

Fitorremediação de Solos Contaminados – O Estado da Arte

André Luis Faustino Anselmo (UERJ) aluisfa@ig.com.br
Cleveland Maximino Jones (UERJ) cmjones@mensa.org.br

Resumo

A fitorremediação é uma técnica que utiliza plantas como o agente de descontaminação do solo e da água. O uso de sistemas baseados em plantas para a remediação de solos contaminados transformou-se em uma intensa área de estudo científico, nos anos recentes. É uma alternativa aos métodos convencionais de remoção física da camada contaminada do solo, ou do tratamento da água ou do solo com diversas tecnologias, como lavagem dos sedimentos, etc., sendo vantajosa principalmente por apresentar potencial para tratamento in situ e por ser economicamente viável. Além disso, após extrair os contaminantes do solo, as plantas os armazenam em seus tecidos, permitindo um tratamento subsequente, ou os metabolizam, podendo, em alguns casos, transformá-los em produtos menos tóxicos ou mesmo inócuos. Resultados promissores já foram obtidos para metais pesados, hidrocarbonetos, agrotóxicos, explosivos, solventes clorados e resíduos tóxicos da indústria.

Palavras-chave: Fitorremediação, Solos Contaminados e Metais Pesados.

1. Introdução

A poluição do solo com metais pesados, devido às atividades industriais, agrícolas e pela urbanização, é um problema crescente e é responsável por sérios impactos ao meio ambiente (SENGUPTA, 1993). Fábricas, veículos motorizados e detritos municipais são as principais fontes de fontes de contaminação (BAKER, 1994). O eventual destino final dos metais pesados é a sua deposição e soterramento em solos e sedimentos. Eles acumulam-se frequentemente na camada superior do solo, sendo então acessíveis para as raízes das plantas. Ao serem remobilizados, podem mudar de forma química e acumular-se em organismos vivos, com conseqüências que podem chegar à dizimação da biota ou, caso ocorra o processo de adaptação, apresentar concentrações milhares de vezes maiores do que as presentes no seu ecossistema (BAKER, 1994).

Os métodos de remediação mais apropriados dependem das características do local, da concentração e, dos tipos de poluentes a serem removidos, e do uso final do meio contaminado. Esses métodos têm como objetivo imobilizar os metais e retirá-los do solo, utilizando um dos seguintes processos: fitorremediação (emprega plantas com o objetivo de remover, transferir, estabilizar ou destruir elementos nocivos); biorremediação (introdução de microorganismos específicos no local da contaminação); separação mecânica; eletrocinética (passagem de uma corrente elétrica de baixa intensidade entre os eletrodos envolvidos pelos contaminantes do solo); tratamento químico (processos oxidativos ou redutores); tratamento por paredes permeáveis; e tratamento “in situ” (BURKEN, 2002). Muitos métodos ainda estão em desenvolvimento. A fitorremediação tem atraído o interesse devido à sua eficiência, adequação a aplicações em longo prazo, pouca manutenção exigida e vantagens estéticas, e ainda tem o atrativo de apresentar um custo baixo e de ser mais bem aceita pela população, pois utiliza plantas em um processo reconhecido como mais “natural” (BURKEN, 2002).

2. A utilização da fitorremediação no Brasil e no Mundo

A biotecnologia pode ser uma importante ferramenta para a proteção do meio ambiente. Além das plantas já utilizadas, tolerantes a herbicidas e resistentes a insetos, que diminuem o uso de

agrotóxicos e a aragem do solo, a ciência agora estuda a aplicação de plantas geneticamente modificadas na limpeza de solos contaminados (ABRABI, 2003).

A estimativa mundial para os gastos anuais com a despoluição ambiental é de aproximadamente 25 - 30 bilhões de dólares. No Brasil os investimentos para o tratamento dos resíduos humanos, agrícolas e industriais crescem à medida que aumentam as exigências da sociedade, e leis mais rígidas são aplicadas (ANA LIGIA DINARDI, 2003). Apesar das pressões, a fitorremediação é a tecnologia mais barata, com capacidade de atender uma maior demanda, e que apresenta o maior potencial de desenvolvimento futuro (CHEKOL, 2004).

Nos últimos 10 anos, surgiram nos EUA e na 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-Poulenc, que empregam a fitorremediação em seus próprios sítios contaminados (GLASS, 1998). Várias universidades desenvolvem projetos ligados a esta área. No Brasil, sabe-se que algumas empresas estatais e privadas, bem como instituições acadêmicas (Unicamp, por exemplo) pesquisam e exploram métodos de biorremediação através da fitorremediação (ANA LIGIA DINARDI, 2003).

O sucesso do tratamento empregando plantas aquáticas vai além do baixo custo; há muitas possibilidades de reciclagem da biomassa produzida, que pode ser utilizada como fertilizante, ração animal, geração de energia (biogás ou queima direta), fabricação de papel, extração de proteínas para o uso em rações, extração de substâncias quimicamente ativas de suas raízes para uso como estimulante de crescimento de plantas, etc. (GLASS, 1998).

2.1. Pesquisas realizadas

Segundo Anderson & Coats (1995) e Cunningham et al. (1996), pesquisas vêm sendo realizadas principalmente nos EUA e na Europa, porém outros países vem pesquisando e estudando esta tecnologia, como o caso do Canadá, Coréia e Japão.

Pesquisadores do Laboratório Nacional de Pesquisa em Fitorremediação (Coréia), por exemplo, transferiram um gene da levedura *Saccharomyces cerevisiae* para o DNA da *Arabidopsis thaliana*, planta modelo em pesquisas genéticas (ABRABI, 2004). O gene conferiu à *Arabidopsis* tolerância a metais pesados, como chumbo e cádmio. O resultado é uma planta transgênica capaz de absorver esses metais do solo.

Outra pesquisa, desenvolvida pela Universidade da Geórgia, nos EUA, também modificou geneticamente a *Arabidopsis thaliana*, só que com dois genes da bactéria *Escherichia coli* (ABRABI, 2004). Com isso, a nova variedade da planta é capaz de absorver arsênico do solo.

A Universidade da Geórgia também desenvolve algodoeiros transgênicos para limpar solos contaminados com mercúrio, que polui os solos de áreas industriais e as áreas de garimpo. As plantas já estão sendo testadas no estado norte-americano de Connecticut, onde irão retirar o mercúrio depositado por uma antiga fábrica de chapéus. A cidade deverá economizar cerca de US\$ 500 mil – o custo da remoção e recolocação do solo (ANA LIGIA DINARDI, 2003).

3. Tecnologias de fitorremediação

Alguns requisitos para a implantação de programas de fitorremediação devem ser levados em consideração, principalmente as características físico-químicas do solo e do contaminante, e sua distribuição na área. Qualquer fator que venha a interferir negativamente no desempenho das plantas deve ser controlado ou minimizado, para favorecer sua ação descontaminante. É desejável que as plantas que apresentem potencial para fitorremediação possuam algumas características que devem ser usadas como indicativos para seleção (NEWMAN, 2004).

Naturalmente, torna-se difícil reunir todas essas características numa só planta; estudos estão sendo realizados com o intuito de selecionar as plantas que reúnem o maior número dessas características. Outro aspecto a ser observado é que, embora a maioria dos testes avalie plantas isoladas, várias espécies podem ser usadas em um mesmo local, ao mesmo tempo ou subsequentemente, para remover mais de um contaminante (MILLER, 1996).

A fitorremediação pode ser classificada dependendo da técnica a ser empregada, da natureza química, ou das propriedades do poluente. As plantas podem remediar os solos contaminados através dos seguintes mecanismos: fito-extração, fito-estabilização, rizofiltração, fitodegradação, fito-estimulação, fitovolatilização, cepas vegetativas, açudes artificiais e barreiras hidráulicas. A Figura 1 mostra o funcionamento dos mecanismos da fitorremediação.

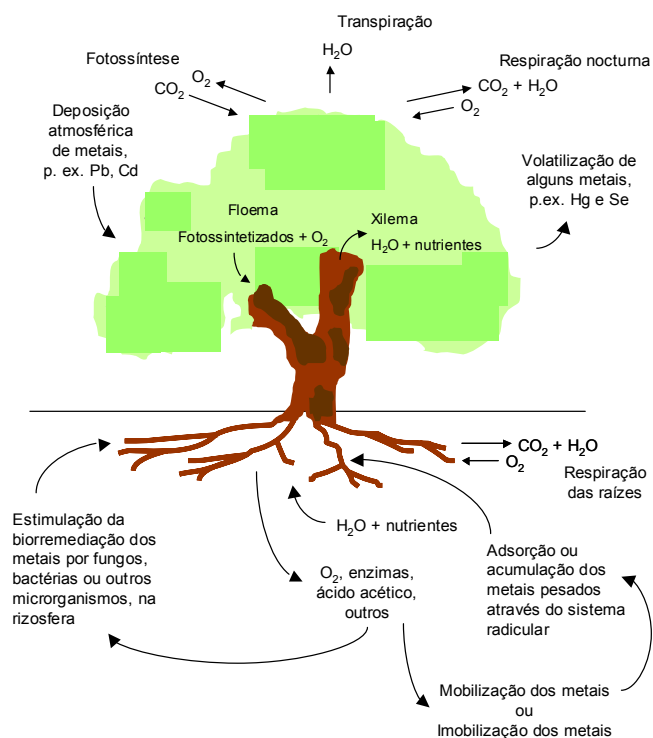


Figura 1 – Mecanismos de fitorremediação

A fito-extração ou fito-acumulação é a absorção do metal contaminante pelas raízes das plantas para o tronco e as folhas. É aplicada principalmente para metais (Cd, Ni, Cu, Zn, Pb), e também para outros compostos inorgânicos (Se) e orgânicos (MCGRATH, 1998). Esta técnica utiliza plantas chamadas hiperacumuladoras, que têm a capacidade de armazenar altas concentrações de metais específicos (0,1% a 1% do peso seco, dependendo do metal).

A fito-estabilização usa plantas para limitar a mobilidade e bio-disponibilidade de metais nos solos. As plantas usadas devem ser capazes de tolerar altos níveis de metais e imobilizá-los no solo por precipitação, complexação ou redução de valências (Carl Ma & John Kingscott, 1997).

A 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 radiativos, através do seu sistema radicular (GLASS, 1998). Uma vegetação, em região contaminada, pode influenciar a força hidráulica do aquífero e controlar a migração da pluma de contaminação para a superfície, ao extrair a água subterrânea. Para aproveitar esse efeito de bombeamento natural, usam-se árvores com raízes profundas, cujas raízes alcançam 30 m ou mais e absorvem de 200 a 2.000 l de água por dia, como o choupo do Canadá ou a alfaia.

A fitodegradação é o processo no qual as plantas são capazes de degradar poluentes orgânicos. Em alguns casos, os poluentes se transformam em moléculas simples que são usadas para o crescimento da planta, (CARL MA & JOHN KINGSCOTT, 1997). Algumas plantas contêm enzimas que quebram substâncias orgânicas, como o tricloro-etileno (TCE) e alguns herbicidas, e os fragmentos são incorporados para uso da planta.

A região ao redor das raízes é ambiente propício para a proliferação de populações microbianas naturais ou inoculadas, que degradam compostos orgânicos para a sua nutrição e obtenção de energia, através da exsudação de enzimas. Entre essas enzimas, destacam-se as nitro-redutases (degradação de nitro-aromáticos), desalogenases (degradação de solventes clorados e pesticidas) e lacases (degradação de anilinas) (CUNNINGHAM ET AL., 1996).

A fito-estimulação utiliza as raízes em crescimento (extremidades e ramificações laterais) para promover a proliferação de microrganismos degradadores na rizosfera, que usam os metabólitos exsudados da planta como fonte de carbono e energia. Além disso, as plantas podem secretar, elas próprias, enzimas biodegradativas (POMPÊO, 1996). A aplicação da fito-estimulação limita-se aos contaminantes orgânicos (BROOKS, 1998). A comunidade microbiana na rizosfera é heterogênea, devido à distribuição dos nutrientes nesta zona, porém as *Pseudomonas* são os organismos predominantes associados às raízes (BROOKS, 1998).

A volatilização é um método que envolve a introdução nas plantas do gene bacteriano associado à reductase do íon de mercúrio, que reduz o cátion ao metal (Hg), o qual é volátil à temperatura ambiente (BROOKS, 1998). Em alguns casos, a remoção é realizada espontaneamente; é o caso, por exemplo, do metalóide, que se volatiliza em alguns sistemas vegetativos, sob a forma de dimetil-selenídeo ($\text{Se}(\text{CH}_3)_2$) e dimetil-diselenídeo ($\text{Se}_2(\text{CH}_3)_2$). O mercúrio, o selênio e o arsênio, assim como alguns compostos orgânicos, são absorvidos pelas raízes, convertidos em formas não tóxicas e depois liberados na atmosfera (BROOKS, 1998).

As barreiras hidráulicas são poços de captação da água subterrânea contaminada. Dentro dos poços existem bombas de sucção, de onde a água será retirada através de tubos até a estação. Da mesma forma, algumas árvores de grande porte, particularmente aquelas com raízes profundas (Ex: *Populus* sp.), removem grandes quantidades de água do subsolo ou dos lençóis aquáticos subterrâneos, 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 (HORTIRELVA, 2004).

As capas vegetativas são coberturas vegetais, constituídas de capins ou árvores, feitas sobre aterros sanitários, para minimizar a infiltração de água da chuva, conter a disseminação dos resíduos poluentes, e evitar que o lixo fique a céu aberto (HORTIRELVA, 2004). As raízes aumentam a aeração do solo, promovendo a biodegradação, evaporação e transpiração (GLASS, 1998).

4. Estado da Arte

4.1 Tipos de contaminante

No solo, os metais pesados tendem a ligar-se fortemente às argilas e outras partículas, concentrando-se e acumulando-se nas camadas superiores. No entanto, se estes elementos se tornarem mais móveis, podem ser “lavados”, acumulando-se nas águas subterrâneas. Nesse caso, a qualidade das águas subterrâneas, que muitas vezes são utilizadas no abastecimento doméstico e industrial, pode piorar. O risco para a saúde pública ocorre se os metais forem assimilados pelas raízes das plantas ou pelos organismos presentes no solo, propagando-se ao longo da cadeia alimentar.

Espécies de plantas podem ser selecionadas para extrair e assimilar, ou extrair e

quimicamente decompor os contaminantes. Muitos compostos químicos inorgânicos, considerados contaminantes ambientais, são, de fato, nutrientes vitais que podem ser absorvidos por meio do sistema de raízes das plantas. Compostos orgânicos, especialmente pesticidas, também podem ser absorvidos e metabolizados pelas plantas (OLIVEIRA, 1995).

As substâncias alvo da fitorremediação incluem metais como chumbo, zinco, cobre níquel, mercúrio e selênio (Pb, Zn, Cu, Ni, Hg, Se), compostos inorgânicos (NO_3^- , NH_4^+ , PO_4^{3-} , elementos químicos radioativos (U, Cs, Sr), hidrocarbonetos derivados de petróleo (BTEX), pesticidas e herbicidas (atrazine, bentazona, compostos clorados e nitro-aromáticos), explosivos (TNT, DNT), solventes clorados, como tricloroetano e tetra-cloro-etileno (TCE e PCE), e resíduos orgânicos industriais, como pentaclorofenol e hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (PCP, PAHs), entre outros.

4.2 Locais de Contaminação

O solo ainda continua sendo um dos principais receptores de metais pesados (BAKER, 2000), como também os aquíferos e os manguezais. Neles são depositados ou enterrados os resíduos responsáveis por sua contaminação, apesar da existência de algumas leis que visam a sua proteção. Esta contaminação tem, sobretudo, as seguintes origens:

- *municipal e industrial*: esgotos; aterros; injeção de efluentes em poços; deposição de lodos de estações de tratamento de efluentes em zonas agrícolas, bacias e lagoas; tanques de armazenamento, subterrâneos ou não; cemitérios; locais de contenção de resíduos; instalações de incineração; canais e valas de transporte de efluentes; derrames; etc.

- *agrícola*: aplicação de fertilizantes e pesticidas, em especial

- *e outras*: exploração mineira; exploração petrolífera; estações de serviço; bases e atividades militares; oleodutos; tráfego automotivo; deposição atmosférica; etc.

4.3 Efeitos dos metais pesados sobre as plantas

Vários estudos com espécies de climas temperados demonstram que as plantas não são capazes de evitar completamente a absorção dos metais pesados, e que diferentes espécies têm desenvolvido uma série de mecanismos de tolerância (SHAW, 1989). Com relação a este aspecto, destacam-se três tipos de plantas: acumuladoras, em que os metais concentram-se na parte aérea; indicadoras, em que a absorção e o transporte de metais pesados para a parte aérea são regulados, e a concentração interna reflete os níveis externos de contaminação; e exclusoras, em que a concentração de metais pesados na parte aérea é mantida em níveis constantes até que uma concentração crítica no solo seja alcançada, ocorrendo então o aumento do transporte dos metais (BAKER, 1981). Uma vez absorvidos, os metais tendem a acumular-se nas raízes, as quais são os primeiros órgãos vegetais afetados pela contaminação, acarretando no escurecimento, engrossamento e inibição do crescimento radicular. Na parte aérea, os sintomas mais típicos são a clorose, similar à deficiência de Fe, aparecimento de manchas foliares, necrose e morte das folhas (BARCELÓ & POSCHENRIEDER, 1992).

Com o objetivo de verificar o efeito isolado de metais pesados no crescimento de espécies arbóreas, estudos de fitotoxicidade foram realizados com espécies de eucalipto e espécies arbóreas nativas. A diferença de comportamento entre as espécies mostra a dificuldade de indicação de espécies para recomposição de áreas contaminadas, pois na maioria dos casos, a contaminação ocorre por vários metais simultaneamente (SOARES ET AL., 2001).

Visando obter espécies promissoras para a revegetação em áreas contaminadas, vários ensaios estudaram sua sensibilidade. Dentre as espécies arbóreas, pode-se constatar a alta susceptibilidade do gênero *Pinus* e a baixa sensibilidade da *Acacia mangium* e de algumas espécies de eucalipto. A utilização da espécie nodulífera *Acacia mangium* apresenta potencial

para a revegetação de áreas contaminadas, devido ao incremento de grande quantidade de liteira, com baixa relação C/N, que favorece a atividade microbiana do solo como um todo. A utilização das espécies de eucalipto menos susceptíveis à contaminação apresenta a vantagem de rápido crescimento, sistema radicular bastante desenvolvido, e facilidade de aclimação, além da possibilidade de retorno econômico devido ao seu aproveitamento.

De acordo com Antosiewicz (1992), espécies herbáceas coletadas em áreas contaminadas são fontes potenciais para programas de fitorremediação, uma vez que as mesmas apresentam adaptações a ambientes estressantes. Avaliou-se um total de 31 espécies herbáceas visando a escolha destas para emprego em programas de fitorremediação, e foi observado um genótipo de planta encontrado numa área de mineração de hemimorfita ($Zn_4S_2O_7(OH)_2 \cdot 2H_2O$) identificado como do gênero *Pfaffia sp.*, conhecida vulgarmente como calaminacia, que se mostrou bastante tolerante ao excesso de metais pesados no solo. Além disso, o emprego do gênero *Pfaffia* apresenta grande potencial devido à sua capacidade de acúmulo de metais na parte aérea, em teores de até 133 e 272 mg kg⁻¹ de Cd e Zn, respectivamente.

A capacidade das plantas de extrair contaminantes, visando o estabelecimento de vegetação em área contaminada, foi estudada por Carneiro et al. (2001) utilizando sementeira com mistura de nove espécies herbáceas e a crucífera *Brassica sp.* (mostarda não cultivada), realizando-se avaliações aos 60 (primeiro corte) e 120 dias (segundo corte). A mostarda apresentou-se pouco sensível à contaminação, sendo que as gramíneas no segundo corte foram favorecidas pelo cultivo anterior com a mostarda. Este comportamento pode ser explicado pela maior absorção de metais pela mostarda, principalmente no tratamento inoculado com FMA's (Antosiewicz, 1992), que favorece o estabelecimento das plantas em solos contaminados, embora a crucífera não seja hospedeira de FMA's. Isto representa um grande avanço em programas de reabilitação de solos degradados pelo excesso de metais pesados utilizando espécies vegetais tropicais.

5. Vantagens e desvantagens da fitorremediação

A fitorremediação é uma técnica que apresenta um elevado potencial de utilização, devido às vantagens que apresenta em relação às outras técnicas de remediação de contaminantes do solo. Porém como outras técnicas, a fitorremediação apresenta algumas limitações, principalmente com relação a compostos orgânicos em geral e agrotóxicos, relatadas por Narayanan et al. (1996), Cunningham et al. (1996), Miller (1996) e Macek et al. (2000).

A fitorremediação apresenta várias vantagens, porém o baixo custo é a principal, em relação às técnicas tradicionalmente utilizadas, envolvendo a remoção do solo para tratamento *ex situ*. Na maioria dos casos, os equipamentos e suprimentos empregados no programa de fitorremediação são os mesmos utilizados na agricultura. Logo, quando a fitorremediação é implantada em áreas agrícolas, o custo é ainda menor.

As plantas ajudam no controle do processo erosivo, eólico e hídrico. Nesse último caso, evitam o carregamento de contaminantes para a água e o solo e, por conseguinte, reduzem a possibilidade de contaminação de lagos e rios. As plantas são mais favoráveis esteticamente (melhoria da paisagem), do que qualquer outra técnica de biorremediação, e podem ser implementadas com mínimo distúrbio ambiental, reduzindo o impacto ambiental.

Outras vantagens são que as plantas são mais fáceis de ser controladas do que os microrganismos, as propriedades biológicas e físicas do solo são mantidas, e, não raro, até melhoradas. Além disso, é possível a incorporação da matéria orgânica ao solo, quando não há necessidade de retirada das plantas fitorremediadoras da área contaminada. Esta técnica também é útil em locais onde a quantidade de solo a ser descontaminado é grande, pois ela pode ser usada em maior escala do que seria possível no caso de outros métodos.

A fitorremediação apresenta algumas desvantagens em relação a outras técnicas por ser uma tecnologia ainda em desenvolvimento, e por ainda não possuir suficientes resultados concretos de pesquisas realizadas, ela não é aceita por algumas entidades reguladoras. Outra desvantagem é que para remediar o solo, os metais devem estar a uma distância inferior a 5 m da superfície. Além disso o clima é um fator que pode restringir o crescimento das plantas.

Este método também apresenta algumas dificuldades: a seleção de plantas, principalmente em relação à descontaminação de herbicidas de amplo espectro de ação, ou em misturas de contaminantes no solo; o tempo requerido para obtenção de uma despoluição satisfatória pode ser longo (usualmente mais de uma estação de crescimento); e o contaminante deve estar dentro da zona de alcance do sistema radicular.

As plantas são, em geral, seletivas ao metal a ser removido, embora possam ocasionalmente remover mais do que um metal; se a concentração dos metais no solo for muito tóxica, a vegetação pode não se desenvolver. Na fitorremediação de compostos orgânicos, as plantas podem metabolizar os compostos, o que não quer dizer que eles serão completamente mineralizados; em alguns casos, os metabólitos podem ser mais problemáticos do que os compostos originais. Por fim, pode haver propagação da contaminação na cadeia alimentar, se as plantas acumuladoras forem ingeridas por animais.

6. Conclusões

A fitorremediação mostra-se como um avanço da biotecnologia para o tratamento do solo e água, que vêm sofrendo agressões antropogênicas. Esta técnica já sofreu avanços significativos quanto à natureza dos agentes poluidores, surgindo, assim, uma gama de métodos de fitorremediação.

O tema abordado cresce em dificuldade na medida em que visa não só reconstruir ou remediar, mas fazê-lo segundo as leis naturais, ou seja, valer-se dos próprios meios que a natureza idealizou para defender-se.

Atualmente dá-se preferência às técnicas de descontaminação *in situ*, por perturbar menos o meio ambiente, e a técnicas que sejam mais econômicas e que apresentem facilidade de aplicação. Estas são as principais vantagens da fitorremediação; além de poder ser aplicada em grandes áreas, pode também tratar diversos poluentes orgânicos e inorgânicos.

Apesar de existirem limitações, os benefícios apresentados pela fitorremediação a tornam uma técnica promissora. Contudo, ela requer ação conjunta de profissionais de diversas áreas, no intuito de identificar espécies capazes de atuar eficazmente na descontaminação de solos.

Referências

- ABRABI (2004) - <http://www.abrabi.org.br/planta-transgenica.htm>. Acesso em: 16 ago 2004
- ANA LIGIA DINARDI, VANESSA MORAES FORMAGI & RONALDO PELEGRINI. (2003) – Fitorremediação www.agr.unicamp.br – Faculdade de Engenharia Agrícola.
- ANDERSON, T. A. & COATS, J. R. (1995) - Screening rhizosphere soil samples for the ability to mineralize elevated concentrations of atrazine and metolachlor. *J. Environ. Sci. Health, B*, v. 30, p. 473-484.
- ANTOSIEWICZ, D. M. (1992) - Adaptation of plants to an environment polluted with heavy metals. *Soc. Bot.*, 61:281-299.
- BAKER, A. J. M.; McGRATH, S. P.; SODOLI, C. M. D. & REEVES, R. D. (1994) - The possibility of *in situ* heavy metal decontamination of polluted soils using crops of metal accumulating plants. *Resources, Conservation and Recycling, Amsterdam*, v. 11, p. 41-49, 1994.
- BAKER, A. J. M. (1981) - Accumulators and excluders strategies in the response of plants to heavy metals. *J. Plant Nutrition*, 3:643-654.
- BAKER, A. J. M., MCGRATH, S. P., REEVES, R. D. & SMITH, J. A. C. (2000) - 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, G. (eds), *Phytoremediation of contaminated soil and water*, Lewis Publishers, Boca Raton, EUA, pp 85-107.

BARCELÓ, J.; POSCHENRIEDER, Ch. (1992) -Respuestas de las plantas a la contaminación por metales pesados. *Suelo y Planta*, 2:345-361.

BROOKS, R. R (1998) - Phytoremediation by volatilisation. In Brooks, R.R [Ed], *Plants that Hyperaccumulate Heavy Metals*, CAB International, Wallingford, p.289.

BURKEN, J. B. (2002) - VOCs Fate and Partitioning in Vegetation: Use of Tree Cores in Groundwater Analysis. *Environmental Science Technology*, v. 36, n. 21, p. 4663 -4668.

CARL MA & JOHN KINGSCOTT (1997) - [17Epa] Recent Developments for In Situ Treatment of Metal Contaminated Soils, EPA, March, 1997, EPA 542R97004, 104 pp.

CARNEIRO, M. A. C.; SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S. (2001) - Estabelecimento de plantas herbáceas em solo com contaminação de metais pesados e inoculação de fungos micorrízicos arbusculares. *Pesq. Agropec. Bras.*, Brasília, 36:1443-1452.

CHEKOL, T.; VOUGH, L. R. & CHANEY, R. L. (2004) - Phytoremediation of polychlorinated biphenyl-contaminated soils: the rhizosphere effect. *Environment International*, v. 30, n. 6, p. 799-804.

CUNNINGHAM, S. D.; ANDERSON, T. A. & SCHWAB, A. P. (1996) - Phytoremediation of soils contaminated with organic pollutants. *Adv. Agron.*, v. 56, p. 55-114.

GLASS, D. J (1998) - The 1998 United States Market for Phytoremediation, D. Glass Associates, Needham, p.139.

HORTIRELVA (2004) - <http://www.hortirelva.pt/etares.htm> - Macrófitas em tratamento de água . Acesso em : 10 set 2004

MACEK, T.; MACKOVÁ, M. & KÁŠ, J. (2000) - Exploitation of plants for the removal of organics in environmental remediation. *Biotechnol. Adv.*, v. 18, p. 23-34.

MCGRATH, S. P. (1998) - Phytoextraction for soil remediation. In Brooks, R. R [Ed], *Plants that Hyperaccumulate Heavy Metals*, CAB International, Wallingford, p.261.

MILLER, R. R. (1996) - Phytoremediation. Disponível em <http://www.gwrtac.org>. Disponível em 18 jun. 2001.

NARAYANAN, M. et al. (1996) - Experimental and modeling studies of the fate of trichlorethylene in a chamber with alfafa plants. 1996. Online. Disponível em <http://www.engg.ksu.edu/HSRC/home.html>. Disponível em 18 jun. 2001.

NEWMAN, L. A. & REYNOLDS, C. M. (2004) - Phytodegradation of organic compounds. *Current Opinion in Biotechnology*, v. 15, n. 3, p. 225-230.

OLIVEIRA, I. B. (1995) - Infiltration of Organic Liquids in Unsaturated sands: Comparison of Experimental Measurements With Scaled and Unscaled Analytical Solutions, – The University of Michigan, PhD Dissertation, 345pp .

POMPÊO, M. L. M (1996) - Hidroponia e as macrófitas aquáticas. *Anais Sem. Reg. Ecol.*, São Carlos, SP, 8: 73-80.

SENGUPTA, M. (1993) - Environmental impacts of mining: monitoring, restoration, and control. Boca Raton: Lewis, 1993. 494 p.

SHAW, A. J. (1989) - Heavy metal tolerance in plants: Evolutionary aspects. New York, cRc Press. 355p.

SOARES, C. R. F. S.; ACCIOLY, A. M. A.; MARQUES, T. C. L. L. S. M.; SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S. (2001) - Acúmulo e distribuição de metais pesados nas raízes, caule e folhas de mudas de árvores em solo contaminado por rejeitos de indústria de zinco. *R. Bras. Fisiol. Veg.*, 13(3): 302-315.