



UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
PROGRAMA MULTI-INSTITUCIONAL DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
BIOTECNOLOGIA

Avaliação da *Alocasia macrorrhiza* como
Fitorremediadora dos metais Cd, Cr, Cu, Ni, Pb
Zn.

Josias Coriolano de Freitas

Manaus

2009

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
PROGRAMA MULTI-INSTITUCIONAL DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
BIOTECNOLOGIA

*Avaliação da *Alocasia macrorrhiza* como*
Fitorremediadora dos metais Cd, Cr, Cu, Ni, Pb
Zn.

Tese de Doutorado apresentada ao Programa Multi-Institucional de Pós-Graduação em Biotecnologia como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Biotecnologia. Área de concentração: Agroflorestal.

Josias Coriolano de Freitas

Orientador: Dr .Genilson Pereira Santana

Manaus

2009

Ficha Catalográfica
(Catalogação realizada pela Biblioteca Central da UFAM)

Freitas, Josias Coriolano

F866a Avaliação da *Alocasia macrorhiza* como Fitorremediadora dos metais Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn / Josias Coriolano de Freitas. - Manaus: UFAM, 2009.

99 f.; il. color

Tese (Doutorado em Biotecnologia) — Universidade Federal do Amazonas, 2009.

Orientador: Prof. Dr. Genilson Pereira Santana

1. Solo - Descontaminação 2. Água - Descontaminação 3. Fitorremediação I. Santana, Genilson Pereira II. Universidade Federal do Amazonas III. Título

CDU 614.7(043.3)

BANCA EXAMINADORA

Dr. Genilson Pereira Santana – UFAM

Dr. Edson Valente Chaves – CEFET-AM

Dra. Rebecca Freire de Castro – UNINORTE

Dr Francisco Adilson dos Santos Hara – UFAM

Dr. Carlos Moisés Medeiros - UFAM

DEDICATÓRIA

A Deus, pois, tudo pode e me fortalece, À
minha esposa Norma Suely pelo incentivo,
apoio, carinho e compreensão que sempre
me ofereceu, À Ana Victoria, minha filha,
razão da minha vida, dedico-lhes essa con-
quista com muita gratidão .

AGRADECIMENTOS

Abaixo, registro o meu agradecimento a todos os que tornaram esses quatro anos e meio de Doutorado inesquecíveis.

A Deus, que tudo torna possível, e que sua presença sempre me abençoou e capacitou para tudo aquilo que Ele me destinou nesta tão sonhada jornada;

Agradeço pelo o apoio constante e incentivo da minha esposa Norma Suely de Lima Freitas para o desenvolvimento deste trabalho, pelo exemplo de persistência, determinação e coragem, recebe o meu reconhecimento, gratidão e amor;

Aos meus pais, José Coriolano de Freitas e Josefa de Souza Freitas, apesar de estarem distante geograficamente, sempre me concederam todo apoio, compreensão e incentivo nesta longa jornada;

Aos meus sogros, Israel Florêncio de Lima e Eudália de Moura Lima, por sempre terem me concedido todo apoio e incentivo incansável nesta tão difícil jornada;

Ao Professor Dr Genilson Pereira Santana, meu Orientador, pela orientação ao longo de todos estes anos;

Aos colegas Dr Edson Valente Chaves e Dra Rebecca Freire de Castro, por fazerem parte, dos momentos desta jornada e por ter me passado sugestões importantes para o desenvolvimento do meu trabalho e como membros da banca de qualificação, contribuíram com importantes e enriquecedoras sugestões

Aos meus colegas de doutorado Marcondes e Mauro Pio pela amizade e apoio;

Ao Biólogo Roberto Alexandre Barbosa Filho pela identificação da planta.

Ao Silo Santos Silva, técnico em Botânica da Universidade Federal do Amazonas (UFAM), pelo auxílio na obtenção da planta para a confecção da exsicata;

Ao André Santos Silva, técnico do Laboratório de Diagnóstico Molecular (PPGBIOTEC), pelo auxílio e obtenção de materiais para análise;

À Universidade Federal do Amazonas (UFAM), Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia (PPGBIOTEC) - UFAM e Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM) pela oportunidade e suporte financeiro por meio da bolsa de estudos durante o Doutorado;

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para realização deste trabalho

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS	7
LISTA DE TABELAS	8
1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS	3
2.1 Objetivo geral	3
2.2 Objetivos específicos	3
3 REVISÃO DA LITERATURA	4
3.1 Fitorremediação	4
3.1.1 Critérios para utilização da Fitorremediação	8
3.2 Aplicação da fitorremediação	9
3.3 Os Metais Pesados na Planta	11
3.3.1 Forma disponível dos metais pesados no solo	13
3.3.2 Efeitos tóxicos de alguns metais pesados nas plantas	14
3.3.3 Toxicidade do Cd	15
3.3.4 Toxicidade do Pb	16
3.3.5 Toxicidade do Zn	16
3.3.6 Toxicidade do Cu	17
3.3.7 Toxicidade do Ni	17
3.3.8 Toxicidade do Cr	18

3.4	Metais pesados e efeitos tóxicos no homem.	19
3.4.1	Efeitos biotóxicos dos metais em humanos	19
3.4.2	Exposição humana através de alimentos, solo, ar e água	21
3.4.3	Bio-importância dos metais pesados	22
3.4.4	Riscos causados por contaminação de metais pesados	22
3.5	Ocorrência de metais pesados na Amazônia	25
3.6	Características vegetativas da <i>Alocasia macrorhiza</i> na Amazônia	26
3.6.1	<i>Alocasia macrorhiza</i>	26
3.7	Ácido etilenodiaminatetraacético - EDTA	28
3.8	Análise estatística	30
3.8.1	Teste paramétrico	30
3.8.2	Teste não-paramétrico	32
3.8.3	Coeficiente de Correlação de Pearson - r	32
3.8.4	Análise de Componente Principais - PCA (<i>Principal Component Analysis</i>)	34
4	MATERIAL E MÉTODOS	36
4.1	Coleta da espécie <i>Alocasia macrorhiza</i>	36
4.2	Identificação Botânica	37
4.3	Estudo da espécie <i>Alocasia macrorhiza</i> em casa de vegetação	38
4.4	Determinação pH em H ₂ O e CaCl ₂ 0,01 M	39
4.5	Extração dos metais pesados com etilenodiaminotetracético (EDTA) nos Solos	39
4.6	Análise estatística	39
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
5.1	Distribuição de metais pesados na planta	41
5.2	Comportamento dos metais pesados em função do local de coleta	43
5.3	Estudo estatístico	48
5.4	Extração com EDTA de Pb e Cr	58

6 CONCLUSÕES	61
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	62

LISTA DE FIGURAS

	Página
1 Transporte de nutrientes via simplasto e apoplasto.	11
2 <i>Alocasia macrorhiza</i> em seu habitat	27
3 <i>Alocasia macrorhiza</i>	27
4 Aplicação do EDTA como extrator de metais	28
5 Estrutura do EDTA	29
6 O íon complexo EDTA-metal	29
7 Representação da matriz de dados X decomposta em produto de matrizes de posto igual a um.	34
8 Locais onde foram coletadas as amostras	37
9 Recipiente utilizado no experimento	38
10 Distribuição dos metais pesados em cada parte da planta	41
11 Variação da concentração dos metais pesados na raiz nos locais de coleta.	44
12 Variação da concentração dos metais pesados no caule nos locais de coleta.	46
13 Variação da concentração dos metais pesados na folha nos locais de coleta.	47
14 PC <i>loading</i> e dendrogramas relativos às partes da planta (Raiz).	54
15 PC <i>loading</i> e dendrogramas relativos às partes da planta (Caule).	55
16 PC <i>loading</i> e dendrogramas relativos às partes da planta (Folha).	56
17 Distribuição relativa de Pb e Cr em função da extração com EDTA.	59

LISTA DE TABELAS

	Página
1 Plantas usadas em várias aplicações de fitorremediação	7
2 Algumas características, vantagens e desvantagens da fitorremediação. . .	8
3 Exemplos de plantas empregadas na fitorremediação em solos contamina- dos com diferentes agentes químicos.	10
4 Estimativa das quantidades de metais pesados dispersos no resíduo sólido urbano brasileiro.	20
5 Limite tolerante de contaminação por metais pesados no ar, solo, para água potável e natural.	21
6 Limite tolerante de contaminação por metais pesados.	22
7 Efeitos de alguns metais pesados sobre a saúde humana.	24
8 Coordenadas geográfica dos locais de coleta	36
9 Absorção média dos valores obtidos em <i>in situ</i> pelas plantas	42
10 Distribuição segundo as medianas de absorção dos metais em relação ao local de coleta e na planta, Manaus-Am.	49
11 Autovalor, PC <i>loading</i> , autovalor obtido das matrizes padronizadas . . .	51
12 Matriz de correlação de Pearson r	52
13 Distribuição dos metais pesados na espécie <i>Alocasia macrorrhiza</i> em Casa de Vegetação	57

Resumo

O uso de plantas para descontaminação do solo e água contaminadas por produtos químicos é utilizado há mais de três séculos. A fitorremediação alcançou importância mundial por ser uma tecnologia que extrai e/ou imobiliza contaminantes de origem orgânica e inorgânica. Neste sentido, este trabalho teve como objetivo avaliar pela primeira vez a capacidade de absorção dos metais Cd, Pb, Cr, Ni, Zn e Cu pela *Alocasia macrorrhiza* que compõe a flora de algumas matas ciliares da cidade de Manaus, cujo nível de contaminação são elevados e avaliar as concentrações 3, 6, 9, 12, 15 mmol kg⁻¹ de EDTA na biodisponibilidade desses metais nos solos estudados. Para esse estudo as plantas coletadas foram divididas em raiz, caule e folha para extração dos metais. As concentrações dos metais pesados foram determinadas pela espectrometria de absorção atômica de chama, e os resultados analisados pelo teste não-paramétrico por Kruskal-Wallis e Mann-Whitney e análise do componente principal 1 e 2. Os testes mostraram que todos os metais foram absorvidos da mesma forma independentemente do local. O Pb foi o metal que apresentou maior concentração na planta seguindo por Cr > Cd > Cu > Ni > Zn, seqüência que se repete nas outras partes da planta. O Cr foi o único metal que não apresentou variação significativa nas partes da planta e nem nos locais de coletas. As concentrações de EDTA mostram a mesma distribuição de Pb e Cr em *in situ* comparando com a raiz da planta.

Palavras chave: Fitoextração, Manaus, Extração, Mata Ciliares

Abstract

For more than three centuries plants have been used for decontaminating soils and water with chemical products. However, recently this practice is being intensified, due to low costs and mainly for the facilities that these plants may be used *in situ*. The phytoremediation technique reached worldwide importance due to the technology which extract and/or immobilize organic and inorganic contaminants. The main objective of this Thesis is to study for the first time the absorption capacity of heavy metals such as Cd, Pb, Cr, Ni, Zn and Cu by species *Alocasia macrorrhiza* arranged in the ciliate diversity rain forest located in the Amazon region and in the Industrial District, which the contamination is considered to be high and test concentrations of 3, 6, 9, 12 and 15 mmol Kg⁻¹ of EDTA on bioavailability of these metals on soils. In this study, were collected plants in six different places in Manaus, capital city of the State of Amazonas-Brazil and after these plants have been collected, they were separated in root, stalk and leaf. The heavy metals concentrations were determined by flame atomic absorption spectrophotometry. For the statistical analysis were used the non-parametric for Kruskal-Wallis and Mann-Whitney tests. The test demonstrated that all metals were absorbed the same way independently the region where the plant was collected. Pb presented the highest concentration absorbed by the plant following Cr > Cd > Cu > Ni > Zn metals. The findings also revealed that the absorption metals sequence levels repeated in other parts of the plant. Cr was the only metal that not presented significant variation in parts of the plant, neither in the collected area. EDTA concentrations that had better assimilation of Pb extracted by the *in situ* plant were between 3 and 15 g Kg⁻¹.

Keywords: Phytoextraction, Manaus, extraction, ciliate forest.

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento tecnológico e o crescimento demográfico mundial, provocaram a intensificação das atividades industriais e agrícolas. Como principal consequência desse fato é comum encontrar em toda as partes do mundo solos contaminados por diversas substâncias, tais como: sais, metais, compostos orgânicos, organometálicos, elementos radioativos, etc (ACCIOLY e SIQUEIRA, 2000).

No Brasil, não existem estatísticas ainda sobre a extensão da contaminação do solo, mas é possível encontrar substâncias tóxicas contaminados no solo em todo o território nacional. Um diagnóstico do Ministério da Saúde em 2004 identificou a existência de 703 áreas com populações expostas ou potencialmente expostas a áreas com solo contaminado (SAÚDE, 2008).

No Estado de São Paulo, segundo dados do CETESB, existiam 1.822 sítio com solo contaminados em 2006. Dentre os 30,9% já estavam em processo de remediação; 7,9% com proposta de descontaminação. Os dados mostram que 12,6% dos sítios eram contaminados por metais pesados (CETESB, 2007).

No Amazonas a ocorrência de metais pesados se deve principalmente ao processo de ocupação desordenada e resíduo industrial. Segundo Castro (2007) e Santana e Barroncas (2007) verificaram que as concentrações desses metais estavam acima dos valores permitidos pela resolução 357/2005 do CONAMA em praticamente todos os locais amostrados.

Dentre as inúmeras tecnologias para remediar o solo se destacam: a incineração, oxidação e pirólise; a contenção (barreiras impermeáveis), barreiras reativas, estabilização, fitorremediação etc. A última, está baseada no uso de plantas com capacidade de retirar e/ou concentrar substâncias tóxicas, como metais pesados, pe-

tróleo e elementos radioativos, se tornou uma alternativa viável principalmente por ser de baixo custo (VALITUTTO, 2004).

Diversas espécies e/ou genótipos de plantas vêm sendo selecionadas para extração de metais no solo. Estas variam muito em relação à capacidade acumuladora, bem como à adaptação ao contaminante e condições ambientais.

Esta tese teve como objetivo principal estudar a capacidade de absorção dos metais pesados (Ni, Cr, Zn, Cu, Pb, Cd) pela espécie *Alocasia macrorrhiza* em locais diferentes na cidade de Manuas e em casa de vegetação. Para análise dos dados foram utilizados os testes paramétricos e não-paramétricos conforme a presença de normalidade ou não.

A planta escolhida para o desenvolvimento deste estudo se deve pela as seguintes características: possui um sistema radicular denso, resistência a pragas, fácil colheita e controle de radicação, ocorrência natural em áreas poluidoras e em ambientes diversos.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Estudar a capacidade de absorção de metais pesados (Ni, Cr, Zn, Cu, Pb, Cd) pela espécie *Alocasia macrorhiza* em regiões impactada e não impactada existentes na cidade de Manaus e na casa de vegetação.

2.2 Objetivos específicos

- a) Determinar a concentração de metais pesados absorvido pela *Alocasia macrorhiza*;
- b) Identificar uma nova espécie de planta com capacidade fitorremediadora;
- c) Buscar em diferentes concentrações de EDTA a melhor forma de extração de metais pesados na planta e no solo estudado.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 Fitorremediação

O uso de plantas para descontaminação do solo e água vem sendo utilizado há mais de três séculos. Ao fim do século 19 as plantas *Caerulescens de Thlaspi* e *Viola calaminaria* foram às primeiras espécies publicadas em trabalhos científicos por Baumann em 1885 (HINCHMAN, 1998). Em 1935, Byers mostrou a capacidade da *Astragalo* em acumular até 0,6% de Se. Rascio em 1977 observou que a *Caerulescens de Thlaspi* tinha alta tolerância e capacidade de acumular Zn. A idéia de se usar plantas para remediar solo contaminado foi proposta e introduzida pela primeira vez por Utsunamyia em 1980 e Chaney em 1983, e a primeira tentativa em *in situ* foi em 1991 com o Zn e Cd desenvolvida por Baker et al. em 1991 (LASAT, 2001).

Os processos que envolve a fitorremediação se dividem em seis estratégias básicas: fitoextração, fitoestabilização, fitoestimulação, fitovolatilização, fitodegradação e rizofiltração.

- **Fitoextração:** envolve a absorção dos contaminantes pelas raízes que são armazenados ou transportados e acumulados nas partes aéreas. A descoberta de plantas com capacidade para acumular grandes quantidades de metais (hiperacumuladoras) resultaram em avanços no uso de plantas na remediação de solos contaminados. Plantas hiperacumuladoras são capazes de extrair e acumular em mg kg^{-1} de tecido seco mais de 10.000 mg de Zn e Mn, mais de 1.000 mg, de Pb, Ni e Cu e mais de 100 mg de Cd, portanto promissoras para a fitoextração e são de ocorrência comum no reino vegetal. É aplicada principalmente para metais, podendo ser usada também para outros compostos inorgânicos e

compostos orgânicos (BAKER, 1981; 1987; RASKIN, KUMAR e SALT, 1994 e WATANABE, 1997).

- **Fitoestabilização:** os contaminantes orgânicos ou inorgânicos são incorporados à lignina da parede vegetal ou ao humus do solo e os metais são precipitados sob formas insolúveis, sendo posteriormente aprisionados na matriz do solo com o objetivo de evitar a mobilização do contaminante, assim limitando sua difusão no solo, através de uma cobertura vegetal. Exemplos de plantas cultivadas com este fim são as espécies *haumaniastrum*, *eragrostis*, *ascolepis*, *gladiolus* e *alyssum* (CUNNINGHAM et al., 1996).
- **Fitoestimulação:** as raízes em crescimento promovem a proliferação de microrganismos degradativos na rizosfera, que usam os metabólitos exudados da planta como fonte de carbono e energia. Além disso, as plantas podem secretar elas próprias enzimas biodegradativas. A aplicação da fitoestimulação limita-se aos contaminantes orgânicos. A comunidade microbiana na rizosfera é heterogênea devido à distribuição espacial variável dos nutrientes nesta zona, porém os pseudomonas são os microrganismos predominantes associados as raízes (CROWLEY, ALVEY e GILBERT, 1997).
- **Fitovolatilização:** alguns íons dos grupos 2 (IIA), 5 (VA) e 7 (VIIA) da Tabela Periódica, mais especificamente Hg, Se e As, são absorvidos pelas raízes, convertidos em formas não tóxicas e depois liberados para a atmosfera. Esta técnica pode ser empregada para hidrocarbonetos também . Exemplos de plantas são *B.juncea*, *Populus spp* e *Salicornia bigelovii* (BROOKS, 1998).
- **Fitodegradação:** os contaminantes orgânicos são degradados ou mineralizados dentro das células vegetais por enzimas específicas. Entre essas enzimas destacam-se as nitroreduases (degradação de nitroaromáticos), desalogenases (degradação de solventes clorados e pesticidas) e lacases (degradação de anilinas). *Populus sp.* e *Myriophyllum spicatum* são exemplos de plantas que

possuem tais sistemas enzimáticos (SCHNOOR et al., 1995; CUNNINGHAM et al., 1996).

- **Rizofiltração:** é a técnica que emprega plantas terrestres para absorver, concentrar e/ou precipitar os contaminantes de sistemas aquáticos, particularmente metais pesados ou elementos radiativos, através do seu sistema radicular. As plantas são mantidas num reator sistema hidropônico, cujos efluentes passam e sendo absorvidos pelas raízes, concentrando os contaminantes. Plantas com grande biomassa radicular adotam normalmente esta estratégia, como *Helianthus annuus* e *Brassica juncea*, as quais provaram ter potencial para esta tecnologia (GLASS, 1998).

Na tabela 1 estão relacionadas algumas plantas utilizadas nas várias estratégias da fitorremediação, bem como o meio e o tipo de contaminantes retirados, rendimento e local de aplicação.

Tabela 1. Plantas usadas em várias aplicações de fitorremediação

LOCAL	TÉCNICA	PLANTAS	CONTAMINANTES	RESULTADOS
Chernobyl, Ucrânia	Rizofiltração	Girassóis <i>Helianthus annuus</i>	^{137}Cs e ^{90}Sr	Redução 90% da contaminação em dois anos
Trenton	Fitoextração	Indian Mustard <i>Brassica juncea</i>	Pb	Redução ~100%
Pennsylvania	Fitoextração	<i>Thlaspi</i> <i>Caerulescens</i>	Zn e Cd	Ação rápida mas depende do tipo de solo
São Francisco	Fitovolatilização	<i>Brassica sp.</i>	Se	Descontaminação parcial do solo
Milão	Fitodegradação	<i>Elodeia</i> <i>Bullrush</i> <i>Canary Grass</i>	TNT	> 90 % de descontaminação
Midletown	Fitodegradação	<i>Pondweed</i> <i>Coontail</i> <i>Arrowroot</i> <i>Hybrid poplar</i>	TNT	Pouquíssima descontaminação
Portland	Fitodegradação	<i>Hybrid poplar</i>	PCP	Descontaminação somente no segundo ano

FONTE: SCHNOOR (1997)

3.1.1 Critérios para utilização da Fitorremediação

Segundo PIRES et al. (2003), antes da implantação de programas de fitorremediação, as características físico-químicas do solo e do contaminante devem ser conhecidas, bem como sua distribuição na área. Qualquer fator que venha a interferir negativamente no desempenho das plantas fitorremediadoras deve ser controlado ou minimizado, para favorecer sua atuação descontaminante. É desejável que as plantas que apresentem potencial para fitorremediação possuam algumas características que devam ser usadas como indicativos para seleção. Essas características são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2. Algumas características, vantagens e desvantagens da fitorremediação.

Características	Desvantagens	Vantagens
Capacidade de absorção, concentração e/ou metabolização e tolerância ao contaminante	É restrito a certas profundidades devido ao enraizamento de algumas plantas não atingirem grandes profundidades;	Extração de compostos orgânicos e inorgânicos
Retenção do contaminante nas raízes, no caso da fitoestabilização, como oposto à transferência para a parte aérea, evitando sua manipulação e disposição;	Remediação com plantas são um processo prolongado, assim pode levar vários anos ou mais muito tempo para limpar e a contaminação ainda pode não ser completamente remediada;	Restringio tratamento para locais com contaminação dentro da área de atuação das plantas;
Fácil colheita, quando necessária a remoção da planta da área contaminada;	O uso de plantas, que não seja nativa essas espécies podem afetar biodiversidade;	Aplicação <i>in situ</i> ;
Ocorrência natural em áreas poluídas (importante na identificação, porém não é pré-requisito)	O consumo de plantas contaminadas através de vida selvagem;	Em aplicações <i>in situ</i> a perturbação da área é mínima com relação a outros métodos já estudados;
Capacidade de desenvolver-se bem em ambientes diversos.	Clima desfavorável é outra consideração importante porque pode limitar crescimento da planta e produção de fitomassa, assim eficiência de processo decrescente.	Custo do método é muito baixo em relação a outros métodos convencionais.

FONTE: CUNNINGHAM (1996); ACCIOLY e SIQUEIRA (2000); VOSE (2000)

3.2 Aplicação da fitorremediação

A fitorremediação vem se destacando, por ser uma das melhores alternativas de remediação do solo. Quando comparada com técnicas tradicionais de tratamento, ou remoção física da camada contaminada, a fitorremediação tem sido considerada vantajosa, principalmente por sua eficiência na descontaminação e pelo baixo custo. O custo estimado para descontaminação estão entre US\$ 0,02 e 1,00 por m³, quando comparado a outros processos físico-químicos, nos quais, em média, os custos de remediação para compostos voláteis ou solúveis em água variam de US\$ 10 a 100 por m³ de solo para remediação *in situ*, US\$ 60 a 300 por m³ para compostos manejados para preenchimento ou tratamentos térmicos de baixa temperatura e aproximadamente US\$ 200 por m³ para aqueles que exigem manejo especial ou altas temperaturas (CUNNINGHAM et al.1996; McINTTYRE e LEWIS, 1997; PENCE et al., 2000).

Nos últimos 10 anos, surgiram nos EUA e Europa inúmeras companhias que exploram a fitorremediação para fins lucrativos, como a norte americana *Phytotech* e a alemã *BioPlanta*, e indústrias multinacionais, como *Union Carbide*, *Monsanto* e *Rhone - Poulanc*, que empregam fitorremediação em seus próprios sítios contaminados (PILON-SMITS, 2005). Nos EUA os gastos associados a descontaminação de áreas degradadas estão entorno US\$ 6 - 8 bilhões de dólares por ano, mundialmente este gasto chega a US\$ 25 - 50 bilhões por ano (PILON-SMITS, 2005).

O processo de escolha de uma planta é baseada na seletividade, natural ou desenvolvida, que algumas espécies exibem a determinados tipos de compostos ou mecanismos de ação. A existência de grande variedade de espécies gramíneas, leguminosas e árvores de crescimento rápido com alta taxa de transpiração, têm sido aplicadas para fitorremediação (Tabela 3). Estas plantas oferecem grande área de contato da raiz com o solo devido ao extenso sistema radicular (ACCILOY e SIQUEIRA, 2000; TESAR et al., 2002).

Tabela 3. Exemplos de plantas empregadas na fitorremediação em solos contaminados com diferentes agentes químicos.

Planta	Contaminantes	Referência
<i>Thlaspi caerulescens</i>	Zn e Cd	PENCE et al. (2000)
<i>Lolium italicum e Festuca arundinaceae</i>	Pb e Zn	RIZZI et al. (2004)
<i>Machaerium nictidans</i>	Ni, Pb, Zn , Cr , Hg	GARDEAL et al. (2005)
<i>Horedeum vulgare, Lupinus angustifolius, Secale cereale</i>	As	MAINS et al.. (2006 a,b)
<i>B. juncea</i>	Zn, Cu, Mn, Fe, Pb e Cd	CLEMENTE et al. (2006)
<i>Anthyllis vulneraria, Festuca arvernensis, Koeleria vallesiana, Armeria arenaria.</i>	Zn, Cd e Pb	FRÉROT et al. (2006)
<i>H. hirta and Z. fabago</i>	Pb, Zn e Cu	CONESA et al. (2006)
<i>Commelina erecta, Montagma laxum, Borria capitata, anicum maximum, Cyperus surinamensis e Nephrolepis biserrata</i>	Cr e Pb	CASTRO, (2007)
<i>Lactuca sativa L</i>	Zn e Pb	AGUIAR et al. (2008)
<i>Senna multijuga, Caesalpinia echinata e Shizolobium amazonicum</i>	Co, Cd, Cu, Ni, Mn, Fe, Cr, Zn e Pb	CHAVES (2008)

3.3 Os Metais Pesados na Planta

A absorção dos metais pesados pelas plantas ocorre a partir do contato do metal com as raízes, que se dá pela interceptação das raízes com o metal, pelo fluxo de massa e difusão. A interceptação apresenta pouca importância quando comparada aos outros dois processos; podendo-se, de forma geral, dizer que o movimento dos metais para a raiz é decorrente de fluxo de massa e difusão. Quando a quantidade de metais pesados fornecida por fluxo de massa é inferior à absorvida pelas plantas, a concentração em solução próxima das raízes diminui. Com isso, ocorre o processo de difusão em direção às raízes em função do gradiente de concentração gerado conforme mostrado na Figura 1 (BARBER, 1995).

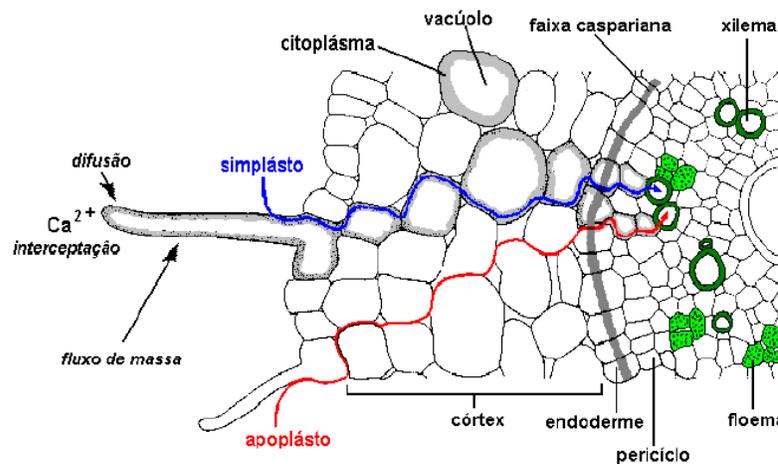


Figura 1: Transporte de nutrientes via simplásto e apoplásto.

FONTE: BARBER (1995)

Uma vez entrando em contato com as raízes, os nutrientes precisam chegar até o xilema via apoplásto ou simplásto. Mesmo para aqueles elementos absorvidos inicialmente via apoplásto, para que cheguem até o xilema precisam entrar dentro da célula quando atingem a endoderme. Isto ocorre porque a endoderme apresenta uma barreira ao apoplásto denominada faixa caspariana. No xilema os solutos voltam a cair no apoplásto, já que os elementos de vaso são células mortas. No apoplásto,

muitas vezes o metal fica retido nas cargas negativas superficiais presentes nas paredes dos poros, não sendo realmente absorvido (RYAN et al., 1997).

Com isso, a quantidade total de metais pesados absorvida pelas plantas pode ser superestimada. O processo pelo qual o íon deixa o simplasto e entra no xilema é chamado "carregamento do xilema". Se o movimento por difusão for mais efetivo os fatores que reduzem a mobilidade difusiva do contaminante, como a complexação, devem reduzir também a absorção pelas plantas (MCLAUGHLIN et al., 1998). Se o fluxo de massa é predominante, o aumento da taxa de transpiração da planta pode resultar em maior absorção do contaminante (BLAYLOCK et al., 1997).

Ainda existe controvérsia a respeito dos mecanismos de absorção dos metais pesados e vários modelos já foram desenvolvidos no sentido de explicá-los (BARBER 1995). Welch e Norvell (1999) afirmaram que a entrada de metais divalentes talvez ocorra através de um canal ¹ de Ca^{2+} ou Mg^{2+} localizados em proteínas intrínsecas da membrana.

Kochian (1983) sugere que a redutase férrica estaria presente na membrana plasmática, facilitando a absorção de Fe^{2+} em dicotiledôneas. Esta enzima seria a responsável pela abertura do canal de Ca^{2+} , permitindo a absorção do próprio Fe^{2+} e de outros íons divalentes. A literatura cita a possibilidade de competição iônica em termos de absorção radicular, evidenciando que os transportadores não são altamente específicos (CATALDO, 1983; RYAN et al., 1997).

O raio iônico efetivo do metal pesado é um parâmetro fundamental na competição, conforme o verificado para Cu^{2+} e Zn^{2+} . Existem evidências de que complexos metálicos podem ser transportados através da membrana celular aumentando suas absorções pelas plantas (WALLACE et al., 1997; BLAYLOCK et al., 1997; VASSIL et al., 1998;). O aumento pode estar relacionado com a manutenção dos metais em solução ou com maiores limitações na difusão do metal livre, tendo em vista a forte ligação entre os metais e superfícies sólidas aliada ao alto grau de tortuosidade dos poros do solo (HUANG e CUNNINGHAM, 1997; BARBER, 1995).

¹Canal formado por proteínas que permitem a passagens de íons

Em alguns casos, foi constatado que quando a planta absorve metais pesados presentes em altas concentrações na solução, um processo de liberação destes pela célula é desencadeado. Desta maneira, tem-se um equilíbrio entre entrada e saída do metal, evitando que este se acumule na célula (COSTA e MOREL, 1993; SANTA-MARIA, 1998).

3.3.1 Forma disponível dos metais pesados no solo

Os metais pesados estão presente no solo, na forma litogênica² e/ou por atividade antrópica: o aumento em sua concentração pode ocorrer das duas formas (GUILHERME e MARCHI, 2005). A sua distribuição em perfis de solo é variável, devido às diferenças na capacidade de retenção dos componentes das diversas camadas, como resíduos de rochas, ou é liberada pelo intemperismo.

As principais formas em que os metais pesados podem estar nos solos são sucintamente descritas a seguir (PIRES, 2003):

- **Solúveis:** íons livres, complexos solúveis com ânions inorgânicos ou ligantes orgânicos. Nesta forma os metais pesados são facilmente absorvidos pelas plantas e/ou lixiviados no solo. A medida dos teores solúveis é realiza diretamente na solução; entretanto, existe dificuldade nesta determinação uma vez que a concentração normalmente é muito baixa. Atualmente têm sido bastante utilizados os modelos de especiação iônica que calculam a atividade e a concentração do metal em solução;
- **Trocáveis:** adsorvidos por forças eletrostáticas em sítios carregados negativamente presentes na matéria orgânica ou em minerais, como argilas. Geralmente a energia de ligação envolvida é baixa, possibilitando uma troca rápida com a fração presente na solução do solo.
- **Adsorvidos especificamente:** adsorvidos covalentemente a sítios específicos.

A reação envolve alta energia de ligação, sendo que os metais são liberados de

²fração oriunda de fontes geológicas

forma muito mais lenta do que na trocável;

- **Ligados a materiais orgânicos insolúveis:** metais pesados complexados por materiais orgânicos resistentes à degradação microbiana ou presentes em células recentemente mortas;
- **Precipitados:** na forma de carbonatos, sulfatos, fosfatos, hidróxidos, entre outros. Os metais pesados podem formar os precipitados diretamente com os ânions, ou ainda podem ser co-precipitados junto à componentes pouco solúveis de Ca, Mg, Fe e Al conforme estes vão sendo formados. Existe à possibilidade dos metais pesados serem adsorvidos na superfície amorfa desses precipitados, podendo passar para forma trocável ou covalentemente adsorvida quando as camadas superficiais se cristalizarem. As reações de precipitação são previstas pela constante do produto de solubilidade.

3.3.2 Efeitos tóxicos de alguns metais pesados nas plantas

O efeito tóxico dos nutrientes ou de metais pesados é muito variável entre espécies ou variedades. As espécies adaptadas a solos com alto teor de metais (regiões contaminadas por dejetos industriais ou em áreas de mineração) podem suportar quantidades excessivas de elemento. A resposta das plantas à toxidez por metais pesados envolve alterações estruturais, fisiológicas e bioquímicas que dependem do tipo e concentração do metal pesado e do tempo de exposição das plantas a esses elementos. Há uma série de pontos que devem ser levados em conta (MORRIL e MACÊDO, 2008):

- Os mecanismos de absorção, transporte e acumulação dos metais pelas plantas;
- Mecanismos primários de toxidez a nível molecular, celular e subcelular;
- Mecanismos secundários de interferência com os processos funcionais das plantas;

- Mecanismos de respostas homeostáticas que, em alguns casos, conduzem a mecanismos de tolerância frente ao metal pesado.

Os principais mecanismos envolvidos na tolerância das plantas a metais pesados são:

- Alteração na permeabilidade de membranas;
- Alteração na capacidade de absorção nas paredes celulares;
- Exsudação de substância quelantes;
- Produção intercelular de compostos ligantes;
- Alteração no metabolismo celular;
- Alteração na compartimentalização de metais pesados e restrição no transporte de metais pesados para a parte aérea.

3.3.3 Toxicidade do Cd

A principal causa da toxidez pelo Cd se deve pela sua combinação com grupos tiólicos (-SH) de enzimas e proteínas, o que provoca desarranjo no metabolismo vegetal (MEAGHER, 2000). Nas plantas, o Cd substitui o Zn em diversas metaloenzimas, alterando sua atividade, promove a expansão de camadas de fosfolípidos e desacopla a fosforilação oxidativa (DOTTON, 1996). Inibe a fotossíntese, provoca distúrbios respiratório e na fixação de CO₂, altera a permeabilidade das membranas celulares, inibe as transformações mediadas por DNA em microrganismos, interfere na simbiose planta-microrganismos, aumenta a pré-disposição à doenças fúngicas (FISCHEROVA et al., 2006). Ele provoca também alterações estruturais e funcionais das membranas dos tilacóides; causa redução no crescimento, ao diminuir a pressão de turgescência e aumentar a resistência estomática e induz a senescência pelo aumento da atividade da peroxidase.

Em geral, os sintomas externos induzidos pelo elevado conteúdo de Cd nas plantas são: redução no crescimento, danos ao sistema radicular, clorose nas folhas, coloração vermelho-amarronzada das nervuras e bordas foliar (OLIVEIRA et al., 2001).

3.3.4 Toxicidade do Pb

Vários estudos descrevem o efeito tóxico do Pb sobre processos, tais como: fotossíntese, mitose e absorção de água, entretanto, os sintomas tóxicos nas plantas não são muito específicos. Efeitos subcelulares podem ser descritos como: inibição da respiração e fotossíntese, devido a distúrbios nas reações de transferências de elétrons. Essas reações são inibidas por concentrações menores que 1 mg kg^{-1} (MEAGHER, 2000). De acordo com Aguiar (2008), o valor crítico de fitotoxidez é de 100 a 400 mg kg^{-1} de Pb no solo e em algumas plantas observou-se que a concentração de $0,1 \text{ mg kg}^{-1}$ inibiu a elongação do sistema radicular.

De modo geral, as quantidades encontradas de Pb nas plantas são tão pequenas que não afetam a saúde dos animais que as comem. Entretanto, em certos solos este elemento pode se concentrar de tal modo a tornar as forragens de uso impróprio. O Pb é um tóxico cumulativo e pequenas quantidades que por si só não causam nenhum dano, tornam-se perigosas quando ingeridas constantemente (SANTOS, 2005)

3.3.5 Toxicidade do Zn

Excesso de Zn no solo raramente é encontrado na prática, exceto próximo a depósitos, minas ou indústrias de Pb ou Zn, onde os gases emanados das chaminés contém quantidades consideráveis do metal. Solos próximos a tais indústrias podem conter de 4 a 5% de Zn (BERGMANN, 1992). A toxidez deste elemento se manifesta na diminuição da área foliar seguida de necrose e redução do crescimento radicular. Pode aparecer na planta um pigmento pardo-avermelhado, talvez um fenol e, além disso, um excesso de Zn faz diminuir a absorção de P e Fe (MALAVOLTA, 1997; HACISALIHOGU e KOCHIAN, 2003).

3.3.6 Toxicidade do Cu

Teores excessivos do Cu provocam nas plantas uma série de distúrbios:

- Danos no tecido e alongação de células radiculares;
- Alterações na permeabilidade de membrana, causando efluxo de íons e solutos, em geral, da raíz;
- Peroxidação dos lipídios das membranas dos cloroplastos e inibição do transporte de elétrons na fotossíntese;
- Imobilização de cobre em paredes celulares e em vacúolos;
- Atraso na germinação de sementes e redução do desenvolvimento de raízes e mudas.

A toxicidade deste elemento se manifesta por clorose foliar que caminha da base para o ápice, ao longo da nervura principal; seguindo-se o aparecimento de manchas aquosas e amarelas na lâmina e depois queda das folhas que logo enegrecem nas regiões das manchas (MALAVOLTA, 1997).

3.3.7 Toxicidade do Ni

Em geral, a toxidez de Ni se expressa quando a sua concentração na matéria seca das plantas for maior do que 50 mg kg^{-1} , com exceção das espécies acumuladoras e hiperacumuladoras. Aparentemente o Ni interfere na absorção de Fe e inibe o seu metabolismo (UTAMAZIAN et al., 2006).

Outros efeitos da toxidez de Ni são:

- Bloqueio na atividade respiratória e desnaturação do protoplasma celular;
- Aumento do conteúdo de pectina em raízes; diminuição da concentração de clorofila;

- Diminuição da atividade da catalase ao concorrer com o Fe na sua posição no grupo protoporfirínico da enzima;
- Aumento da atividade da enzima peroxidase e distúrbios mitóticos nas pontas de raízes de algumas plantas;
- Interfere a absorção de nutrientes; e produz a plásmólise em células epidérmicas (FISCHEROVA et al., 2006).

A sintomatologia da toxicidade de Ni se apresenta como clorose e posterior necrose de folhas, iniciando-se pelas folhas novas. Em gramíneas, consistem em clorose ao longo das nervuras, ficando a folha interna esbranquiçada, semelhante ao sintoma de carência de Fe e, em casos extremos, há necrose nas margens e redução no crescimento. Os sintomas de toxidez de Ni são semelhantes aos ocasionados pelo excesso de Co e pela deficiência de Fe. Em algumas espécies de planta aparece uma clorose interneval nas folhas novas, que lembra deficiência de Mn. Em outras espécies, os sintomas foram caracterizados inicialmente por clorose e muitos pontos necróticos nas folhas jovens, que progridem rapidamente para as folhas mais velhas e nos internódios. Em estágios mais avançados da toxidez, as plantas apresentam, além dos sintomas já descritos, diminuição do tamanho das folhas e entre nós, manchas necróticas nos pecíolos das folhas e caules, desfolhamento e fenecimento (DAM, 2001; FISCHEROVA et al., 2006).

3.3.8 Toxicidade do Cr

O Cr tem sido considerado essencial para os homens e os animais por participar do metabolismo da glicose. Entretanto, não há evidências de sua necessidade para as plantas. É também relatado como responsável pela formação de nódulos e aumento da habilidade de fixação do nitrogênio por leguminosas. A absorção e translocação de Cr são muito baixas, embora sejam variáveis com a espécie considerada. Por causa de sua afinidade por cargas negativas, o Cr é imobilizado, principalmente, nas raízes e não na superfície radicular como o Pb. Os níveis de Cr na parte aé-

rea são, portanto, muito baixos (0,02 a 1 mg kg⁻¹) e elevam-se somente um pouco quando os sintomas de toxidez aparecem (BERGMANN, 1992).

Aparentemente os tecidos radiculares não são capazes de estimularem a redução de Cr³⁺ para Cr²⁺, forma absorvida pelas plantas. Os sintomas de toxicidade de Cr manifestam-se como inibição do crescimento, clorose nas folhas jovens, folhas pequenas de coloração vermelho-amarronzado ou púrpura e lesões necróticas (MARGUES et al., 2002).

3.4 Metais pesados e efeitos tóxicos no homem.

Alguns metais pesados são considerados essenciais do ponto de vista biológico, enquanto outros não são. Entretanto os essenciais podem, sob condições específicas, causar impactos negativos a saúde humana e ao ecossistema, constituindo-se, assim, em contaminantes ou poluentes de solo e da água (GUILHERME e MARCHI, 2005).

3.4.1 Efeitos biotóxicos dos metais em humanos

Segundo Kar et al.(1992) e Valitutto (2004), os metais pesados ocorrem como constituintes naturais da crosta terrestre como contaminantes ambientais e o que diferencia os metais pesados de outros poluentes tóxicos são a sua não biodegradabilidade. Com passar do tempo, os metais acumulam-se no organismo humano ao entrarem no sistema biológico orgânico através dos alimentos, ar e água.

Os metais possuem a habilidade de se ligar a moléculas de proteínas e interfere na replicação do DNA e subsequente divisão das células. Para prevenir problemas de saúde é essencial a remoção desses metais pesados tóxicos da terra e/ou água antes de disponibilizá-la (HUTTON e SYMON, 2007).

Os metais pesados também podem ser emitidos para o meio ambiente através de causas naturais e antrópicas, especificamente através de exploração de minas, em alguns casos, mesmo cessando as longas atividades de exploração de minas, os metais persistem no meio ambiente (NRIAGU, 1989; HUTTON e SYMON, 2007).

Várias fontes de emissão de metais ocorrem pelas indústrias, o Cd é liberado como produto de refinamento de Zn e o Pb é emitido durante as atividades de mineração e combustão de petróleo (DURUIBE et al, 2007). Outra fonte bastante comum trata-se do resíduo urbano, por exemplo, pilhas, baterias e lâmpadas fluorescentes contém Hg; muitas tintas contém Pb; enquanto baterias de celular e plásticos coloridos contém Cd. Neto et al.,(1999), fizeram uma estimativa das quantidades de alguns metais pesados dispersos no resíduo sólido urbano brasileiro, assim como a contribuição de cada componente deste resíduo para a quantidade final de metais no composto (Tabela 4).

Tabela 4. Estimativa das quantidades de metais pesados dispersos no resíduo sólido urbano brasileiro.

Materiais	Metais %				
	Cd	Pb	Cu	Zn	Cr
Plástico	67 - 77				
Metais Ferrosos		29 - 50	14 - 50		
Couro					35
Borracha				32-37	
Papel		10 -14			

FONTE: NETO et al. ,(1999)

3.4.2 Exposição humana através de alimentos, solo, ar e água

Estudos apontam que a poluição de metais pesados na superfície e nas fontes de água subterrânea resulta consideravelmente na poluição do solo. A deposição de metais na superfície é exposta ao ar e a chuva gerando assim a drenagem no solo desses contaminantes. O acúmulo de metais no solo principalmente na agricultura pode acarretar um acúmulo nas plantas. Conseqüentemente os animais que se alimentam das plantas de solos contaminados e bebem águas poluídas acumulam esses metais no seu organismo e no leite em animais lactantes (HORSFALL e SPIFF, 1999; (DURUIBE et al., 2007)).

Seres humanos também se encontram expostos aos metais pesados pelo próprio consumo de plantas e animais contaminados e isso é conhecido como resultado de desencadeamento de várias desordens bioquímicas. Todos os organismos vivos pertencentes a um ecossistema poderão encontrar-se contaminados durante seus ciclos de cadeia alimentar (DURUIBE et al., 2007). Segundo Horsfall e Spiff, (1999) e Nolan, (2003), o limite tolerante de contaminação por metais pesados no ar, solo, na água potável e natural (Tabela 5).

Tabela 5. Limite tolerante de contaminação por metais pesados no ar, solo, para água potável e natural.

Metal pesado	no ar (mg.m⁻³)	no solo (mg.kg⁻¹)	água potável (mg.L⁻¹)	água natural (mg.L⁻¹)
Cd	0,1 - 0,2	85	0,005	0,0008
Pb	-----	420	0,01	0,058
Zn	1,5	70- 400	0,5	0,0766
Cr	1 - 54	75 -100	0 - 0,117	0 - 0,232
Cu	0,2	60 -125	1,3	2
Ni	0,1	100	0,01	2

FONTE: HORSFALL e SPIFF, (1999); NOLAN, (2003)

3.4.3 Bio-importância dos metais pesados

De acordo com a literatura, alguns metais, como Fe, Zn, Ca e Mg são importantes para a saúde do homem em determinadas concentrações. No entanto, tem sido relatado que outros metais, como As, Cd, Pb e formas metiladas de Hg, mesmo são tóxicos para a saúde do homem (McCLUGGAGE, 1991; FERNER, 2001; NOLAN, 2003; YORNG, 2005). Até para aqueles metais que tem a importância para a boa constituição de saúde do homem, a quantidade de ingestão diária deverá ser regulada e limitada (Tabela 6), pois os excessos darão resultados de envenenamento ou toxicidade, já evidenciados por sintomas que são clinicamente diagnosticados (FOSMIRE, 1990; NOLAN, 2003; YORNG, 2005)

Tabela 6. Limite tolerante de contaminação por metais pesados.

Metal pesado	Máx. Conc. Aceitável (WHO) mg L⁻¹	Máx. Conc. Aceitável (NAFDAC) mg L⁻¹
Zn	5	5
As	0,01	---
Cd	0,003	---
Pb	0,01	---
Ag	0	---
Hg	0,001	---

FONTE: DURUIBE; OGWUEGBU e EGWURUGWU (2007)

3.4.4 Riscos causados por contaminação de metais pesados

Embora efeitos de reações adversas por metais pesados são conhecidos há bastante tempo, entretanto sua exposição continua aumentando em praticamente em todo mundo (JARUP, 2003). Por exemplo, em várias regiões da América Latina, o Hg é ainda usado nas minas de ouro. O uso de As ainda é comum na preservação de madeiras e o Pb é comumente usado no aditivo de petróleo, embora tenha ocorrido

o decréscimo de uso de Pb em países desenvolvidos. Desde metade do século 19, há um acréscimo acentuado de produção e emissões de metais pesados para ambiente. Emissões de metais pesados para o ambiente ocorrem via vários processos e caminhos, por exemplo, através de emissões para o ar durante o processo de combustão, extração e processamento desses metais; contaminação da superfície de água e solo através de escapamento de armazenamento e transporte de material (JARÜP, 2003).

Segundo Moreira e Moreira (2004), os metais pesados podem danificar toda e qualquer atividade biológica, os efeitos tóxicos dos metais pesados e dos compostos de metais dependem da sua conversão em forma biodisponível. Os efeitos dos metais pesados sobre o organismo humano são demonstrados resumidamente na Tabela 7.

Tabela 7. Efeitos de alguns metais pesados sobre a saúde humana.

METAL	APLICAÇÃO/LOCAL DA CONTAMINAÇÃO	SINTOMAS
Al	Nas áreas Urbanas e Industriais	A principal via de exposição e a ingestão de alimentos. Observa-se osteomalacia em humanos expostos, com evidência de neurotoxicidade. O acúmulo de alumínio no organismo está associado ao aumento de casos de demência senil do tipo Alzheimer
Cd	Usado na galvanoplastia, na produção de ligas para proteção contra corrosão. Na manufatura de baterias e de cerâmicas de vidro e em alguns biocidas	A intoxicação provoca pneumonites agudas com edemas pulmonar letal, náuseas, vômitos, salivação e câimbras. Casos sérios levam a danos no fígado, convulsões, choques, problemas renais e depressões cardiopulmonares
Pb	Aplicado na fabricação de baterias, pigmentos e produtos químicos.	Os primeiros sintomas são fadigas, anemia e distúrbios neurológicos. Dependendo do nível e da duração da exposição, resulta em mau funcionamento geral do corpo, de inibição de enzimas a mudanças morfológicas e morte. O adulto absorve 10 % do chumbo que passa pelo corpo, enquanto as crianças retêm 50 %. Os efeitos produzem perda de apetite, constrição, fraqueza cólicas, dores musculares, hipertensão, disfunção renal e danos ao sistema nervoso
Cu	Utilizado na indústria de fiação elétrica, na galvanização, na produção de ligas e de tubulações hidráulicas e também com conservante de pintura	A alimentação contribui com 78 % do total de cobre ingerido pelo corpo, mas existem poucos casos de efeitos agudos. O principal sintoma é a queimação gástrica, seguida de vômitos e diarreia
Cr	Usado na fabricação de ligas, em incineradoras municipais e em lodo de esgoto.	A exposição aguda produz, náuseas, diarreia, danos no fígado e nos rins, hemorragias internas, dermatites, bronquites, rinite e pneumonia. Há evidências de que o cromo seja carcinogênico para trabalhadores da produção de cromados.
Zn	Usado na galvanoplastia, na produção de ligas para proteção contra corrosão	Sintomas de toxicidade incluem: náusea, vômito, dor epigástrica, diarreia, tontura, anemia, febre e distúrbios do sistema nervoso central
Hg	Tem aplicação em biocidas, na indústria farmacêutica e na manufatura de polímeros sintéticos.	Os sintomas incluem dores no peito, dispnéia, tosse, falta de ar, faringite, dores abdominais, náuseas diarreia sanguinolenta, lesões renais e intestinais e atrofia cerebral nos casos graves
Ni	Nas áreas industrializadas.	Já está presente em tecidos humanos, mas a exposição exagerada provoca irritação de pele, rinite e sinusite

3.5 Ocorrência de metais pesados na Amazônia

Especificamente nas metrópoles do norte (Manaus e Belém) o problema da contaminação por metais pesados ocorre principalmente devido ao processo de ocupação desordenada e resíduo industrial. Com isso, além do Hg, essas cidades registram níveis elevados de metais pesados nas águas dos igarapés, solos, sedimentos, plantas, etc. No caso de Manaus já foram realizados alguns trabalhos que constataam esse fato (LARCERDA e PFEIFFER, 1992; ARTAXO et al., 2000 e WASSERMAN et al., 2001).

Valle (1998), fez uma caracterização química e física da fração trocável em solos do Polo Industrial de Manaus (PIM) e demonstrou que as concentrações de metais pesados (Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn) em todos os pontos coletados encontravam-se modificadas, mostrando alterações em todas as suas propriedades. A determinação de metais também indicou que a atividade antrópica influenciava de forma negativa a área. Os níveis desses metais eram bastante elevados, principalmente na estação seca, onde foram encontrados os maiores valores de concentração.

Santos (2002), estudou dois solos que fazem parte da bacia dos igarapés do Polo Industrial de Manaus, onde foi caracterizada a textura, acidez total, MO, CTC, dentre outras. Os resultados mostraram de maneira geral que a mineralogênese desses solos está modificada pela atividade antrópica apresentando em sua composição mineralógica: óxidos de ferro magnéticos (magnetita e maghemita), que não fazem parte da composição desses solos. Entretanto, os parâmetros físicos e químicos desses solos são de forma geral típicos da região Amazônica. Bentes (2001) analisou amostras de Espodossolo Hidromórfico coletadas nas proximidades e distante das indústrias do PIM. Os resultados mostraram que as substâncias despejadas pelo PIM estavam alterando as propriedades químicas e físicas dos solos.

Santana e Barroncas (2007), estudaram as conseqüências da liberação do chorume no sistema hídrico da bacia do Tarumã-Açu. Amostras de água e sedimento foram coletadas nos igarapés Matrinxã, Acará, Bolívia, bacia do Tarumã-Açu e dentro do aterro sanitário. Os resultados obtidos revelaram que a concentração

dos metais pesados estavam acima dos valores permitidos pela resolução 357/2005 do CONAMA em praticamente todos os locais amostrados, no Aterro Sanitário e nos corpos hídricos estudados.

3.6 Características vegetativas da *Alocasia macrorrhiza* na Amazônia

Fazendo parte dos ecossistemas de várzeas da Amazônia, *Alocasia macrorrhiza* ou popularmente chamada de Orelha-de-elefante-gigante, inhame-gigante e de taiá-rio-branco, pertencente à família *Araceae*, forma grandes populações às margens dos rios e igarapés (MACEDO et al., 2005). Segundo Grayum (1990) e Coelho (2000), a família *Araceae* compreende cerca de 105 gêneros e aproximadamente 3300 espécies de herbáceas e trepadeiras. Tam et al. (2004), descreveram as *Araceae*, que por sua vez são divididas em 9 subfamílias: *Gymnostachydoideae*, *Pothoideae*, *Monsteroideae*, *Calloideae*, *Lasioideae*, *Philodendroideae*, *Colocasioideae*, *Aroideae* e *Pistioideae*. A família possui ampla distribuição e predominantemente tropical, sendo que cerca de 10% dos gêneros estendem-se às zonas temperadas do norte.

A região amazônica é formada por uma extensa área hidrográfica, recortada por rios e igarapés. Suas margens são transformadas em vários ecossistemas inundáveis, totalizando uma área de aproximadamente 200.000 km² de matas inundadas (MACEDO et al., 2005).

Junk e Piedade (1993), referiram a região Amazônica, em áreas próximas às margens dos rios, pois muitas dessas espécies mostram adaptações, vivendo tanto em terrenos alagados como nos secos (Figura 2).

3.6.1 *Alocasia macrorrhiza*

Herbácea perene, ereta, com rizoma inicialmente subterrâneo e com o tempo tornando-se volumoso e elevando-se a cerca de 50 cm da superfície, de grande efeito ornamental pela folhagem, com vários metros de altura, originária da Malásia e



(a) Terreno alagado

(b) Terreno seco

Figura 2: *Alocasia macrorrhiza* em seu habitat

Java. Folhas muito grandes, pétalas, com nervuras branco acinzentada destacadas, de margens onduladas, com pecíolos robusto e carnoso de cor verde-esbranquiçadas. Inflorescência em serie de 4 - 5 flores dispostas em leque, formadas principalmente no verão é muito visitados por mamangavas. Adequada para plantio isolados ou em grupo, a meia sombra ou pleno sol, protegido por vento, canteiro férteis, multiplica-se por sementes e por brotações laterais do rizoma (Figura, 3) (LORENZI e FILHO, 2001).



(a) Folha

(b) Caule

(c) Raiz

Figura 3: *Alocasia macrorrhiza*

3.7 Ácido etilenodiaminatetraacético - EDTA

O EDTA foi usado pela primeira vez, como reagente volumétrico, por SCHWARZENBACH ³, na titulação do cálcio na determinação da dureza em águas; tanto o ácido como o sal dissódico, são designados pela sigla EDTA. A grande estabilidade desse complexo abriu um grande campo de aplicação na química analítica e na recuperação de áreas degradadas. A primeira fase num processo de descontaminação dessas técnicas é separar o metal do solo usando um agente quelante formando uma solução complexada metal -quelante (KIM et al., 2003; ROSA et al., 2004; SHIBATA et al., 2007).

Diversos trabalhos (Tabela 4) têm demonstrado que a adição de quelantes sintéticos, aumenta a disponibilidade no solo e eleva eficientemente a concentração de metais pesados na parte aérea das plantas (MELO et al., 2006).

Aplicação	Contaminantes	Referência
<i>B. juncea</i> <i>Brassica</i> <i>T. caerulescens</i>	Zn, Cd, Cu	XING e NASCIMENTO, 2006
<i>Brassica rapa L. subsp</i>	Pb, Zn, Cd, e Cu	SHEN et al., 2002
<i>Zea mays</i> <i>Stizolobium aterrimum</i>	Pb, Zn e Cu,	MELO et al., 2006
Solo	Cu, Zn, Cd, Pb, Ni	MEERS et al., 2004
<i>Salsola Kali</i>	Pb	ROSA et al., 2004
Solo	Cd, Cu, Zn, Ni, Pb	COBBETT, 2000
Solo	Pb	SHIBATA et al., 2007

Figura 4: Aplicação do EDTA como extrator de metais

O EDTA é um agente quelante não específico com propriedade de formar complexos muito estáveis com quase todos os cátions metálicos polivalentes, alcalinos-terrosos, metais pesados inclusive terras raras e complexo mais estável quando se

³Gerold Karl Schwarzenbach (March 15, 1904 - May 20, 1978) Químico Suíço

encontra no grau de oxidação mais alto (XING e NASCIMENTO, 2006).

O EDTA apresenta-se em forma de pó cristalino, branco, fracamente solúvel em água e somente 2 dos 4 átomos de hidrogênios dos grupos carboxílicos são fortemente ácidos (Figura 5). O ácido tetrabásico forma uma série de sais mono, di, tri e tetrasódico com crescente solubilidade em água (COBBETT, 2000).

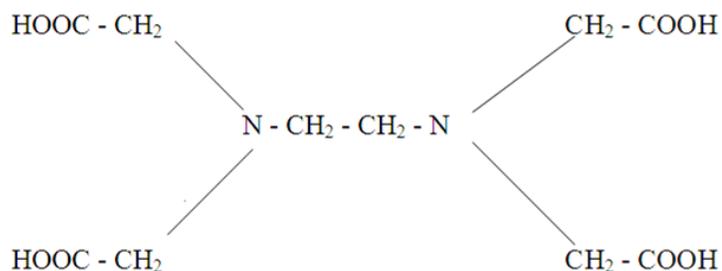


Figura 5: Estrutura do EDTA

Uma das características do EDTA é comportar-se como um ligante hexadentado (Figura 6) em que seis átomos doadores estão envolvidos nas ligações com o cátion metálico bivalente (SKOOG et al., 2006).

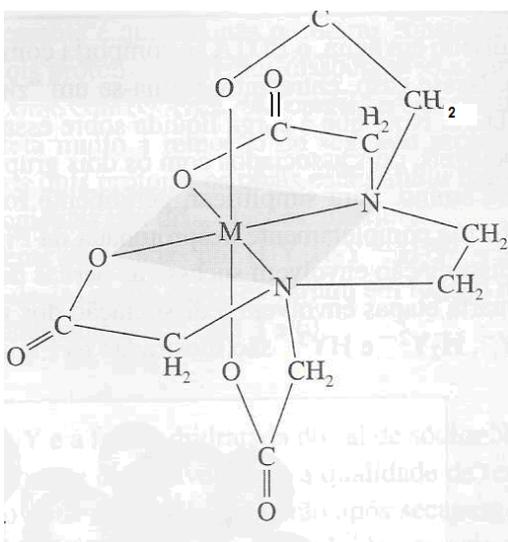


Figura 6: O íon complexo EDTA-metal

No entanto, a principal limitação para o uso de quelantes sintéticos no

campo, especialmente EDTA, é sua baixa biodegradabilidade. Isto resulta na manutenção de elevados teores de metais solúveis no solo por longo período, o que aumenta os riscos de lixiviação (SHEN et al., 2002; MEERS et al., 2004).

3.8 Análise estatística

3.8.1 Teste paramétrico

Os testes de hipótese são designados como testes paramétricos. Os testes paramétricos utilizam os parâmetros da distribuição, ou uma estimativa destes, para o cálculo de sua estatística. Normalmente, esses testes são mais rigorosos e possuem mais pressuposições para sua validação, os testes de hipóteses estão entre os tipos mais comuns de inferência (MOORE e McCABE, 2002). Os testes de hipóteses paramétricos são os mais utilizados, muitas vezes devido ao não conhecimento dos seus concorrentes não-paramétricos. No entanto, a validação dos resultados dos testes paramétricos depende da verificação de suas pressuposições que se satisfazem simultaneamente com as seguintes condições (REIS e JUNIOR, 2007).

- Os testes incidem sobre um parâmetro de uma ou mais populações sobre a média ou valor esperado, ou sobre a variância;
- A distribuição de probabilidades da estatística de teste pressupõe uma forma particular das distribuições populacionais de onde as amostras foram recolhidas a uma distribuição de estatística do teste *t-Student* para comparar as médias de duas amostras.
- Pressupõe-se que as amostras foram retiradas de uma população que se distribui segundo uma função de probabilidades Normal, e além disso pressupõe também que as variâncias das duas amostras são homogêneas.
- Os erros ou resíduos ϵ_i (tal que $x_i = \mu + \epsilon_i$) têm distribuição normal;
- Os erros ou resíduos ϵ_i têm variância finita e constante σ^2 ;

- Os erros ou resíduos ϵ_i são independentes.

Se alguns desses pressupostos forem violados, os testes tradicionais não terão valor estatístico.

O Teste de Bartlett é o método mais comum aplicado para testar a homogeneidade das variâncias (VIEIRA, 2004). Neste contexto o teste estatístico é:

$$B = 2,30259 \left[\left(\log S_p^2 \right) \left(\sum_{i=1}^k v_i \right) - \sum_{i=1}^k v_i \log S_i^2 \right]$$

Onde: $v_i = n_i - 1$: graus de liberdade da amostra i , n_i : o tamanho da amostra e S_i^2 : a variância de cada amostra.

A variância total é calculada pela equação:

$$S_p^2 = \frac{\sum_{i=1}^k SS_i}{\sum_{i=1}^k v_i}$$

onde $SS_i = (n_i - 1)(S_i^2)$.

A distribuição B é aproximada pela distribuição X^2 -Quadrado, com $k-1$ graus de liberdade. Para uma maior aproximação da distribuição Qui-Quadrado calcula-se um fator de correção dado por:

$$C = 1 + \frac{1}{3(k-1)} \left(\frac{\sum_{i=1}^k \frac{1}{v_i}}{\sum_{i=1}^k v_i} - \frac{1}{\sum_{i=1}^k v_i} \right)$$

Onde o teste estatístico corrigido torna-se $B_c = B/C$

Quando B_c é menor que o valor crítico $X_{\alpha; k-1}$, onde α representa o nível de significância (usualmente adotado 5%), tem-se evidências para aceitar H_0 , ou seja, aceita que as variâncias sejam iguais.

3.8.2 Teste não-paramétrico

A Estatística não-paramétrica é uma ferramenta necessária na análise de dados quando o ajuste de um determinado modelo matemático não se verifica, ou seja, quando os dados provenientes de algum experimento não satisfazem a suposição de normalidade e homogeneidade de variâncias (SIEGEL e CASTELLAN, 2006). Portanto, os métodos em estatística não-paramétrica são baseados em grupos, o que conduz a uma ordenação dos dados. Isso faz com que as novas observações sejam dependentes, dificultando a obtenção das estatísticas de testes e uma possível distribuição para essa estatística.

Os testes não-paramétricos mais utilizados em pesquisas tendo como objetivo as comparações entre grupos. Entre eles destacam-se (JACQUES e SIDIA, 2003):

- Teste de Wilcoxon - é aplicado quando estão em comparação dois grupos relacionados e a variável deve ser de mensuração ordinal.
- Teste de X^2 -quadrado - é aplicado quando estão em comparação dois ou mais grupos independentes não necessariamente do mesmo tamanho. A variável deve ser de mensuração nominal. O teste X^2 -quadrado não tem equivalente nos paramétricos.
- Teste de Mann-Whitney - é aplicado quando estão em comparação dois grupos independentes e a variável deve ser de mensuração ordinal.
- Teste de Kruskal-Wallis - é aplicado quando estão em comparação três ou mais grupos independentes e a variável deve ser de mensuração ordinal.

3.8.3 Coeficiente de Correlação de Pearson - r

Vários coeficientes são utilizados para situações diferentes. O mais conhecido é o coeficiente de correlação de Pearson, o qual é obtido dividindo a covariância de duas variáveis pelo produto dos seus desvios padrão. Apesar do nome, ela foi inicialmente apresentada por Francis Galton (RODGERS, 1988).

O coeficiente de correlação $\rho_{x,y}$ entre duas variáveis aleatórias X e Y com valores esperados μ_x e μ_y e desvios padrão σ_x e σ_y é definido como

$$\rho_{XY} = \frac{\text{cov}(x,y)}{\sigma_x \sigma_y} = \frac{E((X-\mu_x)(Y-\mu_y))}{\sigma_x \sigma_y}$$

onde

E é o operador valor esperado e *cov* significa covariância.

Uma formulação alternativa, expressa unicamente em termos dos valores esperados, é possível dado que

$$\mu_x = E(X)$$

e

$$\sigma_{X^2} = E(X^2) - E^2(X)$$

e que o mesmo se verifica de forma semelhante para Y, e dado também que

$$E[(X - E(X))(Y - E(Y))] = E(XY) - E(X)E(Y) \text{ temos}$$

$$\rho_{X,Y} = \frac{E(XY) - E(X)E(Y)}{\sqrt{E(X^2 - E^2) - E^2(Y)}}$$

A correlação é definida somente se ambos os desvios padrão são finitos e diferentes de zero. Pelo corolário da desigualdade de Cauchy-Schwarz, a correlação não pode exceder 1 em valor absoluto.

A correlação é 1, ou correlação positiva, quando ao aumento de uma variável corresponde um aumento da outra. A correlação é -1, ou correlação negativa, quando ao aumento de uma variável corresponde uma diminuição da outra. A correlação toma um valor intermédio em todos os restantes casos, indicando o grau de dependência linear entre as variáveis. Quando mais o coeficiente for aproximado de 1 ou de -1, mais forte é a correlação entre as variáveis.

Se as variáveis forem independentes então a correlação será 0, mas o inverso não se verifica porque o coeficiente de correlação só detecta dependências lineares

entre as variáveis. Como forma de exemplo, suponha que a variável aleatória X está uniformemente distribuída pelo intervalo desde -1 até 1, e que $Y = X^2$. Então Y é completamente determinado por X , de forma que X e Y são dependentes, mas a sua correlação é zero; não estão correlacionados.

Uma correlação entre duas variáveis dilui-se na presença de erros de medição causados pela estimação de uma ou de ambas as variáveis, em cujo caso a disatenuation fornece um coeficiente mais preciso.

3.8.4 Análise de Componente Principais - PCA (*Principal Component Analysis*)

A PCA é um dos métodos estatísticos mais utilizado quando se pretendem analisar dados multivariados e assim, fazer uma estimativa das similaridades dos dados agrupando indivíduos com características semelhantes e estudar suas correlações. O emprego desta análise pode ser verificado nos trabalhos de Santana e Barroncas, (2007), com o estudo de metais pesados na Bacia do Tarumã-Açu Manaus; e Chaves, (2008), com o comportamento de algumas espécies de plantas na absorção de metais pesados. O PCA consiste na projeção das medidas representadas por m -dimensões de uma matriz X (n amostras versus m variáveis) em coordenadas bidimensionais. As m -dimensões da matriz X são decompostas na matriz score T , na matriz loading P' e na matriz erro residual E (Figura 7):

$$\begin{matrix} & m \\ \boxed{X} & \\ n & \end{matrix} = \begin{matrix} & A \\ \boxed{T} & \\ n & \end{matrix} \begin{matrix} & m \\ \boxed{P'} & \\ A & \end{matrix} + \begin{matrix} & m \\ \boxed{E} & \\ n & \end{matrix}$$

Figura 7: Representação da matriz de dados X decomposta em produto de matrizes de posto igual a um.

O PCA consiste essencialmente em reescrever as coordenadas das amostras em outro sistema de eixo mais conveniente para a análise dos dados. Em outras

palavras, as n -variáveis originais geram, através de suas combinações lineares, n -componentes principais (PCs), cuja principal característica, além da ortogonalidade, é que são obtidas em ordem decrescente de máxima variância; ou seja, a componente principal 1 (PC1) detém mais informações que componente principal 2 (PC2), que por sua vez tem mais informação estatística que a componente principal 3 (PC3) e assim por diante (SANTANA e BARRONCAS, 2007). Normalmente, valores de autovalores > 1 são considerados de interesse para a interpretação dos dados estatísticos (DANIELSSON et al.,1999; YÜDEL e DEMIR, 2004).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Coleta da espécie *Alocasia macrorhiza*

Foram coletadas amostra em locais diferentes na cidade de Manaus que apresentam atividades antrópicas e 1 local isento de atividade antrópica (Tabela 8) e (Figura 8):

Tabela 8. Coordenadas geográfica dos locais de coleta

CÓDIGO	LOCAL DE COLETA	COMENTÁRIOS	COORDENADAS GEOGRÁFICAS
PT	Conjunto residencial Petros – Bairro Tiradentes	Área residencial próximo a igarapé, cujo crescimento das plantas ocorre sobre Argissolo.	30.04'.32,58" S e 590.58'.54,37" W
UB	Universidade Luterana – Bairro Atilio Andreazza	Área residencial próximo a igarapé, cujo crescimento das plantas ocorre sobre Latossolo Amarelo	3 ^o .04'.42,43" S e 59 ^o .58'.31,53" W
UF*	Universidade Federal do Amazonas – Bairro Coroado	Área não impactada, o crescimento das plantas ocorre sobre Latossolo Amarelo	3 ^o .06'.04,38" S e 59 ^o .58'.27,11" W
TOR	Torquato Tapajós – Bairro Flores	Área residencial próximo a igarapé, cujo crescimento das plantas ocorre sobre argissolo.	3 ^o .04'.13,22" S e 60 ^o .01'.30,53" W
JV	Conjunto Jardim de Versailles – Bairro Planalto	Área residencial o crescimento das plantas ocorrem sobre Argissolo.	3 ^o .03'.46,40" S e 60 ^o .03'.25,85" W
POS	Posto Rodoviário de Manaus da Rodovia Br 174, km 7	Rodovia interestadual, cujo crescimento das plantas ocorre sobre Latossolo Amarelo ao lado de igarapé	2 ^o .58'.22,20" S e 60 ^o .00'.58,52" W

Local controle (*)

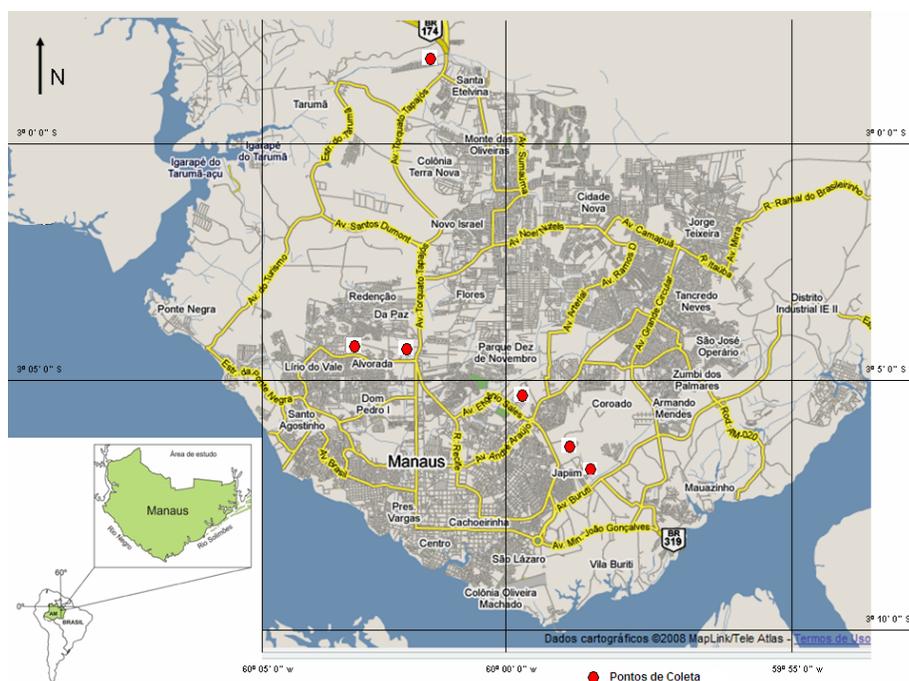


Figura 8: Locais onde foram coletadas as amostras

4.2 Identificação Botânica

Para a identificação da espécie foi escolhida uma amostra representativa de cada local de coleta e na casa de vegetação, localizada na Faculdade de Ciências Agrárias da UFAM. Feita a coleta, foi confeccionada uma exsicata no laboratório de Botânica na qual foi depositada no herbário da UFAM.

- Família: *Araceae*
- Gênero: *Alocasia*
- Espécie: *Alocasia macrorrhiza*
- Nome comum: orelha-de-elefante-gigante.
- Ciclo: Perene
- Exsicata nº 8183
- Distribuição: predominantemente tropical

4.3 Estudo da espécie *Alocasia macrorrhiza* em casa de vegetação

O experimento foi conduzido em casa de vegetação do Departamento de Ciências Agrárias - UFAM, utilizando-se mudas de *Alocasia macrorrhiza* que foram obtidas no Campus Universitário UFAM. O solo foi preparado com amostras de solo vindo do Aterro Sanitário (solo contaminado - C), UFAM (solo não Contaminado - NC) e Terra Preta (Solo orgânico - TP). A mistura desses solos seguiu uma proporção (1:1:1), em seguida a mistura foi acondicionada em um recipiente de 10 Litros (Figura 9).



Figura 9: Recipiente utilizado no experimento

As plantas foram mantidas por um ano. Após esse período, procedeu-se à colheita das plantas, separando-as em raiz, caule e folhas. As raízes, o caule e as folhas foram então lavadas em água destilada, postas a secar ao ar por um período de 15 dias até peso constante. Determinou-se o peso de matéria seca que, em seguida, foi moída em moinho tipo *Willey*, equipado com peneira de 0,38 mm, para posterior análise. Em 0,5 g, após digestão nítrico-perclórica (4:1) em v/v à um digestor com temperatura de 160 °C por \pm 40 min, as amostras digeridas foram transferidas para um balão volumétrico de 50 mL com porções d'água deionizadas para análise das concentrações dos metais Cu, Zn, Pb, Ni, Cd e Cr na raiz, no caule

e nas folhas por espectrometria de absorção atômica (GBC modelo AAS 932 PLUS), pelo método direto e chama de ar/acetileno (FAAS) nos comprimentos de ondas (nm) e sensibilidades (mg kg^{-1}): Cd (228,8 e 0,009); Cr (357,9 e 0,05); Cu (324,7 e 0,025); Ni (232,0 e 0,04); Pb (217,0 e 0,06) e Zn (213,9 e 0,008).

4.4 Determinação pH em H₂O e CaCl₂ 0,01 M

Foram transferidos 10g de TFSA (Terra Fina Seca ao Ar) para Erlenmeyer de 125 mL e adicionados 25 mL de H₂O deionizada para medida em água e separadamente em 10g TFSA adicionou-se 25 mL de solução de CaCl₂ 0,01 M para esta medida. Ambas as soluções foram agitadas por 15 minutos a 250 rpm. Após 30 minutos de decantação foram executadas as leituras (MALAVOLTA, 1997).

4.5 Extração dos metais pesados com etilenodiaminotetracético (EDTA) nos Solos

Preparou-se concentrações (3, 6, 9, 12, 15 mmol kg^{-1}) de EDTA na forma sódica (Na₂EDTA) para cada amostra de solo (TFSA) dos locais de coleta e em seguida foram separadas em triplicatas em tubos de 50 mL para posterior agitação por um período de 8 horas. Após o período de agitação realizou-se a separação das fases por centrifugação (13000 rpm). Logo após a centrifugação as amostras foram adicionadas em micro-tubos de 2,0 mL para posterior leitura por (FAAS) para determinar dos teores dos metais Cu, Pb, Zn, Cd, Ni e Cr.

4.6 Análise estatística

Para analisar estatisticamente os resultados obtidos neste experimento, utilizou-se o teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis para mais de duas médias e o teste de Mann-Whitney para duas médias (VIEIRA, 2004). O software utilizado na análise foi Minitab versão 14 e o programa Epi-Info 3.5 for Windows. O nível de significância utilizado nos testes foi de 5%. Neste experimento os dados apresentados

em tabelas e gráficos, em que se encontram a mediana, primeiro (Q1) e terceiro (Q3) quartil, utilizou-se o teste da não normalidade dos dados. Para a casa de vegetação análise foi adotado o mesmo procedimento.

Para descrever similaridade entre os locais amostrados, bem como suas correlações foram avaliados pela análise exploratória baseada nas análises hierárquica (HCA) e pelos componentes principais (PCA).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Distribuição de metais pesados na planta

Os resultados, obtidos das análises químicas das partes da planta, revelaram a seguinte seqüência para a concentração média de metal absorvido: $Pb \gg Cr > Cd > Cu$ (Figura 10). Algo comum nessa seqüência é que ela se repete nas três partes da planta: raiz, caule e folha com excessão para o Ni e Zn. Esse fato indica que a *Alocasia macrorrhiza* não prioriza uma região para acumular metais; ou seja, ao ser absorvido pelas raízes se distribuir por toda a planta.

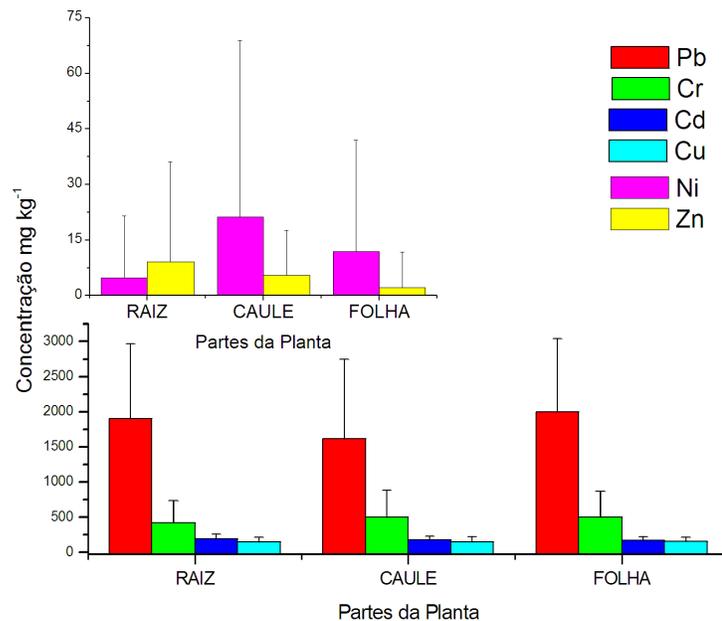


Figura 10: Distribuição dos metais pesados em cada parte da planta

Acredita-se que a fisiologia e/ou o mecanismo molecular de transporte dessa

planta facilita a distribuição dos metais analisados. A literatura mostra que a redistribuição do metal ocorre pelo floema, onde cada elemento apresenta uma mobilidade diferente, por exemplo, N, P, K, Mg, Cl, Mo são bastante móveis e S, Cu, Fe, Mn, Zn são pouco móveis, já Ca, B são praticamente imóveis (MARSCHNER e DELL, 1994). Segundo O’Leary (1994), plantas com essa característica são conhecidas como excludoras; ou seja, a concentração do metal nos tecidos da planta é mantida constante até um determinado nível constante.

Além disso, plantas excludoras normalmente são capazes de tolerar grandes quantidades de metais pesados em tecidos (O’LEARY, 1994). Particularmente para a *Alocasia macrorhiza* observa-se, ainda, que pode ser classificada como uma planta tolerante a múltiplos metais (ANTOSIEWICZ, 1994; BAKER et al., 2000). Além de ser capaz de acumular concentrações variando entre 10 e 100 vezes de Pb, Cd, Cr e Cu (Tabela 9). Esse resultado permite afirmar que *Alocasia macrorhiza* está dentro dos critérios encontrados em Baker et al., (2000) para ser uma planta promissora para ser usada na implantação de um programa de fitorremediação, pois ela é hiperacumuladora desses metais.

Tabela 9: Absorção média dos valores obtidos em *in situ* pelas plantas

Metais	Valores absorvidos pelas Plantas (mg.kg ⁻¹)		
	<i>In situ</i>	Hiperacumuladora *	Normais **
Pb	1816.83	>1000	0,1 – 5
Cr	429.85	> 100	0,2 – 5
Cd	201.07	> 100	0,1 – 3
Cu	157.41	>1000	5 – 35
Ni	10.29	>1000	1 – 10
Zn	7.99	>10000	1 - 400

(*) - valores absorvidos por planta hiperacumuladoras (BAKER, 1981; 1987)

(**) - valores normais de absorção (GARDEA et al., 2005; LI, 2007)

Particularmente para o Pb, cuja imobilização depende da presença de alguns polímeros orgânicos presentes no tecido da planta (TAPERO et al., 2007), sua alta concentração nas três partes da partes da planta indica ausência de fixadores desse metal na *Alocasia macrorhiza*. Outro aspecto a ser considerado é o estresse da *Alocasia macrorhiza*, pois a literatura mostra um aumento do translocamento de

metal das raízes para as folhas é indicativo dessa situação (RASKIN et al., 1997; PERALTA-VIDEA et al, 2004). Dadas as propriedades físicas e químicas do Pb a sua distribuição pelas partes da folhas revelam, além do estresse, que a *Alocasia macrorrhiza* é fitovolatilizadora para esse metal (SOARES, 2001). As concentrações baixas de Ni e Zn, encontradas na *Alocasia macrorrhiza*, pode estar relacionada ao aumento á presença de Cd na planta. Jalil et al. (1994) verificaram que altas concentrações de Cd nos tecidos de uma planta contribuem significativamente para a redução de micronutrientes, como Ni e Zn.

5.2 Comportamento dos metais pesados em função do local de coleta

A diferenciação na distribuição dos metais pesados, analisados na *Alocasia macrorrhiza*, fica mais evidente em relação ao local amostrado. Nas raízes o Pb, Cd, Cu e Cr são os metais que praticamente apresentaram o mesmo comportamento independente do local amostrado (Figura 11). Por outro lado, Ni e Zn tiveram concentrações variáveis dependente dos locais onde foram coletadas as amostras de *Alocasia macrorrhiza*.

Dependendo do local o Zn foi mais absorvido que o Ni e vice-versa. Esse comportamento poderia ser explicado somente pela baixa biodisponibilidade desses metais ou mesmo devido à variação do pH (5,74 a 6,56)do solo. Segundo King (1996), um aumento no valor de pH do solo de 4,0 para 6,0 reduz a biodisponibilidade tanto de Zn quanto de Ni. Entretanto, as concentrações de Cd observadas nas raízes levam a concluir que a *Alocasia macrorrhiza* exibe efeito antagônico em relação a Zn e Ni. Em várias espécies, a absorção de Zn e Ni foi reduzida pela presença de Cd (JALIL, SELLES e CLARKE, 1994; YANG et al., 1996; NASCIMENTO, FONTES e NEVES, 1998; PAIVA et al., 2004).

Muito embora, observa-se um aumento da quantidade de Ni nos caules e redução da quantidade de Pb em alguns locais amostrados (Figura 12). Quando

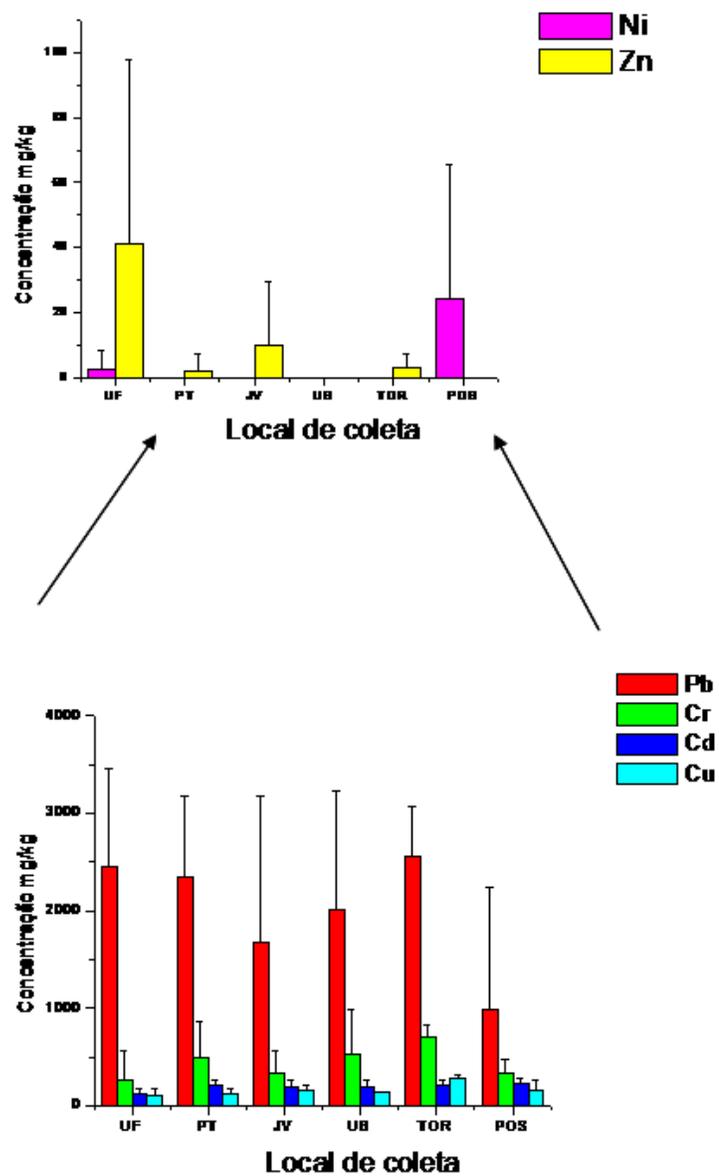


Figura 11: Variação da concentração dos metais pesados na raiz nos locais de coleta.

comparado com as plantas coletadas em área não-contaminada (UF) nota-se que a quantidade de metais na planta esta relacionada com a quantidade de Ni e Zn no solo. Praticamente, não houve alteração entre a quantidade de metais presente nas raízes e caules na reação não-impactada. O mesmo não pode ser dito para as regiões impactadas cujas quantidades de metais absorvidas variaram consideravelmente, com aumento e reduções de concentração. Em princípio, a quantidade de Ni transportada das raízes para as partes superiores da planta, exerce papel importante no mecanismo de absorção dos outros metais.

Quando comparadas as concentrações das raízes até as folhas nota-se (Figuras 11, 12 e 13) em região não-impactada a quantidade de Zn é raízes > caule > folha. O Pb, por sua vez, parece que na *Alocasia macrorrhiza* encontrou uma espécie de canal que o conduz diretamente para a atmosfera; ou seja, praticamente não há mudanças na concentrações nas três partes da planta. Essa ordem não é obedecida para aquelas amostras que foram coletadas em regiões impactadas. Embora, de acordo com os resultados o Pb é fitovolatilizado independentemente das condições ambientais do solo.

Em termos de acumulação destaca-se o Cr, pois sua presença em todas as partes da planta é ainda uma questão a ser respondida (AZEVEDO e CHASIN, 2003). Ainda não existem estudos comprovando a sua essencialidade ou mesmo toxicidade. Castilhos et al., (2001) afirmam que a toxicidade do Cr está relacionada com o seu estado de oxidação (Cr^{3+} e Cr^{6+}) e a capacidade de tolerância de diversas espécies.

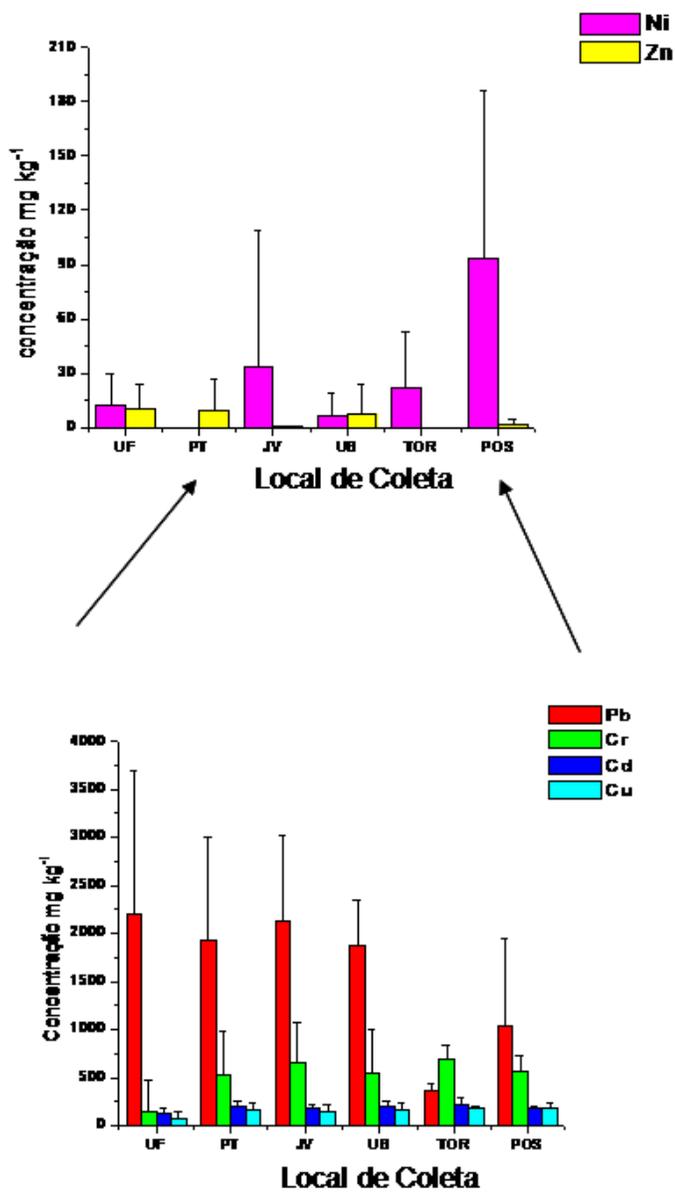


Figura 12: Variação da concentração dos metais pesados no caule nos locais de coleta.

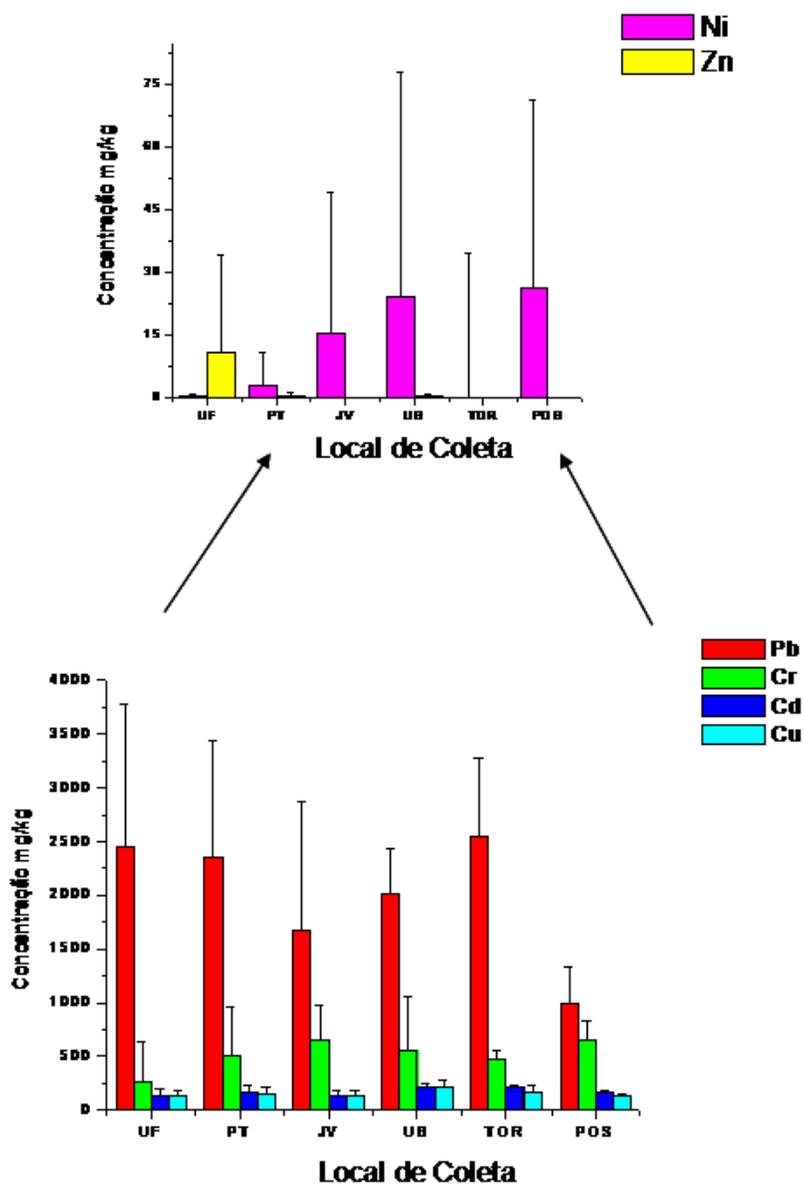


Figura 13: Variação da concentração dos metais pesados na folha nos locais de coleta.

5.3 Estudo estatístico

O método estatístico não-paramétrico, usado devido ao fato de que os dados não obedecerem à distribuição normal, foi usado para comparar se existe diferença significativa em termos de local amostrado e partes da plantas. Os dados das médias das três partes da planta relativos aos locais amostrados revelam de modo geral que diferenças de P variando entre 0,075 e 0,516 (Tabela 10). Particularmente para Cd e Pb, o teste estatístico não-paramétrico mostra que não há diferenças significativas em termos de local amostrado, com $P_{Cd} = 0,017$ e $P_{Pb}=0,022$.

O teste não-paramétrico relativo às partes da planta coletada em área não-impactada (UF) é caracterizado por mostrar a existência de diferenças significativas para todos os metais analisados. Interessante notar que a maior quantidade de metais é encontrada nas três partes da planta. O Cd tem maior quantidade no caule; o Cr nas raízes e Cu e Pb nas folhas; os demais devido à baixa quantidade absorvida não pôde ser avaliada.

Dependendo do local amostrado, observa-se uma mudança na concentração de metal nas partes da planta. Para o Cd a maior concentração mudou do caule para as raízes em JV, POS, PT e TOR; já para UB a maior concentração ocorreu nas folhas. O mesmo pode ser afirmado para o Cr, só que a maior concentração mudou das folhas para o caule: JV, POS e TOR. Em PT a concentração permaneceu praticamente constante no caule e folhas. Em UB a mudança de maior concentração ocorreu nas folhas.

Tabela 10. Distribuição segundo as medianas de absorção dos metais em relação ao local de coleta e na planta, Manaus-Am.

Local planta/Metal	Local de coleta												
	JV		POS		PT		TOR		UB		UF		
	Med.	Q ₁ /Q ₃	Med.	Q ₁ /Q ₃	Med.	Q ₁ /Q ₃	Med.	Q ₁ /Q ₃	Med.	Q ₁ /Q ₃	Med.	Q ₁ /Q ₃	P*
Cd	152,3	135/208	181,2	164/210	189,6	156/242	184,1	157/248	189,6	136/250	119,3	82/185	0,017
Caulo	176,7	134/177	163,9	160/210	189,6	156/244	175,1	150/184	184,5	136/229	149,6	98/168	
Folha	137,6	120/140	175,8	160/189	172,1	129/208	189,6	177/196	193,7	190/242	103,7	82/206	
Raiz	193,0	152/208	212,5	181/283	208,3	157/244	247,9	176/277	185,5	130/254	119,3	102/156	
p**	0,184		0,193		0,479		0,298		0,691		0,932		
Cr	510,2	254/829	518,2	401/632	750,4	3/895	531,5	424/610	728,5	142/946	---	0,441	0,069
Caulo	763,6	510/960	651,9	358/666	761,4	0/933	582,5	529/647	728,5	162/918	---	0/0	
Folha	644,1	510/820	558,7	518/867	760,2	3/900	509,8	424/532	768,2	62/946	---	0,440	
Raiz	329,4	254/501	400,7	164/419	557,5	0/759	584,9	315/610	243,0	189/841	168,6	0/392	
p**	0,205		0,177		0,789		0,402		0,968		0,700		
Cu	155,8	103/195	141,6	131/201	157,5	99/199	159,2	130/253	141,4	128/243	81,8	61/166	0,075
Caulo	155,8	103/200	201,4	131/234	173,7	126/205	183,9	159/193	138,8	92/227	69,4	45/99	
Folha	113,3	103/179	134,3	118/155	157,5	93/229	134,6	132/156	246,6	199/254	146,1	82/162	
Raiz	185,1	140/195	141,6	46/273	99,7	57/184	253,4	116/271	134,0	128/141	62,6	61/167	
p**	0,690		0,670		0,571		0,677		0,145		0,482		
Ni	---	0/0	---	0/78	---	0/0	---	0/44	---	0/0	---	0/1	0,098
Caulo	---	0/0	95,2	0/185	---	0/0	---	0/44	---	0/0	---	0/27	
Folha	---	0/0	---	0/78	---	0/0	---	0/0	---	0/0	---	0/0	
Raiz	---	0/0	---	0/72	---	0/0	---	0/0	---	0/0	---	0/0	
p**	0,581		0,363		0,368		0,891		0,581		0,581		
Pb	1876	1155/3033	1387	728/1581	1824	1499/2566	596,5	157/1906	1847	1541/2123	1880	1366/3533	0,022
Caulo	2358	1876/2666	1539	0/1581	1825	1499/2055	136,5	0/291	1914	1418/2123	1366	1288/3533	
Folha	1291	1155/1538	868	728/1387	1832	1554/3067	2038	1067/3067	1847	1840/2015	2144	1577/2312	
Raiz	2698	1408/3667	1891	559/3067	1788	1308/3067	1167	476/1829	1602	1542/1855	1880	1606/2238	
p**	0,677		0,561		0,797		0,011		0,698		0,698		
Zn	---	0/0	---	0/0	---	0/0	---	0/0	---	0/0	---	0/32	0,516
Caulo	---	0/0	---	0/5	---	0/29	---	0/0	---	0/0	---	0/18	
Folha	---	0/0	---	0/0	---	0/0	---	0/0	---	0/0	---	0/0	
Raiz	---	0/3	---	0/0	---	0/0	---	0/0	---	0/0	---	0/103	
p**	0,266		0,368		0,618		0,581		0,581		0,675		

Valor de p em negrito itálico indica diferença estatística ao nível de 5%. Med = mediana, Q₁ = Quartil * Teste de Kruskal-Wallis para comparação dos locais de coleta; ** Teste de Kruskal-Wallis para comparação do local na planta, (—) valores abaixo detecção da técnica.

Para o Cu observa-se uma mudança da maior concentração das folhas para o caule nos locais POS, PT e TOR. JV a mudança ocorreu para a raiz e UB permaneceu na folha.

O Pb também apresentou alterações na maior quantidade em função do local amostrado. JV e POS ele se concentrou mais nas raízes; em PT a maior concentração ocorreu na folha e caule e em UB somente no caule.

Os diversos valores de P encontrados para as partes da planta revelam que a *Alocasia macrorhiza* modifica a sua fisiologia e conseqüentemente a sua capacidade de acumular metais em seus tecidos. Esse comportamento permite afirmar que a *Alocasia macrorhiza* realiza o seu processo de hiperacumulação por fitoextração (KUMAR et al., 2000). Para o entendimento da capacidade da *Alocasia macrorhiza* de acumular metais deve estudada com mais profundidade.

A literatura mostra que essa tolerância está associada à capacidade da planta em conviver com excesso de contaminantes acumulados em seus tecidos (MALAVOLTA et al., 1997). Barceló e Poschenrieder (1992) afirmam que a tolerância é fundamental na fitorremediação e envolve inúmeros mecanismos de impedimento da absorção, ou de mecanismos bioquímicos. O impedimento refere-se à habilidade da planta em prevenir a excessiva absorção do contaminante, como acontece com espécies exclusoras, resultando em: i) alteração de permeabilidade da membrana celular vegetal; ii) Mudanças na capacidade de adsorção nas paredes celulares; e iii) aumento na exsudação de substâncias quelantes.

Para Schat e Kalff (1992) os mecanismos bioquímicos deveriam se levados em conta, pois estão os mesmos estão diretamente relacionados a: i) produção intercelular de compostos ligantes, tais como aminoácidos, ácidos orgânicos e fitoquelatinas (por exemplo, metais pesados) e/ou alterações nas formas de compartimentalização, no metabolismo celular e na estrutura da membrana.

As matrizes de dados relativos às concentrações de metais presentes nas partes da planta foram padronizadas como forma de corrigir as diferenças encontradas. Sendo os dados submetidos às análises dos componentes principais (PCA) e hierár-

quica (HCA) como forma de descrever a similaridade entres os locais amostrados considerando o total de variáveis, bem como suas correlações, além de encontrar os conjuntos de variáveis que possam ser consideradas redundantes. Nesse sentido, o PCA e HCA foram analisados utilizando cada parte da planta.

Para interpretação do PCA foram considerados aqueles autovalores cujas médias foram maiores que 1,00 (SANTANA e BARRONCAS, 2007). Assim, para todas as partes da planta foi possível considerar apenas PC1 e PC2, com as variâncias mostradas na Tabela 11:

Tabela 11: Autovalor, PC *loading*, autovalor obtido das matrizes padronizadas

Partes da planta	PC	Autovalor	% da Variância	Variância Acumulativa (%)
Raiz	1	3,21	53,6	53,6
	2	1,95	32,6	86,1
Caule	1	3,63	60,4	60,4
	2	1,34	22,3	82,7
Folha	1	3,18	53,0	53,0
	2	1,59	26,4	79,4

Os resultados revelam que os dados das concentrações de metais presentes na raiz podem ser explicados com 86,1%, no caule com 82,7% e folha 79,4%. Em termos de PC1 e PC2, as seguintes relações foram observadas:

- Na raiz - PC1 Ni, Zn e Pb - PC2 Ni
- No Caule - PC1 Zn e Pb - PC2 Ni
- Nas folhas - PC1 Ni e Zn - PC2 Cu

Essas relações revelam que Zn e Ni são aqueles elementos importantes nos processos de absorção dos metais estudados pela *Alocasia macrorrhiza*, eventualmente Pb e Cu são significativos. De fato, o comportamento dos metais absorvido da área não-impactada para impactada é modificado quando as concentrações de Zn e Ni aumentam nas partes da planta.

A matriz de Pearson diversas correlações com $|r| > 0.5$, destaca-se as correlações entre Pb-Zn e Pb-Cu que ocorrem na raiz e no caule (Tabela 12). Fato que leva a pensar que o processo de absorção de grandes quantidade de Pb depende sinergicamente da concentração de Zn e Cu.

Tabela 12: Matriz de correlação de Pearson r

Partes da planta	Cr	Ni	Zn	Cu	Cd	Pb
Raiz	Cr					
	Ni	-0,674				
	Zn	-0,623				
	Cu		-0,644			
	Cd		-0,549	-0,934		
	Pb			0,695	0,663	
Caule	Cr					
	Ni					
	Zn	-0,689	-0,567			
	Cu	0,880		-0,601		
	Cd	0,818			0,846	
	Pb			0,623	-0,628	
Folha	Cr					
	Ni	-0,677				
	Zn	-0,683	0,999			
	Cu					
	Cd		-0,696	-0,674	-0,264	
	Pb					

Nas folhas, por outro lado, o Pb não apresenta nenhuma correlação, indicando que para o processo de fitovolatilização a *Alocasia macrorrhiza* simplesmente libera esse metal para o ambiente.

Um fato que chama a atenção é a quantidade de $r < -0,5$, cujos sentidos não contribuem para a absorção desses metais; ou seja, quando a concentração de um aumenta a outra diminuiu e vice-versa. Na maioria das correlações negativas se observa a presença de Cr, Cd e Cu com Ni e Zn. Os dois últimos com menor quantidade nos tecidos da *Alocasia macrorrhiza*, indicando que existe uma relação antagônica entre esses metais.

Os PC - *loading* relativos à PC1 - PC2 das partes da planta mostram que o Ni exerce papel importante na sua construção para raiz e caule, para a folha o Cu

(Figura 14, 15, 16). Na raiz Cu - Cr tem uma contribuição negativa e Pb - Zn positiva no processo de construção do PC-loading tanto da raiz como do caule. Na folha o PC-loading recebe contribuição negativa de Cr - Cd e positiva de Ni-Zn. Nota-se que no processo de construção dos três PC-loading o Ni e Zn aparecem como variáveis essenciais para o processo de absorção de metais realizado pela *Alocasia macrorrhiza*.

Os gráficos PC1 versus PC2 e os dendrogramas, como consequência da relação de metais absorvidos, mostram as similaridades nas três partes da planta mas são diferentes em função dos locais amostrados: área não-impactada e impactada. Em termos de raiz há similaridade entre PT-JV e UB-POS; no caule a similaridade ocorre para PT - UB e JV - POS - TOR e na folha UF - PT e UB - TOR. Esse resultado confirma que a *Alocasia macrorrhiza* apresenta um comportamento de planta exclusora de metais .

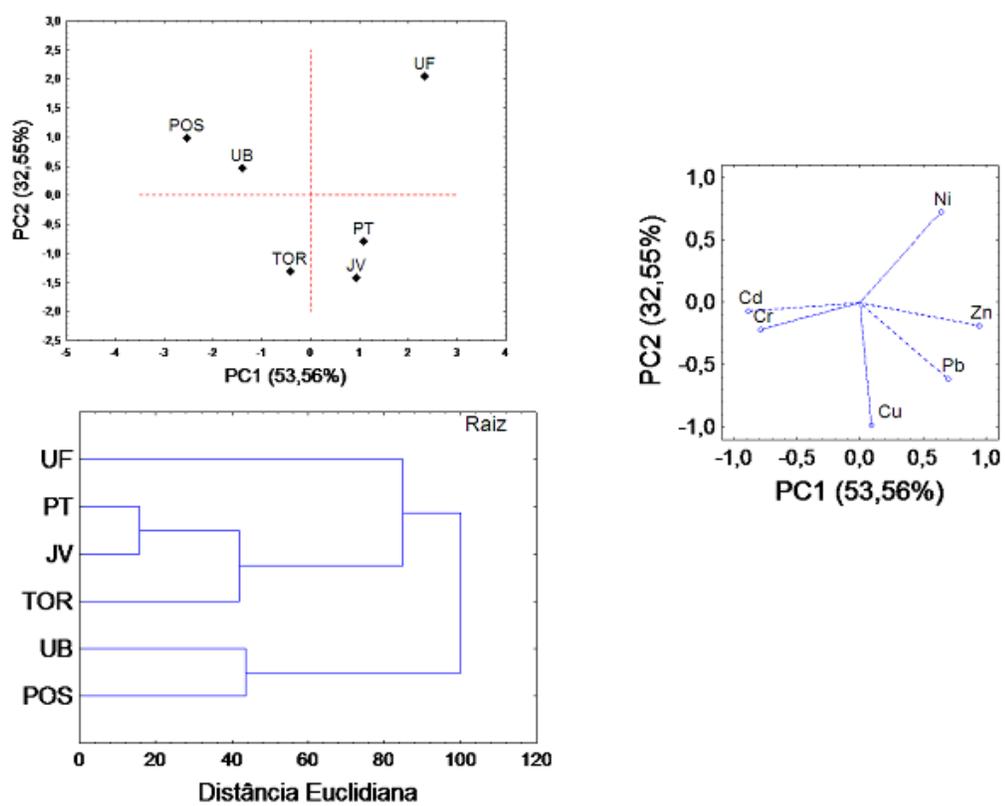


Figura 14: PC loading e dendrogramas relativos às partes da planta (Raiz).

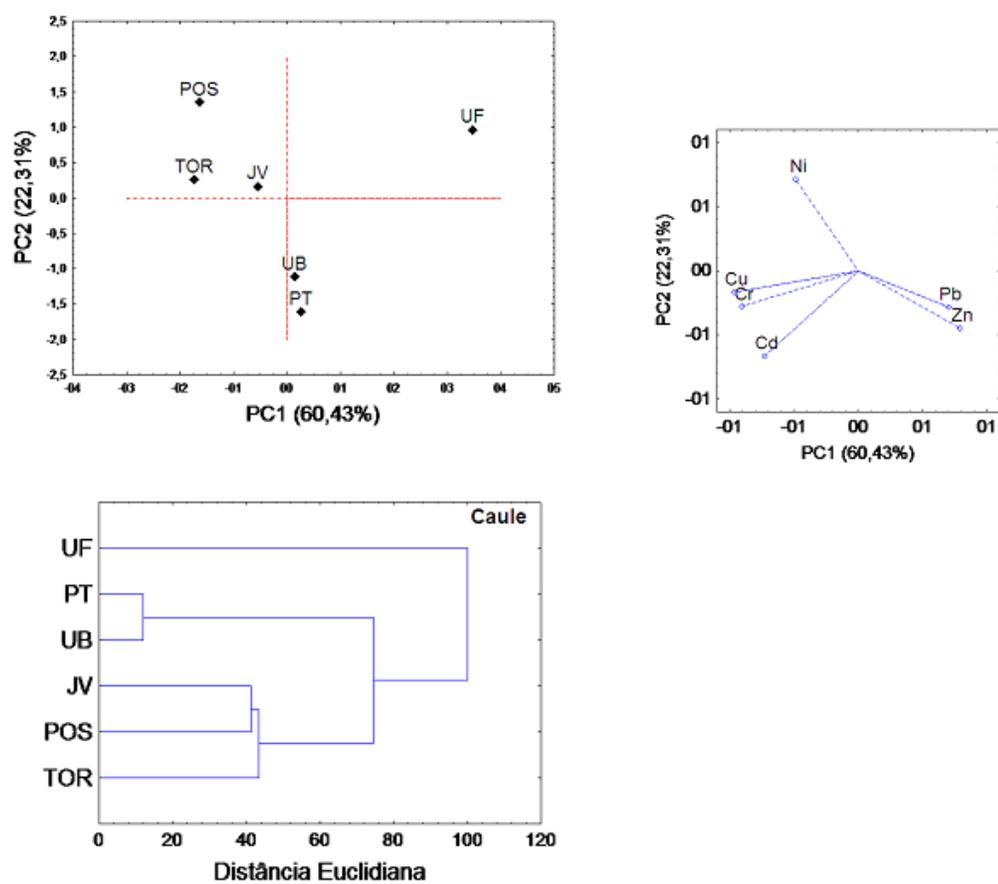


Figura 15: PC loading e dendrogramas relativos às partes da planta (Caule).

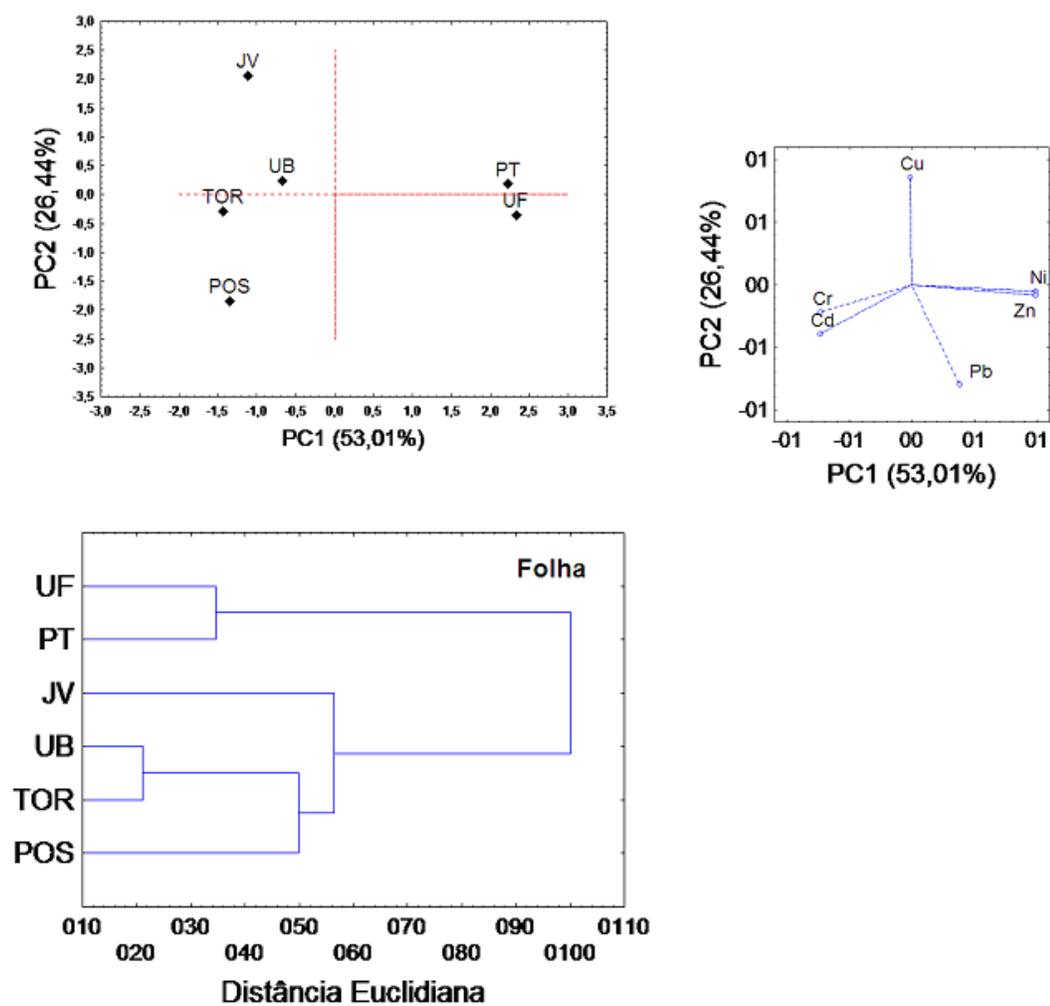


Figura 16: PC *loading* e dendrogramas relativos às partes da planta (Folha).

A influência do Ni sobre o processo de absorção dos metais pela *Alocasia macrorrhiza* fica mais evidente nos resultados obtidos no cultivo dessa planta realizado em casa de vegetação com solo contaminado, que é uma combinação de solos proveniente do aterro sanitário de Manaus, terra preta (rica em matéria orgânica) e controle (C + NC + TP, 1:1:1), atributos mostrados na Tabela 13. A Tabela 13 apresenta os resultados do tratamento não-paramétrico, sendo o Zn retirado dos cálculos por apresentar uma concentração muito baixa.

Tabela 13. Distribuição dos metais pesados na espécie *Alocasia macrorrhiza* em Casa de Vegetação

Local planta/Metal	Solo				P*
	C+NC+TP		C+TP		
	Med.	Q ₁ /Q ₃	Med.	Q ₁ /Q ₃	
Geral					
Cu	227,3	176/234	162,2	122/211	0,102
Ni	56,6	0/144	56,6	0/125	0,785
Cr	153,5	0/222	377,7	0/752,4	0,322
Cd	162,4	152/236	182,4	168/225	0,691
Caule					
Cu	220,8	176/227	181,3	105/227	0,827
Ni	160,2	0/227	-----	0/121	0,246
Cr	201,7	0/917	377,7	299/795	0,513
Cd	252,1	152/268	225,0	106,9/319	0,827
Folha					
Cu	234,3	231/266	122,4	118/211	0,049
Ni	123,4	34/144	125,3	0/281	0,827
Cr	153,5	0/222	752,4	461/838	0,049
Cd	162,4	126/236	173,5	132/283	0,513
Raiz					
Cu	129,8	143,1/224	162,2	143,1/224	0,513
Ni	-----	0/57	56,6	0/155	0,346
Cr	95,7	0/312	-----	0/0	0,121
Cd	158,9	132/233	182,4	168/215	0,709

Valor de p em negrito itálico indica diferença estatística ao nível de 5%. * Teste de Kruskal-Wallis, (—) valores abaixo detecção da técnica

Os valores de P, exceção de Cu e Cr presentes na folha, foram muito altos o que representa uma diferença no processo de absorção em função da constituição do solo onde a planta é cultivada. Esse resultado foi observado também para aquelas

plantas, coletadas *in situ*.

Os resultados obtidos mostram que na combinação C + NC + TP, cuja concentração de Ni é alta no caule e folha e baixa na raiz, é similar para aquelas plantas coletadas em PT, JV, UB e TOR. O Cu e Cr não apresentaram diferença significativa ($P < 0,05$) muito provavelmente devido a fato de a planta ter alcançado o seu limite de absorção desses dois metais.

Os resultados mostraram que *Alocasia macrorhiza* tem habilidade para acumular altas quantidades de metais pesados. Segundo a literatura, plantas como *Alocasia macrorhiza* tem a habilidade compartimentar em seus vacúolos, além de possuir uma série de quelatos, grandes quantidades de metais. Outra característica importante é sua capacidade de translocar rapidamente uma quantidade razoável de metais das raízes para as folhas. Particularmente, a *Alocasia macrorhiza* deve ser rica em histidina e/ou maleato, quelatos capazes de complexar facilmente com o Ni. A histidina presente em plantas hiperacumuladora é capaz de transportar cerca de 40% de Ni na forma do complexo $\text{Ni}(\text{histidina})_2$ das raízes até as folhas (CHANEY et al., 1997).

5.4 Extração com EDTA de Pb e Cr

As extrações de Pb e Cr com cinco concentrações diferentes de EDTA para verificar a biodisponibilidade desses metais nos solos estudados. Essa é outra forma de verificar se a disponibilidade pode está relacionada com a solução desse metal no solo como íon livre e complexo solúvel ou adsorvido aos constituintes inorgânicos e sítios de troca (LASAT, 2002).

O Pb é considerado na literatura sobre o solo um dos metais pesados com menor mobilidade, sendo acumulado naturalmente nos horizontes superficiais. A forma química em que se encontra nos solos varia consideravelmente de um tipo de solo para outro, pois está sempre associado à argilominerais, oxiidróxidos de ferro, alumínio e manganês (KABATA-PENDIAS e PENDIAS, 2000; FRANCHINI et al., 1999).

Sendo assim, possui baixa solubilidade no solo cuja absorção depende quase que exclusivamente da capacidade da raiz em retirá-lo do ambiente para ser estocado nas paredes celulares (RAMANI et. al., 2002). A Figura 17 mostra a distribuição relativa do Pb extraído pela solução de EDTA. A distribuição relativa é praticamente igual ao Pb determinado na raiz da plantas coletadas *in situ*. Os resultados revelam que as concentrações de 3 a 15 (mmg.kg^{-1}) simulam a quantidade de Pb extraído pela planta.

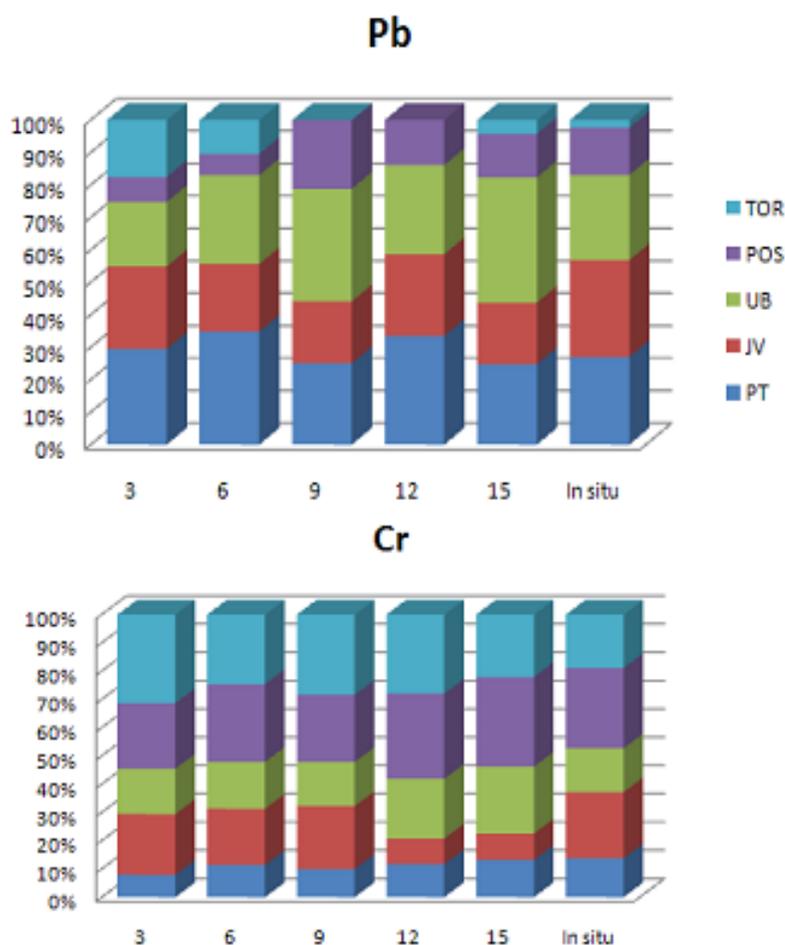


Figura 17: Distribuição relativa de Pb e Cr em função da extração com EDTA.

Esse comportamento mostram que o Pb, apesar de baixa mobilidade em condições normais, é facilmente translocado na presente de quelantes. Dessa forma,

plantas quando estressadas liberam quantidade razoáveis de substâncias dentro as quais quelatos. No caso da *Alocasia macrorhiza* o estresse está em função da presença de Ni e Zn, essa característica explica praticamente não haver diferenças na absorção da área não-impactada da impactada. O mesmo pode ser dito para o Cr.

6 CONCLUSÕES

- Os resultados mostraram que todos os metais Pb,Cr, Cd, Cu, Ni e Zn foram absorvidos da mesma forma independentemente do local;
- Todas as concentrações encontradas dos metais Pb,Cr, Cd, Cu e Ni estavam acima dos limites normais de absorção de uma plantas, apenas o Zn permaneceu no limite;
- Absorção dos metais $Pb > Cr > Cd > Cu > Ni > Zn$ obedeceu a mesma seqüência em todas as partes da planta, isto é apresentou o mesmo comportamento;
- O Cu foi o único metal que não apresentou variação significativa nas partes da planta e nos locais de coletas;
- O Zn e Ni foram os metais que foram absorvidos em menor quantidade
- Devido ao baixo teor de Zn , favoreceu a absorção do Cr;
- Com solos com pH variando de 5,74 a 6,56 próximo da neutralidade pode ter dificultado a absorção do Zn e Ni;
- As concentrações de EDTA que melhor extraiu Cr estão na faixa de 12 a 15 $mg\ kg^{-1}$
- Os resultados mostraram que a *Alocasia macrorrhiza* apresentou maior afinidade pelo Pb e Cr apresentando uma característica de uma planta hiperacumuladora para esses metais;

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACCIOLY, A. M. A.; SIQUEIRA, J. O. Contaminação química e biorremediação do solo. **in: Tópicos em Ciência do Solo**, v.1, n.1, p.299–351, 2000.

AGUIAR, S. O.; BARBOSA, F. A. N.; LIMA, A. F.; PAZ, M. C. F.; ARAÚJO, R. S. Estudo de Bioacumulação de Metais Pesados (Zn e Pb) em Alface Utilizando Cultivo Hidropônico. **in: III Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte Nordeste de Educação Tecnológica**, v.1, n.1, p.1–8, 2008.

ANTOSIEWICZ, D. Adaptation of plants to an environment polluted with heavy metals. **Acta Soceitatis Botanicorum Poloniae, Warszawa**, v.61, n.1, p.281 – 299, 1994.

ARTAXO, P.; CAMPOS, C. C. R.; FERNANDES, E. A. Large scale mercury and element measurement in the amazon basin. **Atmosphere Environment**, v.1, n.1, p.4085–4096, 2000.

AZEVEDO, F.; CHASIN, A. A. **Metais Gerenciamento da Toxicidade**. São Paulo - SP: Atheneu, 2003. 200p.

BAKER, A. J. M. Accumulators end excluders: strategies in the response of plant to heavy metal. **Journal Plant Nutrition**, v.1, n.3, p.643–654, 1981.

BAKER, A. J. M. Heavy Metal. **Journal Plant Nutrition**, v.1, n.3, p.643–654, 1987.

BAKER, A. J. M.; MCGRATH, S. P.; REEVES, R. D.; SMITH, J. A. C. Metal hyperaccumulator plants: a review of the ecology and physiology of a biological

resource for phytoremediation of metal-polluted soils. In: Terry, N and Bañuelos. **Phytoremediation of contaminated soil and water**, v.1, n.1, p.85 – 107, 2000.

BARBER, S. A. **Soil nutrient bioavailability: a mechanistic approach**. New York: John Wiley, 1995. 414p.

BARCELÓ, J.; POSCHENRIEDER, C. Respuestas de las plantas a la contaminación por metales pesados. **Suelo y Planta**, v.2, n.1, p.345 – 361, 1992.

BENTES, K. R. S. Estudos de um Espodossolos Hidromórfico existente na bacia de três igarapé do Distrito Industrial de (Manaus-AM). Manaus-AM, 2001. 95p. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós Graduação em Química Ambiental, Instituto de Ciências Exatas, Universidade Federal do Amazonas.

BERGMANN, W. **Nutritional disorders of plants: developments, visual and analytical diagnosis**. New York: Gustav Fischer, 1992. 741p.

BIOTECH, P. M. Biotecnologia pode contribuir para a recuperação de áreas poluída, 2004. Dissertação (Mestrado) - Jornal Biotech para médicos. Disponível em: <<http://www.cib.org.br>> data de acesso 20 julho de 2008.

BLAYLOCK, M. J.; SALT, D. E.; DUSHENKOV, S.; ZAKHAROVA, O.; GUSSMAN, C.; KAPULNIK, Y.; ENSLEY, B. D.; RASKIN, I. Enhanced accumulation of Pb in Indian Mustard by soil-applied chelating agents. **Environmental Science Technology**, v.31, n.1, p.860–865, 1997.

BROOKS, R. R. Plants that hyperaccumulate heavy metals. **Annals of Botany**, v.1, n.82, p.267–271, 1998.

CASTILHOS, D. D.; GUADAGNIN, C. A.; SILVA, M. D.; LEITZKE, V. W.; FERREIRA, L. H.; NUNES, M. C. Acúmulo de cromo e seus efeitos na fixação biológica de nitrogênio e absorção de nutrientes em soja. **Revista Brasileira de Agrociência**, v.7, n.1, p.121 – 124, 2001.

CASTRO, R. S. Fitorremediação de Solos contaminados por Crômio, Chumbo e Zinco utilizando as espécies amazônicas *Commelina erecta*, *Montagma laxum*, *Borria capitata*, *Panicum maximum*, *Cyperrus surinamensis* e *Neprolepis biserrrata*. Amazonas, 2007. 173p. Tese doutorado - Universidade Federal do Amazonas.

CATALDO, A. D.; GARLAND, T. R.; WILDUNG, R. E. Cadmium uptake kinetics in intact soybean plants. **Plant Physiology**, v.1, n.73, p.835-839, 1983.

CETESB. Relação de áreas contaminadas no Estado de São Paulo. **COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL**, v.1, n.1, p.150, 2007.

CHANEY, R. L.; MALIK, M.; LI, Y. M.; BROWN, S. L.; BREWER, E. P.; ANGLE, J. S.; BAKER, A. J. M. Metal scavenging plants to cleanse the soil. **Phytoremediation of soil metals. Current Opinions in Biotechnology**, v.1, n.8, p.279-284, 1997.

CHAVES, E. V. Comportamento das Espécies *Senna multijuga*, *Caesalpinia echinata* e *Shizolobium amazonicum* em solos Contaminados por Metais Pesados. Amazonas, 2008. 105p. Tese doutorado - Universidade Federal do Amazonas.

COBBETT, C. S. Phytochelatins and Their Roles in Heavy Metal Detoxification. **Plant Physiology**, v.123, p.825 - 832, 2000.

COELHO, M. Philodendron Schott (Araceae): morfologia e taxonomia das espécies da Reserva Ecológica de Macaé de Cima - Nova Friburgo, Rio de Janeiro, Brasil. **Rodriguésia**, v.51, n.78/79, p.21-68, 2000.

COSTA, G.; MOREL, J. L. Cadmium uptake by *Lupinus albus* (L.): Cadmium excretion, a possible mechanism of cadmium tolerance. **Journal of Plant Nutrition**, v.16, n.1, p.1921-1929, 1993.

CROWLEY, D. E.; ALVEY, S.; GILBERT, E. S. Rhizosphere ecology of xenobiotic-degrading microorganisms. **Phytoremediation of Soil and Water Contaminants**, v.1, n.1, p.20–36, 1997.

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

DAM, T. V. Phytoremediation of Metal Contaminantes Soils: Metal Tolerance and metal Accumulation in Pelargonium sp. Canada, 2001. 204p. Thesisd - University of Guelph.

DANIELSSON, A.; CATO, I.; CARMAN, R.; RAHN, L. Spatial clustering of metals in the sediments of the Skagerrak/Kattegat. **Applied Geochemistry**, v.14, n.1, p.689 – 706, 1999.

DOTTON, G. Stemming the tóxic tide. **Compressed Air Magazine**, v.1, n.101, p.38–42, 1996.

DURUIBE, O. J.; OGWUEGBU, M. O. C.; EGWURUGWU, J. N. Heavy metal pollution and human biotoxic effects. **International Journal of Physical Sciences**, v.2, n.5, p.112–118, 2007.

FERNER, D. J. Toxicity, heavy metals. **eMed. J**, v.2, n.5, p.1, 2001.

FISCHEROVA, Z.; TLUSTOS, P.; SZAKOVA, J.; SICHOROVA, K. A comparison of phytoremediation capability of selected plant species for given trace elements. **Environmental Pollution**, v.1, n.144, p.93 – 100, 2006.

FOSMIRE, J. G. Zinc Toxicity. **American Journal of Clinical Nutrition**, v.51, n.2, p.225–227, 1990.

FRANCHINI, J. C.; MYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; MALAVOLTA, E. Dinâmica de íons em solo ácido lixiviadp com extratos de resíduos de adubos verdes e soluções puras de ácidos orgânicos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.34, n.12, p.2267 – 2276, 1999.

GARDEA, J. L.; PERALTA, J. R.; ROSA, A. G.; PARSONSB, J. G. Phytoremediation of heavy metals and study of the metal coordination by X ray absorption spectroscopy. **Coordination Chemistry Reviews**, v.249, p.1797–1810, 2005.

GLASS, D. J. The 1998 United States Market for Phytoremediation. **Glass Associates Needham**, v.1, p.139, 1998.

GRAYUM, M. H. Evolution and Phylogeny of the Araceae. **Ann Missouri Bot Gard**, v.77, n.1, p.628–697, 1990.

GUILHERME, L. R. G.; MARCHI, G. Elemento-traço: os metais pesados no Solo. **DBO Agrotecnologia**, v.2, n.5, p.20–21, 2005.

HACISALIHOGU, G.; KOCHIAN, L. V. How do some plants tolerate low levels of soil zinc? Mechanisms of zinc efficiency in crop plants. **New Phytologist**, v.1, n.159, p.341 – 350, 2003.

HINCHMAN, R. R.; NEGRI, M. C.; GATLIFF, E. G. **Phytoremediation: using green plants to clean up contaminated soil groundwater, and wastewater**. ILLINOIS: Agronne National Laboratory and Applied Natural Sciences, 1998. 13p.

HORSFALL, M. N. J.; SPIFF, A. L. Speciation of Heavy Metals in Intertidal Sediments of the Okirika River System (Nigeria). **Chem. Soc. Ethiop**, v.13, n.1, p.1–9, 1999.

HUANG, J.; CHEN, J.; BERTI, W. B.; CUNNINGHAM, S. D. Phytoremediation of lead-contaminated soils: Role of synthetic chelates in lead phytoextraction. **Environmental Science and Technology**, v.1, n.31, p.800–805, 1997.

HUTTON, M.; SYMON, C. The Quantities of Cadmium, Lead, Mercury and Arsenic Entering the UK. Environment from Human Activities. *Sci. Total Environ.* v. 57, p. 129-150, 1986. In: DURUIBE, J. O.; OGWUEGBU, M. O. C.; EGWURUGWU, J. N. (Ed.). **Heavy metal pollution and human biotoxic effects**. NY: International Journal of Physical Sciences, v. 2, n. 5, 2007. p.112-118.

JACQUES, C.; SIDIA, M. **Bioestatística: Princípios e Aplicações**. Porto Alegre: Artmed, 2003. 264p.

JALIL, A.; SELLES, F.; CLARKE, J. M. Effect of cadmium on growth and uptake of cadmium and other elements by Durum Wheat. **Journal of Plant Nutrition**, v.17, n.11, p.1839–1858, 1994.

JARÜP, L. Hazards of heavy metal contamination. **British Medical Bulletin**, v.68, p.167–182, 2003.

JUNK, W. J.; PIEDADE, M. T. F. Herbaceous plants of the Amazon floodplain near Manaus: Species diversity and adaptations to the flood pulse. **Amazoniana**, v.12, n.3/4, p.467–484, 1993.

KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. **Trace elements in soil and plants**. São Paulo - SP: 4a ed., Boca Raton, CRC Press, 2000. 331p.

KAR, R. N.; SAHOO, B. N.; SUKLA, L. B. Removal of Heavy metal from minewater using sulfate reducing Bacteria. **Pollution Research**, v.11, n.1, p.1–13, 1992.

KIM, C.; LEE, Y.; ONG, S. K. Factors affecting EDTA extraction of lead from lead-contaminated soils. **Chemosphere**, , n.5, p.845–853, 2003.

KING, L. D. Soil heavy metals. In: ALVAREZ, V. H., FONTES, L. E. F., FONTES M. P. F. (eds.) O Solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado. **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo U.F.V, Viçosa - MG**, v.1, n.4, p.200, 1996.

KOCHIAN, L. V. Zinc in soils and plants. In: ROBSON, A. D. (Ed.). **Zinc absorption from hydroponic solutions by plant roots**. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic, 1983. p.45-47.

KUMAR, N. P. B. A.; DUSHENKOV, V.; MOTTO, H.; RASKIN, I. Phytoextraction: the use of plants to remove heavy metals from soils. **Environmental Science Technology**, v.29, n.1, p.1232 – 1238, 2000.

LACERDA, C. L.; PFEIFFER, W. C. Mercury from gold mining in the Amazon environment - an overview. **Quimica Nova**, v.15, n.2, p.155–160, 1992.

LASAT, M. M. **The use of Plants for the Removal of Toxic Metals from Contaminated Soil**. Washington DC: EPA, 2001. 33p.

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

LI, L. Y.; PADMAVATHIAMMA, K. P. Phytoremediation Technology: Hyper-accumulation Metals in Plants. **Water Air Soil Pollut**, v.184, n.1, p.105–126, 2007.

LORENZI, H.; FILHO, L. E. M. **As Plantas Tropicais de R. Burrel Marx - The Tropical Plants of R. Burrel Marx**. São Paulo: Instituto Plantarium de Estudos da flora, 2001. 488p.

MACEDO, E. G.; FILHO, B. G. S.; POTIGUARA, R. C. V.; DOS SANTOS, D. S. B. Anatomia e Arquitetura Foliar de *Montrichardia linifera* (Arruda) Schott (Araceae) Espécie da Várzea Amazônica. **Ciências Naturais**, v.1, n.1, p.19–43, 2005.

MALAVOLTA, E. **Fertilizantes e seu impacto ambiental: micronutrientes e metais pesados, mitos, mistificações e fatos**. São Paulo: Produquímica, 1997. 157p.

MARQUES, J. J. G. S.; CURI, N.; SCHULZE, D. C. Trece elements in Cerrado soils. **R Bras. SC Solo**, v.2, n.1, p.103–142, 2002.

MARSCHNER, H.; DELL, B. Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis. **Plant and soil**, v.159, n.1, p.89 – 102, 1994.

MCCLUGGAGE, D. Heavy Metal Poisoning. **NCS Magazine**, v.1, n.5, p.1, 1991.

MCINTTYRE, T.; LEWIS, G. M. The advancement of phytoremediation as an innovative environmental Technology for stabilization, remediation, or restoration of contaminated sites. **Journal of Soil Contamination**, v.6, n.1, p.227–241, 1997.

MCLAUGHLIN, M. J.; SMOLDERS, E.; MERCKX, R. Soil chemistry and ecosystem health. In: HUANG, M. P. (Ed.). **M Soil-root interface Physicochemical processes**. Madison: Soil Science Society of America, 1998. p.233-277.

MEAGHER, B. R. Phytoremediation of toxic elemental and organic pollutants. **Current Opinion in Biotechnology**, v.3, n.2, p.153 – 162, 2000.

MEERS, E.; HOPGOOD, M.; LESAGE, E.; VERVAEKE, P.; TACK, F. M. G.; VERLOO, M. G. phytoextraction: In Search of EDTA Alternatives. **JornalPhytorem**, v.6, p.95 – 109, 2004.

MELO, E. E.; NASCIMENTO, C. W. A.; SANTOS, A. C. Q. Solubilidade, fracionamento e fitoextração de metais pesados após aplicação de agentes quelantes. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v.30, n.1, p.1051 – 1060, 2006.

MOORE, D. S.; MCCABE, G. P. **Introdução à prática da estatística**. Rio de Janeiro- RJ: 3 ed LTC, 2002. 216p.

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, p.119–129, 2004.

MORRIL, W. B.; MACÊDO, L. S. Origem e comportamento dos Metais Fitotóxicos: Revisão da Literatura. **Tecnol. & Ciên. Agropec**, v.2, n.2, p.29 –38, 2008.

NASCIMENTO, C. W. A.; FONTES, L. R. F.; NEVES, J. C. L. Mineral composition of two Brazilian corn cultivars as a function of cadmium in the nutrient solution. **Journal of Plant Nutrition**, v.21, n.11, p.2369 – 2379, 1998.

NETO, J. T. P.; FILHO, F. B. E.; REIS, E. L.; JORDÃO, C. P. Avaliação Quimométrica da Distribuição de Metais Pesados em Compostos de Lixo Urbano Domiciliar. **Química Nova**, v.3, n.22, p.324 – 328, 1999.

NOLAN, K. Copper Toxicity Syndrome. **Journal Orthomol. Psychiatry**, v.12, n.4, p.270–282, 2003.

NRIAGU, J. C. A global Assessment of Natural Sources of Atmospheric Trace Metals. **Nature**, v.338, p.47–49, 1989.

O'LEARY, J. W. The agricultural use of native plants on problem soils, in Soil Mineral Stresses: Approaches to Crop Improvement. **Springer**, v.1, n.1, p.127 – 143, 1994.

OLIVEIRA, J. A.; CAMBRAIA, J.; CANO, M. A. O.; JORDÃO, C. P. Absorção e Acumulo de Cádmio e seus Efeitos sobre o Crescimento Relativo de Plantas de aguapé e Salvinia. **Revista Brasileira Fisiologia Vegetal**, v.13, n.3, p.329 – 341, 2001.

PAIVA, H. N.; CARVALHO, J. G.; SIQUEIRA, J. O.; MIRANDA, J. R. P.; FERNANDES, A. R. Absorção de nutrientes por mudas de ipê-roxo (*Tabebuia impetiginosa* (Mart.) Standl.) em solução nutritiva contaminada por cádmio. v.11, n.2, p.153–162, 2004.

PENCE, N. S.; LARSEN, P. B.; EBBS, S. D.; LETHAM, D. L.; LASAT, M. M.; GARVIN, D. F.; EIDE, D.; KOCHIAN, L. V. The molecular physiology of heavy metal transport in the Zn y Cd hyperaccumulator *Thlaspi caerulescens*. **PNAS**, v.97, n.9, p.4956 – 4960, 2000.

PERALTA-VIDEA, J. R.; DE LA ROSA, G.; GONZALEZ, J. H.; GARDEA-TORRESDEY, J. L. Effects of the growth stage on the heavy metal tolerance of alfalfa plants. **Advances in Environmental Research**, v.8, n.3, p.679 – 685, 2004.

PILON-SMITS, E. Phytoremediation. **Annual Review of Plant Biology, Palo Alto**, v.6, n.1, p.15 – 39, 2005.

PIRES, A. M. M. Ácidos Orgânicos da Rizosfera: Aspectos Qualitativos e Quantitativos e Fitodisponibilidade de Metais pesados originários de Biossólidos. São Paulo, 2003. 106p. Tese doutorado - Unversidade de São Paulo - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiros".

PIRES, F. R.; SOUZA, C. M.; SILVA, A. A.; PROCÓPIO, S. O.; FERREIRA, L. R. Fitorremediação de Solos Contaminados com Herbicidas. **Planta Daninha**, v.21, n.2, p.335–341, 2003.

RAMANI, S.; SHAIKH, M. S.; SUSEELAN, K. N.; KUMAR, S. C.; JOSHUA, D. C. Tolerance of Sesbania species to heavy metals. **Indian Journal of Plant Physiology**, v.7, n.2, p.174 – 178, 2002.

RASKIN, I.; KUMAR, P. N.; SALT, D. E. Bioconcentration of heavy metals by plants. **Current Opinion in Biotechnology**, v.5, n.1, p.285–290, 1994.

RASKIN, I.; ROBERT, D. S.; DAVID, E. S. Phytoremediation of metals: using plants to remove pollutants from the environment. **Current Opinion in Biotechnology**, v.8, n.2, p.221 – 226, 1997.

REIS, G. M.; JUNIOR, J. I. R. Comparação de testes paramétricos e não paramétricos aplicados em delineamentos experimentais. **III SAEPRO UFV**, v.1, n.1, p.1–13, 2007.

RODGERS, J. L.; NICEWANDER, W. A. Thirteen ways to look at the correlation coefficient. **The American Statistician**, v.42, n.1, p.59–66, 1988.

ROSA, G.; GARDEA-TORRESDEYL, J. L.; PERALTA-VIDEAL, J. R.; ALDRICH, M. Effect of EDTA on Pb(II) Uptake and Translocation by Tumbleweed (*Salsola Kali*): Agar and Hydroponics Studies. **Environmental and Waste Management**, p.575 – 579, 2004.

RYAN, P. R.; REID, R. J.; SMITH, F. A. Direct evaluation of the Ca^{2+} displacement hypothesis for Al toxicity. **Plant Physiology**, v.113, n.1, p.1351–1357, 1997.

SAÚDE, M. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Vi-gisolo: identificação de populações sob risco de exposição e priorização de áreas com populações expostas a solo contaminado. **Disponível em:** <<http://portal.saude.gov.br/portal>> data de acesso 30 de agosto, 2008.

SANTA-MARIA, G. E.; COGLIATTI, D. H. The regulation of zinc uptake in wheat plants. **Plant Science**, v.137, n.1, p.1–12, 1998.

SANTANA, G. P.; BARRONCAS, P. S. R. Estudo de metais pesados (Co, Cu, Fe, Cr, Ni, Mn, Pb e Zn) na Bacia do Tarumã-Açu Manaus - (AM). **Acta amazonica**, v.37, n.1, p.111 – 118, 2007.

SANTOS, G. C. G. Comportamento de B, Zn, Cu, Mn e Pb em solo contaminado sob cultivo de plantas e adição de fontes de matéria orgânica como amenizantes do efeito tóxico. Piracicaba, 2005. 153p. Tese doutorado - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz.

SANTOS, J. S. Caracterização físico química dos solos na área do Distrito Industrial de (Manaus- AM). Manaus-AM, 2002. 85p. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós Graduação em Química Ambiental, Instituto de Ciências Exatas, Universidade Federal do Amazonas.

SCHAT, M.; KALFF, M. M. A. Are phytochelatins involved in differential metal tolerance or do they merely reflect metal-imposed strain? **Plant Physiology**, v.99, n.4, p.1475 – 1480, 1992.

SCHNOOR, J. L. Phytoremediation. In: Technology Evaluation Report. E Series: TE-98-01. **Ground-Water Remediation Technologies Analysis Center**, p.43, 1997.

SCHNOOR, J. L.; MCCUTCHEON, S. C.; WOLFE, N. L. Phytoremediation of organic and nutrient contaminants. **Environment Science Technology**, v.1, n.29, p.318–323, 1995.

SHEN, Z.; LI, X.; WANG, C. C.; CHEN, H. M.; CHUA, H. Lead Phytoextraction from Contaminated Soil with High-Biomass Plant Species. **Jornal Environment**, v.31, p.1893 – 1900, 2002.

SHIBATA, M.; KONNO, T.; AKAIKE, R.; XU, Y.; SHEN, R.; MA, J. F. Phytoremediation of Pb contaminated soil with polymer-coated EDTA. **Plant Soil**, v.290, p.201 – 208, 2007.

SIEGEL, S.; CASTELLAN, N. J. **Estatística não-paramétrica para ciências do comportamento**. Porto Alegre: Editora Artmed, 2006. 216p.

SKOOG, D. A.; WEST, D. M.; HOLLER, F. J.; CROUCH, S. R. **Fundamentos de Química Analítica**. São Paulo: Pioneira, 2006. 1124p.

SOARES, C. R. F. S.; SIQUEIRA, J. O.; CARVALHO, J. G.; MOREIRA, F. M. S.; GRAZZIOTTI, P. H. Crescimento e Nutrição Mineral de *Eucalyptus maculata* e *Eucalyptus urophylla* em Solução Nutritiva Com Concentração Crescente de Cobre. **Revista Brasileira Fisiologia Vegetal**, v.12, n.3, p.213 – 225, 2001.

TAM, S. M.; BOYCE, P. C.; UPSON, T. M.; BARABÉ, D.; BRUNEAU, A.; FOREST, F.; J S PARKER, J. Intergeneric and intrafamilial Phylogeny of subfamily Monsteroideae (Araceae) revealed by chloroplast TRNL-F sequences. **American Journal of Botany**, v.91, n.3, p.490–498, 2004.

TAPPERO, R.; PELTIER, E.; GRAFE, M.; HEIDEL, K.; GINDER-VOGEL, M.; LIVI, K. J. T.; RIVERS, M. L.; MARCUS, M. A.; CHANEY, R. L.; SPARKS, D. L. Hyperaccumulator *Alyssum murale* relies on a different metal storage mechanism for cobalt than for nickel. **New Phytologist**, v.1, n.175, p.641 – 654, 2007.

TESAR, M.; REICHENAUER, T. G.; SESSITSCH, A. Bacterial rhizosphere populations of black poplar and herbal plants to be used for phytoremediation of diesel fuel. **Soil Biology & Biochemistry**, v.34, n.12, p.1883 – 1892, 2002.

UTAMAZIAN, M. N. S.; WENZEL, W. W. PHYTOEXTRACTION OF METAL POLLUTED SOILS IN LATIN AMERICA. **Environmental Applications of Poplar and Willow Working Party**, v.1, n.1, p.1 – 17, 2006.

VALITUTTO, R. S. Acumulação de poluentes inorgânicos por macrófitas aquáticas nos reservatórios de Santana e Vigário, Barra do Piraí-RJ, 2004. 110p. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Química, Universidade Federal Fluminense, Niterói - RJ.

VALLE, C. M. Impacto ambiental Urbano: Avaliação física e química dos solos da bacia do igarapé do Quarenta (Manaus- AM). Manaus-AM, 1998. 79p. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós Graduação em Química de Produtos Naturais, Instituto de Ciências Exatas, Universidade Federal do Amazonas.

VASSIL, A.; KAPULNIK, Y.; RASKIN, I.; SALT, D. E. The role of EDTA in lead transport and accumulation by Indian mustard. **Plant Physiology**, v.1, n.117, p.447–453, 1998.

VIEIRA, S. **Bioestatística, Tópicos Avançados**. Rio de Janeiro- RJ: 2 ed Elsevier, 2004. 216p.

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

WALLACE, A.; ROMNEY, E. M.; ALEXANDER, G. V. Some interactions in plants among cadmium, other heavy metals, and chelating agents. **Agronomy Journal, Madison**, v.69, n.1, p.18–20, 1997.

WASSERMAN, J. C.; HACON, S. S.; WASSERMAN, M. A. O ciclo do Mercúrio no ambiente amazônico. **Mundo e Vida**, v.2, p.43–53, 2001.

WATANABE, M. E. Phytoremediation on brink of commercialization. **Environment Science Technology**, v.31, p.182A–186A, 1997.

WELCH, R. M.; NORVELL, W. A. Cadmium in soils and plants. In: MCLAUGHLIN, M. J.; SINGH, B. R. (Ed.). **Mechanisms of Cd uptake, translocation and deposition in plants**. Dordrecht: Kluwer Academic Publisher, 1999. p.125-150.

XING, B.; NASCIMENTO, C. W. A. Phytoextraction : a review on enhanced metal availability and Plant Accumulation. **Agricultural Science**, v.63, n.3, p.299 – 311, 2006.

YANG, X.; BALIGAR, V. C.; MARTENS, D. C. Cadmium effects on influx and transport of mineral nutrients in plant species. **Journal of Plant Nutrition**, v.19, n.3, p.643 – 656, 1996.

YÚDEL, Y.; DEMIR, C. Principal component analysis and cluster analysis for the characterization of marbles by capillary electrophoresis. **Talanta**, v.63, n.1, p.451, 2004.

YORNG, R. A. Toxicity Summary for Cadmium. Risk Assessment Information System. **University of Tennessee**. Disponível em <www.rais.ornl.gov> acesso 15 de abril 2007, 2005.

Glossário

- **Adsorção:** (1) Fixação de moléculas à superfície de outra substância (normalmente um sólido). (2) Uma superfície sólida em contato com uma solução tem tendência a acumular uma camada superficial de moléculas de soluto, principalmente devido ao desequilíbrio de forças superficiais existentes.
- **Anorexia:** Perda ou ausência de apetite por alimento.
- **Antropogênica:** Efeitos, processos, objetos ou materiais antropogênicos são aqueles derivados de atividades humanas, em oposição a aqueles que ocorrem em ambientes naturais sem influência humana.
- **Apoplasto:** Numa planta, o apoplasto é o nome dado ao conjunto dos compartimentos existentes exteriormente à membrana plasmática, onde ocorre difusão simples. A rota apoplástica facilita o transporte de água e de solutos através de um tecido ou órgão.
- **Argila** Formada pela alteração de certas rochas, como as que tem feldspato, a argila pode ser encontrada próxima de rios, muitas vezes formando barrancos nas margens. Apresenta-se nas cores branca e vermelha. A argila é uma família de minerais flossilicáticos hidratados, aluminosos de baixa cristalinidade e diminutas dimensões (Partículas do solo com diâmetro menor que 0,002 mm).
- **Atividade antrópica:** Uma atividade antrópica é qualquer atividade produzida pelo homem. São consideradas atividades que produzem poluição atmosférica e/ou lançam resíduos na água, como por exemplo, uma indústria, etc.

- **Atividade biológica:** Capacidade de exercer um determinado efeito biológico.
- **Biocidas:** (1) Agentes que matam organismos vivos. (2) Produtos biocidas são substâncias ativas e preparações que contenham uma ou mais substâncias ativas, que se destinam por mecanismos químicos ou biológicos, a destruir, travar o crescimento, tornar inofensivo, evitar ou controlar de qualquer outra forma a ação de um organismo prejudicial.
- **Biodisponibilidade** (1) Grau em que uma substância torna-se disponível ao tecido-alvo. (2) Refere-se à velocidade e à quantidade com que uma substância ativa (parte de molécula que produz o efeito), é absorvida pelo organismo, a partir de uma determinada forma. (3) Disponibilidade dos nutrientes.
- **Biomassa:** (1) A biomassa nada mais é do que a matéria orgânica, de origem animal ou vegetal, que pode ser utilizada na produção de energia. (2) Compreende todo tipo de matéria orgânica, tanto de origem vegetal como animal, e está formada graças à fotossíntese diretamente (como os vegetais) ou indiretamente (pela digestão dos vegetais).
- **Bronquite:** Inflamação de um ou mais brônquios localizados nos pulmões, geralmente causados por vírus e também pode ser causada por uma reação alérgica a certas substâncias ambientais, como produtos químicos, etc.
- **Calcário:** São calcários são rochas sedimentares que contêm minerais com quantidades acima de 30 % de carbonato de cálcio (aragonita ou calcita).
- **Carcinogênico:** Qualquer agente, como compostos químicos e formas de radiação, que causam câncer.
- **Choques:** Distúrbio hemodinâmico e metabólico profundo, caracterizado por incapacidade do sistema circulatório em manter uma perfusão adequada de órgãos vitais.
- **Cinzas:** Resíduo sólido que resta da combustão completa de uma substância.

- **Complexação:** A complexação é uma atração eletrostática entre um íon e um agente quelante de modo que não há transferência de elétrons entre estes. Quanto às cargas, a estrutura final terá como carga a somatória das cargas individuais de cada participante do complexo.
- **Compostos orgânicos:** (1) Os compostos orgânicos ou moléculas orgânicas são as substâncias químicas que contém na sua estrutura Carbono e Hidrogênio, e muitas vezes com oxigênio, nitrogênio, enxofre, fósforo, boro, halogênios e outros. Não são moléculas orgânicas os carbetos, os carbonatos e os óxidos do carbono. (2) Moléculas orgânicas naturais: São as sintetizadas pelos seres vivos, denominadas biomoléculas, que são estudadas pela bioquímica. Moléculas orgânicas artificiais: São substâncias que não existem na natureza e tem sido fabricadas pelo homem, como os plásticos. A maioria dos compostos orgânicos puros são produzidos artificialmente.
- **CTC:** Capacidade de Troca de Cátions. Quantidade de cátions (Al, H, Ca, Mg e K) que o solo é capaz de reter.
- **Dermatites:** (1) Inflamação da pele. (2) Inflamação da pele acompanhada de prurido ou dor. A parte afetada pode apresentar vermelhidão, inchaço, bolhas, exsudação, formação de crostas ou escamas.
- **Difusão:** Movimento espontâneo de moléculas de um ambiente de concentração mais alta para outro de concentração mais baixa, como ocorre do espaço intercelular para o interior da célula.
- **Disfunção renal** A disfunção renal é uma síndrome clínica caracterizada por um declínio da função renal com acúmulo de metabólitos e eletrólitos, que pode ser subdividida em insuficiência renal aguda (IRA) e insuficiência renal crônica (IRC) de acordo com o tempo de desenvolvimento da patologia.
- **Dispnéia:** Respiração trabalhosa ou difícil.

- **DNA:** (Ácido Desoxirribonucléico) (1) Material genético primário, da maioria dos organismos, constituído de duas fitas complementares de polinucleotídeos. (2) Molécula que é a base do material genético encontrado em todas as células. O DNA carrega as informações genéticas de uma geração para a próxima.
- **Ecossistema:** A unidade na Ecologia que compreende os organismos vivos e os elementos não vivos que interagem em uma determinada área definida.
- **Elementos radioativos:** Radioatividade é um fenômeno natural ou artificial, pelo quais algumas substâncias ou elementos químicos, chamados radioativos são capazes de emitir radiações. A radioatividade pode ser: Radioatividade natural: É a que se manifesta nos elementos radioativos e nos isótopos que se encontram na natureza e polui o meio ambiente. Radioatividade artificial ou induzida: É aquela que é provocada por transformações nucleares artificiais. (2) Elementos radioativos: Rádium (Ra), Tório (Th), Urânio (U), Polônio (Po).
- **Enzimas:** (1) Proteínas que aceleram a velocidade das reações químicas. (2) As enzimas são catalisadores que promovem repetidamente as reações sem serem modificadas por estas.
- **Epiderme:** A pele é um dos maiores órgãos, constituindo 15 % do peso corporal, cobrindo quase todo o corpo à exceção dos orifícios genitais e alimentares, olhos e superfícies mucosas genitais. A pele tem três camadas, a epiderme, a derme e o hipoderme subcutâneo. A epiderme é uma camada com profundidade diferente conforme a região do corpo.
- **Exsudação radicular:** É um fenômeno nos quais as plantas quando cortadas continuam a secretar água mesmo após o corte - exsudação.
- **Farangite:** Inflamação da faringe.
- **Galvanização:** Ato de recobrir uma superfície de metal com uma camada fina de outro metal é conhecido como galvanização. Esse processo é geralmente

usado para proteger objetos metálicos contra ferrugem e para melhorar sua aparência.

- **Gastroenterites:** Inflamação do estômago e do intestino.
- **Gradiente de concentração:** (1) É a diferença de concentração entre dois meios ou a diferença de concentração de uma substância por unidade de distância. (2) Passagem de partículas através das membranas e sempre acontece em maior fluxo do local de maior concentração para o local de menor concentração. Esse movimento a favor do gradiente de concentração acontece até que se estabeleça igualdade de concentração entre os dois meios, ou seja, até que a distribuição de partículas seja uniforme.
- **Hidropônico:** A hidroponia é a ciência de cultivar plantas sem solo, onde as raízes recebem uma solução nutritiva balanceada que contém água e todos os nutrientes essenciais ao desenvolvimento da planta. Na hidroponia as raízes podem estar suspensas em meio líquido (NFT) ou apoiadas em substrato inerte (areia lavada por exemplo).
- **Húmus:** Húmus ou humo é a matéria orgânica depositada no solo, resultante da decomposição de animais e plantas mortos, ou de seus subprodutos. O processo de formação do húmus pode ser natural, quando produzido espontaneamente por bactérias e fungos do solo ou artificialmente, quando o homem adiciona produtos químicos e água a um solo pouco produtivo. Vários agentes externos como a humidade e a temperatura contribuem para a humificação.
- **Intemperismo:** Intemperismo é um conjunto de fenômenos físicos e químicos que levam à transformação dos minerais e portanto das rochas.
- **Lignina:** A lignina ou lenhina é um polímero tridimensional amorfo encontrado nas plantas terrestres, associado à celulose na parede celular cuja função é de conferir rigidez, impermeabilidade e resistência a ataques microbiológicos e mecânicos aos tecidos vegetais. A lenhina é formada pela polimerização dos

álcoois cumarílico, coniferílico e sinapílico (onde um ou ambos os Hs foram substituídos por OCH₃, respectivamente). A proporção destes três compostos resulta em diferentes tipos de lenhina. Um dos principais objetivos da fabricação de papel é reduzir o conteúdo de lignina na madeira a fim de produzir a massa de papel. Na nutrição humana, as lenhinas são consideradas fibras dietéticas indigeríveis. Estão presentes nas partes mais endurecidas de alguns alimentos vegetais tais como cenoura, brócolis, sementes e frutas tais como o morango.

- **Lipofílicos:** Tem afinidade e é solúvel em lipídios. Substâncias lipofílicas são também hidrofóbicas, ou seja, não são solúveis na água.
- **Litogênica:** (1) Minerais padrão. (2) A fração litogênica é oriunda de fontes geológicas, com resíduo de rocha, ou é liberada por ocasião do intemperismo.
- **Lixiviação:** (1) Lixiviação é o processo de extração de uma substância de sólido através da sua dissolução num líquido. (2) Processo físico de lavagem das rochas e solos pelas águas das fortes chuvas (enxurradas) decompondo as rochas e carregando os sedimentos para outras áreas, extraíndo, dessa forma, nutrientes e tornando o solo mais pobre.
- **Membrana plasmática:** A membrana celular é a estrutura que delimita todas as células vivas, tanto as procarióticas como as eucarióticas. Ela estabelece a fronteira entre o meio intra-celular e o meio extracelular.
- **Metais pesados:** Grupo de metais de peso atômico relativamente alto. Alguns metais como zinco e ferro são necessários ao corpo humano, em pequeníssimas concentrações. Outros metais como chumbo, mercúrio, cromo e cádmio são, em geral, tóxicos aos animais e às plantas, mesmo em baixas concentrações.
- **Microrganismos:** Os microrganismos, são qualquer organismos microscópicos, como bactérias, protozoários, fungos, vírus e algas unicelulares. São seres unicelulares que podem causar doenças ao homem, aos animais ou plantas.

- **Neurotoxicidade:** Qualidade de exercer um efeito destrutivo ou tóxico no tecido nervoso.
- **Organela:** O termo organela (ou organelo, organito, orgânulo ou organóide) é usado para descrever várias estruturas com funções especializadas, delimitadas por uma membrana própria e com conteúdo aquoso, suspensas no citoplasma das células vivas.
- **Organometálicos:** Compostos ou complexos organometálicos são compostos que contém pelo menos uma ligação carbono-metal (C-M) sendo que, nesse contexto, o sufixo "metal" inclui os metalóides como boro, silício, e arsênico. Os compostos organometálicos do grupo principal possuem como átomos centrais metais do grupo principal (blocos s e p). Juntamente com os compostos organometálicos dos elementos do grupo principal, são estudados os compostos derivados dos metais do grupo do zinco, devido à grande similaridade entre eles.
- **Osteomalácia:** (1) Mineralização inadequada ou retardada do osteóide em um osso esponjoso ou cortical maduro. (2) Amolecimento é o enfraquecimento e desmineralização dos ossos nos adultos devido a uma deficiência em vitamina D e conseqüentemente se tornam vulneráveis a distorções e fraturas.
- **Parede celular:** A parede celular é uma estrutura que envolve as células de muitos seres vivos, como as plantas verdes, as algas, os fungos e bactérias. Tem funções de proteção e suporte e também evita que a célula arrebente quando mergulhada em um meio hipotônico e geralmente é permeável à troca de íons entre o exterior e o interior da célula.
- **Microrganismos pedogênicos:** Microrganismos que promovem a formação do solo.
- **Plantas perenes:** As herbáceas perenes são plantas não lenhosas que podem viver durante três ou mais anos num determinado local. A parte aérea des-

tas plantas geralmente morre todos os anos, mas as raízes, ou outras partes subterrâneas da planta, sobrevivem durante o Inverno. Assim, em geral na Primavera, o crescimento retoma e o ciclo recomeça.

- **Plasmodesmas:** Plasmodesmas fazem a conexão entre as células. São compostos por microtúbulos com diâmetro de 30 a 60 nm, delimitados por membranas plasmáticas e atravessados por um túbulo do retículo endoplasmático, o desmotúbulo.
- **Pneumonia:** (1) Inflamação dos pulmões com exsudação. (2) Pneumonia são infecções que se instalam nos pulmões, órgãos duplos localizados um de cada lado da caixa torácica. Podem acometer a região dos alvéolos pulmonares onde desembocam as ramificações terminais dos brônquios e, às vezes, os interstícios (espaço entre um alvéolo e outro). Basicamente, pneumonias são provocadas pela penetração de um agente infeccioso ou irritante (bactérias, vírus, fungos e por reações alérgicas) no espaço alveolar, onde ocorre a troca gasosa.
- **Pneumonites:** Veja Pneumonia.
- **Propágulos:** Propágulos são estruturas constituídas basicamente por células meristemáticas que se desprendem de uma planta adulta para dar origem a uma nova planta, geneticamente idêntica à planta de origem (clones).
- **Proteínas:** Molécula biológica composta de uma cadeia de unidades básicas chamadas aminoácidos. As proteínas possuem diversas funções: estrutural (colágeno), movimentação (actina e miosina), catálise (enzimas), transporte (hemoglobina), regulação de processos celulares (insulina) e resposta a estímulos (proteínas receptoras na superfície de todas as células). A função das proteínas é dependente de sua estrutura tridimensional (estrutura terciária) e a informação para a síntese de proteínas é armazenada na seqüência de nucleotídeos da molécula de DNA.

- **Quelatos:** Quelato é um composto químico formado por um íon metálico ligado por várias ligações covalentes a uma estrutura heterocíclica de compostos orgânicos como aminoácidos, peptídeos ou polissacarídeos. O nome quelato provém da palavra grega chele, que significa garra ou pinça, referindo-se à forma pela qual os íons metálicos são "aprisionados" no composto.
- **Queratoses:** Qualquer crescimento córneo, como uma verruga ou calosidade.
- **Reações adversas:** É qualquer condição indesejável ou a piora de uma doença já existente.
- **Rinite:** Rinite é um termo médico que descreve a irritação e inflamação crônica ou aguda da mucosa nasal. É uma doença que pode ser causada tanto por vírus como por bactérias, embora seja manifestada com mais frequência em decorrência de alergia, ou por reações ao pó, fumaça e outros agentes ambientais. A inflamação decorrente da rinite resulta na produção excessiva de muco, gerado pelo acúmulo da histamina, o que ocasiona o escorrimento nasal, sintoma mais típico da rinite.
- **Rizosfera:** A rizosfera é a região onde o solo e as raízes das plantas entram em contato. O número de microrganismos na raiz e à sua volta é muito maior do que no solo livre. Os tipos de microrganismos na rizosfera também diferem do solo livre de raiz.
- **Sais:** (1) Os minerais são nutrientes com função plástica e reguladora do organismo. (2) As principais funções dos minerais estão ligadas à composição estrutural do corpo, participação sob forma iônica dos fluidos e líquidos intra e extracelular e como catalisadores enzimático e hormonal.
- **Simplasto:** O simplasto, numa planta, é o espaço interior à membrana plasmática, através do qual como se processa a difusão livre de água e de solutos de baixo peso molecular dentro das células. Compreende o sistema citoplasmático, que apresenta comunicação entre células, estabelecida através de nume-

rosos plasmodesmos ou filamentos de conexão (presente no floema) - ligações intercitoplásmicas que atravessam a parede celular.

- **Sinusite:** Sinusite é a inflamação das mucosas dos seios da face, região do crânio formada por cavidades ósseas ao redor do nariz, maçãs do rosto e olhos.
- **Sistema radicular:** Sistema radicular é constituído das raízes, que são órgãos especializados em fixação, absorção, reserva e condução. A extensão do sistema radicular depende de vários fatores, mas a grande massa de raízes de nutrição se encontra nos metros mais próximos à superfície do solo.
- **Taxa de transpiração:** A taxa de transpiração depende de fatores relacionados à própria planta e de fatores ambientais, como umidade relativa do ar, temperatura, disponibilidade de água no solo, vento e luz solar. Existe uma relação inversa entre a umidade relativa do ar e a velocidade de difusão do vapor d'água, de modo que quando o ambiente encontra-se úmido reduz-se a taxa de transpiração. Já um aumento de temperatura tende a elevar a taxa de transpiração. Assim também age um vento leve ou brisa, ao retirar o vapor d'água da superfície da folha, acelerando a evaporação. A luz solar atua aumentando a temperatura da folha, como também estimulando a abertura do estômato. Os estômatos são formados por duas células especiais denominadas células guardas ou oclusivas, que apresentam paredes diferentemente espessadas.
- **Tolerância:** Quando o organismo reage à presença de um produto químico, através de um processo de adaptação biológica. No caso da presença contínua de uma determinada substância, o organismo se acostuma a ela e a incorpora em seu funcionamento.
- **Trombose:** Formação ou presença de um trombo.
- **Xilema:** Em botânica, chama-se xilema ao tecido das plantas vasculares por onde circula a água com sais minerais dissolvidos - a seiva bruta - desde a raiz

até às folhas. Nas árvores, o xilema secundário é o constituinte da madeira ou lenho. O termo é derivado do grego (xylon) = "madeira".