
PLANTAS NATIVAS

DO CERRADO:

UMA ALTERNATIVA

PARA FITORREMEDIÇÃO

DANIELE LOPES OLIVEIRA, **CLEONICE ROCHA**, PAULO CESAR MOREIRA, **STEPHÂNIA DE OLIVEIRA LAUDARES MOREIRA**

Resumo: a fitorremediação usa plantas e a microbiota para extrair e ou reduzir a toxicidade de poluentes no solo, é uma tecnologia efetiva, não-destrutiva, econômica e socialmente aceita para remediar os solos. Por meio de alguns estudos, pode-se constatar que o Cerrado oferece plantas nativas fazem o processo de fitorremediação, uma alternativa de baixo custo e com uso de tecnologia verde que não trás impactos ambientais.

Palavras-chave: metais pesados, fitorremediação, plantas nativas, Cerrado

Em diversas partes do mundo, incluindo o Brasil, solos contaminados com metais tóxicos precisam ser remediados, e programas para essa finalidade incluem estratégias de mitigação da fitotoxicidade e seleção de plantas tolerantes ao excesso de metais (RIBEIRO-FILHO *et al.*, 2001). Dentre estes podem ser citados o cádmio, chumbo, níquel, alumínio zinco, cobre, bário e manganês. Alguns dos elementos denominados metais tóxicos, em pequenas concentrações, são nutrientes essenciais ao desenvolvimento das plantas, entretanto em concentrações excessivas resultam em fitotoxidez (PAIVA *et al.*, 2004). A toxicidade de

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

METAIS TÓXICOS

Há aproximadamente 2000 anos a.C, grandes quantidades de chumbo, atualmente conhecido como metal tóxico, eram obtidas de minérios, como subproduto da fusão da prata e isso provavelmente tenha sido o início da utilização desse metal pelo homem. Os metais tóxicos diferem de outros agentes tóxicos porque não são sintetizados nem destruídos pelo homem, porém, a atividade industrial diminui significativamente a permanência desses metais nos minérios, bem como a produção de novos compostos, além de alterar a distribuição desses elementos no planeta. A presença de metais muitas vezes está associada à localização geográfica, seja na água ou no solo, e pode ser controlada a quantidade desses metais, limitando o uso de produtos agrícolas e proibindo a produção de alimentos em solos contaminados com metais tóxicos (SANTOS; RODELLA, 2007). Todas as formas de vida são afetadas pela presença de metais dependendo da dose e da forma química. Muitos metais são essenciais para o crescimento de todos os tipos de organismos, desde as bactérias até mesmo o ser humano, mas eles são requeridos em baixas concentrações e podem danificar sistemas biológicos quando em concentrações elevadas. Os metais podem ser classificados em:

- Elementos essenciais: sódio, potássio, cálcio, ferro, zinco, cobre, níquel, cromo, cobalto, manganês e magnésio.
- Micro-contaminantes ambientais: arsênio, alumínio, chumbo, bário, cádmio, mercúrio, alumínio, titânio, estanho e tungstênio.
- Elementos essenciais e simultaneamente micro-contaminantes: cromo, zinco, ferro, cobalto, manganês, cobre e níquel (SALGADO, 1996).

Dentre os metais que podem causar danos à saúde humana pode-se destacar o alumínio (Al), bário (Ba), chumbo (Pb), cádmio (Cd), mercúrio (Hg), crômio (Cr), manganês (Mn) e níquel (Ni), estes

metais podem ser obtidos por diversas fontes antrópicas (SALGADO, 1996; ZEITOUNI *et al.*, 2007). Os efeitos tóxicos dos metais sempre foram considerados como eventos de curto prazo, agudos e evidentes, como a anúria e diarreia sanguinolenta, decorrentes da ingestão de mercúrio. Atualmente, ocorrências a médio e longo prazo são observadas, e as relações causa-efeito são pouco evidentes e quase sempre subclínicas. Geralmente esses efeitos são difíceis de serem distinguidos e perdem em especificidade, pois podem ser provocados por outras substâncias tóxicas ou por interações entre esses agentes químicos. Por outro lado, a exposição humana aos metais tóxicos pelo meio ambiente têm aumentado muito nos últimos 50 anos (SANTOS; RODELLA, 2007).

O excesso de metais como mercúrio, chumbo, cádmio, alumínio, arsênio entre outros, que vão se acumulando no organismo por exposição crônica aos mesmos, podem causar uma enorme variedade de sintomas, podendo ter uma influência direta em alterações do comportamento por diminuição das funções cerebrais, influenciando na produção e utilização dos neurotransmissores e alterando processos metabólicos. Também são suscetíveis à exposição destes tóxicos os sistemas gastrintestinal, neurológico, cardiovascular e urológico, causando uma disfunção dos mesmos (NASCIMENTO; XING, 2006). Sabe-se que quantidades diminutas de determinados metais tóxicos já causam efeitos deletérios, porém, estes efeitos variam com o modo, a quantidade e grau da exposição, com o estado nutricional, o metabolismo individual e a capacidade de desintoxicação (MEIRELLES, 2004).

Acredita-se que pessoas idosas e crianças sejam mais suscetíveis às substâncias tóxicas. As principais fontes de exposição aos metais tóxicos são os alimentos, observando-se um elevado índice de absorção gastrointestinal. Em adição aos critérios de prevenção usados em saúde ocupacional e de monitorização ambiental, a biomonitorização tem sido utilizada como indicador biológico de exposição, e toda substância ou produto de biotransformação, ou qualquer alteração bioquímica observada nos fluídos biológicos, tecidos ou ar exalado, mostra a intensidade da exposição e/ou a intensidade dos seus efeitos (NASCIMENTO; XING, 2006).

Atividades como mineração e siderurgia tornam a poluição por metais um sério problema ambiental. Extensas áreas agrícolas

encontram-se contaminadas com metais tóxicos nos EUA e, especialmente na Europa, onde o aumento das áreas contaminadas sem tratamento pode provocar perdas significativas na produção de alimentos (KOS; LESTAN, 2003).

Assim como nos países em desenvolvimento, os problemas de contaminação do solo no Brasil começaram a partir da década de 1970, mas se intensificaram nos últimos anos, com a descoberta de depósitos, usualmente clandestinos de resíduos químicos perigosos. Em 2002, a CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental), divulgou a existência de 255 áreas contaminadas no Estado de São Paulo. Esse número aumentou para 727 em 2003, 1.336 em 2004, 1.504, em 2005 e em 2006 a lista foi novamente atualizada, totalizando 1.664 áreas contaminadas com produtos orgânicos e inorgânicos (CETESB, 2003-2006).

FITORREMEDIAÇÃO

A estimativa mundial para os gastos anuais com a despoluição ambiental gira em torno de 25-30 bilhões de dólares. Este mercado, que é estável nos Estados Unidos (7-8 bilhões), tende a crescer no Brasil uma vez que os investimentos para tratamento dos rejeitos humanos, agrícolas e industriais crescem à medida que aumentam as exigências da sociedade e leis mais rígidas são aplicadas. Apesar das pressões, são as tecnologias mais baratas com capacidade de atender uma maior demanda e que apresentam maior capacidade de desenvolvimento que tendem a obter maior sucesso no futuro (GLASS, 1998).

A recuperação de áreas contaminadas, pelas atividades humanas, pode ser feita através de vários métodos, tais como escavação, incineração, extração com solvente, oxidação e outros que são bastante dispendiosos. Alguns processos deslocam a matéria contaminada para local distante, causando riscos de contaminação secundária e aumentando ainda mais os custos com tratamento. Por isso, em anos recentes passou-se a dar preferência por métodos “*in situ*” que perturbem menos o ambiente e sejam mais econômicos. Dentro deste contexto, a biotecnologia oferece a fitorremediação como alternativa capaz de empregar sistemas vegetais fotossintetizantes e sua microbiota com o fim de desintoxicar ambientes degradados ou poluídos (DINARDI *et al.*, 2003).

Esta técnica oferece várias vantagens que devem ser levadas em conta, grandes áreas que podem ser tratadas de diversas maneiras, a baixo custo, com possibilidades de remediar águas contaminadas, o solo, e subsolo e ao mesmo tempo embelezar o ambiente. Entretanto, o tempo para se obter resultados satisfatórios pode ser longo e a concentração do poluente ou a presença de toxinas devem estar dentro dos limites de tolerância da planta usada para não comprometer o tratamento (DINARDI *et al.*, 2003).

Fitorremediação pode ser definida como a combinação do uso de plantas, amenizantes do solo e práticas agrícolas para remover os poluentes do solo ou reduzir sua toxicidade (SALT *et al.*, 1998), sendo considerada uma tecnologia efetiva não destrutiva, econômica e socialmente aceita para remediar solos poluídos (GARBISCU; ALKORTA, 2001). A fitorremediação utiliza sistemas vegetais para recuperar águas e solos contaminados por poluentes orgânicos ou inorgânicos. Esta área de estudo, embora não seja tão recente, tomou impulso nos últimos anos, quando se verificou que a zona radicular das plantas apresenta a capacidade de biotransformar moléculas orgânicas exógenas. A rizosfera, como é denominada esta zona, tem sido desde então estudada por sua importante função de utilizar moléculas poluentes como fonte de nutrientes para os diversos microorganismos que coabitam essa região. As substâncias alvo da fitorremediação incluem metais (Pb, Zn, Al, Cd, Cu, Ni, Hg, Se), elementos químicos radioativos (U, Cs, Sr), hidrocarbonetos derivados de petróleo, pesticidas e herbicidas (bentazona, compostos clorados, etc), explosivos, solventes clorados e resíduos orgânicos industriais (PCPs, PAHs), entre outros (DINARDI *et al.*, 2003).

A utilização de plantas para descontaminação do solo apareceu de um princípio inverso: a procura de jazidas de minério pela observação da vegetação. Uma maior incidência de determinada espécie na região pode indicar grandes quantidades do minério. Na procura por zinco, percebeu-se que algumas plantas só cresciam perto de terrenos com maior incidência deste elemento. A planta procura o metal. Então passaram a procurar as jazidas observando onde cresciam essas plantas. De acordo com Gratão *et al.* (2005) a fitorremediação pode ser classificada dependendo da técnica a ser empregada, da natureza química ou da propriedade do poluente, em:

- Fitoextração: envolve a absorção pelas raízes, nas quais os contaminantes são armazenados ou são transportados e acumulados nas partes aéreas. É aplicada principalmente para metais.
- Fitoestabilização: os contaminantes orgânicos ou inorgânicos são incorporados à lignina da parede vegetal ou ao húmus do solo precipitando os metais sob formas insolúveis, sendo posteriormente aprisionados na matriz.
- Fitoestimulação: as raízes em crescimento promovem a proliferação de microorganismos degradativos na rizosfera, que usam os metabólitos exudados da planta como fonte de carbono e energia. Esta técnica limita-se a compostos orgânicos.
- Fitovolatização: alguns íons de elementos dos subgrupos II, V e VI da tabela periódica (mercúrio, selênio e arsênio), são absorvidos pelas raízes, convertidos em formas não tóxicas e depois liberados na atmosfera.
- Fitodegradação: os contaminantes orgânicos são degradados ou mineralizados dentro das células vegetais por enzimas específicas (nitroreduases, desalogenases e lactases, como exemplo).
- Rizofiltração: é a técnica que emprega plantas terrestres para absorver, concentrar e/ou precipitar os contaminantes de um meio aquoso, particularmente metais pesados ou elementos radioativos, através de seu sistema radicular.
- Barreiras Hidráulicas: algumas árvores de grande porte, particularmente aquelas com raízes profundas, removem grandes quantidades de água do subsolo ou dos lençóis freáticos a qual é evaporada através das folhas. Os contaminantes presentes na água são metabolizados pelas enzimas vegetais, vaporizados junto com a água ou simplesmente aprisionados nos tecidos vegetais.
- Açudes Artificiais: são ecossistemas formados por solos orgânicos, microorganismos, algas e plantas aquáticas vasculares que trabalham conjuntamente no tratamento dos efluentes, através das ações combinadas de filtração, troca iônica, adsorção e precipitação.

Riscos como a possibilidade dos vegetais entrarem na cadeia alimentar, devem ser considerados quando esta tecnologia for empregada (DINARDI *et al.*, 2003). No caso dos metais, as espécies acumuladoras teriam maior potencial fitoextrator, mas geralmente apresentam tamanho reduzido e baixa taxa de crescimento, o que

limita sua aplicação em larga escala (RASKIN *et al.*, 1997). Além da extração de metais biodisponíveis do solo, a introdução de plantas em área contaminada melhora o aporte de material orgânico, aumenta a quantidade de raízes que contribuem para melhorar a estrutura, atenua processos erosivos e melhora o habitat para os microorganismos do solo (KHAN *et al.*, 2000). Na Tabela 1 são apresentadas algumas espécies utilizadas como fitorremediadoras para metais e compostos orgânicos:

Tabela 1: Algumas espécies fitorremediadoras e suas utilizações

CONTAMINANTES	ESPÉCIES	MECANISMOS
Zn e Cd.	<i>Halleri</i> , <i>Pfoffia sp.</i> , <i>T. caerulenscens</i>	Fitoextração
As e Ni.	<i>Pteris sp.</i> , <i>B. coddii</i> .	Fitoextração
Hg orgânico e inorgânico.	<i>Juncea (G. M.)</i> <i>Pulus sp.</i>	Fitovolatilização
Zn, Cd, Cu, Pb, Mn e As.	<i>Z. mays</i> , <i>Eucaliptus spp.</i> <i>A. capillares</i> , <i>F. rubra</i> .	Fitoestatização
Se inorgânico.	<i>Salicornia bigelovvi</i> .	Fitovolatilização
U, As e Hg.	<i>Helianthus sp.</i> <i>E. crassipes</i> , <i>Pteris sp.</i>	Rixofiltração
Cr.	<i>E. crassipes</i> .	Fitodessintoxicação
Hg inorgânico.	<i>B. juncea</i>	Rizovolatilização

Fonte: Khan *et al.* (2000).

As plantas hiperacumuladoras são altamente especializadas em acumular ou tolerar altíssimas concentrações de metais (RASKIN *et al.*, 1994). Foram identificadas 400 plantas hiperacumuladoras, sendo a maioria originária de áreas contaminadas da Europa, EUA, Nova Zelândia e Austrália (KHAN *et al.*, 2000). Essas plantas pertencem às famílias *Brassicaceae*, *Fabaceae*, *Euphorbiaceae*, *Asteraceae*, *Lamiaceae* e *Scrophelariaceae*, algumas dessas existentes no Cerrado (GARBISCU; ALKORTA, 2001).

Algumas plantas possuem potencial para extrair vários metais do solo, outras são mais específicas. A *Brassica juncea* possui potencial para remediar solos com altos teores de Pb, Cr, Cd, Cu, Ni, Zn, Sr, B e Se; *Thlaspi caerulescens* para fitorremediar Cd, Ni e Zn; *Helianthus annuus*, *Bicotina tabacum* e *Alyssum, caufenianum* para extrair Ni (USEPA, 2000).

Os mecanismos envolvidos na tolerância das plantas e 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, na remoção de íons do metabolismo por armazenamento em formas fixas e/ou insolúveis em vários órgãos e organelas, alteração em padrões metabólicos, dentre outros (MOHR; SCHOPFER, 1995). De acordo com esses autores, a formação de fitoquelatinas foi a principal razão para a tolerância de algumas espécies aos altos teores de Zn e Cd no solo. 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.

Estudos de tolerância ao Pb, realizados com algumas variedades das espécies de *Vigna* e *Orysa*, demonstraram que as variedades mais tolerantes tinham maior atividade de peroxidase, catalase e glucose-6-fosfato dehidrogenase em relação aquelas não tolerantes (ROUTH *et al.*, 2001).

Osho More (2000) comenta que as plantas tolerantes cultivadas ou presentes em áreas contaminadas por metais pesados desenvolvem barreiras reprodutivas, como o florescimento precoce.

Alguns fatores afetam a fitotoxicidade e fito-disponibilidade de metais tóxicos no solo como: o valor do pH, o teor de argila, a quantidade de matéria orgânica e o nível de fosfato no solo. (GALLI *et al.*, 2006). Com isto, o desenvolvimento de técnicas precisas de extração desses resíduos tornou-se de fundamental importância; esforços têm sido feitos no sentido de desenvolver técnicas de descontaminação fundamentada em processos naturais, com custo mais baixo, como a fitorremediação.

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. Várias universidades desenvolvem projetos ligados a esta área, como a Universidade da Califórnia e a Universidade de *Glasgow*. No Brasil, sabe-se que algumas empresas estatais e privadas, bom como instituições acadêmicas pesquisam e exploram métodos de biorremediação através da fitorremediação (CUNNINGHAN *et al.*, 1996)

O estudo e a exploração comercial de plantas fitoextratoras estão bastante avançadas nos países desenvolvidos e com políticas ambientais bem definidas. No Brasil, porém, essa técnica é desconhecida e ainda pouco utilizada (PEREIRA, 2005).

A fitorremediação já tem sido utilizada no Brasil e no mundo para a recuperação de vários ambientes contaminados. Dos 2,9 milhões de toneladas de resíduos industriais perigosos gerados anualmente no Brasil, somente 600 mil toneladas recebem tratamento adequado, conforme estimativa da Associação Brasileira de Empresas de Tratamento, Recuperação e Disposição de Resíduos Especiais (ABETRE). Os 78% restantes são depositados indevidamente em lixões, sem qualquer tipo de tratamento (CAMPANILI, 2002).

O chorume, resíduo de lixões, pode ser tratado por processo de fitorremediação. Para crescer, as plantas necessitam de dezesseis elementos químicos, considerados essenciais, tem efeitos positivos sobre o desenvolvimento dos vegetais. Desses elementos os macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) e os micronutrientes (Cu, Fe, Mn, Zn, Mo, B, Al e Cl) são retirados do solo; o C, o H e o O são retirados do ar na forma de gás carbônico e água. Esses nutrientes podem ser encontrados em grandes concentrações no chorume. O Co, o Ni, o Si o V e o Cd são considerados benéficos ao crescimento das plantas e também podem ser encontrados no chorume. A remoção dos metais tóxicos pode ser eficientemente realizada através da fitorremediação, uma vez que o chorume pode servir de adubo para eucalipto, planta que apresenta eficiência na fitoextração de metais. Após a saturação, os metais podem ser recuperados na biomassa regenerada. (ZEITOUNI *et al.*, 2007).

Vários são os estudos desenvolvidos para se encontrar espécies acumuladoras de metais poluentes, dentre eles verificou-se que duas espécies de eucalipto, a herbácea *Pfaffia (calaminácea)* e uma *crucífera*, a *Brassica sp.* A *Pfaffia* uma planta selvagem, rara, mostraram hiperacumulação de cádmio e poderão ser utilizadas na recuperação de solos contaminados por cádmio. (BROOKS, 1998).

Oyamada *et al.* (2006) estudaram a remoção de cádmio e chumbo em alga marinha *Sargassum sp* em coluna de leito fixo. Observou-se que a bioadsorção depende apenas da concentração inicial, para ambos os metais e a máxima adsorção ocorre com

maiores concentrações. Concluindo a eficiência alga marinha *Sargassum sp* para a fitorremediação.

Gonzaga *et al.* (2006), constatou que as samambaias hiperacumulam arsênio. Primeiro, um estudo com a *Pteris vittat*, apresentou extraordinária capacidade para remover arsênio do solo, concentrando 2,3% do arsênio na biomassa. Em seguida, foi observado que a samambaia *Pityrogramma calomelanos* possui capacidade semelhante para acumular arsênio. Essa característica peculiar foi observada em outras samambaias do gênero *Pteris*. Em geral, essas plantas parecem apresentar mecanismos constitutivos e adaptativos que permitem elevada absorção e sobrevivência em solos com altas concentrações de arsênio. Muitas pesquisas têm sido conduzidas no sentido de entender e aumentar a capacidade de absorção de arsênio dessas plantas.

Gratão *et al.* (2005) avaliou o potencial de diferentes espécies vegetais de *leguminosas* herbáceas: *crotalaria* (*Crotalaria spectabilis* Roth.), feijão de porco (*Canavalia ensiformis* L.), mucuna preta (*Stilozobium aterrinum* Piper E Tracy); forrageiras herbáceas: *estilosante* (*Stylosanthes humilis* HBK), amendoim forrageiro (*Arachis pintoi* Krapov E Gregory), azevém (*Lolium multiflorum* L.), *aveia preta* (*Avena sativa* L.); *leguminosas arbustivas*: *feijão gandu* (*Cajanus cajan* L.), *sisbania* (*sisbania virgata* Cav.), *leucena* (*Leucaena leucocphala* L.) e *espécies de eucaliptos* *Eucalyptus grandis* Hill, *E. claeziana* (F. MUELL), *E. urophylla* (S. T. BLACK), *Corymbia citriadora* (*Eucalyptus critiadora* Hook) para programas de fitorremediação de aéreas contaminadas por arsênio. As espécies mucuna preta, azevém, amendoim, estilosante e *urphyllla* apresentaram alta tolerância com potencial para fitoextração, concluindo que as plantas mais rústicas são mais tolerantes (MELO, 2006).

Ernest (1996) avaliou a capacidade das plantas como: mamona, girassol, pimenta da Amazônia e tabaco em extrair metais de um latossolo vermelho-amarelo distrófico. Concluiu que a planta mais eficiente em extrair o Cd e o Zn do solo enriquecido com metais foi o tabaco (*Nicotiana tabacum*).

Romeiro (2007) estudou o potencial fitoextrator de *Canavalia ensiformes* L. (feijão-de-porco) para o chumbo (Pb). As plantas foram cultivadas em solução nutritiva em casa de vegetação sobre

condições parcialmente controladas. O Pb foi testado nas concentrações de 100, 200 e 400 mmol. L^{-1} . As plantas de *Canavalia* ensiformes foram boas acumuladoras e tolerantes ao Pb, demonstrando seu potencial como fitoextrator para esse metal.

O Cerrado apresenta um grande potencial a ser estudado, tendo em vista plantas hiperacumuladoras, pois as plantas do Cerrado crescem em terrenos ácidos e ricos em metais, sendo que isso não representa um problema para o desenvolvimento dessas plantas, entretanto, é necessário conhecer os mecanismos dessas plantas, para ter-se uma noção exata de quanto metal ela acumula, em que parte, qual metal ela acumula e se no caso de plantas frutíferas se isso poderia trazer algum risco à saúde humana

As plantas do Cerrado possuem características comuns tais como: elevada acidez, toxidez de alumínio, alta deficiência de nutrientes, alta capacidade de fixação de fósforo e baixa capacidade de troca de cátions (CHAVES, 2001). Essas características diferenciadas apontam para o potencial de fitorremediação de plantas nativas do cerrado, constituído de plantas rústicas que tem uma biologia diferenciada, adaptada a condições edáfico-climáticas em que outras plantas não sobreviveriam assim um dos maiores problemas da fitorremediação atualmente é a falta de estudos que apresentem plantas nativas que poderiam ser utilizadas nesse processo (HARIDASAN, 1994).

Os trabalhos clássicos de Alvim e Araújo (1952), Arens (1958), Goodland (1971) e Lopes e Cox (1977) salientaram os aspectos negativos de baixa fertilidade e alta saturação de alumínio desses solos em relação ao escleromorfismo das espécies nativas. Há espécies que só ocorrem em solos ácidos, outras que são restritas a solos calcárias e outras indiferentes quanto à fertilidade do solo (RATTER *et al.*, 1977, 1978). Foi Goodland (1971) quem discutiu em seu trabalho de maneira relevante à questão da acumulação de alumínio em plantas nativas do Cerrado. O autor sugeriu que o escleromorfismo das plantas nativas do Cerrado poderia ser consequência da toxicidade de alumínio

Com base nos trabalhos de Hutchinson (1943) e Chenery (1948a e 1948b), que identificaram várias plantas acumuladoras de alumínio na Austrália e outras regiões do mundo, Goodland sugeriu que as plantas das famílias *Vochysiaceae* e *Melastomataceae* do Cerrado poderiam ser acumuladoras de alu-

mínio. Haridasan (1982) apresentou dados de concentração foliar de alumínio e de nutrientes essenciais em todas as espécies arbóreas e arbustivas de um cerrado *sensu stricto* na Fazenda Água Limpa Estado de Goiás, comprovando que as altas concentrações de alumínio nas acumuladoras não estão associadas às baixas concentrações foliares de nutrientes essenciais. As acumuladoras pertenciam às famílias *Vochysiaceae* (*Qualea grandiflora*, *Qualea parviflora*, *Qualea multiflora*, *Vochysia thyrsoidea*, *Vochysia elliptica*), *Melastomataceae* (*Miconia ferruginata*, *Miconia pohliana*) e *Rubiaceae* (*Paulicourea rígida*). Porém as acumuladoras não estão restritas aos solos distróficos a *Callisthene fasciculata* (*Vochysiaceae*) é uma planta acumuladora geralmente restrita aos solos mesotróficos (HARIDASAN; ARAÚJO, 1988).

O Instituto de Geociências (IGc) da USP (Universidade de São Paulo) 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 como 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.

Paiva *et al.*, 2004, desenvolveram um estudo com mudas de ipê-roxo, planta nativa do Cerrado, para verificar sua ação como acumuladora de Cádmiio e observou-se que a aplicação de Cd promove redução no teor de P, K, Ca e Mg na raiz de mudas de ipê-roxo; ao passo que o teor foliar de macronutrientes não é afetado pela presença desse metal pesado. O teor radicular de Cu, Fe e Mn aumenta e o de Zn diminui na presença de Cd, em solução nutritiva. O teor de Cd na raiz, no caule e nas folhas da muda aumentou com as doses aplicadas. O conteúdo radicular de macronutrientes diminui com a aplicação de Cd, ao passo que o conteúdo caulinar e foliar não é afetado significativamente. O conteúdo de Mn não é afetado pela aplicação de Cd. O conteúdo total de Cu e Zn diminui significativamente, enquanto o conteúdo total de Fe aumenta e o conteúdo de Cd aumentou em todas as partes das plantas ana-

lisadas, apresentando resposta quadrática, concluindo-se que essa planta possui forte potencial fitoextrator para retirar o Cd do solo sendo planta nativa do Cerrado (PASSOS *et al.*, 2003).

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 (SIMONETTI *et al.*, 2008).

Os consórcios de vegetações utilizados na Nova Zelândia ou nos Estados Unidos, por exemplo, não podem ser aplicados no Brasil. Isto porque a utilização de espécies exóticas aos biomas brasileiros é uma prática perigosa. A vegetação inserida em outro ambiente poderia virar uma praga. É necessário encontrar-se quais consórcios nativos do Brasil que poderiam ser utilizados na remediação.

Além disso, os Estados Unidos vem utilizando espécies geneticamente modificadas para a fitorremediação, o que é proibido no Brasil. Além de ser um método mais barato e menos destrutivo, a fitorremediação oferece outras vantagens econômicas, como a possibilidade de negociação dos créditos de carbono, pois a vegetação formada captura dióxido de carbono do ar e o fixa em sua estrutura. Também é possível reaproveitar, no caso dos metais, o material fitoextraído do solo. Metais de valor, como o níquel, ficam retidos na estrutura da planta, e podem ser recuperados em um processo de dissecação. Após a descontaminação da matéria vegetal, esta ainda pode ser utilizada como biocombustível em caldeiras. A prática elimina quase que por completo os resíduos da remediação (MORENO, 2008).

CONCLUSÃO

Concluí-se que atualmente, a contaminação dos solos por metais poluentes é um grave problema ambiental, devido a sua persistência e elevado poder de toxicidade. O Cerrado oferece plantas nativas que fazem o processo de fitorremediação. O uso

de plantas exóticas que podem trazer problemas aos biomas brasileiros é uma prática perigosa, pois, a vegetação de um lugar quando inserida em outro ambiente poderia virar uma praga, tendo em vista que não existem predadores da planta podendo propiciar o surgimento de fungos e doenças que não são típicas dessa região. Observa-se ainda, que carecem estudos específicos sobre plantas do Cerrado que possuem a habilidade de fitorremediar. Além de ser um método mais barato e menos destrutivo, a fitorremediação oferece outras vantagens econômicas como a possibilidade de negociação dos créditos de carbono, pois a vegetação formada captura dióxido de carbono do ar e o fixa em sua estrutura. Também é possível reaproveitar, no caso dos metais, o material fitoextraído do solo. Após a descontaminação da matéria vegetal, esta ainda pode ser utilizada como biocombustível em caldeiras. Sendo assim a fitorremediação pode ser vista como uma tecnologia socialmente justa, ecologicamente aceitável e economicamente desejável, completamente sustentável.

Referências

- ALVIN, P. T.; ARAÚJO, W. A. *El suelo como factor ecólogo em el desarrollo de la vegetación em el centro oeste del Brasil Turrialba*, v. 2, p. 153-160, 1952.
- ARENS, K. O Cerrado como vegetação oligotrófica. *Boletim da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras*. São Paulo: Edusp, 224. Bot. v. 15, p. 59-77, 1958.
- BROOKS, R. R. Phytoremediation by volatilization. In: BROOKS, R. R. (Ed.). *Plants that Hyperaccumulate Heavy Metals*, Walling-ford: CAB International, 1998. p. 289.
- CAMPANILI, M. Apenas 22% dos resíduos industriais têm tratamento adequado. *O Estado de São Paulo*, 2002.
- CHAVES, L. J. *Melhoramento e conservação de espécies frutíferas do cerrado*, Disponível em: <<http://www.sbmp.org.br/cbmp.2001/palestras/palestra.htm>>. Acesso em: 12 mar., 2008.
- CHENERY, E. M. Aluminium in the plant world: general survey in the dicatyledans. *Kew Bulletin*, v. 3, p. 173-183, 1948a.
- CHENERY, E. M. Aluminium in the plants and its relation to plant pigments. *Annals of Botany*, v. 12, p. 121-136, 1948b.
- CETESB. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Relatório de Estabilidade de Valores *Orientadores para solo e águas subterrâneas no estado*

de São Paulo. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br>>. Acesso em: 15 jan. 2003-2006.

CUNNINGHAM, S. D. *et al.* Phytoremediation of soils contaminated with organic pollutants. *Adv. Agronl*, v. 56, p. 55, 1996.

DINARDI, A. L. *et al.* Fitorremediação. In: III FÓRUM DE ESTUDOS CONTÁBEIS, *Resumos...* Campinas: CESET-Unicamp, 2003.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. *Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes*. Brasília. Embrapa Cerrados Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999.

ERNEST, W. H. O Phytorextraction of mine wastes-options and impossibilities. *Chemie der Erd*, v. 65, p. 29-42, 2005.

GALLI, A. *et al.* Utilização de técnicas eletroanalíticas na determinação de pesticidas em alimentos. *Química Nova*, v. 29, n. 1, 105-112, 2006.

GARBISCU, C.; ALKORTA, L. Phytorextraction: a cost effective plant-based technology for the removal of metals from the environment. *Bioresource Technology*, Essex, v. 77, p. 229-236, 2001.

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

GONZAGA, M. I. S. *et al.* Fitoextração e hiperacumulação de arsênio por espécies de samambaias. *Sci. Agric. (Piracicaba, Braz.)*, v. 63, n. 1, p. 90-101, jan./fev. 2006.

GRATÃO, P. L. *et al.* Phytoremediation: green technology for the clean up of toxic metals in the environment. *Braz. J. Plant. Physiol.*, v. 17, n. 1, p. 53-64, 2005.

GOODLAND, R. Oligotrofismo e alumínio no Cerrado. In: FERRI, M. G. (Ed.). III Simpósio sobre o Cerrado. São Paulo: Edusp, 1971.

GOODLAND, R.; POLLARD, R. Aluminium and nutrient strategies of Cerrado trees. In: II CONGRESSO LATINO AMERICANO DE BOTÂNICA. *Resumos...*, 1978. p. 71-72 p.

HARIDASAM, M.; ARAÚJO, G. M. A comparison of the nutrient status of two forests on dystrophic and mesotrophic soils in the Cerrado region of central Brazil. *Communications Soil Science and Plant Analysis*, v. 19, p. 1075-1089, 1988.

HARIDASAM, M. Aluminium accumulation by some Cerrado native species of central Brazil. *Plant and Soil*, v. 65, p. 265-273, 1982.

HARIDASAM, M. Solos do Distrito Federal. In: PINTO, M. N. (Org.). *Cerrado: caracterização, ocupação e perspectivas*. Brasília: Ed. da UnB/SEMATEC, 1994. 321-344p.

HUTCHINSON, D. E. The biochemistry of aluminium and certain related elements. *Quarterly Reviews of Biology*, v. 18, p. 1-29, 123-153, 242-262, 331-363, 1943.

KHAN, A. G. et al. Role of plants, mycorrhizae and phytochelators in heavy metal contaminated land remediation. *Chemosphere*, v. 21, p. 197-207, 2000.

KOS, B.; LESTAN, D. Induced phytoextraction/soil washing of using biodegradable chelate and permeable barriers. *Environ. Sci. Technol.*, v. 37, p. 624-629, 2003.

LOPES, A. J.; COX, F. R. A survey of the fertility status of surface soils under Cerrado vegetation of Brazil. *Soil Science Society of America Journal*, v. 41, p. 752-757, 1977.

MEIRELLES, L. *Os metais tóxicos e seus efeitos deletérios*. 2004. Disponível em: <<http://www.nutricaoimdiets@estadao.com.br/>>. Acesso em: 28 abr. 2008.

MELO, R. F. de. *Potencial de espécies vegetais para fitorremediação de um solo contaminado por arsênio*. Viçosa: Ed. da UFV, 2006.

MOHR, H.; SCHOPFER, R. *Plant Physiology*. Berlin: Springer-Verlog, 1995.

MORENO, F. N. Fitorremediação: Plantas nativas podem recuperar solos poluídos. São Paulo, 2008. Disponível em: <<http://www.ecodebate.com.br/index.php/2008/04/28/fitorremediacao-plantas-nativas-podem-recuperar-solos-poluidos/>>. Acesso em: 28 abr. 2008.

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

OYAMADA, N. S.; KLEINÜBING, S. J.; SILVA, M. G. C. Avaliação do processo de bioadsorção de cádmio e chumbo em alga marinha *Sargassum SP*. In: XIV CONGRESSO INTERNO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, Campinas. Resumos..., Campinas: Edunicamp, 2006.

PAIVA, H. N. de et al. Absorção de Nutrientes por mudas de ipê-roxo (*Tabebuia impetiginosa*) em solução nutritiva contaminada por cádmio. *R. Árvore*, Viçosa, v. 28, n. 2, p. 189-197, 2004.

PEREIRA, BFF. *Potencial fitorremediadora das culturas de feijão de porco, girassol e milho cultivadas em latossolo vermelho contaminado com chumbo*. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Agronegócio, Campinas, 2005.

RATTER, J. A. A et al. Observações no Brasil Central. In: FERRI, M. G. (Ed.). IV SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO. São Paulo: Edusp, 1977, p. 306-316.

RATTER, J. A. A. et al. Observations soils in central Brazil *Revista Brasileira de Botânica*, 1: 47-58, 1978.

RASKIN, I.; SMITH, R. D.; SALT, D. E. Phytoextraction of metals using plants to remove pollutants from the environment. *Current Opinion in Biotechnology*, v. 18, p. 221-285, 1997.

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

ROMEIRO, S. et al. Absorção de chumbo e potencial de fitorremediação de Canavalia ensiformes L. *Bragantia*, Campinas, v.66, n. 2, p. 327-334, 2007.

ROUTH, G. R. et al. Differential lead tolerance of rice and black gram in hydroponic culture. *Rostlinna Vyroba*, v. 47, n. 12, p. 541-548, 2001.

SALGADO, P. E. T. Toxicologia dos metais. In: OGA, S. Fundamentos de toxicologia. São Paulo, 1996. cap. 3.2, p. 154-172.

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

SANTOS, GCG Dos; RODELLA, A. A. Poluição do solo e qualidade ambiental. *Revista Brás. Ci. Solo*, v. 31, p.793-804, 2007.

SIMONETTI, C. et al. Soluções ambientais sistema de fitorremediação com espécies nativas das florestas pluvial atlântica e estacional semidecídua e do Cerrado Brasileiro – AMBITERRA, 2008. Disponível em: <<http://www.ekosbrasil.org/seminario/default.asp>>. Acesso em: 28 abr 2008.

USEPA. United States Environmental Protection Agency. Introduction to Phytoremediation. EPA/600/Agency. EPA/600/R-99/107. Disponível em: <http://clu-in.org/techpubs.htm>>. Acesso em: 13 fev. 2000.

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

ZEITOUNI, C. de F. et al. Fitoextração de cádmio e zinco de um latossolo vermelho-amarelo contaminado com metais pesados. *Bragantia*, Campinas, v. 66, n. 4, p. 649-657, 2007.

Abstract: the phytoremediation is characterized by the use of plant and microbial in order to extract and reduce the toxicity of metals in soil. It has been described as an effective technology, undestructive, economically and socially acceptable to remedy polluted soil. Today through some studies, you can see that the Cerrado offers native plants that make the process of phytoremediation, an alternative low cost and with the use of green technology with no environmental impacts.

Keywords: heavy metals, phytoremediation, native plants, Cerrado

DANIELE LOPES OLIVEIRA

Mestre em Ecologia e Produção Sustentável pela Pontifícia Universidade Católica (PUC Goiás). Especialista em Docência Superior pela Faculdade Lions. Graduada em Direito pela PUC Goiás. Professora na Faculdade Delta Goiás e Instrutora de Cursos e Consultora da Empresa DR Empreendimentos e Consultoria Ltda. *E-mail:* danielolopes_oliveira@hotmail.com

CLEONICE ROCHA

Doutora em Química pela Universidade de São Paulo (USP). Mestre em Química pela USP. Professora do Mestrado em Ecologia e Produção Sustentável na PUC Goiás. Graduada em Química pela UFU. *E-mail:* cleonice@ucg.br

PAULO CESAR MOREIRA

Doutor em Ciência Animal pela Universidade Federal de Minas Gerais. Mestre em Medicina Veterinária na Universidade Federal de Goiás. Professor no Mestrado em Ecologia e Produção Sustentável na PUC Goiás e Universidade Federal de Goiás. Graduado em Medicina Veterinária pela UFMG. *E-mail:* paulocesar.8888@gmail.com

STEPHÂNIA DE OLIVEIRA LAUDARES MOREIRA

Acadêmica de Medicina na PUC Goiás.