

## **FITORREMEDIAÇÃO DE SOLOS CONTAMINADOS COM RESÍDUOS DE HERBICIDAS: UMA ALTERNATIVA SUSTENTÁVEL**

Flávia Giglianne Freitas Lima

*Universidade Federal Rural do Semi-Árido, flaviagfl@gmail.com*

**Resumo:** Na busca por alternativas cada vez mais sustentáveis e econômicas para despoluir áreas contaminadas, busca-se reunir técnicas que unifique eficiência na descontaminação, fácil manejo, tempo mínimo de execução e menor valor, diante desse quadro surge a fitorremediação como uma técnica bastante viável. A fitorremediação é o processo de remediação que tem por objetivo a descontaminação de solo e água, que emprega como agente de descontaminação espécies vegetais, normalmente *in situ*. Comparada com outras técnicas tradicionais, como bombeamento ou remoção física da camada contaminada do solo, a fitorremediação é considerada uma alternativa vantajosa pelo seu baixo custo econômico e sua comprovada eficiência na descontaminação. Essa técnica é amplamente utilizada em solos contaminados com metais pesado, derivados de petróleo, solventes clorados e subprodutos tóxicos da indústria, recentemente tem-se destacado como uma técnica promissora para descontaminação de áreas tratadas por herbicidas. Cada dia mais torna-se crescente a preocupação em impedir ou remediar os efeitos negativos da presença de herbicidas nos diversos compartimentos ambientais devido seu efeito residual no solo que podem ocasionar a toxicidade em culturas sensíveis plantadas após sua utilização, podendo ainda serem lixiviados para camadas mais profundas no perfil do solo, havendo risco de atingir os lençóis subterrâneos e ocasionar a contaminação de outros ecossistemas. A aplicação da fitorremediação na descontaminação de ambientes com resíduo de herbicidas é baseada essencialmente na seletividade natural ou desenvolvida, que algumas espécies vegetais exibem a determinadas substâncias ou mecanismos de ação. Essa técnica surge como uma excelente ferramenta para o tratamento eficaz de solos contaminados por herbicidas, principalmente aqueles que possuem grande atividade residual no solo.

**Palavras-Chave:** sustentabilidade; descontaminação de solos; seleção de plantas.

### **Introdução**

Os pesticidas, também denominados de agrotóxicos, agroquímicos ou produtos fitossanitários, são substâncias químicas produzidas pelo homem que possuem ação tóxica. Incluem os fertilizantes, herbicidas, inseticidas, acaricidas, fungicidas, entre outros, que possuem compostos químicos elaborados para prevenir, destruir, repelir ou mitigar espécies indesejáveis ou doenças que possam interferir na produção agrícola (MELO et al., 2010).

Os seus efeitos acarretam imensa degradação ambiental, como a erosão do solo e infertilidade, a contaminação de águas superficiais e subterrâneas, o desaparecimento e a perda de biodiversidade, podendo ainda causar prejuízos à saúde humana. Desse modo, o uso desenfreado desses produtos fitossanitários está intensificando cada vez mais a contaminação no meio ambiente e em consequência disso o aumento da toxicidade ambiental, o que pode resultar em alterações drásticas e irreversíveis nos ecossistemas (MAHMOO et al., 2014).

No Brasil o mercado de agrotóxicos teve um crescimento de mais de 195% entre os anos de 2006 e 2012, o aumento foi de 480,1 mil para mais de 940 mil toneladas durante esse período (SINDIVEG, 2016). Dentre esses produtos, os herbicidas merecem destaque especial, visto que alcançaram 403,6 mil toneladas só no ano de 2011 (SINDIVEG, 2016). Herbicidas são substâncias químicas que tem a finalidade de atuar em certas populações de plantas provocando sua morte, agem matando ou suprimindo o desenvolvimento de espécies de plantas daninhas (PITELLI, 1985; ROMAN et al., 2007 et al., 2007; MONQUERO et al., 2013).

Grande parte dos herbicidas utilizados na agricultura apresentam atividade residual no solo, isso refere-se ao tempo de permanência de um herbicida no ambiente, sendo dependente de vários fatores associados, tais como, a capacidade de sorção do solo, a dinâmica do fluxo hídrico e do transporte de solutos, além da sua taxa de degradação, que está relacionada com a atividade microbiológica, biodisponibilidade e recalcitrância do herbicida (BELO et al., 2007; SILVA, A.A.; SILVA, J. F. 2007). Podendo resultar em vários danos ambientais, tais como a contaminação dos recursos hídricos superficiais e superficiais pelo transporte de lixiviação e escoamento superficial (BARRA, et al., 1999; PALMA et al., 2004; KRUTZ et al., 2005), causar toxicidade a organismos não-alvo (ROUSSEAU et al., 2003), podendo até, dependendo da recalcitrância do composto, acumular-se na cadeia alimentar (EDWARDS, 1973).

Os efeitos dos herbicidas nos solos podem causar sérios impactos negativos, inibir o crescimento de espécies vegetais, provocar a perda da fauna edáfica que desempenham papel crucial nos processos biogeoquímicos no solo, erosão e sua infertilidade. Diante disso são necessárias medidas para descontaminar essas áreas, de tal modo, que permita novamente o seu uso, impedindo dessa forma que outras áreas sejam desmatadas para o cultivo das culturas agrícolas, evitar que áreas adjacentes sejam contaminadas e possibilitar que os solos reconstituam seus atributos químicos, físicos e biológicos (MIRANDA et al., 2007).

Na busca por alternativas cada vez mais sustentáveis e econômicas para despoluir áreas contaminadas, procura-se cada vez mais soluções que unifiquem: eficiência na descontaminação, fácil execução, tempo viável e menor custo. Nesse contexto, a biorremediação se enquadra como uma técnica que objetiva descontaminar solo e água por meio da utilização de organismos vivos (microrganismos e plantas, principalmente). O uso dessa técnica tem se mostrado promissora, devido seu cunho sustentável, de fácil execução, baixo custo econômico e tem demonstrando excelentes resultados. (PIRES et al., 2003).

Biorremediação é o processo de remediação normalmente executado *in situ* de áreas contaminadas que utiliza organismos vivos que são capazes de se desenvolverem em ambiente poluído, reduzindo-o ou até mesmo eliminando seus poluentes (SANTOS et al., 2007a). A técnica é bastante aplicada na remediação de áreas contaminadas com metais pesados (FRANCO, 2004; QUEROL et al., 2006), solventes halogenados, compostos nitroaromáticos e, mais recentemente tem sido empregada em áreas contaminadas com herbicidas (FELSOT; SHELTON, 1993; MONTEIRO, 1996).

O termo biorremediação precisamente designa o processo de descontaminação de ambientes pela ação dos microrganismos (FRANCO, 2004; QUEROL et al., 2006). Em particular as bactérias, que são estimuladas a degradar os contaminantes sejam por utilização da molécula como fonte de nutrientes ou por co-metabolismo (SANTOS et al., 2007b). Quando se trata da utilização de plantas como agentes despoluidores, esse processo denominasse-se a fitorremediação (CUNNINGHAM et al., 1996).

Fitorremediação consiste no uso de plantas para degradar, sequestrar ou imobilizar contaminantes presentes no solo (SILICIANO; GERMIDA, 1999). De acordo com Accioly e Siqueira (2000), ainda pode contar com auxílio de sua microbiota associada e amenizantes (corretivos, fertilizantes, matéria orgânica etc.) no solo, além de práticas agrônômicas que, se aplicadas em conjunto, removem, imobilizam ou tornam os contaminantes menos tóxicos ao ecossistema. (ACCIOLY; SIQUEIRA, 2000; SILVA, A.A.; SILVA, J. F. 2007).

### **Aplicação e Mecanismos de Fitorremediação**

A técnica da fitorremediação trata-se da capacidade que algumas espécies vegetais possuem de retirar compostos tóxicos do ambiente (solo e água), promovendo sua descontaminação (CUNNINGHAM *et al.*, 1996; PIRES *et al.*, 2003). Nesse processo a descontaminação se dá pela extração ou pela degradação do contaminante. Certas espécies de plantas possuem a habilidade/resistência de absorver ou neutralizar a ação de determinados compostos tóxicos ao solo e/ou água, atuando como verdadeiros filtros “verdes” (PILON-SMITS, 2005), atualmente a utilização da fitorremediação na recuperação de solos contaminados pela agricultura vêm sendo bastante utilizada (CABRAL, 2012).

Comparada com técnicas tradicionais, como bombeamento ou remoção física da camada contaminada do solo, a fitorremediação tem sido considerada vantajosa, principalmente por sua eficiência na descontaminação e pelo baixo custo (PERKOVICH et al., 1996; CUNNINGHAM et al., 1996; PIRES et al., 2003). Apesar de ser utilizada em solos contaminados com substâncias

orgânicas ou inorgânicas, como metais pesados, elementos contaminantes, hidrocarbonetos de petróleo, agrotóxicos, explosivos, solventes clorados e subprodutos tóxicos da indústria (CUNNINGHAM et al., 1996), só recentemente tem-se apresentado como promissora técnica para descontaminação de áreas tratadas por herbicidas residuais (PIRES et al., 2003; PROCÓPIO et al., 2004; SANTOS et al., 2005).

Embora apresente inúmeras facilidades, dois pontos cruciais distingue a fitorremediação das demais técnicas de descontaminação de ambientes que apresentam problemas com xenobióticos e carecem de ser considerados para o correto emprego desta técnica. Primeiro, os herbicidas são contaminantes orgânicos que apresentam diversidade molecular; e segundo, o contaminante, no caso o herbicida, é desenvolvido como agente para o controle do descontaminante, no caso, as plantas (SILVA, A.A.; SILVA, J. F. 2007).

Desse modo, a escolha da fitorremediação para descontaminação de áreas com resíduo de herbicidas é baseada na seletividade, natural ou desenvolvida, que algumas plantas possuem a determinados compostos ou mecanismos de ação. Isso pode ser decorrente de espécies agrícolas melhoradas geneticamente e por várias espécies de plantas daninhas, tolerantes ou resistentes a certos herbicidas ou a grupos de herbicidas. Essa seletividade está atrelada ao fato de que os herbicidas podem ser absorvidos pelas folhas, caule ou raízes e serem translocados para diferentes partes da planta, podendo está sujeito a sofrer o processo de volatilização. Podem ainda sofrer parcial ou completa degradação ou serem transformados em compostos menos tóxicos, principalmente menos fitotóxicos, combinados e/ou ligados a tecidos das plantas (ACCIOLY & SIQUEIRA, 2000; SCRAMIN et al., 2001; SILVA, A.A.; SILVA, J. F. 2007).

Didaticamente a fitorremediação pode ser dividida em oito mecanismos denominados de Fitoextração, Fitoacumulação, Fitodegradação, Fitovolatilização, Fitoestimulação, Rizodegradação, Rizovolatilização e Rizoestabilização, os quais ocorrem em função das características morfofisiológicas de cada espécie vegetal, esses processos não são exclusivos e podem ocorrer simultaneamente ou sequencialmente (Tabela 1) (COUTINHO et al., 2015).

**Tabela 1** – Mecanismos da fitorremediação e seus respectivos processos.

<b>MECANISMOS</b>	<b>PROCESSOS</b>
<b>FITOEXTRAÇÃO</b>	Absorção do contaminante pelos tecidos das plantas;
<b>FITOACUMULAÇÃO</b>	Absorção do contaminante pelas partes das plantas, sem modificar as moléculas do composto.
<b>FITODEGRADAÇÃO</b>	Metabolização do contaminante em uma forma menos tóxica ou atóxica nas raízes ou nas outras partes das plantas;
<b>FITOVOLATILIZAÇÃO</b>	Remoção do contaminante e posterior conversão para forma volátil, a qual é liberada na atmosfera;
<b>FITOESTIMULAÇÃO</b>	As raízes promovem a estimulação da comunidade microbiana apta a biodegradar o contaminante, resultando na liberação de exsudatos radiculares pela espécie vegetal;
<b>RIZODEGRADAÇÃO</b>	Biodegradação do contaminante pelos micro-organismos associados à rizosfera da planta. Geralmente, ocorre após a fitoestimulação;
<b>RIZOVOLATILIZAÇÃO</b>	O contaminante é rizotransformado e é liberado na atmosfera na forma volátil.
<b>RIZOESTABILIZAÇÃO</b>	Estabilização do composto por imobilização, lignificação ou humificação na rizosfera da planta, podendo o contaminante permanecer inativo no solo, mesmo que seja preservado sua integridade molecular

Fonte: Adaptado de Procópio et al., 2009.

### **Critérios para a escolha das espécies vegetais remediadoras**

Alguns critérios fundamentais devem ser considerados na escolha das espécies vegetais a serem utilizadas em programas de remediação de solos contaminados com resíduos de herbicidas.

Com base nas análises apresentadas por diversos autores (FERRO et al., 1994; PERKOVICH et al., 1996; CUNNINGHAM et al., 1996; NEWMAN et al., 1998; ACCIOLY; SIQUEIRA, 2000; VOSE et al., 2000, PIRES et al., 2003<sup>a</sup>; PROCÓPIO et al., 2009), algumas características cruciais são:

- Sistema radicular profundo e denso.
- Alta taxa de crescimento e produção de biomassa.
- Capacidade transpiratória elevada, especialmente em árvores e plantas perenes.
- Elevada taxa de exsudação radicular.
- Resistência a pragas e doenças.
- Adaptabilidade ao local a ser remediado (clima e solo).
- Fixação biológica de nitrogênio atmosférico.
- Alta associação com fungos micorrízicos.
- Fácil controle ou erradicação posterior.
- Quando necessária, facilidade de remoção das plantas da área contaminada.
- Fácil aquisição ou multiplicação de propágulos.
- Ocorrência natural em áreas contaminadas.

O ideal seria agrupar todas essas características acima citadas em uma única planta, no entanto, aquela que for selecionada deverá reunir o maior número delas. Embora a maioria dos estudos avalie somente plantas isoladas, de acordo com Miller (1996) várias espécies podem ser usadas em um mesmo local, ao mesmo tempo ou subsequentemente, para promoverem maior descontaminação da área (SILVA, A.A.; SILVA, J. F. 2007).

A espécie vegetal ideal para remediar um solo contaminado com resíduos de herbicidas seria uma que apresentasse alta produção de biomassa, que tanto pode tolerar quanto acumular os contaminantes. Desse modo, a escolha de plantas que apresentem tolerância ao herbicida é o primeiro passo na seleção de espécies potencialmente fitorremediadoras (SILVA, A.A.; SILVA, J. F. 2007).

## **Potencialidades e limitações da fitorremediação**

### **Potencialidades**

A técnica da fitorremediação fornece alto potencial de emprego, pois apresentar inúmeras vantagens quando comparada com outras técnicas de remediação de solos contaminados. Essas vantagens se tornam ainda mais visíveis em ambientes agrícolas, onde predominam extensas áreas, que podem estar contaminadas com diferentes tipos de pesticidas (SILVA, A.A.; SILVA, J. F.

2007). De acordo com Cole et al. (1995), Cunningham et al. (1996) e Vose et al. (2000), as principais potencialidades para a implantação de programas de fitorremediação são:

- Menor custo em relação às técnicas de remediação tradicionalmente utilizadas envolvendo a remoção do solo para tratamento *ex situ*.
- Os xenobióticos podem ser degradados a compostos não tóxicos internamente nas plantas ou no ambiente rizosférico, podendo ser até mesmo mineralizados a compostos primários. Na ocorrência de tal situação, não há necessidade de remoção das plantas cultivadas na área contaminada.
- As propriedades biológicas, físicas e químicas do solo são mantidas e, não raro, até melhoradas com o cultivo de espécies vegetais fitorremediadoras.
- Incorporação de matéria orgânica ao solo, principalmente, quando não há necessidade de retirada das plantas remediadoras da área contaminada.
- Fixação de nitrogênio atmosférico, principalmente, no caso da utilização de leguminosas como espécies remediadoras.
- Auxílio no controle do processo erosivo, eólico e hídrico. Nesse último caso, diminuem o carreamento de contaminantes com a água e com o solo e, por conseguinte, reduzindo a possibilidade de contaminação dos cursos hídricos.
- Redução da lixiviação de contaminantes no solo, reduzindo a contaminação do lençol freático.
- O emprego de plantas é mais favorável esteticamente do que qualquer outra técnica de remediação, e pode ser implementado com mínimo distúrbio ambiental, evitando escavações e tráfego pesado de maquinário.
- Utiliza energia solar para realizar os processos de descontaminação.
- Apresenta alto índice de aceitação pública, perante a sociedade.

### **Limitações**

Embora, a fitorremediação apresente vantagens comprovadamente significativas, ainda dispõe de algumas limitações e dificuldades que devem ser analisadas antes da sua execução. Principalmente, devido à complexidade do comportamento dos herbicidas no solo, e da interação entre os diferentes fatores ambientais. (PROCÓPIO et al., 2009). O sucesso do emprego da fitorremediação está em função, basicamente, da escolha adequada da espécie vegetal e conhecimento do composto a ser degradado na área, o que em algumas vezes, resulta em certas limitações (SILVA, A.A.; SILVA, J. F. 2007). As principais limitações da técnica de

fitorremediação são descritas por Narayanan et al. (1996), Cunningham et al. (1996), Miller (1996), Macek et al. (2000) e Pires et al. (2003a), sendo elas:

- Dificuldade na seleção de plantas para fitorremediação, principalmente em relação à descontaminação de solos com resíduos de herbicidas de amplo espectro de ação.
- O tempo requerido para obtenção de uma despoluição satisfatória pode ser longo, podendo ser requerido mais de um ciclo de cultivo.
- O contaminante deve estar dentro da zona de alcance do sistema radicular das plantas fitorremediadoras.
- Clima e condições edáficas podem restringir o crescimento de plantas fitorremediadoras, prejudicando conseqüentemente, a descontaminação do solo.
- Necessidade de retirada das plantas da área contaminada, quando o composto tóxico é apenas fitoacumulado ou fitodegradado a um composto ainda tóxico.
- Os xenobióticos podem ser fitotransformados ou mesmo rizotransformados a metabólitos mais problemáticos que o composto inicial.
- A presença do contaminante ou de algum metabólito tóxico na parte aérea das plantas pode favorecer a contaminação da cadeia alimentar.
- Dificuldade de controle posterior da planta fitorremediadoras.

### **Exemplo de Fitorremediação de Herbicidas**

Souto et al., (2013) avaliaram a biodegradação de cinco doses do herbicida composto pela mistura formulada de imazetapir+imazapique (75 + 25 g e.a. L<sup>-1</sup>) nas doses de (0, 250, 500, 1.000 e 4.000mL ha<sup>-1</sup>) em solo rizosférico com seis espécies vegetais com potencial para a fitorremediação, as espécies foram *Canavalia ensiformis*, *Glycine max*, *Lolium multiflorum*, *Lotus corniculatus*, *Stizolobium aterrimum* e *Vicia sativa*. Constataram que a espécie *Stizolobium aterrimum* apresentou a maior degradação do herbicida nas maiores doses avaliadas, sendo uma espécie promissora para programas de fitorremediação.

Franco et al., (2014) avaliaram a influência do tempo de cultivo de *Urochloa brizantha* (braquiária) uma espécie vegetal com potencial de fitorremediadora; na fitorremediação de solo contaminado com o herbicida picloram, utilizando *Phaseolus vulgaris* como espécie bioindicadora. As avaliações foram compostas por cinco períodos de cultivo (150, 210, 240, 270 e 300 dias). Concluíram que a braquiária atuou de maneira efetiva na fitorremediação dos solos contaminados, sendo que, quanto maior o período de cultivo, maior foi o seu potencial fitorremediador. Observou-se recuperação no aparato fotossintético da bioindicadora *Phaseolus vulgaris* estudada, a partir de

240 dias de cultivo da braquiária. Isso mostra que mesmo não sendo no período máximo de cultivo a espécie de braquiária mostrou-se eficiente na descontaminação do solo contaminado com o herbicida picloram, permitindo o uso do solo por espécies vegetais sensíveis ao herbicida.

Ferraço et al., 2017 avaliaram o efeito da densidade populacional de *Canavalia ensiformis* sobre a fitorremediação do herbicida sulfentrazone, a espécie *Pennisetum glaucum* foi utilizada como bioindicadora. Testaram a combinação de quatro densidades populacionais da espécie fitorremediadora *C. ensiformis* (0; 10; 20 e 40 plantas m<sup>2</sup>) em três doses do herbicida sulfentrazone (0; 200 e 400 g há<sup>-1</sup>). O cultivo prévio da espécie fitorremediadora *C. ensiformis* promoveu de maneira satisfatória a remediação do solo contaminado com sulfentrazone. A densidade populacional mínima de *C. ensiformis* que possibilita o desenvolvimento de *Pennisetum glaucum* (bioindicadora) é de 10 plantas m<sup>2</sup>. Contudo, melhores resultados foram obtidos na densidade de 40 plantas m<sup>2</sup>. Esses estudos reforçam que algumas espécies vegetais possuem potencial para descontaminar solos com resíduos de herbicidas e que quanto mais plantas na área melhores são os resultados obtidos.

### **Conclusões**

Esses estudos corroboram que, embora, a técnica de fitorremediação possua certas limitações, os benefícios apresentados à tornam uma técnica promissora.

### **Referências**

- 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. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v. 1. p. 299-352.
- BARRA, R.; NOTARIANNI, V.; MAFFIOLI, G. et al. Patrones de contaminación por herbicidas en aguas superficiales en una cuenca agrícola. **Ecotoxicology and Environmental Restoration**, New York, v. 2, p. 75-83, 1999.
- BELO, A. F.; SANTOS, E. A.; SANTOS, J. B. et al. Fitorremediação de solo adubado com composto orgânico e contaminado com trifloxysulfuron-sodium. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 25, p. 251-258, 2007.
- CABRAL, Cássia Michelle. **Fitorremediação por Espécies Arbóreas de Solo Contaminado com Herbicida Clomazone: Efeito na Morfologia, Anatomia e Rizosfera**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri. Diamantina-Minas Gerais.201259p.
- COLE, M. A.; ZHANG, L.; LIU, X. Remediation of pesticide-contaminated soil by planting and compost addition. **Compost. Sci. Utiliz.**, v. 3, p. 20-30, 1995.

COUTINHO, P. W. R. CADORIN, D. A.; NORETO, L.M.; GONÇALVES JUNIOR, A. C. Alternativas de remediação e descontaminação de solos: biorremediação e fitorremediação. **Nucleus**, v.12, n.1, p.59-68, 2015.

CUNNINGHAM, S. D.; ANDERSON, T. A.; SCHWAB, A. P. Phytoremediation of soils contaminated with organic pollutants. **Adv. Agron.**, v. 56, p. 55-114, 1996. Editora Berthier, 2007. 160 p.

EDWARDS, C.A. **Persistent pesticides in the environment**. 2. ed. U.S.A.: CRC Press, 1973, 170 p.

FELSOT, A. S.; SHELTON, D. R. Enhanced diodegradation of soil pesticides: interactions between physicochemical processes and microbial ecology. In: LINEE, D. M. et al. (Eds.) **Sorption and degradation of pesticides and organic chemical in soils**. Madison: Soils Sciences Society of America, American Society of Agronomy, 1993. p. 277-251.

FERRAÇO, M.; PIRES. F.R.; BELO, A.F.; CELIN, F.A, BONOMO, R. Efeito da densidade populacional de *Canavalia ensiformis* na fitorremediação de solo contaminado com sulfentrazone. *Revista Ciência Agronômica*, vol. 48, n. p. 32-40, mar 2017

FERRO, A. M.; SIMS, R. C.; BUGBEE, B. Hycrest crested wheatgrass accelerates the degradation of pentachlorophenol in soil. **J. Environ. Qual.**, v. 23, p. 272-279, 1994.

FRANCO, L. O.; MAIA, R. C. C.; PORTO, A. L. F. Remoção de metais pesados por quitina e quitosana isoladas de *Cunninghamella elegans*. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 35, n. 3, p. 243-247, 2004.

FRANCO, M.H.R.; FRANÇA, A.C.; ALBUQUERQUE, M.T; SCHIAVON, N.C; VARGAS,G.N. Fitorremediação de solos contaminados com picloram por *Urochloa brizantha*. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, vol. 44, n.4, p. 460-467, dez 2014.

KRUTZ, L. J.; SENSEMAN, S. A.; ZABLOTOWICZ, R. M. et al. Reducing herbicide runoff from agricultural fields with vegetative filter strips: a review. **Weed Science**, Ithaca, v. 53, p. 353–367, 2005.

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

MAHMOO, Q.; BILAL, M.; JAN, S. **Emerging Technologies and Management of Crop Stress Tolerance**. 2014.

MELO, R. F. de; BRITO, L. T. de L.; GIONGO, V.; ANGELOTTI, F.; MIGUEL, A. A. **Impactos ambientais causados pela agricultura no semiárido brasileiro**. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2010. 101p.

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

MIRANDA, A.C.; MOREIRA, J.C.; CARVALHO, R. Neoliberalismo, uso de agrotóxicos e a crise da soberania alimentar no Brasil. Rio de Janeiro: **Rev. Ciência &**

MONQUERO, P.A.; CÔRREA, M.C.; BARBOSA, L.N.; GUTIERREZ, A.; ORZARI, I.; HIRATA, A.C.S. Seleção de espécies de adubos verdes visando à Fitorremediação de diclosulam. **Planta Daninha**, v. 31, n. 1, p. 127-135, 2013

MONTEIRO, R. T. R. Biodegradação de herbicidas. In: WORKSHOP SOBRE BIODEGRADAÇÃO, 1996, Campinas. **Anais...** Campinas: EMBRAPA, CNPMA, 1996. p. 120-128.

NARAYANAN, M. et al. **Experimental and modeling studies of the fate of trichlorethylene in a chamber with alfafa plants**. 1996. Online. Disponível em <http://>

NEWMAN, L. A. et al. Phytoremediation of organic contaminants: a review of phytoremediation research at the university of Washington. **J. Soil Contamin.**, v. 7, p. 531- 542, 1998.

PALMA, G.; SANCHES, A.; OLAVE, Y. et al. Pesticides levels in surfaces waters in an agricultural-forestry basin in Southern Chile. **Chemosphere**, Ney York, v. 57, p. 763-770, 2004.

PERKOVICH, B. S. et al. Enhanced mineralization of [<sup>14</sup>C] atrazine in *K. scoparia* rhizosferic soil from a pesticide contaminated site. **Pestic. Sci.**, v. 46, p. 391-396, 1996.  
**Phytoremediation.**, v. 2, p. 53-73, 2000.

PILON-SMITS, Elizabeth. **Phytoremediation. Annual Review of Plant Biology**, Palo Alto, 2005, p.15-39.

PIRES, F. R. et al. Uso da fitorremediação na descontaminação do solo. In: ENCONTRO REGIONAL DE BOTÂNICOS, 23., 2001, Viçosa, MG. **Resumos...** Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2001. p. 104.

PIRES, F. R.; SOUZA, C. M.; CECON, P. R.; SANTOS, J. B.; TÓTOLA, M. R.; PROCÓPIO, S. O.; SILVA, A. A.; SILVA, C. S. W. Inferências sobre atividade rizosférica de espécies com potencial para fitorremediação do herbicida tebuthiuron. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 627-634, 2005.

PIRES, F. R.; SOUZA, C. M.; SILVA, A. A.; PROCÓPIO, S. O. Phytoremediation of herbicide-polluted soils. **Planta daninha**, v. 21, n. 2, p. 335-341, 2003a.

PITELLI, R. A. Interferência das plantas daninhas em culturas agrícolas. **Inf. Agropec**, v. 11, n. 129, p. 16-27, 1985.

PROCÓPIO, S. O.; DA SILVA, A.A.; VARGAS, L.; FERREIRA, F.A. **Manejo de plantas daninhas na cultura da cana-deaçúcar**. Viçosa: Editora UFV, 2003. 150 p.

PROCÓPIO, S.O.; PIRES, R.F.; SANTOS, J.B.; SILVA, A.A. **Fitorremediação de Solos com Resíduos de Herbicidas**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2009. 32p.

QUEROL, X.; ALASTUEY, A.; MORENO, N.; ALVAREZ-AYUSO, E.; GARCÍA-SÁNCHEZ, A.; CAMA, J.; AYORA, C.; SIMÓN, M. Immobilization of heavy metals in polluted soils by the addition of zeolitic material synthesized from coal fly ash. **Chemosphere**, v. 62, n. 2, p. 171-180, 2006.

ROMAN, E.E., BECKIE, H., VARGAS, L., HALL, L., RIZZARDI, M.A. & WOLF, T.M. **Como funcionam os herbicidas da biologia à aplicação**. Passo. Fundo: Gráfica

ROUSSEAU, S.; HARTMANN, A.; ROUARD, N. et al. A simplified procedure for terminal restriction fragment length polymorphism analysis of the soil bacterial community to study the effects of pesticides on the soil microflora using 4,6-dinitroorthocresol as test case. **Biology and Fertility of Soils**, Alemanha Ocidental, v. 37, p. 250-254, 2003.

SANTOS, J. B. et al. Seletividade do herbicida trifloxysulfuron-sodium para fins de fitorremediação. R. Ceres, v. 51, n. 1, p. 129-141, 2004a.

SANTOS, J. B.; JAKELAITIS, A.; SILVA, A. A.; VIVIAN, R.; COSTA, M. D.; SILVA, A. F. Atividade microbiana do solo após aplicação de herbicidas em sistemas de plantio direto e convencional. **Planta Daninha**, v. 23, n. 4, p. 683-691, 2005.

SANTOS, J. B.; PROCÓPIO, S. O.; SILVA, A. A.; PIRES, F. R.; RIBEIRO JÚNIOR, J. I.; SANTOS, E. A. Seletividade do herbicida trifloxysulfuron sodium para fins de fitorremediação. **Revista CERES**, v. 51, n. 293, p. 129-141, 2004a. **Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, n. 12, n.1, p.7-14, jan./mar. 2007.

SILICIANO, S. D.; GERMIDA, J. J. Enhanced phytoremediation of chlorobenzoates in rhizosphere soil. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 31, p. 299-305, 1999.

SILVA, A.A.; SILVA, J. F. **Tópico em manejo de plantas daninhas**. Viçosa: UFV, 2007. 367 p.

SINDIVEG. Sindicato Nacional da Indústria de Produtos para Defesa Vegetal. **Vendas de defensivos agrícolas por classes**. Disponível em: <<http://www.sindiveg.org.br/>>. Acessado em 21 de junho de 2017.

SOUTO, K.M.; JACQUES, R.J.S.; AVIL,L.A.; MACHADO, S.L.O.; ZANELLA, R.J.P. Biodegradação dos herbicidas imazetapir e imazapique em solo rizosférico de seis espécies vegetais. **Ciência Rural**, vol.43, n. 10, p. 1790-1796, out 2013.

VOSE, J. M. et al. Leaf water relations and sapflow in Eastern cottonwood (*Populus deltoides* Bartr.) trees planted for phytoremediation of a groundwater pollutant. **Intern. J.** [www.engg.ksu.edu/HSRC/home.html](http://www.engg.ksu.edu/HSRC/home.html). Disponível em 18 jun. 2001.