



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

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL FITOEXTRATOR E DAS ALTERAÇÕES  
ANATÔMICAS FOLIARES CAUSADAS POR METAIS PESADOS EM**  
*Ipomoea asarifolia* (desr.) Roem. & Schult e *Urochloa decumbens*  
(Stapf.) Webster

**MARIA CAROLINA SOUZA BRANDÃO**

**CRUZ DAS ALMAS-BAHIA  
AGOSTO- 2014**

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL FITOEXTRATOR E DAS ALTERAÇÕES  
ANATÔMICAS FOLIARES CAUSADAS POR METAIS PESADOS EM**

*Ipomoea asarifolia* (Desr.) Roem. & Schult e *Urochloa decumbens*

(Stapf.) Webster

**MARIA CAROLINA SOUZA BRANDÃO**

**BIÓLOGA, GRADUADA PELA UNIVERSIDADE ESTADUAL DE FEIRA DE  
SANTANA, 2011**

**ORIENTADORA: ADRIANA MARIA DE AGUIAR ACCIOLY**

**CO-ORIENTADOR: FABIANO MACHADO MARTINS**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA, MESTRADO EM  
SOLOS E QUALIDADE DE ECOSSISTEMAS, CRUZ DAS ALMAS, BAHIA, 2014**

## FICHA CATALOGRÁFICA

B817a

Brandão, Maria Carolina Souza.

Avaliação do potencial fitoextrator e das alterações anatômicas foliares causadas por metais pesados em *Ipomoea asarifolia* (desr.) Roem. & Schult e *Urochloa decumbens* (Stapf.) Webster / Maria Carolina Souza Brandão. \_ Cruz das Almas, BA, 2014.

66f.; il.

Orientadora: Adriana Maria de Aguiar Accioly.

Coorientador: Fabiano Machado Martins.

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

1.Solos – Teor de metal pesado. 2.Solos – Fitorremediação. 3.Plantas – Análise. I.Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas. II.Título.

CDD: 631.4

**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**  
**MARIA CAROLINA SOUZA BRANDÃO**

---

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. Weliton 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.....

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente a força divina do bem que existe no universo, que a cada dia me renova.

À minha avó Zelita, meu avô Gilberto (*in memoriam*), minha tia Neném (*in memoriam*), que me educaram e sempre me apoiaram me dando amor e carinho, além de sempre me incentivarem a estudar e a buscar um futuro melhor.

À minha mãe Conceição por ter me gerado e pelo carinho.

À minha irmã Mariana Brandão que amo muito e é uma grande amiga.

Ao meu namorado Lenon Santana pelo carinho e apoio.

Aos meus amigos, que sempre me apoiaram nessa caminhada, especialmente a Renata Patrício, Grênivel Costa, Marcos Vinicius, Anderson Ferreira, Francisco Éder, Bianca Brito, Danilo Martins, Miriã Maria, Carolina Barreto, Ana Paula, Verônica Viana, Beatriz Brito, Uzis, Gerlange, Higina.

Aos orientadores Adriana Maria de Aguiar Accioly e Fabiano Machado Martins que compartilharam comigo os seus conhecimentos e tiveram paciência com as minhas dificuldades e dúvidas.

Ao pessoal do laboratório de Solos e Nutrição Mineral de Plantas da Embrapa Mandioca e Fruticultura pela ajuda nos trabalhos desenvolvidos.

Ao professor Carlos Ledo pelo auxílio na estatística.

A todos os professores que contribuíram para o meu crescimento acadêmico.

## SUMÁRIO

Página

RESUMO

ABSTRACT

INTRODUÇÃO.....1

### **CAPÍTULO 1**

ABSORÇÃO DE METAIS PESADOS por *Ipomoea asarifolia* (Desr.) Roem. & Schult  
e *Urochloa decumbens* (Stapf.) Webster ocorrentes EM SOLO  
CONTAMINADO.....10

### **CAPÍTULO 2**

ESTUDO DAS ALTERAÇÕES ANATÔMICAS FOLIARES EM *Ipomoea asarifolia*  
(Desr.) Roem. & Schult e *Urochloa decumbens* (Stapf.) Webster coletadas EM SOLO  
CONTAMINADO por METAIS  
PESADOS.....37

CONSIDERAÇÕES FINAIS.....60

# **AVALIAÇÃO DO POTENCIAL FITOEXTRATOR E DAS ALTERAÇÕES ANATÔMICAS FOLIARES CAUSADAS POR METAIS PESADOS EM**

*Ipomoea asarifolia* (Desr.) Roem. & Schult E *Urochloa decumbens*

(Stapf.) Webster

Autor: Maria Carolina Souza Brandão

Orientador: Adriana Maria de Aguiar Accioly

Co-orientador: Fabiano Machado Martins

**RESUMO:** Os metais pesados são contaminantes bioacumulativos e não biodegradáveis. Um dos casos mais graves de contaminação do solo por metais pesados ocorre em Santo Amaro da Purificação-BA. O objetivo deste trabalho foi avaliar o potencial fitoextrator e as alterações anatômicas foliares sofridas por *Ipomoea asarifolia* e *Urochloa decumbens* presentes em solo contaminado por metais pesados. As amostras contaminadas de solo e planta foram coletadas em Santo Amaro e as amostras controles em Cruz das Almas-BA. Foram determinados os teores biodisponíveis dos metais pesados Cd, Pb e Zn no solo, e teores totais na planta. No solo e na planta os teores foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica. Os estudos anatômicos nas plantas foram feitos através de montagem de lâminas com cortes com coloração de azul de astra 1% e safranina 3%. Tanto a *I. asarifolia* como a *U. decumbens* absorveram e translocaram os metais pesados para a parte aérea, mas as maiores concentrações foram observadas nas raízes. Foram constatadas alterações anatômicas foliares nas duas espécies estudadas. A partir das análises anatômicas foliares das plantas observou-se que houve diferenças entre as plantas controles com as da área contaminada. Os espaços intercelulares do mesofilo da *I. asarifolia* no controle foram maiores do que os das plantas da área contaminadas. O metaxilema foi mais desenvolvido nas plantas da área controle. A *U. decumbens* coletada em área contaminada apresentou limbo foliar menor, número maior de células da endoderme e células buliformes maiores.

**Palavras-chaves:** fitorremediação, espécies herbáceas, fitotoxicidade, chumbo, cádmio, cortes histológicos

# **EVALUATION OF THE FITOEXTRATOR POTENTIAL AND LEAVES ANATOMICAL CHANGES CAUSED BY HEAVY METAL IN *Ipomoea asarifolia* (Desr.) Roem. & Schult **AND** *Urochloa decumbens* (Stapf.)**

Webster

Author: Maria Carolina Souza Brandão

Advisor: Adriana Maria de Aguiar Accioly

Co-supervisor: Fabiano Machado Martins

**ABSTRACT:** Heavy metals are biodegradable and non-bioaccumulative contaminants. One of the most serious cases of soil contamination by heavy metals occurs in Santo Amaro da Purificação-BA. The aim of this study was to evaluate the potential fitoextrator and leaf anatomical changes undergone by *Ipomoea asarifolia* and *Urochloa decumbens* present in soil contaminated by heavy metals. Samples of contaminated soil and plant were collected in Santo Amaro and control samples in Cruz das Almas, Bahia. We determined the levels of bioavailable heavy metals Cd, Pb and Zn, and total contents in the plant. In soil and plant contents were determined by atomic absorption spectrophotometry. Anatomical studies in plants were made by mounting slides with stained with astra blue and safranin 1% 3%. Both *I. asarifolia* as *U. decumbens* absorbed and translocated heavy metals to the shoot, but the highest concentrations were observed in the roots. Leaf anatomical changes were observed in both species. From the leaf anatomical analyzes of the plants was observed that there were differences between plants with the controls of the contaminated area. The intercellular spaces of leaf mesophyll *I. asarifolia* control were higher than those of plants contaminated area. The metaxylem was more developed plants in the control area. The *U. decumbens* collected in the contaminated area showed lower leaf surface, more cells and larger bulliform endoderm cells.

**Keywords:** phytoremediation, herbaceous species, phytotoxicity, lead, cadmium, histologica sections



## INTRODUÇÃO

A revolução industrial foi a principal responsável pela concentração e disposição inadequada de resíduos tóxicos contendo metais pesados (ANJOS et al., 2012). Isso ocorreu devido ao desenvolvimento de atividades antropogênicas com matéria-prima contendo elementos metálicos tais como: produção de energia, mineração, galvanoplastia, metalúrgia etc (AHMADPOUR et al., 2012; AHMAD; GONI, 2010; CUNHA et al., 2008; SHEORAN et al., 2011).

Os metais pesados são elementos que possuem densidade maior que  $5,0 \text{ g cm}^{-3}$ , sendo esta mais elevada do que a densidade média das partículas do solo ( $2,65 \text{ g cm}^{-3}$ ). Alguns destes elementos metálicos tem importância biológica, sendo cruciais na ocorrência das reações enzimáticas importantes na sobrevivência dos seres vivos. O zinco, por exemplo, é fundamental para o funcionamento adequado do sistema imunológico humano, mas em altas concentrações este é tóxico (BOTHE, 2011; ELEKES et al., 2010).

Há diversos casos de contaminação por metais no mundo, inclusive no Brasil, podendo-se aludir mais especificamente o município de Santo Amaro da Purificação, Bahia. Esse sofreu durante anos com a degradação ambiental causada pela atividade metalúrgica do chumbo. A COBRAC (Companhia Brasileira de Chumbo), que foi incorporada posteriormente a PLUBUM mineração e metalurgia Ltda., lançou por meio de emissões gasosas, durante 1960 a 1993, 400 toneladas de cádmio em uma média mensal de 1.152 t, em um período de 33 anos. Estudos realizados na área determinaram que há grandes concentrações de cádmio, chumbo, zinco, cobre e arsênio na biota, incluindo animais consumidos na alimentação local e no solo (ANJOS, 2003; ASEVEDO, 2012).

Desta forma, como consequência do contato com a contaminação houve a manifestação de diversos problemas de saúde entre a população e funcionários antigos da metalúrgica, como casos de câncer e defeitos congênitos (ASEVEDO, 2012; SILVA, 2003).

Uma avaliação feita no sangue de crianças na faixa etária de 1 a 4 anos, que residem próximas a antiga metalúrgica detectou que o nível médio de chumbo no sangue foi de  $17,1 \pm 7,3 \text{ mg/dL}$ , sendo que é considerada como intoxicação relevante uma concentração superior a  $9 \text{ mg/dL}$  (CARVALHO et al., 2003).

Nesse contexto, são necessárias medidas que visem à atenuação ou se possível a resolução desse grave problema ambiental. As plantas que conseguem absorver metais do solo oferecem um método alternativo e menos dispendioso para retirar os metais pesados. Essas plantas têm mecanismos adaptativos para acumular ou tolerar altas concentrações de contaminantes em sua rizosfera. A utilização de tais plantas para a limpeza dos solos e água contaminada com substâncias poluentes é uma técnica conhecida como fitorremediação, que é uma ferramenta da biorremediação *in situ* (SALT et al., 1995; SHEORAN et al., 2011; SOUZA et al., 2011; WAOO et al., 2011).

A planta ideal para fitorremediação deve apresentar rápido crescimento, elevada produção de biomassa e raízes profundas, essa deve ser de fácil colheita, tolerar diversos metais e acumulá-los na parte aérea (GOMES et al., 2011; WAOO et al., 2011).

Segundo Baker e Walker (1990), de acordo com mecanismos adotados pela planta para a colonização e sobrevivência em locais contaminados por metais pesados, essas podem ser classificadas como: exclusoras, indicadoras e acumuladoras.

As plantas acumuladoras retêm metais em seus tecidos acima da concentração encontrada no solo. As exclusoras são plantas que efetivamente limitam os níveis de translocação de metais pesados dentro delas e mantêm os níveis relativamente baixos na sua parte aérea, mas elas podem conter grandes quantidades de metais em suas raízes. As indicadoras acumulam metais em seus tecidos e geralmente refletem os níveis de metais no solo (SHEORAN et al., 2011).

A absorção e a biodisponibilidade desses elementos no solo para as plantas é predominantemente afetada pela concentração do metal, pH, estado de oxidação dos componentes minerais, potencial redox, capacidade de troca catiônica, substâncias orgânicas presentes no solo, assim como outros elementos presentes na rizosfera (ALLEONI; MELLO, 2009; LUKMAN et al., 2013).

Os metais pesados podem causar danos às plantas, como distúrbios no metabolismo vegetal, havendo substituição de elementos essenciais presentes em pigmentos ou induzindo a produção de espécies reativas de oxigênio. A semelhança entre metais pesados e os elementos metálicos essenciais (por exemplo, pares de Cd-Zn e Se-S) faz com que haja elevada toxicidade devido à possibilidade de

substituir os metais essenciais em sistemas enzimáticos (BABULA et al., 2008; MULLER-DAHMANI et al., 2000; NAGAJYOTI et al., 2010).

Os metais pesados alteram a conformação dos tecidos, como foi observado por Jesus et al. (2009), que constatou modificações no tecido dermal, fundamental e vascular em *Cyperus rotundus*. Marques et al. (2011) constataram em mudas de eucalipto expostas ao cádmio, que a espessura do tecido radicular aumentou com o aumento das doses de Cd, porém as do mesófilo e do limbo foliar diminuíram. Já o trabalho desenvolvido por Gomes et al. (2011) detectou em *Salix humboldtiana* Willd engrossamento da epiderme e endoderme, menor número de vasos do xilema nas raízes e nas folhas e também uma diminuição de estômatos na epiderme foliar.

A acumulação de lignina na parede celular também tem sido observada em plantas que estão em contato com os metais pesados, mas esse acontecimento tem sido associado ao estresse celular oxidativo sofrido pela planta de forma indireta quando entra em contato com o metal tóxico (CHAOUÏ; FERJANI, 2005; CUNHA et al., 2008).

A tolerância aos metais pesados depende das características do tecido vegetal, como os que possuem taxa metabólica baixa. Os tecidos que dão suporte aos feixes vasculares podem ajudar na acumulação de metais pesados (BENAVIDES et al., 2005; CUNHA et al., 2008; VOLLENWEIDER et al., 2005).

Nesse contexto, o estudo anatômico das plantas complementa a fitorremediação, pois esse vai constatar os danos causados pelos metais aos tecidos vegetais e os compostos produzidos pelo vegetal em resposta a presença desse tipo de contaminante no ambiente (GOMES et al., 2011).

As plantas estudadas são da família Convolvulaceae (*Ipomoea asarifolia*) e Poaceae (*Urochloa decumbens*). Ambas são consideradas plantas ruderais (do grego ruderis = ruínas) são aquelas que durante o processo evolutivo adaptaram-se a ambientes humanos, ocupando beiras de calçadas, terrenos baldios e outros tipos de ambientes urbanos que são áreas de grande concentração de nitrogênio (CATTANI, 2009).

A partir disso, o objetivo geral desse trabalho foi estudar o potencial fitorremediador e as alterações anatômicas foliares sofridas por *Ipomoea asarifolia* e *Urochloa decumbens* presentes em solo contaminado por metais pesados.

## REFERÊNCIAS

- ALLEONI, L. R. F.; MELO, V. F. de. **QUÍMICA E MINERALOGIA DE SOLOS**. Sociedade Brasileira de Ciências do Solo. 2009.
- ANJOS, J. A. S. A. dos; SÁNCHEZ, L. E.; BERTOLINO, L. C. Remediação de áreas contaminadas: proposições para o sítio da Plumbum em Santo Amaro da Purificação/BA. In: FERNANDES, C.; BERTOLINO, L. C.; EGLER, S.; REGO, F. **Projeto Santo Amaro- Bahia: aglutinando ideias, construindo soluções**. 2. ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2012. 252p.
- ANJOS, J. A. S. A. dos S. **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. 328 f. Tese (Programa de Pós-Graduação em Engenharia). Escola Politécnica. Universidade de São Paulo. 2003.
- AHMADPOUR, P.; AHMADPOUR, F.; MAHMUD, T. M. M.; ABDU, A.; SOLEIMANI, M.; TAYEFEH, F. H. Phytoremediation of heavy metals: a green technology. **African Journal of Biotechnology**, v. 11, n. 76, p.14036-14043, 2012
- AHMAD, J. U.; GONI, M. A. Heavy metal contamination in water, soil, and vegetables of the industrial areas in Dhaka, Bangladesh. **Environ. Monit. Assess.**, v. 166, p. 347–357, 2010.
- ASEVEDO, L. P. **MAPEAMENTO GEOQUÍMICO DE SOLOS CONTAMINADOS POR METAIS (Pb, Zn, As e Cu), SANTO AMARO DA PURIFICAÇÃO, BAHIA. UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA**. 2012. 93f. Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Solos e Qualidade de Ecossistemas. Cruz das Almas, Bahia. 2012.
- BABULA, P.; ADAM, V.; OPATRILOVA, R.; ZEHNÁLEK, J.; HAVEL, L.; KIZEK, R. Uncommon heavy metals, metalloids and their plant toxicity: a review. **Environmental Chemistry Letters**, v. 6, p.189–213, 2008.
- BAKER, A. J. M.; WALKER, P. L. **Ecophysiology of metal uptake by tolerant plants: Heavy metal tolerance in plants**. In: SHAW, A. J. (ed.) *Evolutionary Aspects*. CRC Press, Boca Raton, 1990.
- BENAVIDES, M. P.; GALLEGOS, S. M.; TOMARO, M. L. Cadmium toxicity in plants. **Braz. J. Plant Physiol.**, v.17, p. 21-34, 2005.
- BOTHE, H. Plants in Heavy Metal Soils. In: SHERAMETI, I.; VARMA, A. (eds.), **Detoxification of Heavy Metals, Soil Biology**, 2011.
- CARVALHO, F. M.; NETO, A. M. S.; TAVARES, T. M.; COSTA, A. C. A. C.; CHAVES, C. D. R. C.; NASCIMENTO, L. D.; REIS, M. de A. Chumbo no sangue de crianças e passivo ambiental de uma fundição de chumbo no Brasil. **Rev Panam Salud Publica/Pan Am J Public Health**, v.13, n.1, 2003.

CATTANI, S. M. de M. Levantamento de espécies ruderais em uma área de pastagem abandonada na Represa de Itupararanga, Votorantim-SP. **REB Volume**, v. 2, n. 4, p. 38-55, 2009.

CHAOUI, A.; FERJANI, E. E. Effects of cadmium and copper on antioxidant capacities, lignification and auxin degradation in leaves of pea (*Pisum sativum* L.) seedlings. **C. R. Biol.**, v. 328, p. 23-31, 2005.

CUNHA, K. P. V. da; NASCIMENTO, C. W.; PIMENTEL, R. M. de M.; ACCIOLY, A. M. de A.; SILVA, A. J. da. Disponibilidade, acúmulo e toxidez de cádmio e zinco em milho cultivado em solo contaminado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 3, p. 1319-1328, 2008.

GOMES, M. P.; MARQUES, T. C. L. L. de S. M.; NOGUEIRA, M. de O. G.; SILVA, G. H.; CASTRO, E. M. de; SOARES, A. M. Efeitos dos rejeitos da indústria de zinco na anatomia e crescimento de plantas jovens de *Salix humboldtiana* Willd. (salgueiro). **Hoehnea**, v. 38, n.1, p. 135-142, 2011.

ELEKES, C. C.; DUMITRIU I.; BUSUIOC, G.; ILIESCU, N. S. The appreciation of mineral element accumulation level in some herbaceous plants species by ICP–AES method. **Environ Sci Pollut Res Int.**, v.17, n.6, p.1230-6, 2010.

JESUS, S. L.; ARÉVALO, R. A.; ROMÃO, G. O.; ROSSI, L. M.; COSCIONE, A. R.; NOGUEIRA, N. L. Potencial de Utilização de *Cyperus rotundus* na Descontaminação de áreas de descarte de resíduos industriais com elevados teores de metais. **Planta Daninha**, v. 27, n. 4, p. 641-645, 2009.

LUKMAN, S.; ESSA, M. H.; MU'AZU, N. D.; BUKHARI, A.; BASHEER, C. adsorption and Desorption of Heavy Metals onto Natural Clay material: influence of initial pH. **Journal of Environmental Science and Technology**, v. 6, n.1, 2013.

MACHADO, S. L.; RIBEIRO, L. D.; KIPERSTOK, A. BOTELHO, M. A. B.; Diagnóstico da contaminação por metais pesados em Santo Amaro- BA. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 9, n. 2, 2004.

MARQUES, T. C. L. L. de S.; SOARES, A. M.; GOMES, M. P.; MARTINS, G. Respostas fisiológicas e anatômicas de plantas jovens de eucalipto expostas ao cádmio. **Revista Árvore**, v. 35, n. 5, p. 997-1006, 2011.

MULLER-DAHMANI, H.; VAN OORT, F.; GÉLIE, B; BALABANE, M. Strategies of heavy metal uptake by three plant species growing near a metal smelter. **Environmental Pollution**, v.109, 2000.

NAGAJYOTI, P. C.; LEE, K. D.; SREEKANTH, T. V. M. Heavy metals, occurrence and toxicity for plants: a review. **Environ Chem Lett.**, v. 8, p.199–216, 2010.

SALT, D. E.; BLAYLOCK, M.; KUMAR, N. P.B.A.; DUSHENKOV, V.; ENSLEY, B. D.; CHET, I.; RASKIN, I. Phytoremediation: A novel strategy for the removal of toxic metals from the environment using plants. **Nature Biotechnology**, v.13, 1995.

SHEORAN, V.; SHEORAN, A. S.; POONIA, P. Role of Hyperaccumulators in Phytoextraction of Metals From Contaminated Mining Sites: A Review. **Critical Reviews in Environmental Science and Technology**, v. 41, p.168–214, 2011.

SILVA, A. P. da. **Resumo executivo: Avaliação de risco à saúde humana por metais pesados no município de Santo Amaro da Purificação, Bahia**. 78 p., 2003. Disponível em: <[http://portal.saude.gov.br/portal/arquivos/pdf/resumo\\_executivo\\_sto\\_amaro.pdf](http://portal.saude.gov.br/portal/arquivos/pdf/resumo_executivo_sto_amaro.pdf)>. Acesso em: 16 de abril de 2012, 11:00.

SOUZA, L. A.; ANDRADE, S. A. L. de; SOUZA, S. C. R. de; SCHIAVINATO, M. A. Tolerância e Potencial Fitorremediador de *Stizolobium aterrimum* associada ao fungo Micorrízico Arbuscular *Glomus etunicatum* em solo contaminado por chumbo. **R. Bras. Ci. Solo.**, v. 35, p.1441-1451, 2011.

VOLLENWEIDER, P.; COSIO C.; GÜNTHARDT-GOERG, M. S.; KELLER, C. Localization and effects of cadmium in leaves of a cadmium-tolerant willow (*Salix viminalis* L.) Part II Microlocalization and cellular effects of cadmium. **Environ. Exper. Bot.**, v. 58, p.1-16, 2005.

WAOO, A.; KHARE, S.; GANGULY; S. Unconventional Plant-based Remediation Technologies for Soil pollution at Contaminated Sites in Bhopal. **International Journal of Engineering and Advanced Technology**, v.1, n.1, 2011.

## **CAPÍTULO 1**

**ABSORÇÃO DE METAIS PESADOS POR *Ipomoea asarifolia* (Desr.) Roem. & Schult e *Urochloa decumbens* (Stapf.) Webster OCORRENTES EM SOLO CONTAMINADO**

## **ABSORÇÃO DE METAIS PESADOS POR *Ipomoea asarifolia* (Desr.)**

Roem. & Schult E *Urochloa decumbens* (Stapf.) Webster

### **OCORRENTES EM SOLO CONTAMINADO**

**RESUMO:** Os metais pesados são contaminantes bioacumulativos e tóxicos para a biota. Esses podem ser incorporados à cadeia alimentar. O uso de plantas fitoextratoras de metais pesados é um método eficiente e barato para o controle, atenuação ou resolução da contaminação. O objetivo desse trabalho foi avaliar o potencial fitoextrator dos metais pesados Pb, Cd e Zn por *Ipomoea asarifolia* (Desr.) Roem. & Schult e *Urochloa decumbens* Stapf Webster ocorrentes em área contaminada por metais pesados no município de Santo Amaro da Purificação, BA. Os metais pesados (Cd, Zn e Pb) biodisponíveis foram extraídos por Mehlich I e também foi mensurada a concentração desses elementos na parte aérea e nas raízes de *U. decumbens* e *I. asarifolia*. As espécies estudadas absorveram e translocaram os metais para as folhas e caule, mas a parte radicular das duas espécies apresentou maior concentração. As plantas absorveram os metais e concentraram a maior parte nas raízes sendo consideradas fitoestabilizadoras. Houve correlação positiva do chumbo entre a parte aérea e a radicular na *U. decumbens* e para o cádmio para *I. asarifolia*, ou seja, quanto mais a planta absorve o metal mais ela vai translocar para a parte aérea. As duas espécies extraíram metais do solo, mas os teores em seus tecidos não foram suficientes para essas serem consideradas acumuladoras de metais.

**Palavras-chave:** contaminação, cádmio, chumbo, zinco, plantas herbáceas



**ABSORPTION OF HEAVY METALS IN *Ipomoea asarifolia* (Desr.)  
Roem. & Schult AND *Urochloa decumbens* (Stapf.) Webster  
OCCURRING IN CONTAMINATED SOIL**

**ABSTRACT:** Heavy metals are bioaccumulative and toxic contaminants for biota. These can be incorporated into the food chain and may be ingested by humans through food. The use of fitoextratoras plants of heavy metals is an efficient and inexpensive method for control, mitigation or resolution of the contamination. The aim of this work was to evaluate the potential of heavy metals fitoextrator Pb, Cd and Zn by *Ipomoea asarifolia* (Desr.) Roem. & Schult and *Urochloa decumbens* Stapf Webster occurring in the contaminated area by heavy metals in Santo Amaro da Purificação, BA. Bioavailable heavy metals (Cd, Zn and Pb) were extracted by Mehlich I and was also measured to nutrient concentration in the aerial part and roots of *U. decumbens* and *I. asarifolia*. The species absorbed and translocated metals to the leaves and stems, but the root of the two species showed higher concentration. Plants that absorb metals and concentrate most part in the roots are considered fitoestabilizadoras. There was a positive lead correlation between aerial part and root in *U. decumbens* and by cadmium to *I. asarifolia*, ie, how much the plant absorbs the metal more it will translocate to the aerial part. The two species extracted metals of soil, but the levels in their tissues were not enough for these to be considered accumulating metals, ie, plants with great fitoextrator potential.

**Keywords:** contamination, cadmium, lead, zinc, herbaceous plants

## 1 INTRODUÇÃO

De acordo com Alleoni e Melo (2009), os metais pesados são contaminantes bioacumulativos, que podem ter funções biológicas em baixas concentrações, como o zinco. Outros metais pesados não possuem nenhuma função metabólica comprovada como o chumbo, mercúrio e o cádmio, sendo tóxicos para a biota, e a biodisponibilidade e a mobilidade desses elementos é influenciada pela dinâmica e características do solo.

Quando estes estão biodisponíveis no ambiente podem ser incorporados à cadeia alimentar, sendo acumulados nos tecidos dos seres vivos. Nos seres humanos podem causar diversas doenças como câncer, anemia, alergias e alterações no metabolismo, danos ao sistema nervoso, problemas gastrointestinais etc (FERREIRA et al., 2010; MOREIRA; MOREIRA, 2004).

As plantas também sofrem com o efeito tóxico dos metais. O cádmio e o chumbo não são elementos essenciais para os vegetais e quando estão biodisponíveis no ambiente causam fitotoxicidade (GOMES et al., 2011).

Algumas espécies vegetais conseguem se estabelecer em locais contaminados por metais pesados. A evolução na natureza de ecótipos formados por plantas tolerantes a metais é um exemplo clássico de adaptação local e microevolução restrita a espécies com adequada variabilidade genética. As plantas que crescem em ambientes contaminados por metais mostram mecanismos de escape ou tolerância à toxicidade do metal que foram selecionadas durante a evolução (ALMEIDA et al., 2007; BARKER, 1997; BECH et al., 2012; HALL, 2002; LINDEGAARD; PATRA et al., 2004).

As plantas desenvolveram dois mecanismos básicos referentes a sobrevivência a esses poluentes, que foram a exclusão e a acumulação. Na exclusão o vegetal evita a absorção do metal e restringe o seu transporte para a parte aérea e é geralmente usada por pseudometálofitas. A acumulação é quando o vegetal retem os metais nos seus tecidos e os transloca também para a parte aérea (ASHRAF et al., 2011; BAKER, 1981; 1987; BAKER; WALKER, 1989).

As plantas que acumulam elementos metálicos podem ser usadas para descontaminar ambientes. Todas as técnicas de fitorremediação requerem espécies de plantas que não sejam apenas adaptadas à dinâmica do solo, mas também às

condições climáticas do local. O uso de plantas nativas para fitorremediação pode ser uma opção vantajosa por conta dessas características (BECH et al., 2012).

O uso de espécies arbóreas e arbustivas para a fitorremediação tem um potencial considerável, mas a utilização de plantas herbáceas é vantajosa, pois a capacidade de adaptação e tolerância das ervas para os metais pesados é superior (LANDBERG; GREGER, 1996; LI et al., 2009; XUE et al., 2013; ZU et al., 2005).

Na literatura existem trabalhos relacionados ao potencial fitorremediador e a tolerância das plantas herbáceas. Alguns estudos presentes na literatura comprovam a tolerância e a eficiência das plantas herbáceas na fitoextração de elementos metálicos. Zarinkamar et al. (2013) estudando *Matricaria Chamomilla* concluíram que essa erva é tolerante ao chumbo. Sen et al. (2013) fizeram uma pesquisa com mostarda indiana (*Brassica juncea*) e concluíram que é uma espécie capaz de acumular grandes concentrações dos metais Cd, Cu, Ni, Zn, Pb e Se. Xue et al. (2013) ao trabalharem com espécies vegetais herbáceas nativas em uma mina de antimônio concluíram que essas possuem potencial para a fitorremediação.

O objetivo desse trabalho foi avaliar o potencial fitoextrator de *Ipomoea asarifolia* (Desr.) Roem. & Schult e *Urochloa decumbens* Stapf Webster para Pb, Cd e Zn ocorrentes em área contaminada no município de Santo Amaro da Purificação, BA.

## 2 METODOLOGIA

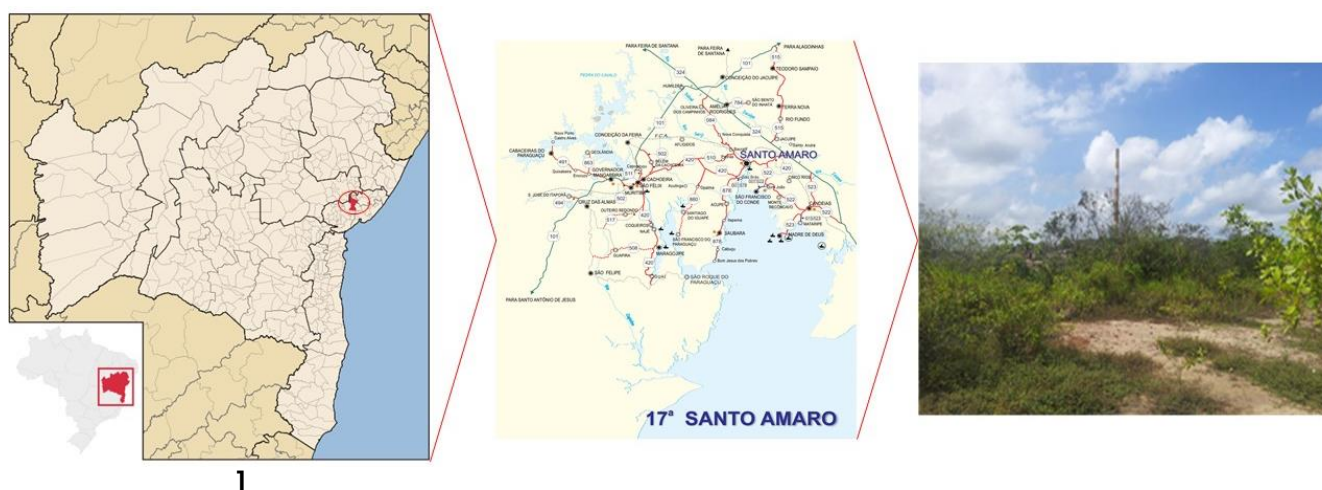
### 2.1 Historiografia da área de estudo

A área de estudo (Figuras 1 e 2) localiza-se em Santo Amaro da Purificação-BA, que se encontra no Recôncavo Baiano a 86 km de Salvador. As áreas de amostragem estão localizadas a 12°32'17,1''S 038°43'55'' W (*U. decumbens*) e 12°32'16''S 038°43'56,8''W (*I. asarifolia*). A área onde foi feita a coleta da braquiária (*U. decumbens*) possui aproximadamente 200 m<sup>2</sup> (Área 1) e a área de amostragem de ipoméia (*I. asarifolia*) tem aproximadamente 300 m<sup>2</sup> (Área 2).

Durante décadas este município sofreu com a degradação ambiental causada pela metalúrgica COBRAC (Companhia Brasileira de Chumbo), que posteriormente passou a ser denominada de Plumbum Mineração e Metalúrgica Ltda. (ANJOS; SÁNCHEZ, 2001; ANJOS, 2003).

O histórico do uso da área é urbano e agrícola, existem propriedades de produção de açúcar na região, assim como pequenos produtores que praticam agricultura de subsistência. As culturas mais importantes na região são de citros, dendê, cana-de-açúcar e fumo (ANJOS, 2003).

O clima é úmido a subúmido e seco a subúmido apresentando nos meses menos chuvosos precipitação inferior a 100 mm, temperatura média anual de 25,4 °C. O período chuvoso vai de Abril a Junho, com pluviosidade anual de 1.000 a 1.700 mm. A área é caracterizada por vegetação de Mata Atlântica com ligeiras incursões de caatinga e até de cerrado (BAHIA, 1995).



**Figura 1.** Mapa da Bahia com Santo Amaro em destaque com foto da área contaminada (Mapas modificados a partir do WIKIPEDIA, 2014; DERBA, 2012). Foto: (BRANDÃO, 2013).

A região se insere quase inteiramente na bacia do rio Subaé. Na área são mais frequentes solos do tipo Vertissolo e Cambissolo com origem em folhelhos esverdeados intercalados com calcário do Grupo Santo Amaro. Esses solos possuem alta capacidade de troca catiônica, são argilosos a muito argilosos, com argilas do tipo montmorilonita, que podem se contrair e expandir de acordo com a quantidade de umidade, são moderadamente drenados a mal drenados e com baixa impermeabilidade (ANJOS, 2003; ASEVEDO, 2012).

A geomorfologia da área é caracterizada pela baixada litorânea sendo representada por colinas rebaixadas e tabuleiros com altitudes inferiores a 100m e interflúvios apresentando vertentes com aspectos côncavos, esculpido em folhelhos do Grupo Santo Amaro (ANJOS, 2003).



Figura 2. Mapa topográfico da área da Plumbum com a demarcação da área de coleta Área 1 (●) Área 2 (●) (Anjos, 2003-figura modificada).

### 2.1.2 Caracterização da área controle

As amostras controle foram coletadas em Cruz das Almas-BA, no campus da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia localizado a 12°40'39''S 039°06'26 W. Este município é caracterizado pelo clima tropical e se encontra no bioma Mata Atlântica.

A precipitação média é de 1.224 mm por ano, a temperatura média anual é de 24,5°C e a umidade relativa do ar de aproximadamente 82%. O solo é Latossolo amarelo distrófico com baixos pH e capacidade de troca catiônica (Tabela 2).

Devido a dificuldade de encontrar vertissolo sem contaminação escolheu-se um outro tipo de solo, que apresentasse as espécies vegetais estudadas.

### 2.1.3 Coleta e análises de solo contaminado e controle

As amostragens de solo contaminado e controle foram realizadas com auxílio de um trado holandês de aço em uma profundidade de 0-20 cm e foram armazenadas em sacos de polietileno devidamente identificados.

As análises de fertilidade e granulometria do solo foram realizadas no Laboratório de Solos e Nutrição de Plantas e no Laboratório de Física do Solo da Embrapa Mandioca e Fruticultura, seguindo as metodologias compiladas pela Embrapa (1997,1999).

Os metais pesados (Pb, Cd e Zn) biodisponíveis foram extraídos por solução de Mehlich 1 (HCl 0,05 N + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,025 N), conforme Embrapa (1999). As leituras das concentrações dos metais foram feitas por espectrofotometria de absorção atômica. Além disso, foram feitas análises granulométricas dos solos pelo método do densímetro (EMBRAPA, 1997).

#### 2.1.4 Coleta e amostragem de material vegetal

Foram coletadas 26 amostras de *Urochloa decumbens* (braquiária) e *Ipomoea asarifolia* (ipoméia) na área controle e contaminada. Estas foram retiradas do solo com a ajuda de uma pá e enxada de aço e armazenadas em sacos de papel. As identificações taxonômicas das espécies foram feitas através de chaves dicotômicas com auxílio de profissionais do herbário da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB).

As plantas coletadas foram separadas em parte aérea e raízes e posteriormente lavadas abundantemente com água deionizada. Foram secas em estufa a 60 °C até atingir peso constante, pesadas e trituradas em moinho tipo Wiley. Para a determinação de metais foi utilizada a digestão nitro-perclórica (Embrapa, 1999) e determinação por espectrofotometria de absorção atômica.

As concentrações de metais pesados encontradas na parte aérea e radicular das plantas da mesma espécie amostrada na área controle e contaminada foram submetidas ao teste não-paramétrico de comparação de médias Kolmogorov-Smirnov a 5% de significância usando o programa estatístico Statistica versão 7.1. Foram feitas análises de correlação não-paramétrica de Spearman nas concentrações de metais na parte aérea e radicular com o teste t usando o programa estatístico SAS versão 6.12.

Foram calculados o fator de transferência (FT) (ACCIOLY et al., 2009 apud BAKER et al., 1994) e o índice de transferência (IT) (XUE et al., 2013).

$IT = \text{concentração na parte aérea (mg kg}^{-1}\text{)} / \text{concentração na raiz (mg kg}^{-1}\text{)}$

$FT = \text{concentração na parte aérea (mg kg}^{-1}\text{)} / \text{concentração no solo (mg kg}^{-1}\text{)}$ .



### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Características físicas e químicas dos solos estudados

Os teores de metais pesados no solo estão apresentados na Tabela 1. O cádmio e chumbo no solo da área controle encontraram-se abaixo do limite de detecção do equipamento utilizado para a análise dos elementos metálicos nas amostras. A concentração média de cádmio na Área 1 ( $86,30 \text{ mg kg}^{-1}$ ) foi superior a observada na Área 2 ( $34,14 \text{ mg kg}^{-1}$ ). Já, os teores de chumbo e zinco foram superiores na Área 2.

A Resolução CONAMA nº 420 de 28 de dezembro de 2009 estabelece valores orientadores para as concentrações de metais pesados no solo. Nesta são apresentados os seguintes parâmetros: valor de prevenção (PR), que é referente à concentração de determinada substância que não interfere nas funções biológicas do solo; valor de investigação (I), que é a concentração de determinada substância no solo ou na água subterrânea, acima da qual, existem riscos potenciais diretos ou indiretos, à saúde humana considerando cenário de exposição genérico. Esse parâmetro está dividido por cenários agrícola, residencial e industrial. Os teores médios biodisponíveis de cádmio no solo das áreas 1 e 2 estavam acima do limite de investigação industrial do CONAMA ( $20 \text{ mg kg}^{-1}$ ).

A concentração média de chumbo na área 1 ( $49,7 \text{ mg kg}^{-1}$ ) encontrava-se abaixo do valor de prevenção do CONAMA ( $72 \text{ mg kg}^{-1}$ ), assim como as de zinco nas áreas estudadas A1 ( $43,22 \text{ mg kg}^{-1}$ ) e A2 ( $46,87 \text{ mg kg}^{-1}$ ).

Os teores encontrados para cádmio e chumbo no solo estavam acima da concentração tolerada por animais domésticos na dieta diária ( $0,5$  e  $30 \text{ mg kg}^{-1}$ ) e também para os humanos para uma ingestão semanal tolerável ( $\text{Pb} = 50 \text{ } \mu\text{g/ kg}$  e  $\text{Cd} = 7 \text{ } \mu\text{g / kg}$ ) (KABATA-PENDIAS, 2011).

Trabalhos realizados na metalúrgica Plumbum obtiveram diversos resultados para as concentrações de cádmio, chumbo e zinco no solo. Asevedo (2012) encontrou valores de  $12.678 \text{ mg kg}^{-1}$  de chumbo. Anjos (2003) encontrou teores de  $8.200 \text{ mg kg}^{-1}$  para chumbo e  $117 \text{ mg kg}^{-1}$  para cádmio. Machado et al. (2004), encontraram teores de cádmio de  $200 \text{ mg kg}^{-1}$ , chumbo de  $900 \text{ mg kg}^{-1}$  e zinco de

6.500 mg kg<sup>-1</sup>. Essas diferenças observadas são provenientes dos diferentes locais amostrados, e das metodologias de análise utilizadas.

**Tabela 1. Teores de metais pesados nas áreas estudadas e referência dos metais em relação aos Valores de prevenção e intervenção do CONAMA.**

<b>CONTROLE</b>				
<b>mg kg<sup>-1</sup></b>	<b>MIN</b>		<b>MÉDIA</b>	<b>MÁX</b>
<b>Cd</b>			<b>&lt; LD</b>	
<b>Pb</b>			<b>&lt; LD</b>	
<b>Zn</b>	<b>1,97</b>		<b>2,01</b>	<b>2,045</b>
<b>mg kg<sup>-1</sup></b>	<b>ÁREA 1</b>			
	<b>MIN</b>		<b>MÉDIA</b>	<b>MÁX</b>
<b>Cd</b>	<b>80,85</b>		<b>86,3</b>	<b>91,75</b>
<b>Pb</b>	<b>13,2</b>		<b>49,7</b>	<b>86,21</b>
<b>Zn</b>	<b>16,9</b>		<b>43,22</b>	<b>69,55</b>
<b>mg kg<sup>-1</sup></b>	<b>ÁREA 2</b>			
	<b>MIN</b>		<b>MÉDIA</b>	<b>MÁX</b>
<b>Cd</b>	<b>33,62</b>		<b>34,14</b>	<b>34,66</b>
<b>Pb</b>	<b>166,5</b>		<b>184</b>	<b>203,2</b>
<b>Zn</b>	<b>46,69</b>		<b>46,87</b>	<b>47,05</b>
<b>mg kg<sup>-1</sup></b>	<b>Resolução CONAMA</b>			
	<b>PR</b>	<b>AG</b>	<b>RES</b>	<b>IND</b>
<b>Cd</b>	<b>1,3</b>	<b>3</b>	<b>8</b>	<b>20</b>
<b>Pb</b>	<b>72</b>	<b>180</b>	<b>300</b>	<b>900</b>
<b>Zn</b>	<b>300</b>	<b>450</b>	<b>1000</b>	<b>2000</b>

ÁREA 1 – referente onde foi coletada a *U. decumbens* ÁREA 2- referente onde foi coletada a *I. asarifolia* (LD)- abaixo do limite de detecção. (PR)- prevenção. (AG)-agricultura. (RE)- residencial. (IND)- industrial

Vários fatores interferem na mobilidade e biodisponibilidade dos elementos metálicos, por exemplo, o pH, o teor de matéria orgânica, a textura e as concentrações de metais no solo, entre outros (BORGES; COUTINHO, 2004). A Tabela 2 apresenta os resultados da análise da fertilidade dos solos estudados.

**Tabela 2. Análise de fertilidade dos solos estudados**

PARÂMETROS ANALISADOS	CONTROLE	CONTAMINADO	
		A1	A2
pH (água)	5,8	8,3	8
P (mg/dm <sup>3</sup> )	18	8	75
K (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	0,28	0,35	0,45
Ca (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	1,46	19,7	20,7
Mg (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	0,82	1,96	3,39
Ca +Mg (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	2,28	21,68	24,1
Al (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	0,05	0	0
Na (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	0,025	0,29	0,32
H+Al (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	1,7	0	0
SB (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	2,59	22,3	24,8
CTC (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	4,29	22,3	24,8
V (%)	59	100	100
MO (g/Kg)	15,66	11,73	12,78
<b>GRANULOMETRIA</b>			
AREIA (%)	80,6	34,8	22,4
SILTE (%)	4,3	27	33,1
ARGILA (%)	15,1	38,2	44,5
Classificação textural	Franco arenoso	Franco argiloso	Argiloso

pH= potencial hidrogênio; SB= soma de bases; CTC=capacidade de troca catiônica; H+AL= acidez potencial; V=saturação por base; MO=matéria orgânica; A1= Área 1; A2= Área 2.

O solo da área controle apresentou pH na faixa da acidez (5,4 a 6,2) e o solo contaminado apresentou valores de pH na faixa alcalina A1 (8,1 a 8,4) e A2 (7,8 a 8,2). Esses resultados condizem com outros realizados na COBRAC, que observaram valores de pH na faixa da alcalinidade como o de Anjos (1998); Anjos (2003); Machado et al. (2004).

O pH do solo é apontado como um dos mais importantes fatores que interferem na biodisponibilidade dos metais, principalmente por exercer influência na própria especiação do metal e em atributos relacionados com a sua adsorção, como o balanço de cargas na superfície dos colóides do solo (PIERANGELI et al., 2005). O pH alcalino faz com que os metais fiquem mais indisponíveis para a biota por conta da formação de compostos metálicos insolúveis (MARTINEZ; MOTTO, 2000; MESQUITA, 2002; NASCIMENTO et al., 2004).

O solo da área controle apresentou menor CTC (4,29) e SB (2,59) e V de 59%. A média de fósforo no solo controle (18 mg/dm<sup>3</sup>) foi maior do que na A1 (8 mg/dm<sup>3</sup>) e menor do que na A2 (75 mg/dm<sup>3</sup>).

Os metais pesados competem com outros íons pelos sítios de ligação nos colóides do solo. Os solos contaminados apresentam vários elementos tóxicos e a competição entre eles influencia na biodisponibilidade e mobilidade. Outro fator que interfere na biodisponibilidade é a textura do solo. Altos teores de argila no solo, como o solo presente na COBRAC, possuem alta CTC, sendo que a fração argila (< 0,002 mm) é a porção mais reativa quimicamente no solo onde estão as cargas que adsorvem os íons. Os solos que possuem alta capacidade de troca catiônica (CTC) conseguem reter mais cátions consequentemente mais metais deixando esses menos acessíveis a biota (PIERANGELI et al., 2005; QIAN et al., 1996).

O solo estudado contaminado possui CTC alta, possibilitando maior retenção dos metais, consequentemente podendo deixá-los mais indisponíveis para a biota. Outros fatores também podem interferir nessa disponibilidade, como o teor de matéria orgânica.

A matéria orgânica no solo controle apresentou média de 15,66 g/kg e no solo contaminado 11,73 g/kg na Área 1 e 12,78 g/kg na Área 2. Os valores encontrados são considerados baixos, já que para serem considerados altos tem que estar acima de 40 g/kg (EPAMIG, 2012).

A matéria orgânica exerce um papel importante na retenção dos elementos metálicos no solo podendo deixá-los menos biodisponíveis para as plantas. Os metais se ligam aos grupamentos funcionais reativos resistentes à decomposição formando complexos insolúveis. Entretanto, esses elementos metálicos também podem formar complexos solúveis com a fração de ácidos orgânicos solúvel, não diminuindo a mobilidade desses íons no solo (BEHLING, 2005; GABOS et al., 2011).

### 3.2 Teores de metais pesados em Ipoméia (*I. asarifolia*) e Braquiária (*U. decumbens*)

As duas espécies de plantas estudadas, coletadas na área controle, exibiram zinco na parte aérea e nas raízes, e a *U. decumbens* apresentou chumbo na parte radicular, mas em baixa concentração. As plantas da área contaminada apresentaram cádmio, chumbo e zinco tanto na parte aérea quanto nas raízes (Tabelas 3 e 4).

**Tabela 3. Teores médios para a concentração de metais pesados em *Ipomoea asarifolia* coletada em área contaminada em Santo Amaro-BA, e em área controle em Cruz das Almas – BA.**

ÁREA	Zn	Cd	Pb
<b>PARTE AÉREA</b>			
Contaminada	52,81 a	13,48	38,18
Controle	12,84 b	LD	LD
<b>RAIZ</b>			
Contaminada	108,11 a	78,46	281,19
Controle	23,44 b	<LD	<LD

<LD= abaixo do limite de detecção. Médias seguidas pelas mesmas letras nas colunas não diferem estatisticamente entre si pelo teste não-paramétrico de Kolmogorov-Smirnov a 5% de significância

**Tabela 4. Teores médios de concentração dos metais pesados em *Urochloa decumbens* coletada em área contaminada em Santo Amaro- BA, e em área controle em Cruz das Almas – BA**

ÁREA	Zn	Cd	Pb
<b>PARTE AÉREA</b>			
<b>Contaminada</b>	<b>86,30 a</b>	<b>14,67 a</b>	<b>23,17 a</b>
<b>Controle</b>	<b>15,69 b</b>	<b>&lt;LD</b>	<b>&lt;LD</b>
<b>RAIZ</b>			
<b>Contaminada</b>	<b>295,02 a</b>	<b>102,48 a</b>	<b>381,04 a</b>
<b>Controle</b>	<b>28,03 b</b>	<b>&lt;LD</b>	<b>0,63 b</b>

**<LD= abaixo do limite de detecção.** Médias seguidas pelas mesmas letras nas colunas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de não-paramétrico de Kolmogorov-Smirnov a 5% de significância

Foram observadas diferenças estatísticas pelo teste de médias Kolmogorov-Smirnov a 5% de significância entre os teores de zinco na parte aérea e radicular entre as plantas da área contaminada e controle para as duas espécies pesquisadas. Maiores teores foram observados nas plantas que cresceram em solo contaminado.

A *I. asarifolia* acumulou mais metais na raiz (Tabela 3). Os metais cádmio e chumbo apresentaram-se abaixo do limite de detecção nas plantas da área controle. A média da concentração de zinco na parte aérea foi de 52,81 mg kg<sup>-1</sup> e nas raízes 108,11 mg kg<sup>-1</sup> nas plantas coletadas no solo contaminado. A concentração média do zinco dos espécimes da área controle foi de 12,84 mg kg<sup>-1</sup> para a parte aérea e 23,44 mg kg<sup>-1</sup> nas raízes. O teor médio de cádmio foi de 13,48 mg kg<sup>-1</sup> na parte aérea e 78,46 mg kg<sup>-1</sup> na parte radicular, já o chumbo apresentou concentrações médias de 38,18 mg kg<sup>-1</sup> na parte aérea e 281,18 mg kg<sup>-1</sup> no sistema radicular.

Algumas espécies conseguem translocar os íons metálicos para a parte aérea e não apresentam sintomas aparentes de toxicidade, como clorose e necrose. Como foi o caso da ipoméia, que conseguiu translocar para as folhas e caule teores de cádmio é de 5-30 mg kg<sup>-1</sup> e chumbo de 30-300 mg Kg<sup>-1</sup> na faixa de fitotoxicidade de acordo com Kabata-Pendias (2011), mas não apresentava sinais de toxicidade aparente, indicando que essa planta pode apresentar algum mecanismo de tolerância a estes contaminantes.

Liu et al. (2005) estudaram uma espécie do gênero *Ipomoea sp.*, coletada próxima a uma mina de chumbo e zinco. Essa conseguiu absorver e translocar os elementos metálicos apresentando nas folhas teores de 12,1 mg kg<sup>-1</sup> de As e 39,4 mg kg<sup>-1</sup> de Pb, e no caule 74,2, 442,8 e 12,8 mg kg<sup>-1</sup> de Cu, Zn e Cd, respectivamente.

Fauziah et al. (2010) realizando experimento com *Ipomoea reptans* exposta a baterias com metais pesados constataram que esta planta apresentou os metais Cd, Al, Mn, Cu, Zn e Fe nas folhas.

A *Urochloa decumbens* assim como a *I. asarifolia* concentrou mais íons metálicos nas raízes. Os espécimes coletados na COBRAC apresentaram média de 86,30 mg kg<sup>-1</sup> para o zinco, 14,67 mg kg<sup>-1</sup> para o cádmio e 23,17 mg kg<sup>-1</sup> para o chumbo nas folhas e caule. As raízes apresentaram médias bem superiores: 295,02 mg kg<sup>-1</sup> de zinco, 102,48 mg kg<sup>-1</sup> de cádmio e 381,04 mg kg<sup>-1</sup> de Pb. A *U. decumbens* da área controle apresentou concentrações de zinco na parte aérea e radicular e um baixo teor de chumbo nas raízes (Tabela 4).

A absorção dos metais pesados pelas plantas é influenciada pela variabilidade genética das espécies, o íon metálico presente e a concentração deste (GOMES et al., 2012; KABATA-PENDIAS, 2011).

A braquiária (*U. decumbens*) é uma espécie tolerante, pois conseguiu absorver e translocar os metais em teores considerados prejudiciais aos vegetais. Uma pesquisa executada por Santos et al (2011), constatou essa tolerância e a maior concentração dos elementos metálicos nas raízes da *U. decumbens*. Devido à principal entrada de metais pesados ocorrer pelas raízes, as plantas tendem a concentrar as maiores concentrações de metais pesados nesse órgão, mas as plantas podem também absorver os metais pelas folhas, através dos estômatos.

As plantas absorvem os metais, principalmente aqueles que estão como espécies iônicas livres tendendo a concentrá-los nas raízes, evitando translocá-los para as folhas como mecanismo de proteção para o seu aparato fotossintético (KABATA-PENDIAS, 2011).

Uma parte dos íons metálicos associados às raízes é absorvida pelas células. Uma parte significativa desses íons é adsorvida por grupos com carga negativa (COO<sup>-</sup>) na parede celular das raízes. Existem plantas que acumulam um teor significativo de metais na parte radicular. Como ocorre com algumas espécies

vegetais que acumulam Pb nas raízes, mas a sua translocação para a parte aérea é muito baixa, por conta da sua alta afinidade por sítios ligantes na parede celular (BLAYLOCK; HUANG, 1999).

Em um estudo feito por Carneiro et al. (2002) com a *Brachiaria humidicola* e a *Brachiaria ruziziensis* constatou que a primeira apresentou valores elevados de zinco na parte aérea e a última de cádmio. Isso demonstra que espécies de gramíneas do gênero *Brachiaria* ou *Urochloa* possuem tolerância aos metais e podem ser usadas em programas de recuperação de áreas com esse tipo de contaminação.

Alguns estudos observaram que algumas plantas da família Poaceae, como o arroz possuem compostos quelantes de metais como glutatona e hidroximetilglutatona. Pesquisas feitas com a *U. decumbens* sugerem que essa também deve apresentar esses compostos (SANTOS et al. 2011).

Assim como foi observado por Santos et al. (2006), a *Urochloa decumbens* coletada em campo não apresentou sintomas visíveis de toxidez como clorose e necrose.

Na pesquisa executada por Lakshmi et al. (2013) com *Brachiaria ramosa*, que se desenvolvia em área de despejo de resíduo de cimento, foi observado que mesmo o pH do solo estando na faixa da alcalinidade (7,8–8,12) a planta absorveu e translocou metais para os seus tecidos. Isso também foi constatado nesta pesquisa, onde os valores de pH do solo estão na faixa da alcalinidade, mas as plantas conseguiram absorver os metais, indicando que outros fatores podem estar atuando no aumento da biodisponibilidade desses íons.

A biodisponibilidade dos elementos metálicos depende das características do meio e pode ser modificada ao longo do tempo por fatores físicos, ou pela atividade dos organismos, como a atividade das enzimas produzidas pelos microrganismos presentes no solo, pH intestinal de invertebrados e a bioturbação. Então, as avaliações da biota são importantes porque o risco ecológico não pode ser previsto a partir de análises químicas (ALLEN, 2002).

A análise dos teores de metais pesados na biota e no solo é fundamental para o diagnóstico do nível de contaminação da área de estudo. A concentração de metais pesados nos tecidos das plantas sofre interferência da concentração deste



no solo. Quanto maior a concentração no solo maior será este no tecido vegetal (CHANG et al., 2014; NGOLE, 2011).

Houve correlação significativa positiva  $p < 0,05$  (Tabela 5) entre o teor de chumbo da raiz e da parte aérea da *Urochloa decumbens*, ou seja, a medida que aumenta a concentração de chumbo na raiz aumenta na parte aérea.

**Tabela 5. Coeficientes de correlação de Spearman para Zn, Cd e Pb encontrado na parte aérea e na raiz de *Urochloa decumbens* nas áreas contaminadas e não contaminadas.**

Teores na Raiz	Teores na parte aérea		
	Zn	Cd	Pb
<b>Área contaminada</b>			
Zn	0,1562 <sup>ns</sup>		
Cd		0,2479 <sup>ns</sup>	
Pb			0,3903*
<b>Área não contaminada</b>			
Zn	0,1036 <sup>ns</sup>		
Cd		-	
Pb			-

\*\* e \* significativo a 1 e 5%, respectivamente, pelo teste t. <sup>ns</sup> não significativo.

Houve correlação positiva  $p < 0,05$  (tabela 6) para o cádmio na *Ipomoea asarifolia*. Quando há um aumento na concentração de cádmio na parte radicular há um aumento na parte aérea. As outras correlações não foram significativas.

**Tabela 6. Coeficientes de correlação de Spearman para Zn, Cd e Pb encontrado na parte aérea e na raiz de *Ipomoea asarifolia* nas áreas contaminadas e não contaminadas**

Teores na Raiz	Teores na parte aérea		
	Zn	Cd	Pb
<b>Área contaminada</b>			
Zn	0,1487 <sup>ns</sup>		
Cd		0,5562**	
Pb			0,3453 <sup>ns</sup>
<b>Área não contaminada padronizar em toda a dissertação, usando área não contaminada ou controle</b>			
Zn	-0,1062 <sup>ns</sup>		
Cd		-	
Pb			-

\*\* e \* significativo a 1 e 5%, respectivamente, pelo teste t. <sup>ns</sup> não significativo.

A translocação dos metais depende principalmente dos ligantes quelantes, mas outros fatores podem interferir como óxido-redução, competição entre elementos, hidrólise, polimerização e a formação de sais insolúveis. O transporte de elementos traço entre órgãos da planta também depende das variáveis eletroquímicas dos elementos. Os elementos mais facilmente transportados das raízes para a parte aérea são Ag, B, Li, Mo, e Se; moderadamente móvel são Mn, Ni, Cd e Zn; e fortemente ligado em células de raiz são Co, Cu, Cr, Pb, Hg, e Fe (KABATA-PENDIAS, 2011).

Na tabela 7 estão apresentados o índice de translocação e o fator de transferência das espécies pesquisadas.

**Tabela 7. Índice de translocação e o fator de transferência da *Ipomoea asarifolia* e *Urochloa decumbens***

Planta	Índice de translocação		
	Cd	Pb	Zn
<i>Ipomoea asarifolia</i>	0,17	0,27	0,49
	Fator de transferência		
	Cd	Pb	Zn
	0,39	0,41	1,12
<i>Urochloa decumbens</i>	Índice de translocação		
	Cd	Pb	Zn
	0,14	0,14	0,29
	Fator de transferência		
	Cd	Pb	Zn
	0,16	1,10	1,99

Segundo Xue et al. (2013), as plantas com índices de translocação menor que 1 são inadequadas para a fitoextração. As espécies estudadas possuem potencial para serem utilizadas em programas de fitorremediação, mas não como fitoextratoras, pois as espécies não acumularam teores de metais suficientes para serem consideradas acumuladoras de metais. O fator de transferência mostra que a *I. asarifolia* foi mais eficiente na translocação do zinco para parte aérea do que os outros metais. Já a *U. decumbens* translocou mais chumbo e zinco.

A *I. asarifolia* e a *U. decumbens* podem ser utilizadas como fitoestabilizadoras de zinco e a última espécie de chumbo.

Segundo Berti e Cunningham (2000); Santibáñez et al. (2008) e Vendruscolo (2013) as plantas para serem consideradas fitoestabilizadoras devem absorver grandes quantidades do íon metálico, mantendo-o na parte radicular (baixa translocação das raízes para a parte aérea).

As plantas com essas características facilitam a imobilização do elemento metálico prevenindo ou reduzindo sua mobilidade para outras esferas ambientais, já que os metais pesados podem formar ligações estáveis e menos tóxicos com os compostos orgânicos produzidos nas raízes (MELO et al., 2009).

## CONCLUSÃO

O solo do município de Santo Amaro da Purificação-BA apresentou concentrações de elementos metálicos característicos de um ambiente muito contaminado.

As duas espécies estudadas (*I. asarifolia* e *U. decumbens*) apresentam capacidade de absorção e translocação para a parte aérea de metais pesados, e acumularam maiores teores nas raízes, mas não são eficientes fitoextratoras.

A *Ipomoea asarifolia* e a *Urochloa decumbens* possuem potencial para serem utilizadas em programas de fitorremediação como fitoestabilizadoras.

## REFERÊNCIAS

ACCYOLY, A. M. de A.; SOARES, C. R. F. S.; SIQUEIRA, J. O. Silicato de cálcio como amenizante da toxidez de metais pesados em mudas de eucalipto. **Pesq. agropec. bras.**, v.44, n.2, p.180-188, 2009.

ALLEN, H. E. **Bioavailability of metals in terrestrial ecosystems: Importance of partitioning for bioavailability to invertebrates, microbes, and plants.** SETAC Press., Pensacola, FL, US, 2002. 176 p.

ALLEONI, L. R. F.; MELO, V. F. de. **QUÍMICA E MINERALOGIA DE SOLOS.** Sociedade Brasileira de Ciências do Solo. 2009.

ALMEIDA, A. A. F.; VALLE, R. R.; MIELKE, M. S.; GOMES, F. P. Tolerance and prospection of phytoremediator woody species of Cd, Pb, Cu and Cr. **Braz. J. Plant Physiol.**, v. 19, n. 2, p.83-98, 2007.

ANJOS, J. A. S. A. **Estratégias para remediação de um sítio contaminado por metais pesados - estudo de caso**. 1998. São Paulo. 157p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. 1998.

ANJOS, J. A. S. A. dos. **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. 328f. Tese (Doutorado em engenharia). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 2003.

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

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. 2012.

ASRAF, M. A.; MAAH, M. J.; YUSOF, I. Heavy metals accumulation in plants growing in ex tin mining catchment. **Int. J. Environ. Sci. Tech.**, v.8, n. 2, p. 401-416, 2011.

BAHIA. **Proposta de enquadramento da Bacia Hidrográfica do rio Subaé**. Salvador. Secretaria de planejamento Ciências e Tecnologia/ Centro de Recursos Ambientais, 1995, 29p.

BAKER, A. J. M. Accumulators and excluders strategies in the response of plants to heavy metals. **J. plant nutr.**, v. 3, p. 643-654, 1981.

BAKER, A. J. M. Metal tolerance. **New Phytologist**, v. 106, p. 93-111, 1987.

BAKER, A. J. M.; WALKER, P. L. Physiological responses of plants to heavy metals and the quantification of tolerance and toxicity. **Bioavailability**, v. 1, p. 7-17, 1989.

BAKER, A.J.M.; SMITH, A. Metal hyperaccumulator plants: a review of the ecology and physiology of a biological resource for phytoremediation of metal-polluted soils. In: Terry, N., Banuelos, G. (Eds.), **Phytoremediation of Contaminated Soil and Water**. Lewis Publishers. Florida, p. 85-107, 2000.

BECH, J.; DURAN, P. ; ROCA, N. ; POMA, W. ; SÁNCHEZ, I.; BARCELÓ, J.; ROCA-PÉREZ, L.; POSCHENRIEDER, C. Shoot accumulation of several trace elements in native plant species from contaminated soils in the Peruvian Andes. **Journal of Geochemical Exploration**, v. 113, p. 106-111, 2012.

BEHLING, M. **Avaliação do potencial agrícola e dos impactos provocados pela aplicação de resíduos industriais em área de planossolo, no campus da UFRRJ**. 2005. 51 f. Dissertação de mestrado, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2005.

BERTI, W. R.; CUNNINGHAM, S. D. Phytostabilization of metals. In: RASKIN, I.; ENSLEY, B. D. (eds.). **Phytoremediation of toxic metals: Using plants to clean up the environment**. New York, Wiley, p. 71-88, 2000.

BINI, C.; WAHSHA M.; FONTANA, S.; MALECI, L. 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.

BLAYLOCK, M. J.; HUANG, J.W. Phytoextraction of metals. In: **Phytoremediation or toxic metals: Using plants to clean up the environment**, eds, I. RASKIN, B.D.; ENSLEY, J. W. & sons Inc., New York, p. 53-70, 1999.

BORGES M. R.; COUTINHO E. L. M. Metais pesados do solo após aplicação de biossólido I-Fracionamento. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p.543-555, 2004.

BOTHE, H. Plants in Heavy Metal Soils. In: SHERAMETI, I.; VARMA, A. (eds.), **Detoxification of Heavy Metals, Soil Biology**, 2011.

BRANDÃO, M. C. S. Foto da área da COBRAC. Arquivo pessoal.

CARNEIRO, M. A. C.; SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. de S. Comportamento de espécies herbáceas em misturas de solo com diferentes graus de contaminação com metais pesados. **Pesq. agropec. bras.**, v. 37, n. 11, p. 1629-1638, 2002.

CHANG, C. Y.; YU, H.Y.; CHEN, J. J.; LI, F. B.; ZHANG, H. H.; LIU, C. P. Accumulation of heavy metals in leaf vegetables from agricultural soils and associated potential health risks in the Pearl River Delta, South China. **Environ. Monit. Assess.**, v.186, p.1547–1560, 2014.

CHENG, S. Effects of Heavy Metals on Plants and Resistance Mechanisms. Heavy Metal Pollution in China. **Environ Sci & Pollut Res.**, v.10, n.4, p. 256 – 264, 2003.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução nº 420, de dezembro de 2009. **Ministério do Meio Ambiente**. Brasília-DF. 2009.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGENS DA BAHIA (DERBA). **Mapa de Santo Amaro**. Disponível em: <<http://www.derba.ba.gov.br/portal/servmapas>>. Acesso em: 10 de maio de 2014.

ELEKES, C. C.; DUMITRIU, I.; BUSUIOC, G.; ILIESCU, N. S. The appreciation of mineral element accumulation level in some herbaceous plants species by ICP–AES method. **Environ. Sci. Pollut. Res.**, v.17, p. 1230–1236, 2010.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (Embrapa). **Manual de análises de solo**, 2 ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997. 212p.

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

Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG). **ANÁLISE DO SOLO: DETERMINAÇÕES, CÁLCULOS E INTERPRETAÇÃO**. UFLA, 2012.

FAUZIAH, S. H. Heavy metal accumulation in plants: A case study of *Ipomoea reptans* and *Helianthus annuus*. **Bioinformatics and Biomedical Engineering (iCBBE), 4th International Conference**. 2010. Disponível em :<[http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs\\_all.jsp?arnumber=5517443&tag=1](http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=5517443&tag=1)>. Acesso em: 10 julho 2014.

FERREIRA, A. P.; HORTA, M. A. P.; CUNHA, C. de L. N. da. Avaliação das concentrações de metais pesados no sedimento, na água e nos órgãos de *Nycticorax nycticorax* (Garça-da-noite) na Baía de Sepetiba, RJ, Brasil. **Revista da Gestão Costeira Integrada**, v.10, n.2, p. 229-241, 2010.

GABOS, M. B.; CASAGRANDE, G.; ABREU, C. A.; PAZ-FERREIRO, J. Uso da matéria orgânica como mitigadora de solo multicontaminado e do girassol como fitoextratora. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.12, p.1298–1306, 2011.

GOMES, M. P.; MARQUES, T. C. L. L. de S. e M.; NOGUEIRA, M. de O. G.; CASTRO, E. M. de; SOARES, Â. M. Ecophysiological and anatomical changes due to uptake and accumulation of heavy metal in *Brachiaria decumbens*. **Sci. Agric.**, v.68, n. 5, p. 566-573, 2011.

GOMES, M. P.; MARQUES, T.C.L.L.S.M.; CARNEIRO, M.M.L.C.; SOARES Â.M.: Anatomical characteristics and nutrient uptake and distribution associated with the Cd-phytoremediation capacity of *Eucalyptus camaldulenses* Dehnh. **J. Soil Sci. Plant Nutr.**, v.12, n. 3, p. 481-495, 2012.

HALL, J. L. Cellular mechanisms for heavy metal detoxification and tolerance. **Journal of Experimental Botany**, v.53, n. 366, p.1–11, 2002.

KABATA-PENDIAS, A. **Trace elements in soils and plants**. 4 ed. CRC Press. Taylor and Francis Group. 2011, 505p.

LANDBERG, T.; GREGER, M. Differences in uptake and tolerance to heavy metals in *Salix* from polluted and unpolluted areas. **Applied Geochemistry**, v. 11, p. 175–180, 1996.

LAKSHMI, P. M.; JAISON, S. ; MUTHUKUMAR, T. ; MUTHUKUMAR, M. Assessment of metal accumulation capacity of *Brachiaria ramosa* collected from

cement waste dumping area for the remediation of metal contaminated soil. **Ecological Engineering**, v. 60, p. 96–98, 2013.

LI, Y.; Y. ZU; Q. FANG, Z. GAO; C. SCHVARTZ. Relationship between heavy metal concentrations of herbaceous plants and soils at four Pb-Zn mining sites in Yunnan, China. *Front. Environ. Sci. Engin. China*, v. 3, n.3, p. 325–333, 2009.

LINDEGAARD, K. N.; BARKER, J. H. A. Breeding willows for biomass. **Asp. Appl. Biol.**, v. 49, p.155 – 62, 1997.

LIU, H.; ROBST, A. ; LIAO, B. Metal contamination of soils and crops affected by the Chenzhou lead/zinc mine spill (Hunan, China). **Science of the Total Environment**, v.339, p.153 – 166, 2005.

MACHADO, S. L.; RIBEIRO, L. D.; KIPERSTOK, A.; BOTELHO, M. A. B.; CARVALHO, M. de F. Diagnóstico da contaminação por metais pesados em Santo Amaro-BA. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 9, n.2, p.140-155, 2004.

MARTINEZ, C. E.; MOTTO, H. L. Solubility of lead, zinc and copper added to mineral soils. **Environ. Pollut.**, v. 107, p. 153-158, 2000.

MELO, R. F.; . DIAS, L. E; MELLO, J. W. V. de; J. A. de OLIVEIRA. POTENCIAL DE QUATRO ESPÉCIES HERBÁCEAS FORRAGEIRAS PARA FITORREMEDIAÇÃO DE SOLO CONTAMINADO POR ARSÊNIO. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.33, p. 455-465, 2009.

MESQUITA, A. A. Remediação de áreas contaminadas por metais pesados. **Seropédica**, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 68p., 2002.

MOREIRA, F. R.; MOREIRA, J. C. Os efeitos do chumbo sobre o organismo humano e seu significado para a saúde. **Rev Panam Salud Publica/Pan Am J Public Health**, v.15, n. 2, 2004.

NASCIMENTO, C. W. A.; BARROS, D. A. S.; MELO, E. E. C.; OLIVEIRA, A. B. Alterações químicas em solos e crescimento de milho e feijoeiro após aplicação de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p.385-392, 2004.

NGOLE, V. M. Using soil heavy metal enrichment and mobility factors to determine potential uptake by vegetables.plant, soil and environment. **Plant Soil Environ.**, v.57, n.2, p.75–80, 2011.

PATRA, M.; BHOWMIK, N. ; BANDOPADHYAY, B. ; SHARMA, A. Comparison of mercury, lead, and arsenic with respect to genotoxic effects on plant systems and the development of genetic tolerance. **Environmental and Experimental Botany**, 52: 199-223, 2004.

PIERANGELI, M. A. P.; GUILHERME, L. R. G.; CURI, N.; SILVA, M. L. N.; LIMA, J. M. de; COSTA, E T. de S. Efeito do pH na adsorção de e dessorção de cádmio em

latossolos brasileiros. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, v.29, p.253-532, 2005.

QIAN, J.; SHAN, X. Z; WANG; TU, Q. Distribution and plant availability of heavy metal in different particle-size fractions of soil. **Sci. Total Environ.**, 86:131-141, 1996.

SANTIBÁÑEZ, C.; VERDUGO, C.; GINOCCHIO, R. Phytostabilization of copper mine tailings with biosolids: Implications for metal uptake and productivity of *Lolium perenne*. **Sci. Total Environ.**, v. 395, p.1-10, 2008.

SANTOS, F. S.; HERNÁNDEZ-ALLICA, J. ; BECERRIL, J. M. ; AMARAL-SOBRINHO, N.; MAZUR, N. ; GARBISU, C. Chelate-induced phytoextraction of metal polluted soils with *Brachiaria decumbens*. **Chemosphere**, v. 65, p. 43–50, 2006.

SANTOS, F. S. dos; **Nelson Moura Brasil do Amaral Sobrinho; Nelson Mazur; Carlos Garbisu; Oihana Barrutia; José Maria Becerril.** RESPOSTA ANTIOXIDANTE, FORMAÇÃO DE FITOQUELATINAS E COMPOSIÇÃO DE PIGMENTOS FOTOPROTETORES EM *Brachiaria decumbens* Stapf SUBMETIDA À CONTAMINAÇÃO COM Cd e Zn. **Quim. Nova**, v. 34, n.1, p. 16-20, 2011.

SARMA, H. Metal hiperaccumulation in plants: A review focusing on phytoremediation technology. **Journal Environmental Science and Technology**, v. 4, n. 2, p.118 – 138, 2011.

SEN, A.; SHUKLA, K. K.; SINGH, S.; TEJOVATHI, G. Impact of heavy Metals on Root and Shoot Length of Indian Mustard: An Initial Approach for Phytoremediation. **Science Secure Journal of Biotechnology**, v. 2, n. 2, p. 48-55, 2013.

SHARMA, P.; DUBEY, R. S. Lead toxicity in plants. **Braz. J. Plant Physiol.**, v.17, n.1, p. 35-52, 2005.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA (UFRB). **Cruz das Almas-BA**. Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias. Disponível em: <<http://www.ufrb.edu.br/pgcienciasagrarias/cruz-das-almas>>. Acesso em: 10 de maio de 2014.

VENDRUSCOLO, D. **Seleção de plantas para fitorremediação de solo contaminado com cobre**. 2013. 57f. Dissertação. Universidade Federal de Santa Maria. Mestrado em Ciências do Solo. 2013.

WIKIPEDIA. **Santo Amaro**. Disponível em:<[http://pt.wikipedia.org/wiki/Santo\\_Amaro\\_\(Bahia\)](http://pt.wikipedia.org/wiki/Santo_Amaro_(Bahia))>. Acesso em: 09 de maio de 2014.

XUE, L.; LIU, J.; S. SHI; WEI, Y.; CHANG, E.; GAO, M.; CHEN, L.; JIANG, Z. Uptake of Heavy Metals by Native Herbaceous Plants in an Antimony Mine (Hunan, China). **Clean – Soil, Air, Water**, v.2, n.1, p.1–7, 2013.



ZARINKAMAR, F.; SADERI, Z.; SOLEIMANPOUR, S. Excluder Strategies in Response to Pb Toxicity in *Matricaria Chamomilla*. **Environment and Ecology Research**, v.1, n.1, p. 1-11, 2013.

ZU, Y.; YUAN, L. ; JIANJUN, C. ; HAIYAN, C.; LI, Q. ; SCHVARTZ, C. Hyperaccumulation of Pb, Zn and Cd in herbaceous grown on leadzinc mine area in Yunnan, China. **Environment International**, 31: 755–762 2005.

## **CAPÍTULO 2**

**ESTUDO DAS ALTERAÇÕES ANATÔMICAS FOLIARES EM *Ipomoea asarifolia* (Desr.) Roem. & Schult e *Urochloa decumbens* (Stapf.) Webster OCORRENTES EM SOLO CONTAMINADO POR METAIS PESADOS**

**ESTUDO DAS ALTERAÇÕES ANATÔMICAS FOLIARES EM *Ipomoea asarifolia* (Desr.) Roem. & Schult e *Urochloa decumbens* (Stapf.) Webster OCORRENTES EM SOLO CONTAMINADO POR METAIS PESADOS**

**RESUMO:** Algumas espécies de plantas conseguem se desenvolver em solos ricos em metais pesados e ainda acumular estes em seus tecidos. Estas podem apresentar modificações anatômicas nos seus tecidos em decorrência ao estresse. O objetivo desse trabalho foi avaliar as alterações anatômicas nas folhas de *Ipomoea asarifolia* (Desr.) Roem. & Schult e *Urochloa decumbens* (Stapf.) Webster em resposta ao estresse causado por metais pesados no solo. As áreas de estudo estão localizadas em Santo Amaro da Purificação-BA (área contaminada) e Cruz das Almas-BA (área controle). Foram feitas análises de metais pesados no solo e na parte aérea das plantas. As análises anatômicas foliares foram executadas através de cortes histológicos, montagem de lâminas, coloração e observação em fotomicroscópio. A partir das análises anatômicas foliares das plantas observou-se que houve diferenças entre as plantas controles e as da área contaminada. Os espaços intercelulares do mesofilo da *I. asarifolia* no controle foram maiores do que os das plantas da área contaminadas. A produção de compostos fenólicos na *I. asarifolia* foi superior nas plantas coletadas em solo contaminado. O metaxilema foi mais desenvolvido nas plantas da área controle. A *U. decumbens* coletada em área contaminada apresentou limbo foliar menor, número maior de células da endoderme, menor produção de fibras e células buliformes maiores.

**Palavras-chave:** elementos metálicos, anatomia, folhas, estresse

# **ANATOMICAL CHANGES STUDY IN *Ipomoea asarifolia* (Desr.) Roem. & Schult AND *Urochloa decumbens* (Stapf.) Webster LEAVES OCCURRING IN CONTAMINATED SOIL BY HEAVY METALS**

**ABSTRACT:** Some species of plants can grow in soil rich in heavy metals and still accumulate these in their tissues. These may show anatomical changes in their tissues as a result by stress. The aim of this study was to evaluate the anatomical changes in leaves of *Ipomoea asarifolia* (Desr.) Roem. & Schult and *Urochloa decumbens* (Stapf.) Webster in response to stress caused by heavy metals in the soil. The study areas are located in Santo Amaro da Purificação- BA (contaminated area) and Cruz das Almas-BA (control area). Analyzes of heavy metals in soil and the shoots were made. The anatomical leaf analysis were performed through histological sections, mounting slides, staining and observation under light microscope. Anatomical leaf plants analysis was observed that there were differences between the control plants and the contaminated area plants. The intercellular spaces of leaf mesophyll *I. asarifolia* control were higher than those of plants contaminated area. The production of the phenolic compounds in *I. asarifolia* was higher in plants collected in the contaminated soil. The metaxylem was more developed plants in the control area. The *U. decumbens* collected in the contaminated area showed lower leaf surface, the greater number of endoderm cells, lower production and higher fiber bulliform cells.

**Keywords:** metals, anatomy, leaves, stress

## 1 INTRODUÇÃO

A poluição ambiental é causada pela presença de compostos químicos em níveis tóxicos no solo, água e ar. Esta é gerada por diversos fatores, entre eles estão o crescimento exacerbado das cidades e descarte no meio ambiente de resíduos produzidos pelas atividades industriais. Os metais tais como Cd, Cu, Cr, Ni, Pb e Zn são conhecidos por serem poluentes ambientais graves (AHMADPOUR et al., 2012).

Estes elementos são persistentes no ambiente podendo ser liberados a partir das partículas do solo, conseqüentemente havendo a interação com as raízes das plantas. Ao longo do tempo pode ocorrer o aumento do risco de contaminação do solo e esses serem incorporados à teia alimentar causando efeitos tóxicos sobre os organismos (LORESTANI et al., 2011; ROSSELLI et al., 2006).

Nos seres humanos os elementos metálicos podem causar diversas doenças como: cânceres, distúrbios endócrinos e neurológicos, anemia, etc (CHANG et al., 2014; MOREIRA; MOREIRA, 2004). Nas plantas causam distúrbios no crescimento e na produção, clorose, necrose e escurecimento das raízes (BINI et al., 2012; NAGAJYOTI et al., 2010).

Por conta dessa alta toxicidade para os seres vivos, o estudo de alternativas que visem a avaliação e a recuperação de áreas contaminadas por esses poluentes é fundamental para a resolução deste problema. A avaliação da contaminação do solo por metais em uma determinada área tem sido realizada por meio de análise dos metais nas plantas. Essas sejam cultivadas e/ou selvagens têm sido frequentemente utilizadas como acumuladora passiva, que funcionam como bioindicadoras da contaminação de grande escala do solo local (BAKER, 1981; BAKER; BROOKS, 1989; BARGAGLI, 1993; ZUPAN et al., 1995, 2003).

Algumas destas espécies vegetais podem ser usadas na remediação de solos poluídos, pois são capazes de absorver o metal presente no solo e translocar para parte aérea acumulando-os.

O acúmulo destes íons é conhecido por produzir respostas fisiológicas e bioquímicas significativas em plantas vasculares (ASHRAF et al., 2011). Como afirmado por Preeti e Tripathi (2011), há uma relação direta entre as características químicas do solo, a concentração de metais pesados e respostas morfológicas e bioquímicas nas plantas. Vários estudos revelam que as espécies que crescem em

solos ricos em metais pesados apresentam plasticidade fisiológica, anatômica e morfológica em resposta ao estresse (ZOCCHÉ, 2010; BINI et al., 2012).

As folhas são mais sensíveis às mudanças do ambiente que outros órgãos da planta. As condições ambientais como a presença de metais pesados tipicamente resultam em respostas morfológicas e anatômicas neste órgão. As mudanças nos tecidos foliares também ajudam a entender o processo de acumulação de metal e de tolerância, pois a absorção destes íons a partir da solução do solo está intimamente relacionada com a taxa de transpiração da folha (GOMES et al., 2011).

Alguns estudos relatam a ocorrência de modificações anatômicas nos tecidos vegetais de plantas, que tiveram contato com metais pesados, como o feito por Bini et al. (2012) com a espécie *Taraxacum officinale* (L.) Weber; Azzarello et al. (2012) com *Paulownia tomentosa* (Thunb.) Steud e Kasim et al. (2006) com *Sorghum bicolor* (L.) Moench.

Neste sentido tornam-se necessários estudos da anatomia vegetal, como meio de avaliar e elucidar possíveis mecanismos de tolerância e resposta ao estresse a determinados poluentes, mais especificamente aos metais pesados. Considerando que na literatura há poucos trabalhos com esse enfoque.

O objetivo desse trabalho foi avaliar as alterações anatômicas nas folhas de *Ipomoea asarifolia* (Desr.) Roem. & Schult e *Urochloa decumbens* (Stapf.) Webster em resposta ao estresse causado por metais pesados.

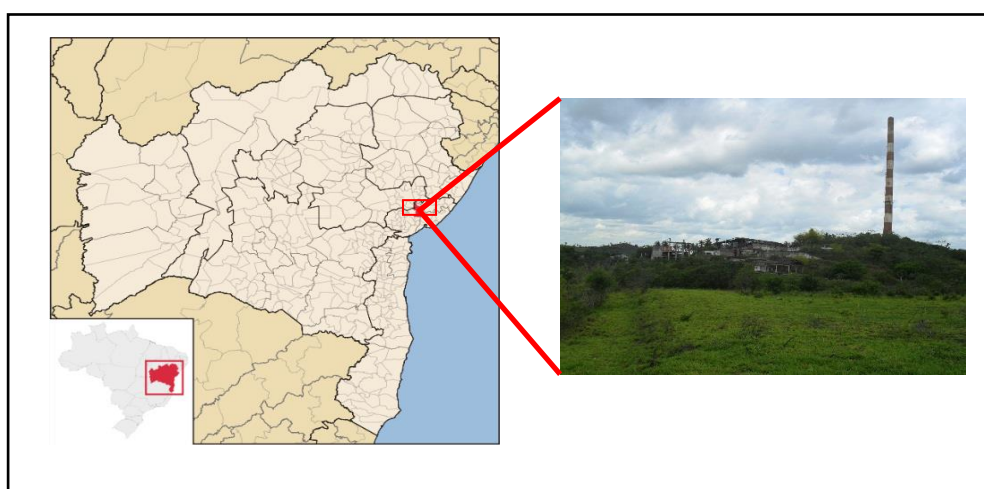
## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Área de estudo

#### 2.1.1 Área contaminada

A área estudada (Figura 01) fica localizada no município de Santo Amaro da Purificação, Recôncavo da Bahia, a 12°30'16" S e 38°48'50" W, localizada na bacia do Rio Subaé e pertencente à região costeira leste. O clima é classificado como úmido e subúmido, com temperaturas elevadas e médias que ultrapassam 26 °C. A pluviosidade média é de 1000 a 1600 mm e o solo da região é do tipo Vertissolo e Cambissolo com pH e capacidade de troca catiônica altos. Apresenta vegetação original de Mata Atlântica com ligeiras incursões de caatinga e cerrado (ASEVEDO, 2012).

A área contaminada localiza-se na antiga metalúrgica COBRAC (Companhia Brasileira de Chumbo), onde se desenvolviam atividades com minério para a fabricação de lingotes de chumbo. Santo Amaro sofreu durante anos com as atividades exercidas por esta metalúrgica, que foi abandonada em 1993, tendo produzido e depositado indiscriminadamente 490.000 t de escória contaminada com metais pesados, principalmente chumbo e cádmio no seu solo (ANJOS; SANCHEZ, 2001; ASEVEDO, 2012).



**Figura 1.** Mapa da Bahia com Santo Amaro em destaque com imagem da área contaminada (imagem modificada do GOOGLE MAPS; Foto: BRANDÃO, 2013)

### 2.1.2 Área controle

A área sem contaminação por metais pesados localiza-se em Cruz das Almas-BA no campus da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, com coordenadas geográficas 12°40'39"S e 39°06'26"W dentro do bioma Mata Atlântica. A região é caracterizada pelo clima tropical quente e úmido com precipitação de 1.224 mm por ano, a temperatura média anual é de 24,5° C e a umidade relativa do ar de aproximadamente 82%. O solo é do tipo Latossolo amarelo distrófico com baixos pH e capacidade de troca catiônica (UFRB, 2014).

Devido a dificuldade de encontrar um Vertissolo sem contaminação escolheu-se um outro tipo de solo, que não fosse contaminado e tivesse as espécies vegetais estudadas.

### 2.2 Coleta e análise química e física dos solos

A coleta do solo nas áreas foi feita com o auxílio de um trado de aço numa profundidade 0-20 cm. O solo foi destorroado e seco ao ar, peneirado em malha de 2 mm.

As análises de fertilidade, metais e físicas do solo (Tabela 1) foram feitas no Laboratório de Solos e Nutrição de Plantas e Laboratório de Física do Solo da Embrapa Mandioca e Fruticultura (EMBRAPA, 1997; 1999). Os metais pesados disponíveis foram extraídos por solução de Mehlich 1 (Tabela 2).



Tabela 1. Resultados das análises de fertilidade do solo das áreas de estudo

PARÂMETROS ANALISADOS	CONTROLE		CONTAMINADO	
			A1	A2
pH (água)	5,8		8,3	8
P (mg/dm <sup>3</sup> )	18		8	75
K (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	0,28		0,35	0,45
Ca (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	1,46		19,7	20,7
Mg (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	0,82		1,96	3,39
Ca +Mg (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	2,28		21,68	24,1
Al (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	0,05		0	0
Na (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	0,025		0,29	0,32
H+Al (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	1,70		0	0
SB (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	2,59		22,3	24,8
CTC (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	4,29		22,3	24,8
V (%)	59		100	100
MO (g/kg)	15,66		11,73	12,78
<b>GRANULOMETRIA</b>				
AREIA (%)	80,6		34,8	22,4
SILTE (%)	4,3		27	33,1
ARGILA (%)	15,1		38,2	44,5
Classificação textural	Franco arenoso		Franco argiloso	Argiloso

pH= potencial hidrogênionico; SB= soma de bases; CTC=capacidade de troca catiônica; H+AL= acidez potencial; V=saturação por base; MO=matéria orgânica.

Tabela 2. Concentrações médias (mg kg<sup>-1</sup>) dos metais pesados nas áreas de estudo

SOLO	Cd	Pb	Zn
Médias			
Controle	<LD	<LD	2,01
Área 1	86,3	49,7	43,22
Área 2	34,14	184,76	46,87

### 2.3 Coleta e análise química dos metais pesados nas plantas

A *Ipomoea asarifolia* e a *Urochloa decumbens* (Figura 2) foram coletadas em campo com o auxílio de uma pá e enxada de aço inox. Foram coletados 26 espécimes de cada espécie. As partes aéreas das plantas foram lavadas com água deionizada, em seguida foram colocadas para secar em estufa de aeração forçada a 60 °C e posteriormente essas foram trituradas em moinho tipo Wiley. Conforme metodologia descrita em Embrapa (1997; 1999), as amostras vegetais foram digeridas com solução nitro-perclórica para a determinação de Pb, Cd e Zn (Tabela 3). As determinações dos metais pesados foram realizadas por espectrofotometria de absorção atômica.



**Figura 2.** *Ipomoea asarifolia* e *Urochloa decumbens* observadas na COBRAC-Santo Amaro da Purificação-BA (arquivo pessoal).

**Tabela 3. Concentrações dos metais pesados na parte aérea das espécies estudadas.**

ÁREA	ESPÉCIES								
	<i>Ipomoea asarifolia</i>								
	(mg kg <sup>-1</sup> )								
	Cd			Pb			Zn		
	Min	Med	Máx	Min	Med	Máx	Min	Med	Máx
1	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	12,84	68,16
2	<LD	13,48	43,87	<LD	38,18	238,63	13,37	52,81	108,91
	<i>Urochloa decumbens</i>								
	(mg kg <sup>-1</sup> )								
	Cd			Pb			Zn		
	Min	Med	Máx	Min	Med	Máx	Min	Med	Máx
1	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	15,69	42,82
2	2,15	14,67	33,82	<LD	23,17	167,34	26,99	86,30	152,41

(1)- Área controle

(2)- Área contaminada

<LD- Abaixo do limite de detecção do aparelho

#### 2.4 Análise da anatomia foliar

O estudo anatômico nas folhas das espécies vegetais foi realizado no laboratório de Anatomia Vegetal da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB). As folhas foram coletadas, fixadas em FAA 50% (formaldeído 37%, ácido acético glacial, álcool etílico 50%) por 24 horas (JOHANSEN, 1940) e sulfato ferroso em formalina (formaldeído 37%, sulfato ferroso heptaidratado III, água destilada) por 48 horas (JOHANSEN, 1940).

O material foi submetido a vácuo em dessecador durante o processo de fixação, lavado em álcool etílico 50% e conservado em álcool etílico 70%. As amostras da nervura principal e bordo foliar foram isoladas, desidratadas em série butílica terciária e infiltradas em parafina histológica (JOHANSEN, 1940). Os cortes seriados transversais foram efetuados em micrótomo rotativo Leica RM2245, com espessura variável (10 -15 µm), corados com safranina alcoólica 3% e azul de astra aquoso 1% (GERLARCH, 1969) e as lâminas foram montadas com resina sintética. A fotodocumentação foi realizada em fotomicroscópio Olympus BX51 equipado com

câmara fotográfica digital Olympus A330. A montagem das pranchas foi executada com o programa CorelDraw versão Graphics Suite X6.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Alterações anatômicas foliares em *Ipomoea asarifolia*

Assim como foi observado por Martins et al., 2012, o pecíolo da *I. asarifolia* em corte transversal é côncavo na parte adaxial e convexo na abaxial apresentando mesofilo dorsiventral com parênquima paliçádico composto de células alongadas que representam metade do mesofilo foliar e há diversos meatos (Figura 3 e 4), apresentando epiderme unisseriada com células isodiamétricas com uma fina cutícula.

Os feixes vasculares são bicolaterais apresentando o floema internamente e externamente ao xilema. O parênquima lacunoso ocupa a metade inferior do mesofilo e é composto por até cinco camadas de células que variam muito em forma.

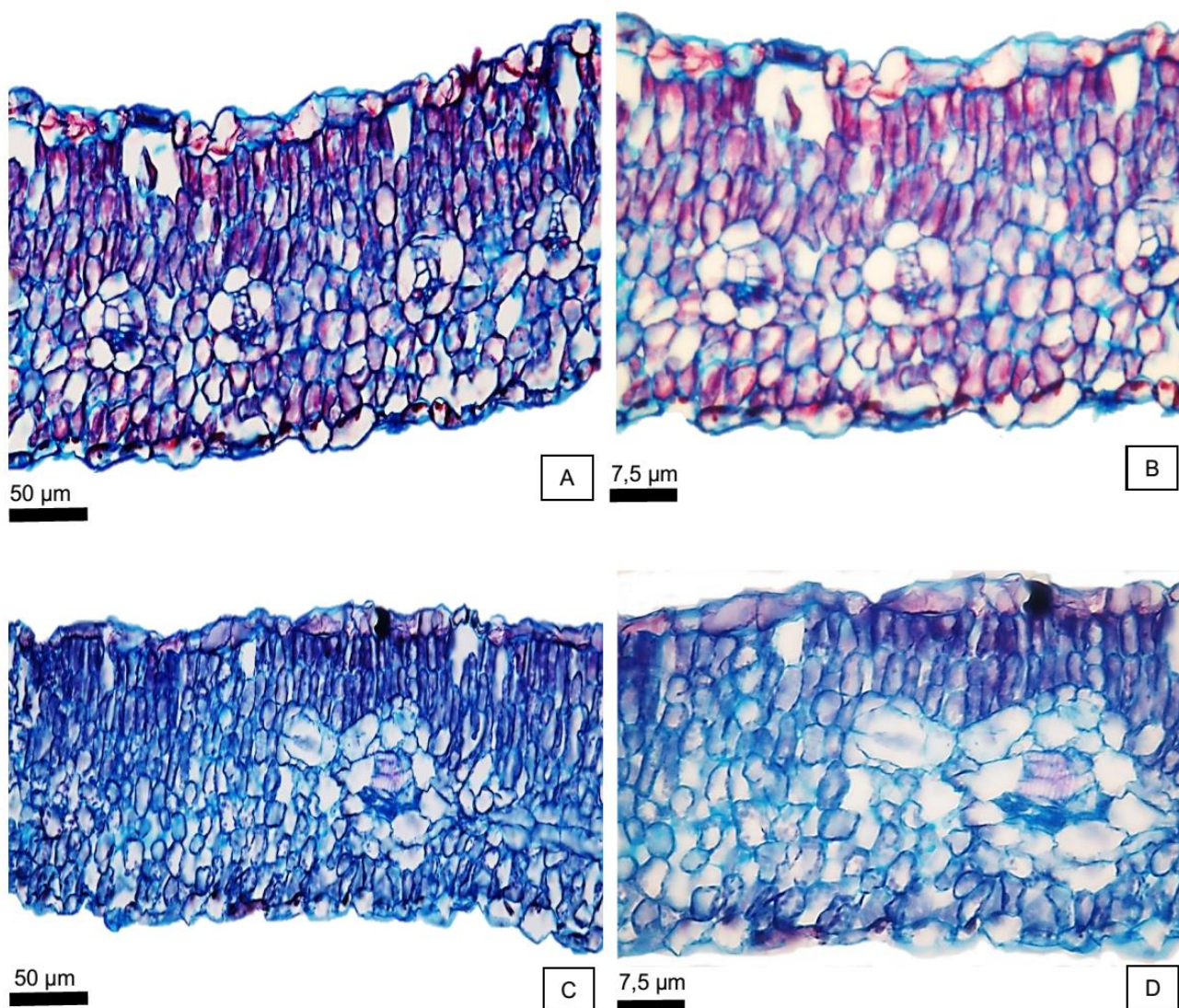
Alterações anatômicas foram observadas entre as plantas da área controle e da área contaminada (Figura 3). Uma redução no mesofilo foi constatada em *I. asarifolia* presente na área contaminada. Um estudo feito por Zhao et al. (2000) com *Arabidopsis halleri* em um experimento com diferentes concentrações de zinco; Sridhar et al. (2007) com *Brassica juncea* na presença de cádmio e zinco e Bini et al. (2012) com a *Taraxacum officinale* presente em área de mineração constataram também esta diminuição do mesofilo.

A diminuição do mesofilo é decorrente do efeito tóxico do metal, que pode inativar proteínas e estimular a produção de radicais livres. Esses elementos podem inibir a fotossíntese e conseqüentemente o crescimento da planta (BINI et al., 2012; KABATA-PENDIAS, 2011).

A auxina é o fitohormônio responsável pela regulação do crescimento vegetal. Diversos fatores podem interferir na homeostase desta como: salinidade, osmolaridade e metais pesados resultando na alteração do crescimento e desenvolvimento de plantas. As alterações na homeostase da auxina induzidos por

estresses ambientais podem ser parcialmente responsáveis para respostas morfológicas (HU et al., 2013).

Houve também uma diminuição do tamanho e da quantidade dos espaços intercelulares no parênquima paliçádico e lacunoso da *Ipomoea asarifolia* (Figura 2 A, B, C e D). Em estudos feitos por Djebali et al. (2010) e Gratão et al. (2009), com tomateiro na presença de cádmio, resultados similares foram obtidos. Os metais podem inibir a expansão foliar em virtude de uma diminuição no potencial de turgescência e da plasticidade das células.

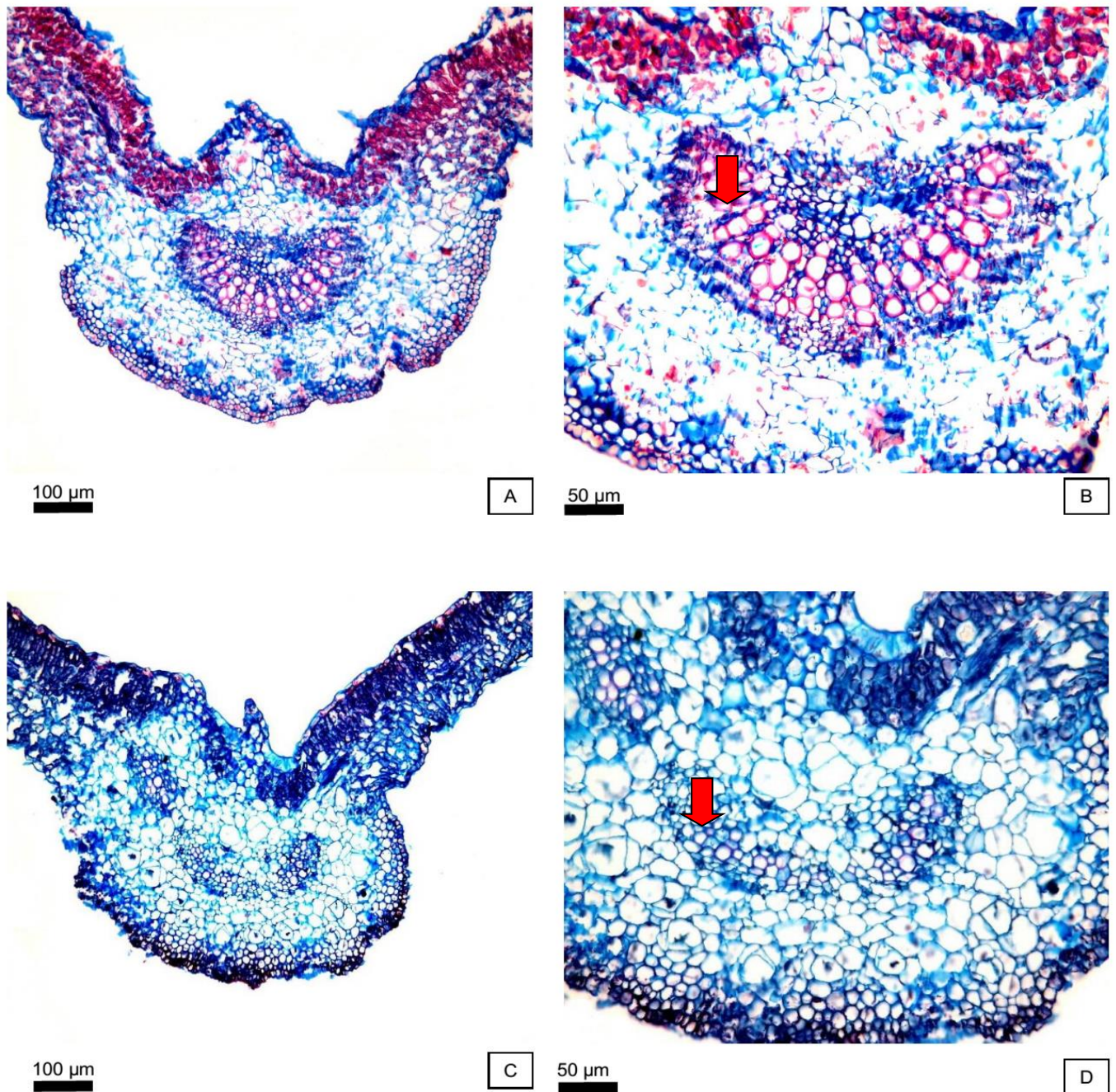


**Figura 3.** Corte transversal da folha da *Ipomoea asarifolia*. A e B. mesofilo da planta controle com espaços intercelulares maiores. C e D. mesofilo da planta da área contaminada com espaços intercelulares menores.

O metaxilema da *I. asarifolia* na amostra contaminada apresentou redução do número e do calibre dos elementos de vaso (Figura 4). Estes resultados corroboram com um estudo feito por Weryszko-Chmielewska e Chwil (2006) com soja submetida a quatro concentrações de chumbo e também por Al-saadi et al. (2013), que estudou algumas plantas do gênero *Potamogeton* L. expostas a cobre e a prata. Assim como por Kovacevic et al. (1999) para *Triticum destivum* L. ev. Renesansa submetidas a cádmio, chumbo e níquel. Todos esses trabalhos observaram essa diminuição do número e do calibre dos elementos de vaso.

Alguns autores citam que a inibição do crescimento e a diminuição do calibre dos feixes vasculares pode ser devido a acumulação do chumbo nas paredes destes (KSIAZEK et al., 1984; LANE e MARTIN , 1977; WOZNY, 1995) .

Outra hipótese para esse fenômeno é que esta diminuição do calibre do metaxilema seja um mecanismo para aumentar a retenção no transporte da água e dos sais minerais, situação desejável quando a planta está sendo submetida ao estresse (ALVES et al., 2001).



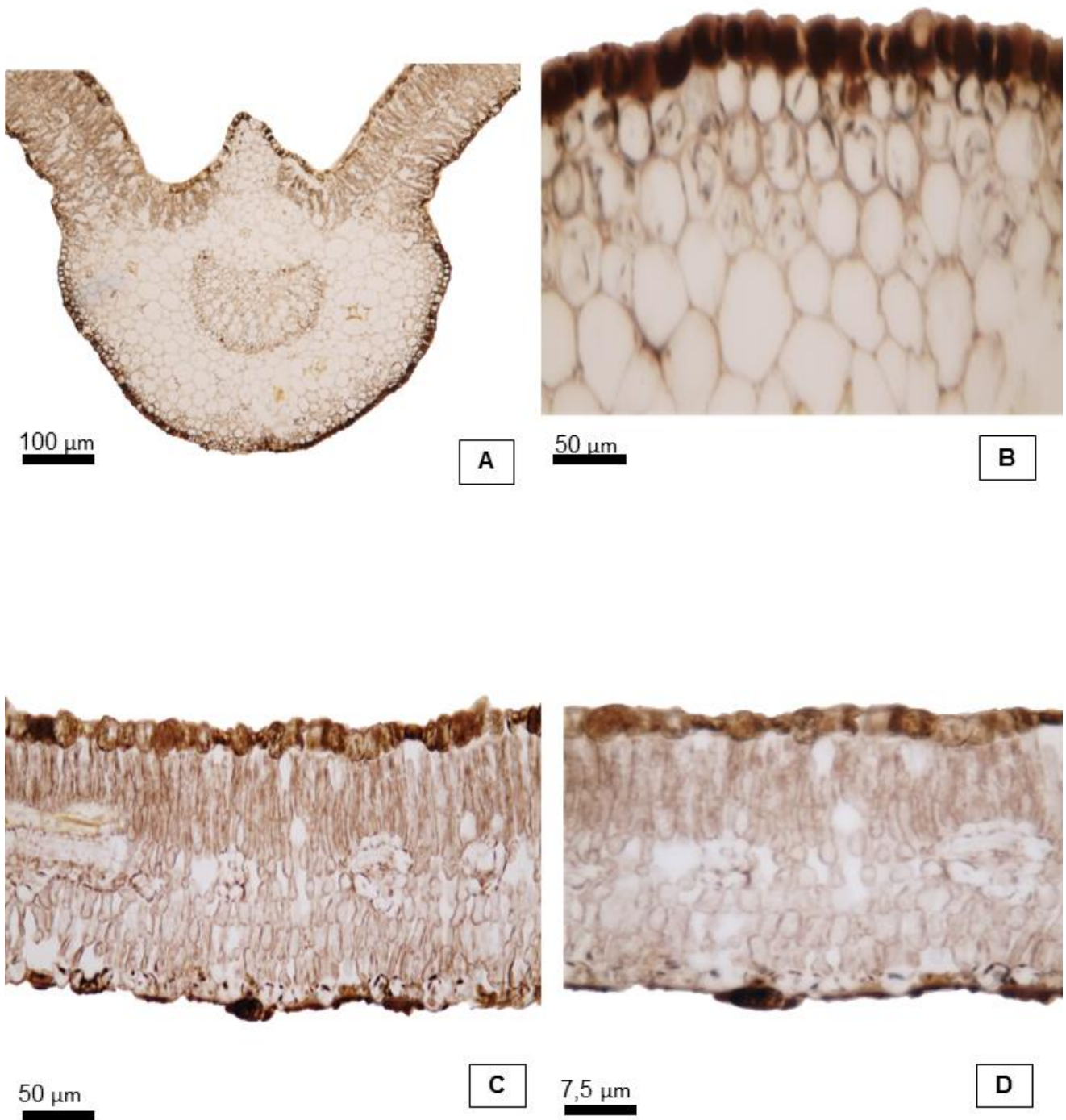
**Figura 4.** Corte transversal da folha *Ipomoea asarifolia*. A. visão geral da folha da planta controle. B. Seta apontando o metaxilema da planta controle com elementos de vasos com calibre e quantidade maior. C. visão geral da planta da área contaminada. D. Seta apontando o metaxilema da planta da área contaminada.

A fixação por SFF (sulfato ferroso em formalina) apontou compostos fenólicos nas plantas controle e contaminada (Figura 5 e 6). Sendo que a produção foi superior nas plantas da área contaminada. Várias pesquisas demonstram o acúmulo de compostos fenólicos em resposta ao estresse causado por metais pesados (DÍAZ et al., 2001; FUHRER, 1982; LLUGANY et al., 2013).

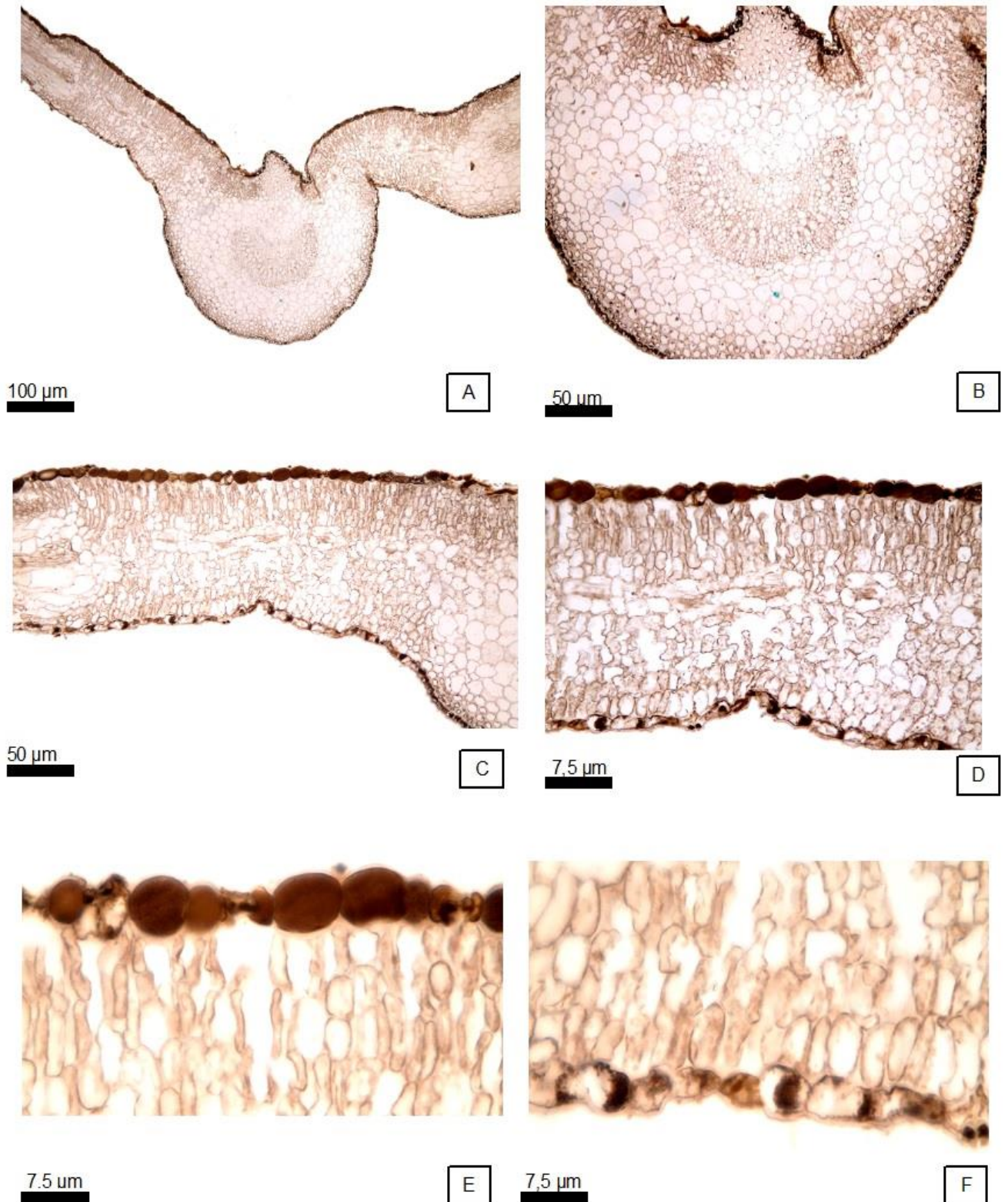
O aumento da atividade de enzimas envolvidas no metabolismo de compostos fenólicos estimulam a síntese de novos compostos fenólicos em resposta ao estresse causado por estes elementos. Em contraste, algumas evidências indicam que o aumento na concentração de flavonóides é principalmente o resultado da hidrólise do conjugado e não devido a biossíntese de novos. Aumento de compostos fenólicos solúveis tal como intermediários na biossíntese de lignina pode reflectir a mudança anatômica típica induzida por estresse: aumento na resistência na parede da célula e a criação de barreiras físicas contra ação nociva de metais pesados (MICHALAK, 2006).

Os compostos fenólicos têm ação antioxidante por atuar como quelante. Eles se ligam aos metais através dos grupos químicos presentes na sua composição (JUNG et al., 2003; LLUGANY et al., 2013; MICHALAK, 2006).





**Figura 5.** Corte transversal da folha de *Ipomoea asarifolia* da área controle fixada em SFF. A. visão geral da folha. B. Epiderme. C e D. Mesofilo.



**Figura 6.** Corte transversal da folha de *Ipomoea asarifolia* da área contaminada fixada em SFF. A. visão geral da folha. B. feixe vascular. C e D. mesofilo. E. epiderme adaxial com a seta apontando a presença de compostos fenólicos F. epiderme abaxial.

### 3.2 Alterações anatômicas foliares em *Urochloa decumbens*

A *Urochloa decumbens* apresenta epiderme uniestratificada com formato tabular com presença de células buliformes e tricomas. As células buliformes são maiores e mais volumosas do que as células comuns da epiderme tendo formato de leque com uma célula central maior e estão distribuídas em toda lâmina foliar (Figuras 7 e 8). A sua função é motora promovendo o processo de enrolamento e desenrolamento das folhas (NICOLAU et al., 2010; GOMES et al., 2011).

A braquiária é caracterizada pela anatomia do tipo Kranz (em alemão= coroa). O mesofilo é composto por um parênquima clorofiliano (clorênquima) com poucos espaços intercelulares, orientando-se radialmente ao redor dos feixes vasculares, formando uma bainha simples, ou seja, apresentando uma camada de células. Não há diferenciação entre os parênquimas paliçádico e lacunoso, constituindo um mesofilo de tipo homogêneo.

O esclerênquima está representado por fibras posicionadas em diferentes regiões do mesofilo da lâmina foliar, principalmente na nervura mediana junto à face abaxial, e junto aos feixes de 1ª e 2ª ordens, se estendendo até as epidermes, semelhante às estruturas “girder”. As estruturas são definidas como um suporte de células de parede espessa, formado pelo esclerênquima e pelas células da bainha do feixe vascular (SILVA, 2007).

Estas estruturas apresentam-se firmemente seguras à epiderme dando maior resistência a estas. Dificultam o desprendimento da mesma do restante da folha, o que conseqüentemente gera uma maior resistência na planta aos danos químicos e mecânicos.

As estruturas girder podem ser de dois tipos: “girder” I, quando se apresenta junto às duas epidermes ou “girder” T, quando se apresenta junto uma das epidermes apenas as estruturas “girder” encontradas em *U. decumbens* são do tipo I, estando junta às duas epidermes em toda a extensão do mesofilo, exceto na nervura mediana onde são do tipo T, apresentando fibras apenas junto à face abaxial (SILVA, 2007).

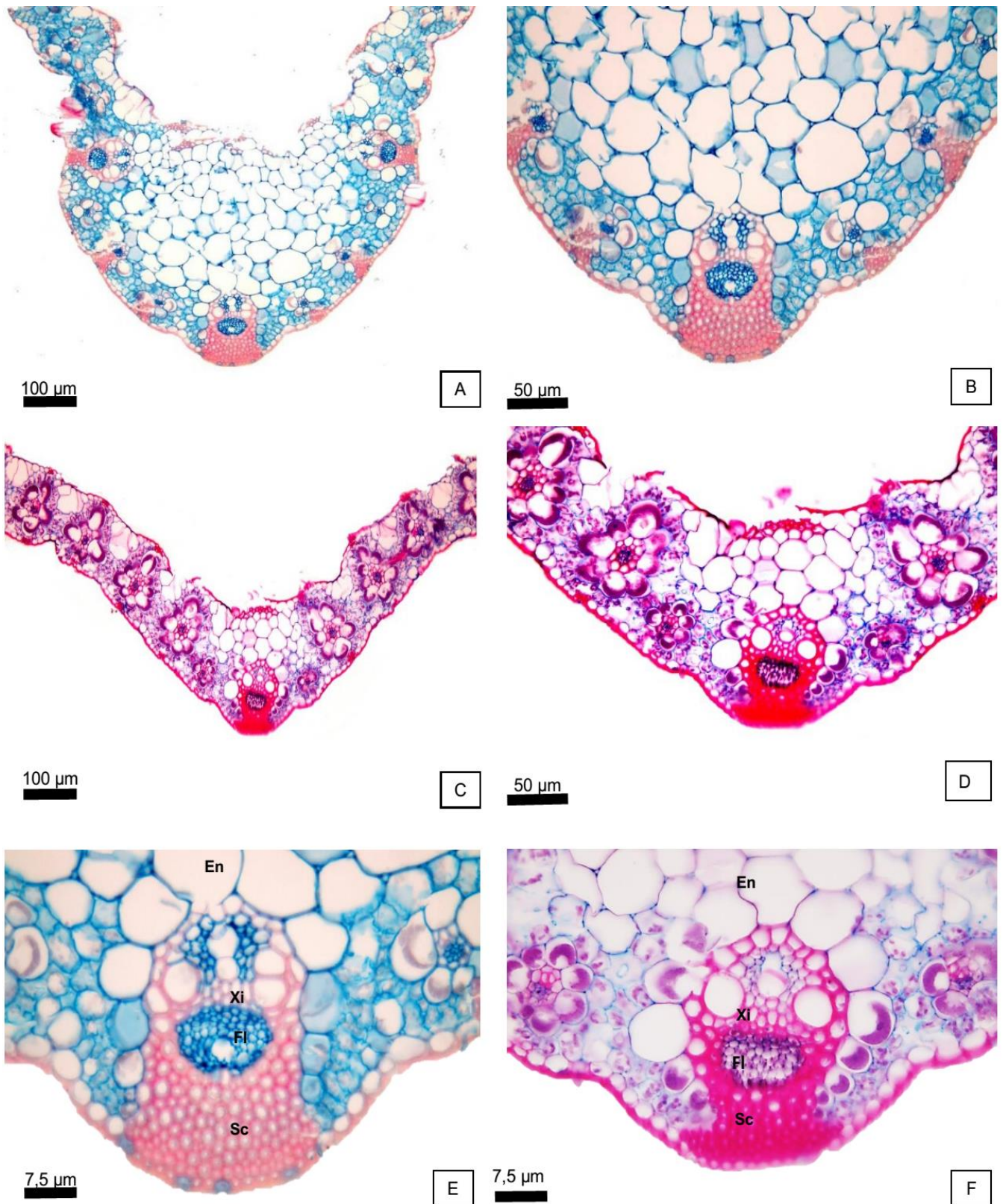
Foram observadas alterações anatômicas foliares nas plantas que se desenvolveram em contato com o metal pesado (Figura 7 C, D e F). Assim como foi

constatado por Gomes et al. (2011), a braquiária que se desenvolveu em solo contaminado apresentou modificações anatômicas como: limbo foliar menor, um número maior de células da endoderme e células buliformes maiores, fibras esclerenquimáticas mais reduzidas.

As plantas expostas aos metais pesados apresentaram uma redução da lâmina foliar. Este fenômeno foi observado por diversos autores como Marques et al. (2011) para eucaliptos submetidos a doses de cádmio; Sridhar et al. (2007) em cevada cultivada em diferentes doses de cádmio e zinco; Santana et al. (2014) para *Setaria parviflora* (Poir.) Kerguelen and *Paspalum urvillei* Steudel em hidroponia sob diferentes concentrações de ferro.

Os metais causam danos nas células vegetais inibindo a divisão celular e causando a desintegração do parênquima (CHENG, 2003; KOVACEVIC et al., 1999). Provavelmente esta redução foi compensada pelo aumento nas células da endoderme (Figura 7 E e F).

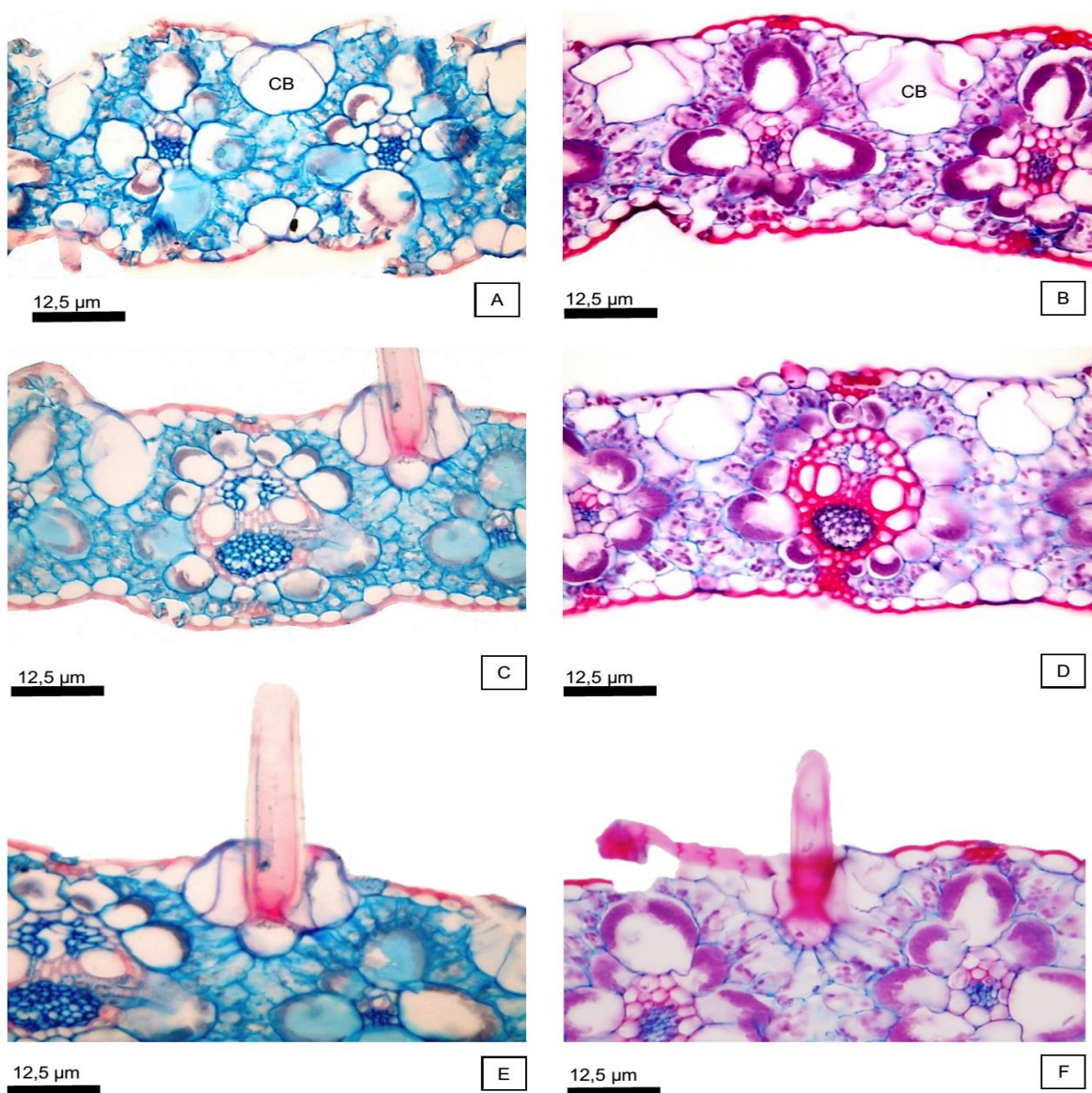
Estas células ocupam uma grande parte do mesofilo, que é onde a fixação de CO<sub>2</sub> ocorre. O aumento no número das células da endoderme poderia assim ser um mecanismo compensatório de perda de área fotossintética devido a uma redução no parênquima foliar. O aumento do número de células da endoderme poderia ser uma resposta aclimatatória para reduzir a translocação dos metais para o parênquima clorofiliano, evitando possíveis danos para a sistema de fixação de CO<sub>2</sub> primário (GOMES et al., 2011).



**Figura 7.** Corte transversal em folha de *Urochloa decumbens*. A e B. lâmina foliar da planta da área controle. C e D. lâmina foliar (área contaminada). E. Feixe de fibra e endoderme (controle). F. Feixe de fibra e endoderme da planta da área contaminada. En= endoderme. Fl= floema. Xi= xilema. Sc= esclerênquima.

As células buliformes (Figura 8 A e B) maiores nas plantas do solo contaminado e a cutinização mais evidente podem ser uma estratégia para minimizar a perda de água por transpiração, sendo que isso está relacionado a absorção de água pelas raízes, já que menores taxas de transpiração implica menor aquisição de íons metálicos pela planta (ALVES et al, 2001; GOMES et al. , 2011; MELO et al, 2007).

Um estudo feito por Solís-Domínguez et al. (2007) com *Echinochloa polystachya* em hidroponia submetida a diferentes concentrações de cádmio evidenciou que as células buliformes podem armazenar metais pesados.



**Figura 8.** Corte transversal das folhas de *Urochloa decumbens*. A e C= mesofilo (área controle). B e D= mesofilo (área contaminada). E= tricoma da planta (controle). F= tricoma (área contaminada). CB= células buliformes.

## CONCLUSÕES

As plantas da área contaminada apresentaram metais pesados na parte aérea. A partir dos estudos anatômicos constataram-se modificações nas folhas da *I. asarifolia* e *U. decumbens* provenientes da resposta da planta ao estresse gerado pelos metais pesados.

## REFERÊNCIAS

- AHMADPOUR, P.; AHMADPOUR, F.; MAHMUD, T. M. M.; ABDU, A.; SOLEIMANI, M.; TAYEFEH, F. H. Phytoremediation of heavy metals: a green technology. **African Journal of Biotechnology**, v.11, n.76, p.14036-14043, 2012.
- ALVES, E. S.; GIUSTI, P. M.; DOMINGOS, M.; SALDIVA, P. N.; E. T. GUIMARÃES; D.J.A. LOBO. Estudo anatômico foliar do clone híbrido 4430 de *Tradescantia*: alterações decorrentes da poluição aérea urbana. **Rev. bras. Bot.**, v. 24, n.4, p. 561-566, 2001.
- AL-SAADY, S. A. A. M.; AL-ASAADI, W. M.; AL-WAHEEB, A. N. H. THE EFFECT OF SOME HEAVY METALS ACCUMULATION ON PHYSIOLOGICAL AND ANATOMICAL CHARACTERISTIC OF SOME Potamogeton L. PLANT. **Journal of Ecology and Environmental Sciences**. v.4, n.1, 2013.
- ANJOS, J. A. S. A. dos; SANCHEZ, L. E. Plano de Gestão ambiental para sítios contaminados com resíduos industriais: o caso da Plumbum em Santo Amaro da Purificação - BA. In: **Bahia Análise & Dados**, Salvador/BA, v.10, n.4, p. 306-309, 2001.
- ASEVEDO, I. P. **MAPEAMENTO GEOQUÍMICO DE SOLOS CONTAMINADOS POR METAIS (Pb, Zn, As e Cu), SANTO AMARO DA PURIFICAÇÃO, BAHIA. UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA**. 93f. Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Solos e Qualidade de Ecossistemas. Cruz das Almas, Bahia. 2012.
- ASHRAF, M. A. Heavy metals accumulation and tolerance in plants growing on ex-mining area, Bestari Jaya, Kuala Selangor, Peninsular Malaysia. **International Conference on Environmental Engineering and Application**, p. 267 – 271, 2011.
- ASSUNÇÃO, S. J. R. **Seleção de plantas para fitorremediação de chumbo, cádmio e zinco de uma área contaminada na Bacia do Rio Subaé**. 2-12. 100p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, 2012.

AZZARELLO, E.; PANDOLFIA, C.; GIORDANO, C.; ROSSI, M.; S. MUGNAI; MANCUSOA, S. Ultramorphological and physiological modifications induced by high zinc levels in *Paulownia tomentosa*. **Environmental and Experimental Botany**, v.81, p. 11– 17, 2012.

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

BAKER, A.J. M.; BROOKS, R. R. Terrestrial higher plants which hyperaccumulate metallic elements — a review of their distribution, ecology and phytochemistry. **Biorecovery**, v.1, p.81–126, 1989.

BARGAGLI, R. Plant leaves and lichens as biomonitors of natural or anthropogenic emissions of mercury. In: MARKERT, B. **Plants as Biomonitors**. Weinheim WCH, p. 468-484, 1993.

BINI, C.; WAHSHA, M.; FONTANA, S.; MALECI, L. Effects of heavy metals on morphological characteristics of *Taraxacum officinale* Web growing on mine soils in NE Italy. **Journal of Geochemical Exploration**, v.123, 101–108, 2012.

BRANDÃO, M. C. S. **Fotos da COBRAC**. Arquivo pessoal.

CHANG, C. Y.; YU, H. Y.; CHEN, J. J.; LI, F. B.; ZHANG, H. H.; LIU, C. P. Accumulation of heavy metals in leaf vegetables from agricultural soils and associated potential health risks in the Pearl River Delta, South China. **Environ Monit Assess.**, v.186, 1547–1560, 2014.

CHENG, S. Effects of Heavy Metals on Plants and Resistance Mechanisms. **Environ Sci & Pollut Res.**, v. 10, n.4, 256-264, 2003.

DÍAZ, J.; BERNAL, A. ; POMAR, F. ; MERINO, F. Induction of shikimate dehydrogenase and peroxidase in pepper (*Capsicum annuum* L.) seedlings in response to copper stress and its relation to lignification. **Plant Science**, v.161, p.179–188, 2001.

DJEBALI, W.; DJEBALI, W. ; HÉDIJI, H. ; ABBES, Z. ; BARHOUMI, Z. ; YAAKOUBI, H. ; ZOGHLAMI, L. B.; CHAIBI, W. 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.

EHLERINGER, J. R.; Thure E. Cerling Brent R. Helliker. C4 photosynthesis, atmospheric CO<sub>2</sub>, and climate. **Oecologia**, v. 112, p. 285-299, 1997.

EMBRAPA (Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária). **Manual de análises de solo**. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 212p.,1997.

EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). **Manual de análises química de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: EMBRAPA, 370p., 1999.



FUHRER; J. Early effects of excess cadmium uptake in *Phaseolus vulgaris*. **Plant, Cell & Environment.**, v. 5, n. 4, p. 257–327, 1982.

GERLARCH, D. **Botanische mikrotechnik: Eine Einführung**. Georg Thieme, Stuttgart, 1969.

GOMES, M. P.; MARQUES, T. C. L. L. de S. e M.; NOGUEIRA, M. de O. G.; CASTRO, E. M. de; SOARES, Â. M. Ecophysiological and anatomical changes due to uptake and accumulation of heavy metal in *Brachiaria decumbens*. **Sci. Agric.**, v.68, n. 5, p. 566-573, 2011.

GRATÃO, P. L.; MONTEIRO, C. C. ; ROSSI, M. L. ; MARTINELLI, A. P.; PERES, L. E.P. ; MEDICI, L. O. ; LEA, P. J. ; AZEVEDO, R. A. Differential ultrastructural changes in tomato hormonal mutants exposed to cadmium. **Environmental and Experimental Botany**, v.67, p. 387–394, 2009.

HIBBERD, J. M.; QUICK, W. P. Characteristics of C4 photosynthesis in stems and petioles of C3 flowering plants. **NATURE**, v. 415, n. 24, 2002.

HU, Y. F.; ZHOU, G.; NA, X. F.; YANG, L. ; NAN, W. B. ; LIU, X.; ZHANG, Y. Q.; LI, J. L.; BI, Y. R. Cadmium interferes with maintenance of auxin homeostasis in *Arabidopsis seedlings*. **Journal of Plant Physiology**, v.170, p. 965–975, 2013.

JOHANSEN, D. A. **Plant microtechnique**. McGraw-Hill, New York, 1940.

JUNG, C.H.; MAEDER, V.; FUNK, F.; FREY, B.; STICHER, H.; FROSSARD, E. Release of phenols from *Lupinus albus* l. roots exposed to Cu and their possible role in Cu detoxification. **Plant and soil**, v. 252, n. 2, p. 301-312, 2003.

KABATA-PENDIAS, A. **Trace elements in soils and plants**. 4 ed. CRC Press. Taylor and Francis Group. 505p., 2011.

KASIM, W. Changes Induced by Copper and Cadmium Stress in the Anatomy and Grain Yield of *Sorghum bicolor* (L.) Moench. **INTERNATIONAL JOURNAL OF AGRICULTURE & BIOLOGY**, v.8, n.1, 2006.

KIDD, P. S.; LLUGANY, M.; POSCHENRIEDER, C.; GUNSÉ, B.; BARCELÓ, J. The role of root exudates in aluminium resistance and silicon-induced amelioration of aluminium toxicity in three varieties of maize (*Zea mays* L.). **J. Exp Bot.**, v. 52, n.359, p.1339-52, 2001.

KOVACEVIC, G.; KASTORI, R. ; MERKULOV, L.J. Dry matter and leaf structure in young wheat plants as affected by cadmium, lead, and nickel. **Biologia Plantarum**, v.42, n.1, p. 119-123, 1999.

KSIAZEK, M.; WOŹNY, A.; MŁODZIANOWSKI, F. Effect of Pb(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> on poplar tissue-culture and the ultrastructural-localization of lead in culture cells. **Forest Ecology and Management**, v.8, p. 95-105, 1984.

- LANE; S. D.; MARTIN, E. S. A histochemical investigation of lead uptake in *Raphanus sativus*. **New Phytol.**, 1977.
- LORESTANI, B.; CHERAGHI, M.; YOUSEFI, N. Phytoremediation Potential of Native Plants Growing on a Heavy Metals Contaminated Soil of Copper mine in Iran. **World Academy of Science, Engineering and Technology**, v.53, 2011.
- LLUGANY, M.; TOLRÀ, R.; MARTÍN, S. R.; POSCHENRIEDER, C.; BARCELÓ, J. Cadmium-induced changes in glutathione and phenolics of *Thlaspi* and *Noccaea* species differing in Cd accumulation. **J. Plant Nutr. Soil Sci.**, v. 176, p. 851–858, 2013.
- MARQUES, T. C. L. L. de S.; SOARES, A. M.; GOMES, M. P.; MARTINS, G. Respostas fisiológicas e anatômicas de plantas jovens de eucalipto expostas ao cádmio. **Revista Árvore**, v. 35, n.5, p. 997-1006, 2011.
- MARTINS, F. M. M.; LIMA, J. F.; MASCARENHAS, A. A. S.; MACEDO, T. P. Secretory structures of *Ipomoea asarifolia*: anatomy and histochemistry. **Braz. J. Pharmacogn.**, v. 22, n.1, 2012.
- MELO, H. C.; CASTRO, E. M. de; SOARES, A. M.; MELO, L. A. de; ALVES, J. D. Anatomical and physiological alterations in *Setaria anceps* Stapf ex Massey and *Paspalum paniculatum* L. under water deficit conditions. **Hoehnea**. v. 34, p.145-153, 2007.
- MICHALAK, A. Phenolic Compounds and Their Antioxidant Activity in Plants Growing under Heavy Metal Stress. **Polish J. of Environ. Stud.**, v.15, n.4, p. 523-530, 2006.
- MOREIRA, F. R.; MOREIRA, J. C. Os efeitos do chumbo sobre o organismo humano e seu significado para a saúde. **Rev Panam Salud Publica/Pan Am J Public Health.**, v.15, n.2, 2004.
- NAGAJYOTI, P. C.; LEE, K. D. ; SREEKANTH, T. V. M. Heavy metals, occurrence and toxicity for plants: a review. **Environ Chem Lett.**, v. 8, p.199–216, 2010.
- NICOLAU, B. A. P.; ALVARENGA, T. M. ; SILVA, F. F. e; SOARES JÚNIOR, F. J. Morfoanatomia foliar de *Brachiaria decumbens* Stapf, coletada na zona rural de Lavras, estado de Minas Gerais, Brasil. **Revista Científica UDO Agrícola**, v.10, n.1, p. 1-6, 2010.
- PREETI, P.; TRIPATHI, A. K. Effect of heavy metals on morphological and biochemical characteristic of *Albizia procera* (Roxb.) Benth. Seedlings. **J. Environ. Sci.**, v.1, n. 5, p.1009–1018, 2011.
- ROSSELLI, W. Cd, Cu and Zn contents in the leaves of *Taraxacum officinale*. **For. Snow Landsc. Res.**, v. 80, n.3, p. 361–366, 2006.

SANTANA, B. V. N.; ARAÚJO, T.O. de; ANDRADE, G.C.; FREITAS-SILVA, L. de; KUKI, K. N.; PEREIRA, E. G. ; AZEVEDO, A.A.; SILVA, L. C. da. Leaf morphoanatomy of species tolerant to excess iron and evaluation of their phytoextraction potential. **Environ Sci Pollut Res.**, v. 21, p. 2550–2562, 2014.

SILVA, Cátia Cristina Mofato Frade da. **Características Morfológicas e Anatômicas de *Brachiaria decumbens* Stapf (Poaceae) em um Sistema Silvipastoril**. 2007. 40f. Dissertação. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Instituto de Agronomia. Curso de Pós-graduação em Agronomia Ciência do Solo. 2007.

SOLÍS-DOMÍNGUEZ, F.A.; GONZÁLEZ-CHÁVEZ, M.C.; CARRILLO-GONZÁLEZ, R.; RODRÍGUEZ-VÁZQUEZ, R. Accumulation and localization of cadmium in *Echinochloa polystachya* grown within a hydroponic system. **Journal of Hazardous Materials**, v.141, p. 630–636, 2007.

SRIDHAR, B. B. M.; F. X. HAN; S. V. DIEHL; D. L. MONTS; Yi SU. Effects of Zn and Cd accumulation on structural and physiological characteristics of barley plants. **Braz. J. Plant Physiol.**, v.19, n.1, p.15-22, 2007.

Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB). **Cruz das Almas-BA**. Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias. 2014. Disponível em: < <http://www.ufrb.edu.br/pgcienciasagrarias/cruz-das-almas> >. Acesso em: 10 de maio de 2014.

WERYSZKO-CHMIELEWSKA, E.; CHWIL, M. Lead-Induced Histological and Ultrastructural Changes in the Leaves of Soybean (*GZHCine max* (L.) Merr. **Soil Science&Plant Nutrition**, v.51, n.2, 2006.

WOZNY, A.; KRZESLOWSKA, M.; TOMASZEWSKA, B. Heavy Metals. In: WOZNY, A. **Lead in Plant Cells**. Poznan (Poland), Sorus. p. 21–110, 1995.

ZHAO, F. J.; E. LOMBI; T. BREEDON. Zinc hyperaccumulation and cellular distribution in *Arabidopsis halleri*. **Plant, Cell and Environment.**, v. 23, p. 507-514, 2000.

ZOCHE, J.; M. FREITAS; QUADROS, K. E. de. Concentração de Zn e Mn nos Efluentes do beneficiamento de carvão mineral e em *Typha domingensis* Pers (Typhaceae). **Revista árvore**, v. 34, n.1, p. 177-188, 2010.

ZUPAN, M.; LOBNIK, F.; KADUNC, V.; HUDNIK, V. Accumulation of Pb, Cd, Zn from contaminated soil to various plants and evaluation of soil remediation with indicator plant (*Plantago lanceolata*). In: Prost, R. (Ed.), **Contaminated Soils**. INRA, Paris, p. 325–335, 1995.

ZUPAN, M.; KRALJ, T.; GRČMAN, H.; HUDNIK, V.; LOBNIK, F. **The accumulation of Cd, Zn, Pb in *Taraxacum officinale* and *Plantago lanceolata* from contaminated soils**. Proc VII ICOBTE. Uppsala Sv., 2003.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O solo do município de Santo Amaro da Purificação-BA apresentou concentrações de elementos metálicos que estão acima do esperado. Altos teores de metais pesados no solo podem trazer sérios prejuízos à saúde da população local, pois esses são incorporados a teia alimentar podendo ser consumidos pelos seres humanos.

As duas espécies estudadas (*I. asarifolia* e *U. decumbens*) apresentaram metais pesados nos seus tecidos apresentando maiores teores na parte radicular. Ambas possuem potencial para serem utilizadas em programas de fitorremediação como fitoestabilizadoras. Outros trabalhos devem ser feitos para entender melhor os mecanismos empregados por esses vegetais para tolerar os metais pesados. Inclusive pesquisas avaliando o potencial fitoextrator dessas para outros elementos metálicos, que não foram estudados nesse trabalho.

Na área da metalúrgica foi observada a presença de várias espécies de plantas herbáceas. Pesquisas com temática semelhante devem ser executadas com enfoque em outras espécies herbáceas para poder identificar outras com potencial para a fitorremediação e ampliar o conhecimento para melhor entender os mecanismos utilizados pelas plantas para tolerar os metais.

Na literatura há poucos trabalhos com anatomia ecológica relacionada aos metais pesados. O entendimento da anatomia e fisiologia da planta é fundamental para potencializar a fitorremediação.

Os trabalhos devem ser ampliados analisando outros parâmetros fundamentais para restauração da área, como germinação, bancos de sementes e associação com microrganismos presentes no solo. Outras espécies vegetais que estão presentes na área devem ser estudadas para poder analisar seu potencial fitoextrator e as estratégias desenvolvidas para que essa consiga se estabelecer em um solo contaminado por elementos metálicos.