

Fitorremediação de Solos com Residual de Herbicidas

José Barbosa dos Santos¹; **Sergio de Oliveira Procópio**²; **Fábio Ribeiro Pires**³; **Antonio Alberto da Silva**⁴.

¹Universidade Vale do Rio Doce - Faculdade de Agronomia; ²Embrapa Tabuleiros Costeiros - CPATC;

³Universidade Federal do Espírito Santo - Centro Universitário Norte do Espírito Santo; ⁴Universidade Federal de Viçosa - Departamento de Fitotecnia.

1. ATIVIDADE RESIDUAL DE HERBICIDAS

A sustentabilidade passou a ser umas das palavras mais importantes para designar a modificação do enfoque dos sistemas agrícolas brasileiros. “Manejo Integrado de Pragas, Doenças e Plantas Daninhas”, “Manejo Ecológico de Pragas, Doenças e Plantas Daninhas”, “Agricultura Orgânica”, “Agricultura Alternativa”, “Produção Integrada de Frutas”, “Aproveitamento de Resíduos Orgânicos”, “Racionalização no Uso de Insumos Agrícolas”, são expressões cada vez mais presentes nos projetos de pesquisa e nas diretrizes dos programas de extensão rural das instituições responsáveis pelo desenvolvimento, agora “sustentável”, do agronegócio do País.

Problemas resultantes dos processos de poluição e degradação dos recursos naturais por herbicidas têm recebido atenção especial, principalmente em sistemas agrícolas que necessitam utilizar esses produtos no manejo integrado de plantas daninhas.

Herbicidas que apresentam atividade residual no solo, impedindo ou reduzindo a emergência de plantas daninhas, são importantes insumos para a garantia da produtividade das culturas comerciais, principalmente para aquelas que apresentam extenso período total de prevenção da interferência das plantas daninhas (PTPI). Contudo, após o término desse período, que muitas vezes coincide com o fechamento do dossel da cultura presente, o resíduo do herbicida no solo passar a ser indesejável, podendo resultar em contaminação de plantios seqüenciais, de mananciais de água subterrânea pela lixiviação e/ou superficiais, toxicidade a organismos não-alvos, podendo até, dependendo da recalcitrância do composto, acumular-se na cadeia alimentar.

2. REMEDIAÇÃO, BIORREMEDIAÇÃO E FITORREMEDIAÇÃO

A remediação de uma área contaminada consiste na aplicação de diferentes medidas de contenção e tratamento do material contaminado para o saneamento da área. Ela pode ser química (quelatos, reagentes), física (retirada da camada contaminada; injeção de ar) ou biológica (microrganismos e plantas). O termo remediação tem sido associado normalmente a técnicas não biológicas que promovem a remoção ou atenuação do contaminante.

A biorremediação consiste no emprego de organismos vivos (microrganismos e plantas, principalmente) capazes de se desenvolverem em meio contendo o material poluente, para remediação, normalmente *in situ*, de áreas contaminadas, reduzindo-o ou até mesmo eliminando seus resíduos. Normalmente, o termo biorremediação é utilizado para denominar a descontaminação desempenhada por microrganismos, os quais, no processo de biorremediação *in situ* dito “tradicional” (particularmente as bactérias), são estimulados a degradar os contaminantes, seja por utilização da molécula como fonte de nutrientes ou por co-metabolismo. As condições necessárias para essa degradação incluem a existência de receptores de elétrons, de nutrientes e de substrato, incluindo compostos químicos aplicados para as diferentes atividades agrícolas.

Quando se utiliza plantas como agentes despoluidores, dá-se o nome de fitorremediação. Essa técnica consiste no uso de plantas e sua comunidade microbiana associada para degradar, seqüestrar ou imobilizar poluentes presentes no solo. Ainda, de acordo com Accioly & Siqueira (2000), envolve o emprego de amenizantes (corretivos, fertilizantes, matéria orgânica etc.) do solo, além de práticas agronômicas que, se aplicadas em conjunto, removem, imobilizam ou tornam os contaminantes menos tóxicos ao ecossistema.

3. HISTÓRICO

A fitorremediação não é recente. O que é novo é a investigação sistemática, científica de como podem ser usadas plantas para descontaminar terra e água. Entre outros, relatos descrevem que na Alemanha, há mais de 300 anos, plantas já eram utilizadas no tratamento de esgotos (Cunningham et al., 1996). Todavia, o uso do termo phytoremediation (phyto = vegetal + remediation = remediação) é muito mais recente, tendo sido estabelecido em 1991 para definir o uso de vegetais e dos microrganismos a eles associados, como instrumento para contenção, isolamento, remoção ou redução das concentrações de contaminantes em meio sólido, líquido ou gasoso (US EPA, 2000). Para inúmeras fontes de pesquisa, o termo fitorremediação foi cunhado pelo Dr. Ilya Raskin, professor de biologia vegetal da Rutgers University, EUA, em 1989 (Black, 1995). Mas, o que também pode ser considerado atual são as inúmeras aplicações dessa técnica e o crescente interesse de pesquisadores de diversas áreas.

No Brasil, o termo fitorremediação ainda parece desconhecido para grande parte da comunidade científica. Entretanto, significativo tem sido o avanço nas pesquisas que utilizam plantas e microrganismos a elas associados para despoluição de agroecossistemas. O número ainda pequeno, porém crescente, de trabalhos publicados

nos últimos anos reflete igualmente o elevado número de projetos em execução. Provavelmente, os primeiros artigos oriundos do estudo da fitorremediação no Brasil foram os de Courseuil et al. (2001) e Moreno & Courseuil (2001), investigando o potencial do chorão (*Salix babylonica*), na fitorremediação de aquíferos contaminados por gasolina. Envolvendo herbicidas, as publicações tiveram seu início com Scramim et al. (2001).

4. MECANISMOS DE DESCONTAMINAÇÃO

A fitorremediação é baseada na seletividade/tolerância que algumas espécies de plantas apresentam a contaminantes e pode ser resultante: 1) da assimilação direta dos contaminantes e subsequente acumulação e, ou, metabolização a compostos não tóxicos nos tecidos vegetais, como componentes estruturais; 2) do estímulo da atividade microbiana provocada pela liberação de exsudatos que favorecem o aumento da mineralização do contaminante na região da rizosfera. Didaticamente a fitorremediação é dividida em seis processos (extração, transformação, volatilização, estimulação; rizofiltração e estabilização) os quais ocorrem em função das características morfofisiológicas de cada espécie. Eles não são exclusivos e podem ocorrer simultaneamente.

5. POTENCIALIDADES E LIMITAÇÕES

A fitorremediação apresenta elevado potencial de utilização devido às vantagens que apresenta em relação às outras técnicas de remediação de contaminantes do solo. Todavia, tem igualmente limitações que podem dificultar sua aplicação (Quadro 1).

Quadro 1. Sumário das potencialidades e limitações da fitorremediação

POTENCIALIDADES	LIMITAÇÕES
<ul style="list-style-type: none"> - menor custo em relação às técnicas de tratamento <i>ex situ</i> (até 10 vezes menor); - aplicável a uma grande variedade de contaminantes e pode ser posta em prática em áreas extensas; - os compostos orgânicos podem ser mineralizados a CO₂ e H₂O, removendo toda fonte de contaminação; - plantas são mais fáceis de ser monitoradas do que microrganismos, por exemplo; - as propriedades biológicas e a estrutura física do solo são mantidas na fitorremediação, ou até melhoradas; - usa energia solar para realizar os processos; - plantas ajudam no controle do processo erosivo e reduzem a possibilidade de 	<ul style="list-style-type: none"> - tempo requerido para obtenção de uma despoluição satisfatória pode ser longo; - o contaminante deve estar dentro da zona de alcance do sistema radicular; - clima e condições edáficas podem restringir o crescimento de certas plantas; - elevados níveis do contaminante no solo podem impedir a introdução de plantas no sítio contaminado; - melhoria nas condições do solo podem ser requeridas para facilitar a absorção do contaminante pelas plantas; - na fitorremediação de contaminantes orgânicos as plantas podem produzir metabólitos mais tóxicos do que os compostos originais; - necessidade de disposição da biomassa

contaminação de lagos e rios; - reduz o movimento descendente de água contaminada para o lençol freático; - plantas são mais favoráveis esteticamente do que qualquer outra técnica de biorremediação; - tem alta probabilidade de aceitação pública.	vegetal quando ocorre a fitoextração de poluentes não metabolizáveis ou metabolizados a compostos também tóxicos; - risco de contaminação da cadeia alimentar; - possibilidade de a espécie remediadora tornar-se de difícil controle posterior.
--	--

6. PROJETOS DESENVOLVIDOS NO BRASIL

No Brasil, principalmente nos últimos cinco anos, diversas pesquisas têm sido conduzidas, mostrando a viabilidade de se utilizar plantas na remediação dos herbicidas tebuthiuron (Pires et al., 2005; 2006; Belo et al., 2007b), trifloxysulfuron-sodium (Procópio et al., 2005; 2006; 2007; e Santos et al., 2004; 2007; Belo et al., 2007a) e trabalhos preliminares com picloram (Ferreira et al., 2006; Carmo, 2007), identificados como de elevada persistência em áreas agrícolas. Para os dois primeiros herbicidas, as espécies de melhor desempenho foram a *Stizolobium aterrimum* (mucuna-preta) e *Canavalia ensiformis* (feijão-de-porco). Para o picloram, os estudos apontam *Brachiaria brizantha*, *Eleusine coracana* (capim-pé-de-galinha-gigante) e *Panicum maximum* Jacq. cv. Tanzânia-1 (tanzânia) como espécies potencialmente remediadoras. Esses trabalhos têm demonstrado que além de um efeito ambiental, de redução dos níveis tóxicos dessas moléculas ao ambiente, tem-se um benefício agrônômico, pois em áreas onde a fitorremediação foi utilizada, pôde-se abreviar o plantio de espécies suscetíveis a tais herbicidas, cultivadas em sucessão. Esse enfoque é inédito na pesquisa internacional.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACCIOLY, A. M. A.; SIQUEIRA, J. O. Contaminação química e biorremediação do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V.; V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v. 1. p. 299-352.
- BELO, A. F. et al. Fitorremediação de solo adubado com composto orgânico e contaminado com trifloxysulfuron-sodium. **Planta Daninha**, Campinas, v. 25, p. 251-258, 2007a.
- BELO, A.F. et al. Efeito da umidade do solo sobre a capacidade de *Canavalia ensiformis* e *Stizolobium aterrimum* em remediar solos contaminados com herbicidas. **Planta Daninha**, Campinas, v. 25, p. 239-249, 2007b.
- BLACK, H. **Absorbing Possibilities**: Phytoremediation. Environmental Health Perspectives. 1995. Disponível em: <http://www.ehponline.org/docs/1995/103-12/innovations.html>. Acesso em: 26 abr. 2007.
- CARMO, M.L. **Subsídios para o desenvolvimento de programas de fitorremediação de solos contaminados com o herbicida picloram**. 2007. 82 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade de Rio Verde, Rio Verde.

CORSEUIL, H. X.; MORENO, F. N. Phytoremediation potential of willow trees for aquifers contaminated with ethanol-blended gasoline. **Water Research**, New York, v. 35, p. 3013-3017, 2001.

CUNNINGHAM, S. D.; ANDERSON, T. A.; SCHWAB, A. P. Phytoremediation of soils contaminated with organic pollutants. **Advances in Agronomy**, New York, v. 56, p. 55-114, 1996.

FERREIRA, L. R. et al. Seleção de espécies com potencial de remediação de solos contaminados com os herbicidas triclopyr e 2,4-D + picloram. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 25., 2006. Brasília, DF. **Convivendo com as Plantas Daninhas**: resumos. Brasília, DF: SBCPD/UNB/Embrapa Cerrados. 2006. p. 228.

MORENO, F.N.; CORSEUIL, H.X. Fitorremediação de aquíferos contaminados por gasolina. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 6, p. 1-7, 2001.

PIRES, F.R. et al. Adubos verdes na fitorremediação de solos contaminados com o herbicida tebuthiuron. **Caatinga**, Mossoró, v.v19, p.v92-97, 2006.

PIRES, F.R. et al. Inferências sobre atividade rizosférica de espécies com potencial para fitorremediação do herbicida tebuthiuron. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.v29, p.v627-634, 2005.

PROCÓPIO, S.O. et al. Fitorremediação de solo contaminado com trifloxysulfuron sodium por mucuna-preta (*Stizolobium aterrimum*). **Planta Daninha**, Campinas, v.23, p.719-724, 2005.

PROCÓPIO, S. O. et al. Fitorremediação de solo contaminado com trifloxysulfuron sodium por diferentes densidades populacionais de feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis* (L). DC.). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, p. 444-449, 2006.

PROCÓPIO, S. O. et al. Development of bean plants in soil contaminated with trifloxysulfuron-sodium after *stizolobium aterrimum* and *canavalia ensiformis* cultivation. **Planta Daninha**, Campinas, v. 25, p. 87-96, 2007.

SANTOS, E. A. et al. Fitoestimulação por *Stizolobium aterrimum* como processo remediação de solo contaminado com trifloxysulfuron-sodium. **Planta Daninha**, Campinas, v. 25, p. 259-265, 2007.

SANTOS, J. B. et al. Fitorremediação do herbicida trifloxysulfuron sodium. **Planta Daninha**, Campinas, v. 22, p. 223-330, 2004.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Introduction to Phytoremediation**.. Cincinnati, 2000. 104 p. (EPA/600/R-99/107).

SCRAMIN, S. et al. Utilização de plantas na remediação de solos contaminados por herbicidas - levantamento da flora existente em áreas de cultivo de cana-de-açúcar. In: MELO, I. S. et al. **Biodegradação**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2001. p. 369-371.

Palavras-chave: remediação, descontaminação, xenobióticos.

Key words: remediation, decontamination, xenobiotics.