

Risely Ferraz de Almeida

Universidade Federal de Uberlândia
rizely@gmail.com



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE GOIÁS
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
Endereço: BR-153 – Quadra Área
75.132-903 – Anápolis – revista.prp@ueg.br

Coordenação:

GERÊNCIA DE PESQUISA

Coordenação de Projetos e Publicações

Revisão Bibliográfica

Recebido em: 05/07/2012

Avaliado em: 10/09/2012

Publicação: 20 de Dezembro de 2012

PLANTAS ACUMULADORAS DE METAIS PESADOS NO SOLO – UMA REVISÃO

RESUMO

Realizou uma revisão bibliográfica cujo objetivo foi identificar plantas com a capacidade de hiperacumular metais pesados dos solos. Após leitura e análise dos resultados publicados, observou-se que há um grande número de espécies de plantas que retiram e acumulam metais pesados do solo. Sendo que, esta capacidade encontra-se associada a um mecanismo bioquímico como: produção intercelular de compostos ligantes tais como aminoácidos e seus derivados e ácidos orgânicos; alterações nas formas de compartimentalização; alterações no metabolismo celular; e alterações na estrutura da membrana. Tendo, atualmente, a identificação de diversas espécies: *Cyperus rotundus* L. (tiririca-comum), *Cyperus sesquiflorus* (Tor.) (capim santo), *Eleocharis filiculmis* Kunth (junco manso), *Brachiaria decumbens* (braquiária), *Imperata brasiliensis* (sapé), dentre outras. Portanto, torna-se importante realizar um levantamento destas espécies, pois estas podem auxiliar na melhoria da qualidade do ambiente..

Palavras-Chave: mitigação; meio ambiente; metais; plantas.

ABSTRACT

It was performed a literature review that aimed to identify plants with the capacity of hiperacumular heavy metals from soils. After read and analyse the published results, it was observed that there are a large number of plant species that take away and accumulates heavy metals of the soil. Since this capacity is linked to a biochemical mechanism such as: production of intercellular ligand compounds such as amino acids and their derivatives and organic acids; changes in the form of compartmentalization; changes in cellular metabolism; and changes in membrane structure. Since the identification of various species, such as: *Cyperus rotundus* L. (Common sedge), *Cyperus sesquiflorus* (Tor) (holy grass), *Eleocharis filiculmis* Kunth (reeds meek), *Brachiaria decumbens* (signalgrass), *Imperata brasiliensis* (thatch), among others. Therefore, it is important to make a survey of these species, because these may assist in the improvement of the environmental quality.

Keywords: alleviation; environment; metals; plants

1. INTRODUÇÃO

Em plena década da busca de métodos para conservação do meio ambiente, o aumento da atividade industrial e urbana, ocasiona o acúmulo de metais pesado nos solos e na água, tornando-se importante o estudo e uso de plantas que podem reter contaminantes. De acordo com RIBEIRO FILHO et al. (2001), em várias partes do mundo, inclusive no Brasil, solos contaminados por metais pesados precisam ser remediados.

Uma das atividades que mais contribuem para a poluição do solo é a mineração e a indústria metalúrgica, principalmente a de metais não apreferrosos, que ao promoverem a extração de alguns metais, produzem grandes quantidades de rejeitos, muitas vezes com elevados teores de Ni, Cr, Cu, Pb, Cd e Zn, que afetam severamente a vegetação (BAKER et al., 1994). Os metais pesados nem sempre são quimicamente degradados ou biodegradados pelos microrganismos, tornando a disposição final de muitos resíduos um sério problema ambiental. Embora muitos destes metais sejam utilizados como micronutrientes na agricultura, em altas concentrações, tornam-se tóxicos, prejudicando os mecanismos fisiológicos dos organismos do ambiente. O Zn é um exemplo de um micronutriente essencial para a nutrição das plantas, mas este elemento pode afetar o crescimento e metabolismo normal de espécies vegetais, quando presente em níveis tóxicos no solo.

SOUZA et al. (2009), ao citarem os trabalhos de BAKER & BROOKS (1989) afirmaram que, as plantas com capacidade de acumular e suportar grandes concentrações de metais em suas raízes são chamadas de hiperacumuladoras. Estes plantas são capazes de acumular nos tecidos concentrações de cobalto (Co), cobre (Cu), cromo (Cr), chumbo (Pb) ou níquel (Ni) por até 0,1% de massa seca, enquanto que zinco

(Zn) ou manganês (Mn) alcançam até 1%. Conforme ANDRADE et al. (2009), citando os trabalhos de MEERS et al. (2004); MELO et al. (2006) destacaram que, as plantas hiperacumuladoras podem ser espécies com grande produção de matéria seca, as quais são quimicamente induzidas a aumentar a eficiência de fito extração de metais pela aplicação de agentes quelantes ao solo. Para isso, têm-se agentes quelantes naturais (excretados pelas raízes das plantas - p.ex., ácido acético, ácido cítrico) e artificiais (p.ex., Dietileno triamino pentacético - DTPA, ácido etilenodiamino tetra-acético - EDTA).

Assim, objetiva-se nesta revisão de literatura, expor os resultados de pesquisas que identifiquem e descrevam as plantas com a capacidade de hiperacumular metais pesados dos solos.

2. PLANTAS FITORREMEIADORAS

A fitorremediação é uma técnica da biorremediação que envolve o emprego de plantas e sua microbiota associada, com o objetivo de amenizar poluentes no solo através de práticas agrônômicas. Quando aplicadas no solo, removem, imobilizam, ou tornam os contaminantes inofensivos ao ecossistema (CUNNINGHAM et al.,1996).

No Brasil, solos contaminados por metais pesados precisam ser remediados, e programas para essa finalidade incluem estratégias de mitigação da fitotoxicidade e seleção de plantas tolerantes ao excesso de metais pesados (RIBEIRO FILHO et al., 2001).

São consideradas as plantas ideais para a fitorremediação, aquelas que possuem elevada biomassa e uma alta taxa de acumulação de um dado metal nos seus tecidos aéreos (EAPEN et al., 2005). De acordo com GROSSI (1993), ao citar o trabalho de BIDLINGMAIER (1990), esses metais pesados no meio ambiente podem ser

classificados em três grupos. No primeiro, estão os considerados pouco tóxicos ao ambiente, os quais, em sua maioria, são tidos como micronutrientes, mas, em concentrações elevadas, são tóxicos. Pertencem a este grupo: alumínio (Al), cobalto (Co), cobre (Cu), manganês (Mn), molibdênio (Mo), selênio (Se), vanádio (V), zinco (Zn) e estrôncio (Sn). Segundo grupo é formado por metais que apresentam probabilidade de causar câncer. Pertencem a este grupo: arsênio (As), berílio (Be), cromo (Cr) e níquel (Ni). No terceiro grupo, estão os metais que apresentam caráter tóxico significativo e não se enquadram nos grupos anteriores. Fazem parte deste grupo: chumbo (Pb), cádmio (Cd), mercúrio (Hg) e telúrio (Ti).

Além dos metais pesados as plantas fitorremediadoras, podem retirar do ambiente os hidrocarbonetos derivados de petróleo, pesticidas e herbicidas (bentazona, compostos clorados e outros), explosivos, solventes clorados e resíduos orgânicos industriais, entre outros (DINARDI et al., 2003).

LIMA (2010), ao citar, SALT et al. (1998) e SINGH et al. (2003), informou que a fitorremediação apresenta grande potencial em relação aos métodos físico-químicos por oferecer um menor impacto ambiental e custo de implantação. Sendo que as plantas fitorremediadoras que tem a capacidade de acumular metais pesados são classificadas como hiperacumuladoras (EAPEN et al., 2005). ZEITOUNI (2003), a partir do trabalho de KHAN et al. (2000), destacou que até o momento foram identificadas 400 plantas hiperacumuladoras no mundo. A maioria delas é encontrada em áreas contaminadas da Europa, Estados Unidos, Nova Zelândia e Austrália.

2.1. PLANTAS ACUMULADORAS DE METAIS PESADOS

Algumas espécies de plantas podem acumular diferentes metais pesados no ambiente, a *homolepis aturensis* (h.b.k.) chase, é um exemplo, pois absorve alguns metais pesados

como Cr (cromo), Cu (cobre), Ni (níquel), Zn (zinco) e Pb (chumbo) independente da estação sazonal (ELIAS, 2003).

De acordo com WATANABE (1997), citando os trabalhos de BAKER (1981); BAKER (1987) e de RASKIN et al. (1994), as plantas hiperacumuladoras são capazes de extrair e acumular em mg kg⁻¹ de tecido seco mais de 10.000 de Zn, e Mn, mais de 1.000 de Pb, Ni e Cu e mais de 100 de Cd, portanto promissoras para a fitoextração e são de ocorrência comum no reino vegetal.

Em ambientes com altas quantidades de chumbo (Pb) no solo o feijão-de-porco (*canavalia ensiformes*) é uma planta tolerante e hiperacumuladora de chumbo, a sua acumulação é principalmente nas raízes (ROMEIRO et al., 2000). Assim, como a mostarda que é uma espécie que pode absorver quantidades superiores a 2,5 t ha⁻¹ de Pb (DUTTON, 1996).

Alem destas, tem também a esteva (*cistus ladanifer*), que apresenta o comportamento de acumulação a depender do teor de Pb disponível sendo que, em locais com menor teor deste elemento, as plantas desta espécie se comportaram como acumuladoras e em locais com maior teor as plantas não acumuladoras (ABREU et al., 2009).

Em relação às plantas acumuladora de cádmio (Cd) e zinco (Zn), a espécie *solanum nigrum* l., vulgarmente conhecida como erva-moura, é uma espécie que recentemente foi classificada como hiperacumuladora tanto do Cd, como do Zn (SUN et al, 2007).

A espécie *pphafia* sp., popularmente conhecida com fáfia, e outro exemplo que apresenta elevada tolerância à contaminação do solo com Cd e Zn; cresce satisfatoriamente em solo contendo até 90 mg kg⁻¹ de Cd e de 1.450 mg kg⁻¹ de Zn e

contém teores de Cd na matéria seca da parte aérea e das raízes superiores a 100 mg kg⁻¹, sendo, por isso, considerada hiperacumuladora de cádmio (CARNEIRO et al., 2002). Conforme, COSTA et al. (2008), citando o experimento de SANTOS et al. (2007), também pode destacar a forrageira *brachiaria decumbens* como planta tolerante ao Zn e Cd presentes no solo.

Além destas, também pode destacar outras como: *Cyperus rotundus* L. (tiritica-comum), *Cyperus sesquiflorus* (tor.) (capim santo), *Eleocharis filiculmis* Kunth (junco manso), *Imperata brasiliensis* (sapé), *Pterocaulon virgatum* DC. (carrasquenta), *Arundina bambusifolia* Lindl. (orquídea terrestre), *Pteridium aquilinum* (samambaia sp), *Eucalyptus* spp (eucalipto), *Philodendron bipinnatifidum* Schott (banana-do-brejo) e o *Hedychium coronarium* Koenig (lírio-do-brejo), que também são consideradas plantas hiperacumuladoras. No entanto, somente do Zn (COSTA et al., 2008).

Para o metal pesado cobre (Cu), as plantas terrestres que acumulam concentrações superiores a 1000 mg/kg, em suas raízes são definidas como hiperacumuladoras (REEVES et al., 1996)

A espécie *Pontederia parviflora* Alexander, conhecida popularmente como tiúba, é um exemplo, pois tem a capacidade de absorver concentrações superiores ao limite de toxicidade do Cu, sendo classificada como resistente ao metal. Mas o fato dessa espécie acumular cerca de 1200 mg/kg na raiz, a coloca na categoria de hiperacumuladora. Sendo capaz de sobreviver e acumular em suas tecidas altas concentrações de Cu (SOUZA et al., 2009)

A espécie *Pistia stratiotes* é uma planta aquática conhecida como alface-d'água, apresenta características de acumuladora de cromo (Cr) em sistemas de fitorremediação (LIMA, 2010).

2.2. PLANTAS HIPERACUMULADORAS DE METAIS: VANTAGENS E DESVANTAGENS

Conforme ANDRADE et al. (2009), citando os trabalhos de RASKIN et al. (1997) e MARQUES et al. (2000), as plantas hiperacumuladoras são aquelas que são capazes de acumular mais de 1.000 mg kg⁻¹ de Ni, Pb e Cu, 100 mg kg⁻¹ de Cd e 10.000 mg kg⁻¹ de Zn e Mn na matéria seca, quando se crescem em solos ricos nestes.

As plantas hiperacumuladoras de metais apresentam como vantagem o baixo custo, no entanto o tempo para se observarem os resultados pode ser longo, pois depende do ciclo da planta (CUNNINGHAM et al., 1996). A desvantagem é que essas plantas apresentam um crescimento muito lento e uma biomassa baixa, não preenchendo alguns dos requisitos fundamentais para poderem ser utilizadas para remediação ambiental (EAPEN et al., 2005). Há exceções como a serpentina (*Alyssum bertolonii*) que é uma acumuladora de níquel em condições naturais do campo apresentando um rápido crescimento e com alta produção de biomassa (LI et al., 2003).

No entanto, as hiperacumuladoras de metais não apresentam ainda uma grande preponderância no tratamento de tóxicos no ambiente. Deve-se aos poucos conhecimento existente a cerca dos processos fisiológicos e bioquímicos envolvidos neste tipo de resposta de tolerância ao stress por metais pesados (EAPEN et al., 2005).

Sendo que, os métodos químicos e físicos tradicionais de despoluição do solo e da água, como extração com solvente, oxi-redução e incineração são bastante dispendiosos e oferecem riscos de contaminação secundária, pois o material contaminado tem que ser transportado ao local. Por essas razões, os métodos "in situ" passaram a ter preferência, além de serem mais econômicos e perturbarem menos o ambiente. Dentre essas

tecnologias que propiciaram eliminação da contaminação dos solos destaca-se a hiperacumulação (ELIAS, 2003).

2.3. MECANISMOS DAS PLANTAS HIPERACUMULADORAS DE METAIS

De acordo com OLIVEIRA et al. (2009), citando o trabalho de MOHR & SCHOPFER (1995), os mecanismos envolvidos na tolerância dessas plantas a altas concentrações de metais no solo são vários e, ainda, não são muito bem definidos. Estes estão relacionados às diferenças na estrutura e no funcionamento das membranas celulares.

Sendo que a tolerância destas plantas está associada a um mecanismo bioquímico como: produção intercelular de compostos ligantes (aminoácidos e seus derivados, ácidos orgânicos e fitoquelatinas) e alterações nas formas de compartimentalização. além de algumas alterações no metabolismo celular e na estrutura da membrana (CHAT & KALFF, 1992).

A captação e acumulação dos metais, através de vários tipos de ligantes são uma das estratégias que as plantas desenvolveram para lidar com os poluentes metálicos. Os dois tipos de ligantes mais estudados são as fitoquelatinas (PC) e as metalotioninas (MT), polipeptídios ricos em cisteína, distinguindo-se pelo modo como se processa a sua síntese. Assim, as MT são codificadas por uma família de genes, enquanto que as PC são sintetizadas enzimaticamente (COBBETT & GOLDSBROUGH, 2002).

De acordo com OLIVEIRA et al. (2009), citando o trabalho de MOHR & SCHOPFER (1995), as plantas tolerantes a alta quantidade de Zn e Cd no solo apresenta como mecanismo de ação a formação de fitoquelatinas. O aumento da concentração de

metais pesados no citoplasma das plantas leva a ativação da síntese de fitoquelatinas, que sequestra os íons metálicos, evitando concentrações críticas desses nas células.

Outro mecanismo de defesa não enzimático que as plantas desenvolveram é o aumento da acumulação de prolina livre. Assim, o aumento do nível de prolina nos tecidos vegetais será um indicador do stress oxidativo que as plantas sofreram com a exposição a um determinado metal pesado. Outro dos efeitos que este tipo de stress provoca nas plantas é a inibição da biossíntese de clorofilas, sendo que a planta tem também como mecanismo de defesa o aumento do nível de carotenoides para fazer em face de formação de espécies reativas de oxigênio - EROS (LOPES, 2010).

Segundo OLIVEIRA et al. (2009), citando o trabalho de ROUTH et al. (2001), além da prolina, a maior atividade enzimática da peroxidase, catalase e glucose-6-fosfato dehidrogenase, nas espécies de vigna e oryza, são indicadores de tolerância destas espécies a ambientes contaminados por chumbo.

2.4. ABSORÇÃO DOS METAIS PESADOS PELAS PLANTAS HIPERACUMULADORAS

SILVA (2011), ao citar os trabalhos de BENAVIDES; GALLEGO; TOMARO (2005), demonstrou que a absorção de metais pesados pelas plantas é capaz de causar estresses oxidativo tanto diretamente produzindo espécies reativas de oxigênio (ROS), causando diversas reações em biomoléculas, como proteínas, ácidos nucleicos e lipídeos.

Conforme LIMA (2010), citando o trabalho de SINHA et al. (2002), o teor de pigmentos nas plantas é considerado como um dos parâmetros sensíveis a condições de estresse de toxicidade particularmente de metais pesados. A inibição de biossíntese de clorofila é relatada quando a planta está sob estresse metálico.

No mesmo trabalho LIMA (2010), ao descrever os trabalhos de KNOX & DODGE (1985), informa que os carotenoides como uma parte do pigmento fotossintético que executa o papel importante na proteção do pigmento da clorofila sob condições de estresse. Sendo estes reconhecidos por mitigar as reações fotodinâmicas que levam a perda de clorofilas, restituírem a peroxidação e o colapso da membrana no cloroplasto.

Segundo COSTA et al. (2004), citando os trabalhos de MALAVOLTA (1994); BERTON (2000), demonstram que o conceito denominado “barreira solo-planta”, o qual aplica limites à absorção de diferentes elementos pelas plantas. O Pb pertence ao grupo dos elementos que podem ser absorvidos pelas raízes, mas não são translocados para as partes aéreas, enquanto o Zn, Ni, B e Mn não fazem proteção contra a migração do solo para qualquer parte da planta.

O elemento cromo quando absorvido pelas plantas, o Cr (III) pode ser transportado da raiz para os tecidos aéreos através de ligações de íons metálicos, via xilema. Já o Cr (VI) é retido nas raízes, onde é convertido em Cr (III), podendo alguma parte ser transportada para a parte aérea quando o nível do metal pesado é extremamente elevado e as raízes deixam de ter disponibilidade para reduzir a Cr (III) (LOPES, 2010).

LUX et al. (2011), descreve que a capacidade das plantas em se desenvolver em solos com alta disponibilidade de Cd esta relacionada com a capacidade da raiz em não absorver este elemento, expulsando o para fora da planta ou ainda sequestrá-los em um compartimento da célula que não cause toxicidade.

Segundo OLIVEIRA et al. (2001), citando o trabalho de ZENK (1997), admite-se que parte do Cd absorvido é complexado na forma fitoquelatinas e armazenado nos vacúolos das células das raízes.

De acordo GUIMARÃES et al. (2008), citando o trabalho de PERFUS-BARBEOH et al. (2002), a absorção do Cd esta é realizada pelas membranas plasmáticas vegetais que pode ser mediado pelas proteínas da família ZIP (transporte regulador de ferro - IRT e transporte regulador de zinco - ZNT1), NRAMP, CDF e LCT1, bem como através de canais de cálcio e potássio.

Conforme OLIVEIRA et al. (2001), citando o trabalho de GRANT et al. (1998), o maior acúmulo de Cd nas raízes é resultado do contato direto das raízes com a solução nutritiva e à ligação do Cd às cargas negativas das paredes celulares do sistema radicular em detrimento de uma maior absorção e, posterior transferência para a parte aérea

Para amenizar o efeito de toxidez do cádmio e do zinco no solo, recomenda-se a aplicação de silicato de cálcio que diminui os teores destes metais na parte aérea das plantas em cultivos de eucalyptus camaldulensis. O efeito amenizante do silicato de cálcio, relacionado à redução da transferência dos metais pesados do solo para a parte aérea do eucalipto, é mais acentuado para o zinco (ACCIOLY et al., 2009)

2.5. FONTES DE METAIS PESADOS PARA O AMBIENTE

O lodo proveniente de esgotos domésticos (águas servidas) é um exemplo de fonte de metais pesados para o ambiente. Sendo um resíduo potencialmente tóxico e sua possível destinação é a utilização na agricultura, devido sua composição, que contém considerável percentual de matéria orgânica e de elementos essenciais para as plantas (NASCIMENTO et al., 2004).

A aplicação contínua de lodo de esgoto no solo aumenta a carga de metais, proporcionando maior acúmulo destes elementos nas plantas cultivadas nesses solos, havendo sérios riscos de contaminação na cadeia alimentar (RANGEL, 2003).

De acordo com CRAVO et al (1998), os trabalhos de PETRUZZELLI et al. (1989); LEITA & DENOBILI (1991); XIN et al. (1992), destacam que outra fonte de metais pesados para o meio ambiente são os compostos derivados de lixo urbano para fins agrícolas tendo uma elevada concentração de metais pesados, os quais podem levar à contaminação de solo e plantas.

A utilização de agrotóxicos é o outro exemplo de fonte de metais pesado para o meio ambiente, o herbicida atrazina nortox 500 sc (atrazine) é um exemplo, utilizado (LAMEGO & VIDAL, 2007).

Um dos sérios poluentes ambientais é a liberação de mercúrio para o ambiente mediante mineração do ouro, atividades industriais, queima de combustível fóssil e resíduos médicos. Uma vez no ambiente, o elemento mercúrio e íons (Hg^{2+}) são convertidos por bactérias redutoras de sulfato ao composto extremamente tóxico metilmercúrio (PILON-SMITS & PILON, 2000).

2.6. APLICAÇÕES PRÁTICAS DE ESPÉCIES HIPERACUMULADORAS

De acordo com OLIVEIRA et al. (2009), citando SIMONETTE et al. (2008), em uma área industrial situada no interior do estado de São Paulo, cujas águas subterrâneas foram contaminadas por compostos organoclorados, está sendo remediada “in situ”. Por meio de fitorremediação espécies arbóreas, incluindo algumas nativas do cerrado e observou-se que houve redução da concentração de clorofórmio na área da fitorremediação, da ordem de 45%, e o aumento sensível do teor de carbono orgânico

dissolvido na água subterrânea, que amplia as condições redutoras e favorece assim a decomposição dos contaminantes.

Trabalhando em casa de vegetação com mudas de ipê-roxo, PAIVA et al (2004), constatou que a aplicação de Cd promove redução no teor de P, K, Ca e Mg na raiz de mudas; ao passo que o teor foliar de macronutrientes não é afetado pela presença deste metal pesado. Sendo que o teor radicular de Cu, Fe e Mn aumentam e o de Zn diminui na presença de Cd, em solução nutritiva.

Observações dos diferentes ambientes decorrentes das atividades de mineração e metalurgia instalou um experimento de fitoextração, utilizando *avena strigosa schreber* (aveia-preta) e *helianthus annuus* l. (girassol) que apresentam alta capacidade de acumulação de metais pesados. Concluindo que os solos estudados representam ambientes distintos da área: na área próxima à planta fabril (altos teores de Pb oriundos de deposições atmosféricas) e nas áreas com grande ocorrência de rejeitos incorporados aos solos a fitoextração (girassol, aveia preta e grama-batatais) não é eficiente. Já nas demais áreas contaminadas o girassol deve ser preferido, uma vez que acumula maior quantidade de Pb e Zn na parte aérea das plantas (ANDRADE et al., 2009).

OLIVEIRA et al. (2009), citando o INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS (IGC) DA USP (Universidade de São Paulo), descreve que o mesmo vem pesquisando a utilização de espécies vegetais nativas do cerrado para a recuperação de solos poluídos com mercúrio, chumbo, níquel e outros metais. Além das espécies adequadas, também são utilizadas substâncias inertizantes (compostos formado de óxido de ferro e turfa). Os inertizantes diminuem a disponibilidade do poluente para as plantas e estabilizam os metais próximos à superfície, impedindo sua descida aos lençóis freáticos e também a dispersão pelo vento. É formado um agregado entre as raízes, o inertizante e os

poluentes, estabilizando-os. Neste caso, a contaminação é apenas controlada, não sendo retirada do local.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com os resultados encontrados nesta revisão, conclui que tem crescido o número de trabalhos relacionados à identificação das espécies de plantas que tem a capacidade de hiperacumular metais pesados do solo.

Esta característica encontra-se associada a um mecanismo bioquímico como: produção intercelular de compostos ligantes tais como aminoácidos e seus derivados, ácidos orgânicos e fitoquelatinas; alterações nas formas de compartimentalização; alterações no metabolismo celular; e alterações na estrutura da membrana. Sendo que os ligantes mais estudados são as fitoquelatinas e as metalotioninas.

Identificando espécies como: *Cyperus rotundus* L. (Tiririca-comum), *Cyperus sesquiflorus* (Tor.) (capim santo), *Eleocharis filiculmis* Kunth (junco manso), *Brachiaria decumbens* (braquiária), *Imperata brasiliensis* (sapé), *Pterocaulon virgatum* DC. (carrasquenta), *Arundina bambusifolia* Lindl. (orquídea terrestre), *Pteridium aquilinum* (samambaia sp), *Eucalyptus* spp (eucalipto), *Philodendron bipinnatifidum* Schott (banana-do-brejo) e o *Hedychium coronarum* Koenig (lírio-do-brejo), dentre outras que tem a capacidade de tolerar e acumular fisiologicamente metais pesados do solo.

4. REFERÊNCIAS

ABREU, M.M.; SANTOS, E.S.; ANJOS, C.; MAGALHÃES, M.C.F.; NABAIS, C. Capacidade de absorção do chumbo por plantas do gênero *Cistus* espontâneas em ambientes mineiros. *Revista de Ciências Agrárias*, vol.32, n.1, pp. 170-181, 2009.

ACCIOLY, A.M.A.; SOARES, C.R.F.S.; SIQUEIRA, J.O. Silicato de cálcio como amenizante da toxidez de metais pesados em mudas de eucalipto. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 44, n. 2, p. 180-188, 2009.

ANDRADE, M.G.; MELO, F.V.; GABARDO, J.; SOUZA, P.L.C.; REISSMANN, C.B. Metais pesados em solos de área de mineração e metalurgia de chumbo. I - Fitoextração. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 33, n. 6, p. 1879-1888, 2009.

BAKER, A. J. M.; McGRATH, S. P.; SODOLI, C. M. D.; REEVES, R. D. The possibility of in situ heavy metal decontamination of polluted soils using crops of metalaccumulating plants. Resources, Conservation and Recycling, Amsterdam, v. 11, p. 41-49, 1994.

CARNEIRO, M.A.C; SIQUEIRA, J.O.; MOREIRA, F.M.S. Comportamento de espécies herbáceas em misturas de solo com diferentes graus de contaminação com metais pesados. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 37, n. 11, p. 1629-1638, nov. 2002.

COBBETT, C.; GOLDSBROUGH, P. B. Phytochelatins and Metallothioneins: Roles in Heavy Metal Detoxification and Homeostasis. Annual Review of Plant Biology 53: 159-182, 2002.

COSTA, A. C. S.; LOPES, L. F.; D'OLIVEIRA, P. S.; SILVA, M. A. G.; GIL, L. G.; ROCHA, R. A. A. Acúmulo de Zn, Fe e Pb em plantas de Crisântemo após cultivo em substrato contendo doses de resíduo industrial de galvanoplastia. Acta Scientiarum. Agronomy Maringá, v. 26, n. 4, p. 407-411, 2004.

COSTA, M.C.R.; DAMILANO, C.R.; VASCONCELLOS, A.; COSTA, R.C. Diagnóstico ambiental de área industrial contaminada por metais pesados. Revista Biociências, v. 14, n. 1, p. 51-61, 2008.

CRAVO, M. S.; MURAOKA, T.; GINÉ, M.F. Caracterização química de compostos de lixo urbano de algumas usinas Brasileiras. *Revista Brasileira Ciência do Solo*, v. 22, n.1, p. 547-553, 1998

CUNNINGHAM, S.D. et al. Phytoremediation of soil contaminated with organic pollutants. *Adv.* v. 56, n.1, p. 55-114, 1996.

DINARDI, A. L. et al. Fitorremediação. In: III Fórum de estudos contábeis, Resumos... Campinas: CESET-Unicamp, 2003.

DUTTON, G. Stemming the toxic tide. *Comp. Air Feat.*, 101:38-42, 1996.

EAPEN, S.; D'SOUZA, S. F. Prospects of genetic engineering of plants for phytoremediation of toxic metals. *Biotechnology Advances* 25: 97-114, 2005.

ELIAS, E.P. Absorção de alguns metais pesados pela *Homolepis aturensis* (H.B.K.) Chase. Manaus/AM, 2003, p.81. Dissertação (Mestre em Química de Produtos Naturais), Instituto de Ciências Exatas, Universidade Federal do Amazonas (UFAM).

GUIMARÃES, M.A.; SANTANA, T.A.; SILVA, E.V.; ZENZEN, I.L.; LOUREIRO, M.E. Toxicidade e tolerância ao cádmio em plantas. *Revista Trópica - Ciências Agrárias e Biológicas*, n. 3, v. 1, p. 58, 2008.

GROSSI, M.G.L. Avaliação da qualidade dos produtos obtidos de usinas de compostagem brasileira de lixo doméstico através de determinação de metais pesados e substâncias orgânicas tóxicas. São Paulo/SP, 1993, p. 222, Tese de Doutorado (Doutor em Ciência), Instituto de Química, Universidade de São Paulo (USP).

LAMEGO, F.P.; VIDAL, R.A. Fitorremediação: plantas como agentes de despoluição? *Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente*, Curitiba, n.1, v. 17, p. 9-18, 2007.

LIMA, M.V. Avaliação do potencial de bioacumulação de Cromo por *Pistia satratiotes*. São Paulo/SP, 2010, p. 52, Trabalho de conclusão de curso (Graduado em Engenharia Ambiental). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo (USP).

LI, Y-M. et al. Development of a technology for commercial phytoextraction of nickel: economic and technical considerations. *Plant and Soil*, Dordrecht, v.249, n.1, p.107-115, 2003.

LOPES, P. F. R. Efeito da exposição de *Solanum nigrum* L. a concentrações elevadas de níquel e crômio e participação das metalotioninas na homeostasia destes metais. Praga/Portugal, 2010, p. 115, Dissertação de mestrado (Mestre em Fisiologia Molecular de Plantas). Faculdade de Ciências, Universidade do Minho.

LUX, A.; MARTINKA, M.; VACULÍK, M.; WHITE, P.J. Root responses to cadmium in the rhizosphere: a review. *Journal of Experimental Botany*, n.1, v.62, p.21-37, 2011

NASCIMENTO, C.W.A.; BARROS, D.A.S.; MELO, E.E.C.; OLIVEIRA, A.B. Alterações químicas em solos e crescimento de milho e feijoeiro após aplicação de lodo de esgoto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 28, n. 2, p. 385-392, 2004.

OLIVEIRA, D. L.; ROCHA, C.; MOREIRA, P. C.; MOREIRA, S. O. L. Plantas nativas do cerrado: uma alternativa para fitorremediação. *Estudos*, v. 36, n. 11/12, p. 1141-1159, 2009.

OLIVEIRA, J. A.; CAMBRAIA, J.; CANO, M. A. O.; JORDÃO, C. P. Absorção e acúmulo de cádmio e seus efeitos sobre o crescimento relativo de plantas de aguapé e de salvínia. *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. *Revista Árvore*, v.28, n. 2, p. 189-197, 2004

PILON-SMITS, E.; PILON, M. Breeding mercury-breathing plants for environmental cleanup. *Trends in Plant Science*, v.5, n.6, p.235-236, 2000.

RANGEL, O.J.P. Disponibilidade de Cu, Mn, Ni, Pb e Zn em Latossolo cultivado com milho após a aplicação de lodo de esgoto. Lavras, 2003, p.108, Dissertação de mestrado. (Mestre em fisiologia vegetal), Universidade Federal de Lavras -UFLA.

REEVES, R. D.; BAKER, A. J. M.; BROOKS, R. R. Abnormal accumulation of trace metals by plants. *Mining Environmental Management*, v. 3, n. 3, p.4-8, 1996.

RIBEIRO-FILHO, M. R. et al. Fracionamento e biodisponibilidade de metais em solo contaminado, incubado com materiais orgânicos e inorgânicos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 25, p. 495-507, 2001.

ROMEIRO, S. Absorção de chumbo e potencial de fitorremediação de canavalia ensiformes L. *Bragantia*, Campinas, v.66, n.2, p. 327-334, 2000.

SCHAT, H.; KALFF, M.M.A. Are phytochelatins involved differential metal tolerance or do they merely reflect metal-imposed strain? *Plant physiol.* 99:1475-1480, 1992.

SILVA, D.H. Fitoxidade e acúmulo de cádmio (^{109}Cd) em cultivares de feijoeiro caupi e vigna. Piracicaba, 2011, p.83, Tese de Doutorado (Doutor em Ciências). Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo (USP).

SUN, R.; ZHOU, Q.; SUN, F.; JIN, C. Antioxidative defense and proline/phytochelatin accumulation in a newly discovered Cd- hyperaccumulator, *Solanum nigrum* L. *Environmental and Experimental Botany* 60: 468-476, 2007.

SOUZA, D.C.; RIBEIRO, R.; LIMA, S.B.; CARVALHO, K.Q.; SILVA, J.R. Tolerância e hiperacumulação de cobre em *Pontederia Parviflora alexander*. *Ciência & Tecnologia*, n.2, v. especial, p. 329, 2009.

ZEITOUNI, C.F. Eficiência de espécies vegetais como fitoextratoras de cádmio, chumbo, cobre, níquel e zinco de um Latossolo Vermelho amarelo distrófico. Campinas, 2003, p. 99. Dissertação de mestrado (Mestre em Agricultura Tropical e Subtropical). Instituto Agronômico de Campinas (IAC).

WATANABE, M.E. Phytoremediation on brink of commercialization. *Environment Science Technology*, 31:182A-186A, 1997.

Risely Ferraz de Almeida - Possui graduação em Engenharia Agrônoma pela Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (2011), curso-técnico-profissionalizante pelo Centro Federal de Educação Tecnológica da Bahia (2007).