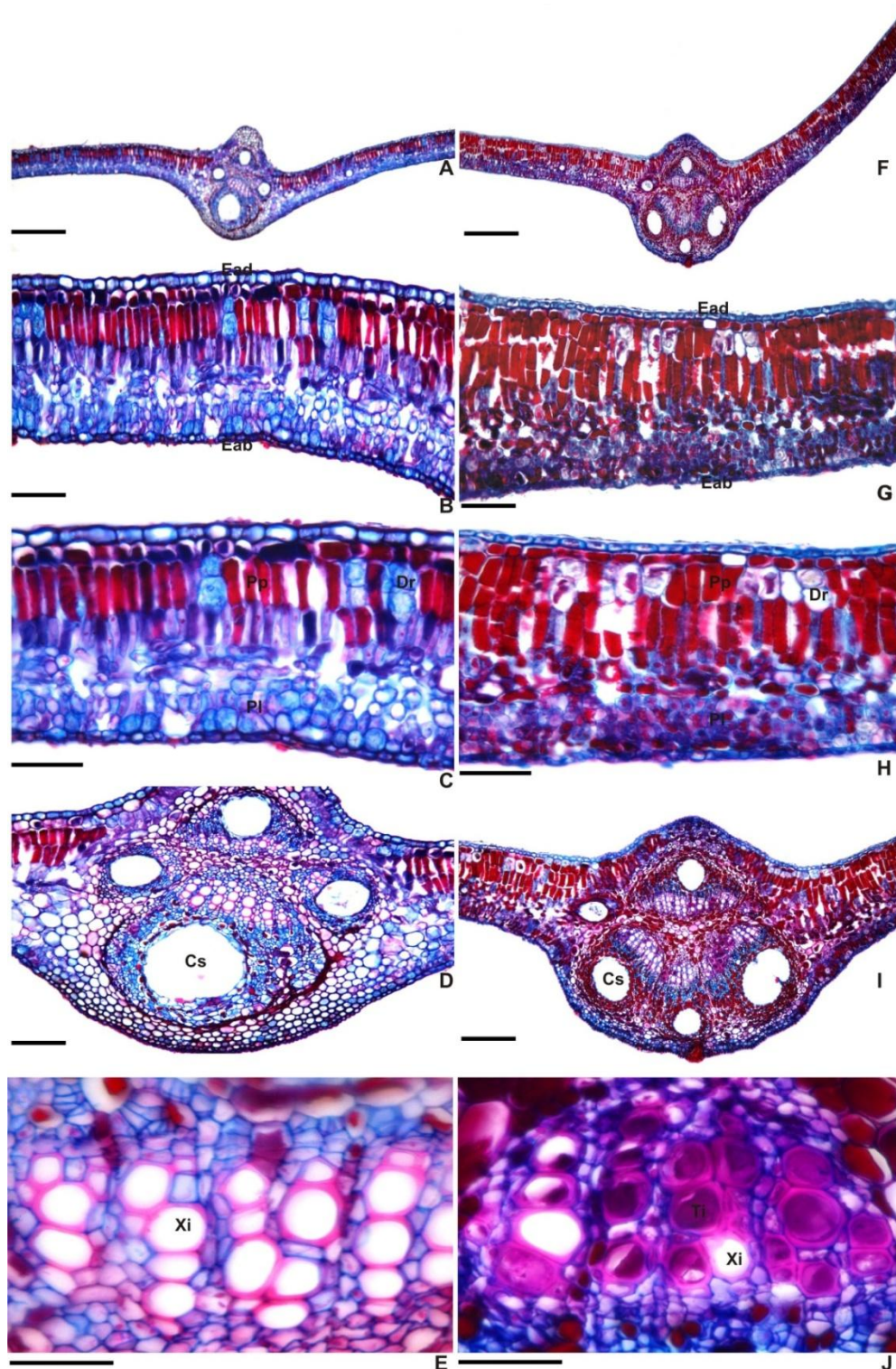


Figura 2. Secção transversal da lâmina foliar de *Schinus terebinthifolius* em área controle (A-E) e contaminada (F-J). A e F: Visão geral; B-C e G-H: Detalhes do mesofilo; D-E e I-J: Nervura mediana. Ead: Epiderme adaxial; Eab: Epiderme abaxial; Pp: Parênquima paliçádico; Pl: Parênquima lacunoso; Dr: Drusas; Cs: Cavidades secretoras; Xi: Xilema; Ti: Tilose. Escala: A; F - 500 μ m; B; D; G - 15 μ m; C; H - 5 μ m; E; J - 1 μ m.

Todeschini et al., (2011) investigaram cristais de oxalato de cálcio nas folhas de *Populus alba* L. tratadas com 300 mg kg^{-1} de zinco, onde observaram ausência de zinco nos cristais desta planta, concluindo que o local de sequestro de metal é altamente dependente da planta e das espécies metálicas, sendo um fator importante para a formação de CaOx , os níveis de cálcio na planta.

Os elementos de vasos do xilema desenvolveram-se mais na planta de área contaminada do que na controle, porém em outros estudos foram observados efeitos contrários. Gomes et al. (2011) estudando *Brachiaria decumbens* em solos contaminados por zinco, cádmio e chumbo registraram número menor de elementos traqueais no feixe da planta exposta ao mais alto nível de contaminação. Santana et al. (2013) estudando *Setaria parviflora* e *Paspalum urvillei* submetidas a diferentes concentrações de ferro em solução nutritiva, observaram deformação na forma das células do xilema, além de redução no tamanho e número de elementos de vasos do xilema.

A redução do número de elementos de vasos do xilema é uma aclimação da planta provocado pelos contaminantes, com objetivo de diminuir transporte de água e nutrientes minerais, juntamente com os metais tóxicos. No caso de *S. terebinthifolius* da área contaminada, embora como aumento no número de vasos, estes estão associados à tilose, que provavelmente é mecanismo de resistência ao estresse ambiental.

A tilose é formada por células parenquimáticas que se projetam para o interior do xilema, ocluindo lúmen dos vasos, atuando como resposta a infecção de patógenos, embolia, envelhecimento e lesões (RIOUX et al., 1995). Uma das funções é desacelerar transporte de água pelo xilema, simultaneamente em plantas de áreas contaminadas reduz transporte de metais (PEARCE, 1996).

Nas Anacardiaceae são marcantes os canais/cavidades que produzem resina, goma-resina, goma ou látex. As principais substâncias já detectadas por testes histoquímicos foram compostos lipofílicos e hidrofílicos (LACCHIA e GUERREIRO, 2009). As cavidades secretoras de *S. terebinthifolius* da área contaminada, na nervura mediana apresentaram alterações em número (4-7) e formato (irregular) em relação ao controle.

Silva (2008) também estudando *S. terebinthifolius* tratada com arsênio observou modificações nas cavidades secretoras, como aspectos distorcidos. Djebali et al. (2010) com *Solanum lycopersicum* adicionou diferentes concentrações

de cádmio e notou presença de cavidade central formada por separação de células do parênquima ou por desintegração das células.

No mesofilo e na nervura mediana da planta verificou-se coloração mais intensa da safranina, provavelmente devido aumento de compostos fenólicos. Esses compostos são marcantes na família, mas esse aumento em solos contaminados, possivelmente está relacionado à resposta ao estresse. Bona et al., (2011) também registraram para essa espécie aumento dos compostos fenólicos em solos contaminados com óleo diesel (hidrocarbonetos).

O aumento de compostos fenólicos solúveis atua como intermediário na biossíntese de lignina, que pode refletir em mudança anatômica típica induzida por estresse, alterando o aumento da resistência da parede celular e a criação de barreiras físicas impedindo a contra ação nociva dos metais pesados (MICHALAK, 2006).

As alterações anatômicas no mesofilo e nervura mediana de *P. guajava* e *S. terebinthifolius* em área contaminada são possivelmente produzidas por respostas ao estresse ambiental. Portanto, estas plantas apresentam resistências aos contaminantes, reduzindo a translocação dos metais a partir dos vasos do xilema e formação de tilose.

4. CONCLUSÕES

- As espécies *Psidium guajava* L. e *Schinus terebinthifolius* Raddi apresentaram modificações na anatomia foliar, possivelmente provocadas pela contaminação ambiental.
- *Psidium guajava* L. apresentou alterações no mesofilo, como aumento do espaço intercelular e na nervura mediana ocorreu redução do número de elementos de vasos do xilema. Além de aumento na produção de compostos fenólicos.
- *Schinus terebinthifolius* Raddi foram observadas modificações no mesofilo, como aumento de cristais de oxalato de cálcio e na nervura mediana formação de tilose nos elementos de vasos do xilema, bem como aumento e formato das cavidades secretoras. Também ocorreu aumento na produção de compostos fenólicos.
- São necessários mais estudos de anatomia ecológica em áreas contaminadas por metais pesados para identificar mecanismos celulares que as plantas utilizam em condição de estresse ambiental.

5. REFERÊNCIAS

ALCÂNTARA, M. M. Cidade de chumbo: uma experiência de divulgação em vídeo sobre a contaminação ambiental na cidade de Santo Amaro da Purificação. **Diálogos & Ciência**, n. 12, p. 107-118, 2010.

ANJOS, J. A. S. A. e SÁNCHEZ, L. E. Plano de gestão ambiental para sítios contaminados por resíduos industriais – o caso da Plumbum em Santo Amaro da Purificação/BA. **Análise & Dados**, v. 10, n. 4, p. 306-309, 2001.

ARCANJO e SILVA, S. et al. Reproductive, cellular, and anatomical alterations in *Pistias tratiotes* L. plants exposed to cadmium. **Water, Air and Soil Pollution**, v. 224, n. 1454, p. 2-8, 2013.

BINI, C. et al. Effects of heavy metals on morphological characteristics of *Taraxacum officinale* web growing on mine soils in NE Italy. **Journal of Geochemical Exploration**, v. 123, p. 101-108, 2012.

BONA, C. et al. Effect of diesel contaminated soil on root and leaf of *Sebastiania commersoniana* (Euphorbiaceae) and *Schinus terebinthifolius* (Anacardiaceae). **Acta Botanica Brasilica**, v. 25, n. 2, p. 277-285, 2011.

CUNHA, K. P. V. et al. Disponibilidade, acúmulo e toxidez de cádmio e zinco em milho cultivado em solo contaminado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 1319-1328, 2008.

DI BACCIO, D. et al., Leaf structural modifications in *Populus x euramericana* subjected to Zn excess. **Biologia Plantarum**, v. 54, n. 3, p. 502-508, 2010.

DJEBALI, W. et al. Aspects on growth and anatomy of internodes and leaves of cadmium-treated *Solanum lycopersicum* L. plants. **Journal of Biological Research-Thessaloniki**, v. 13, p. 75-84, 2010.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Manual de análises de

solo. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997. 212p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Manual de análises química de solos, plantas e fertilizantes. Brasília: EMBRAPA, 1999. 370p.

GERLACH, D. **Botanische mikrotechnik**. Stuttgart: Thieme Verlag, 1984. 311 p.

GOMES, M. P. et al. Ecophysiological and anatomical changes due to uptake and accumulation of heavy metal in *Brachiaria decumbens*. **Scientia Agricola**, v. 68, n. 5, p. 566-573, 2011.

JOHANSEN, D. A. **Plant microtechnique**. New York: Mc Grall-Hill, 1940. 523p

KABATA-PEDIAS, A. **Trace elements in soils and plants**. 4. ed. Boca Raton, CRC Press, 2011. 503p.

KAMRAN, M. A. et al. The potential of the flora from different regions of Pakistan in phytoremediation: a review. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 21, p. 801–812, 2014.

KASIM, W. A. Physiological consequences of structural and ultra-structural changes induced by Zn stress in *Phaseolus vulgaris* L. growth and photosynthetic apparatus. **International Journal of Botany**, v. 3, n. 1, p. 15-22, 2007.

LACCHIA, A. P. S.; GUERREIRO, S. M. C. Aspectos ultra-estruturais dos canais secretores em órgãos vegetativos e reprodutivos de Anacardiaceae. **Acta Botanica Brasilica**, v. 23, n. 2, p. 376-388, 2009.

LILLIE, R. D. **Histopathologic technic and practical histochemistry**. 3. ed. New York: McGraw-Hill, 1965. 715 p.

LOHANI, M. B. et al. Studies on efficiency of guava (*Psidium guajava*) bark as bioadsorbent for removal of Hg (II) from aqueous solutions. **Journal of Hazardous Materials**, v. 159, n. 2-3, p. 626-629, 2008.

MAGNA, G. A. M. et al. Chumbo e cádmio detectados em alimentos vegetais e gramíneas no município de Santo Amaro-Bahia. **Química Nova**, v. 36, n. 7, p. 989-997, 2013.

MALAVOLTA, E. et al. **Avaliação do Estado Nutricional das Plantas: Princípios e aplicações**. 2.ed. Piracicaba: POTAFOS. 1997. 319p.

MAZEN, A. M. A.; EL MAGHRABY, O. M. O. Accumulation of cadmium, lead and strontium, and a role of calcium oxalate in water hyacinth tolerance. **Biologia Plantarum**, v. 40, n. 3, p. 411-417, 1998.

MAZEN, A. M. A. Calcium oxalate deposits in leaves of *Corchorus olitorius* as related to accumulation of toxic metals. **Russian Journal of Plant Physiology**, v. 51, n. 2, p. 281-285, 2004.

MELO, E. E. C. et al. Accumulation of arsenic and nutrients by castor bean plants grown on an As-enriched nutrient solution. **Journal of Hazardous Materials**, v. 168, n. 1, p. 479-483, 2009.

MICHALAK, A. Phenolic compounds and their antioxidant activity in plants growing under heavy metal stress. **Polish J. of Environ. Stud.**, vol. 15, n. 4, p. 523-530, 2006.

NIEMEYER, J. C. et al. Environmental risk assessment of a metal-contaminated area in the Tropics. Tier I: screening phase. **Journal of Soils and Sediments**, v. 10, n. 8, p. 1557-1571, 2010.

NIEMEYER, J. C.; EGLER, S.; SILVA, E. M. D. Avaliações ecológicas e ecotoxicológicas relacionadas ao caso da Plumbum em Santo Amaro (BA) In: FERNANDES, F. R. C.; BERTOLINO, L. C., et al (Ed.). **Projeto Santo Amaro – BA: aglutinando ideias, construindo soluções – diagnósticos**. 2ª Edição: CETEM/MCTI, 2012. p.131-149.

PEARCE, R. B. Antimicrobial defences in the wood of living trees. **New Phytologist**, v. 132, n. 2, p. 203-233, 1996.

RADAMBRASIL. **Folha SD. 24 Salvador: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra.** Ministério das Minas e Energia, Brasil, 1981. p. 624.

RAO, K. S.; ANAND, S.; VENKATESWARLU, P. *Psidium guajava* L leaf powder - A potential low-cost biosorbent for the removal of cadmium (II) ions from wastewater. **Adsorption Science & Technology**, v. 28, n. 2, p. 163-178, 2010.

RIOUX, D. et al. Suberized tyloses in trees - an ultrastructural and cytochemical study. **Planta**, v. 196, n. 1, p. 125-140, 1995.

SANTANA, B. V. et al. Leaf morphoanatomy of species tolerant to excess iron and evaluation of their phytoextraction potential. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 21 n.4, p. 2550-2562, 2013.

SHARMA, P.; DUBEY, R. S. Lead toxicity in plants. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 17, n. 1, p. 35-52, 2005.

SILVA, K. L. F. **Avaliação de biomarcadores anatômicos e fisiológicos em plantas expostas ao arsênio.** 2008. 97 f. Tese (Doutorado em Botânica) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.

SILVA, R. F. et al. Influência da contaminação do solo por cobre no crescimento e qualidade de mudas de açoita-cavalo (*Luehea divaricata* Mart. & Zucc.) e aroeira-vermelha (*Schinus terebinthifolius* Raddi). **Ciência Florestal**, v. 21, n. 1, p. 111-118, 2011.

SILVA, N. D. G. et al. Effects of combined drought and heavy metal stresses on xylem structure and hydraulic conductivity in red maple (*Acer rubrum* L.). **Journal of Experimental Botany**, v. 63, n. 16, p. 5957–5966, 2012.

SILVA, S. F.; MEIRELLES, S. T.; MORAES, R. M. The guava tree as bioindicator during the process of fuel replacement of an oil refinery. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 91, p. 39-45, 2013.

SISTEMA DE INFORMAÇÕES MUNICIPAIS - SEI, 1997. Disponível em: http://sim.sei.ba.gov.br/sim/informacoes_municipais.wsp. Acesso em: 05 de janeiro de 2014.

SRIDHAR, B. B. M. Anatomical changes due to uptake and accumulation of Zn and Cd in Indian mustard (*Brassica juncea*). **Environmental and Experimental Botany**, v. 54, n. 2, p. 131-141, 2005.

SYTAR, O. et al. Heavy metal-induced oxidative damage, defense reactions, and detoxification mechanisms in plants. **Acta Physiologia e Plantarum**, v. 35, n. 4, p. 985-999, 2013.

TAFOLLA, J. C. et al. Composición, fisiología y biosíntesis de la cutícula en plantas. **Revista Fitotecnia Mexicana**, v. 36, n. 1, p. 3-12, 2013.

TODESCHINI, V. et al. Effects of high zinc concentration on poplar leaves: A morphological and biochemical study. **Environmental and Experimental Botany**, v. 71, n. 1, p. 50-56, 2011.

TRESMONDI, F.; ALVES, E. S. Structural changes in *Psidium guajava* 'Paluma' leaves exposed to tropospheric ozone. **Acta Botanica Brasilica**, v. 25, n. 3, p. 542-548, 2011.

ZORRIG, W. et al. Identification of three relationships linking cadmium accumulation to cadmium tolerance and zinc and citrate accumulation in lettuce. **Journal of Plant Physiology**, v. 167, n. 15, p. 1239-1247, 2010.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A vegetação permite a estabilização dos contaminantes nos solos, sendo importante o conhecimento e a conservação da comunidade vegetal, como primeiro passo para elaboração do projeto de restauração ecológica, além de potencializar as técnicas de fitorremediação.

As espécies de maior valor de importância na desativada fábrica Plumbum foram *Psidium guajava* L. e *Schinus terebinthifolius* Raddi, que possuem grande potencial para restauração ecológica de áreas degradadas. Na fábrica, essas espécies colonizaram pátio onde depositaram passivos ambientais, formando um grupo homogêneo com outras espécies agrupadas.

A florística e fitossociologia do entorno da desativada fábrica Plumbum precisam ser conhecida para catalogação da biodiversidade e compreensão das estruturas das comunidades vegetais de Santo Amaro, assim determinando raio de impacto causado pelos contaminantes na vegetação.

Além disso, *P. guajava* e *S. terebinthifolius* apresentaram alterações anatômicas, que evidenciaram tolerância dessas espécies aos estresses provocados por cádmio, chumbo e/ou zinco, que possuem altas concentrações no solo contaminado. Se fazem necessários testes isolados de fitorremediação com os metais e as plantas.

Os solos da fábrica precisam ser monitorados frequentemente em relação aos metais pesados, e o mapeamento mais rigoroso de toda área para estabelecer processo de descontaminação ou estabilização mais específico de acordo com a dominância do metal.

São necessários estudos de isotermas de adsorção competitiva de cádmio, chumbo e zinco nos vertissolos, para compreender as interações dos metais pesados por sítios de adsorção, representando uma medida de prevenção contra futuras contaminações em outros vertissolos.