



Fitorremediação de solo contaminado com o herbicida picloram por plantas de capim pé de galinha gigante

Renato L. de Assis¹, Sérgio de O. Procópio², Marcos L. do Carmo³, Fábio R. Pires⁴, Alberto Cargnelutti Filho⁵ & Guilherme B. P. Braz⁶

RESUMO

Objetivou-se, com este trabalho, avaliar a influência de diferentes lâminas de água no solo sobre a fitorremediação de solo contaminado com o herbicida picloram por plantas de capim pé de galinha gigante (*Eleusine coracana*). O experimento foi conduzido em casa de vegetação com a utilização de amostras de solo de um Latossolo Vermelho distroférico. Os tratamentos foram compostos pela combinação de quatro níveis diários de reposição da água, através das lâminas de água evaporada (80, 90, 100 e 110% da lâmina de água evaporada) e de três doses do picloram (0, 80 e 160 g ha⁻¹), com quatro repetições. Após 48 h da aplicação do herbicida foi realizada a semeadura do capim pé de galinha gigante. Decorridos 90 dias da emergência, ocorreram a dessecação das plantas e o corte na altura do coleto; em seguida, efetuou-se a semeadura com soja (*Glycine max* L.), cultivar Monsoy 6101), espécie considerada, pela literatura, bioindicadora da presença do picloram. Os resultados obtidos indicaram que a maior lâmina de reposição de água evaporada do solo auxilia na remediação de solos contaminados com o herbicida picloram, utilizando-se plantas de *E. coracana*. A melhoria da fitorremediação foi significativa apenas quando a contaminação do solo com o herbicida foi de 80 g ha⁻¹.

Palavras-chave: residual de herbicidas, mimetizadores de auxinas, soja, evaporação de água, *Eleusine coracana*

Phytoremediation of soil contaminated with picloram by *Eleusine coracana*

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the influence of different water depths in the soil on phytoremediation of soil contaminated with picloram by *Eleusine coracana* plants. The experiment was carried out under greenhouse conditions with samples of Oxisol. The treatments consisted of the combination of four daily levels of water replacement (80, 90, 100 and 110% of evaporated water) and three picloram rates (0, 80 and 160 g ha⁻¹), arranged in a completely randomized design, in a factorial scheme 4 x 3, with four replications. The phytoremediation specie was sowed 48 h after applying the herbicide. At 90 days post emergence, the plants were desiccated and cut and the bioindicator specie (soybean – Monsoy 6101 cultivar) was sowed. The results indicated that the highest evaporated water replacement depth contributes to the remediation of soil contaminated with picloram, by using *Eleusine coracana* plants. This phytoremediation improvement only is significant when soil contamination is not over 80 g ha⁻¹.

Key words: carryover, auxin agonists, soybean, water evaporation, *Eleusine coracana*

¹ Instituto Federal Goiano, Campus Iporá, CEP 76200-000, Iporá, GO. E-mail: relassis@bol.com.br

² Embrapa Tabuleiros Costeiros, CEP 49025-040, Aracaju, SE. Fone: (79) 4009-1318. E-mail: procopio@cpatc.embrapa.br

³ Faculdade de Agronomia/FESURV, CP 104, CEP 75901-970, Rio Verde, GO. Fone: (64) 3620-2213. E-mail: marcoslima@fesurv.br

⁴ CEUNES/UFES, CEP 29933-415, São Mateus, ES. Fone: (27) 3763-8650. E-mail: fabiopires@ceunes.ufes

⁵ CCR/UFMS, CEP 97105-900, Santa Maria, RS. E-mail: cargnelutti@pq.cnpq.br

⁶ Mestrando em Agronomia na Universidade Estadual de Maringá. E-mail: guilhermebrag@gmail.com

INTRODUÇÃO

O uso de plantas como agentes despoluidores tem despertado interesse crescente. Sua utilização tem sido avaliada principalmente em solos contaminados com metais pesados (Accioly & Siqueira, 2000), petróleo e derivados de petróleo (Anderson & Walton, 1995; Moreno & Corseuil, 2001) e outros compostos orgânicos (Cunningham et al., 1996). Referidos compostos podem tornar áreas totalmente inutilizadas pelos riscos que representam ao meio ambiente (Silva et al., 2010).

A utilização de plantas com capacidade de tolerar e, concomitantemente, extrair ou degradar determinados compostos, pode representar uma alternativa interessante na agricultura (Pires et al., 2003a). Solos que anteriormente eram considerados inaptos ao cultivo de espécies agrícolas, em razão dos elevados níveis de determinadas substâncias tóxicas, podem tornar-se novamente agricultáveis, com o uso de fitorremediadores. Diante desta possibilidade estudos têm sido realizados visando avaliar a fitorremediação de alguns herbicidas de efeito residual longo e por isso mesmo problemático, em termos de potencial de contaminação de águas subterrâneas, e até de causar intoxicação com seus resíduos em culturas sucedâneas.

O herbicida picloram, apesar de ser normalmente utilizado em pós-emergência de plantas daninhas, sobretudo de dicotiledôneas arbustivas ou arbóreas (Pinho et al., 2007), em relação aos demais herbicidas registrados para uso em pastagens e lavouras do Brasil, apresenta um dos maiores períodos de atividade residual em solos impedindo, de curto a médio prazo, o cultivo de várias espécies agrícolas (Santos et al., 2006). Sabe-se, também, que quanto mais tempo o herbicida permanece no solo, maior o risco de contaminação de lençóis freáticos (Bovey & Richardson, 1991).

Trabalhos vêm sendo realizados com o uso de fitorremediadores em solos. Pires et al. (2003b,c) obtiveram resultados preliminares; envolvendo o herbicida tebuthiuron, revelaram tolerância diferenciada por espécies de adubos verdes cultivadas em casa de vegetação. Obtiveram-se resultados semelhantes quando se avaliaram diferentes níveis de contaminação do solo pelo herbicida trifloxysulfuron sodium (Procópio et al., 2004; Santos et al., 2004a). Em outro estudo, no qual se avaliou a capacidade remediadora das plantas que exibiram maior tolerância ao trifloxysulfuron sodium, Santos et al. (2004b) evidenciaram que mucuna-preta (*Stizolobium ateri-mum*) e feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*) se mostraram mais eficientes na fitorremediação desse herbicida com sensível redução de efeitos fitotóxicos no milho (*Zea mays*), cultivado em sucessão a esses adubos verdes. Além desses resultados; que evidenciam a possibilidade de fitorremediação de herbicidas, trabalhos com o herbicida atrazine (Anderson et al., 1994; Perkovich et al., 1996; Arthur et al., 2000), simazine (Wilson et al. 1999; 2000) e metolachlor (Anderson & Coats, 1995; Rice et al., 1997) corroboram com esta linha crescente de pesquisa.

Os resultados obtidos até agora, entretanto, são ainda incipientes para apontamentos seguros quanto à utilização de plantas na remediação de herbicidas. Informações como den-

sidade populacional ideal, tempo de cultivo necessário para descontaminação satisfatória do solo, comportamento fitorremediador em diferentes condições de umidade do solo e realização de trabalhos a campo, entre outras, são fundamentais para a recomendação segura desta prática.

Objetivou-se com este trabalho avaliar a influência de diferentes lâminas de água no solo sobre a fitorremediação de solo contaminado com o herbicida picloram por plantas de capim pé de galinha gigante (*Eleusine coracana*).

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação da FESURV – Universidade de Rio Verde, localizada no município de Rio Verde, GO, cujas coordenadas geográficas são: latitude de 17° 47' 24" S e longitude de 50° 56' 31" W, e altitude de 698 m. O período de condução do experimento foi de outubro de 2006 a março de 2007.

Utilizaram-se, como substrato para o crescimento das plantas, amostras de solo classificado como Latossolo Vermelho Distroférico que, após secagem ao ar, foram passadas em peneira com 2 mm de malha e submetidas a caracterização química e textural (Tabela 1), conforme metodologia proposta por EMBRAPA (1997). O teor de água na capacidade de campo foi determinado segundo método da EMBRAPA (1997).

Os tratamentos foram compostos pela combinação entre quatro níveis diários de reposição da água, através de lâminas de água evaporada (80, 90, 100 e 110% da quantidade de água evaporada) e de três doses do picloram (0, 80 e 160 g ha⁻¹), totalizando 12 tratamentos. A quantidade de água evaporada média foi determinada através de dois evaporímetros (recipientes instalados dentro da área experimental com área de borda de mesma dimensão dos vasos utilizados para plantio das espécies). Com o auxílio de uma proveta toda a água existente dentro de cada evaporímetro era medida diariamente e a diferença de leitura para o dia anterior representa a quantidade de água evaporada. Para reposição da lâmina evaporada considerava-se a média dos dois evaporímetros. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado em esquema fatorial 4 x 3, com quatro repetições.

Realizaram-se, antes do preenchimento dos vasos com capacidade para 8 dm³ sem furos na parte inferior, uma calagem, utilizando-se o equivalente a 2 t ha⁻¹ de calcário filler e adubação de base, aplicando-se o referente a 500 kg ha⁻¹ da fórmula 08-20-18.

Após o preenchimento e o umedecimento dos vasos procedeu-se à aplicação do herbicida picloram, através de um pulverizador costal pressurizado com CO₂, acoplado, de barra, contendo duas pontas de pulverização TT 110.02, aplicando-se volume de calda equivalente a 200 L ha⁻¹.

Após 48 h da aplicação do herbicida realizou-se a semeadura da espécie vegetal fitorremediadora *Eleusine coracana* - capim pé de galinha gigante; dez dias após a emergência das plantas realizou-se um desbaste deixando-se 14 plantas por vaso. Uma vez ao dia todos os vasos recebiam reposição de água, considerando-se a quantidade de água evaporada. Para a quantidade de água repostada por

Tabela 1. Caracterização química e análise textural do Latossolo Vermelho distroférrico

pH (CaCl ₂)	P	H + Al	Al	K	Ca	Mg	CTC	V (%)	M.O.	Areia	Silte	Argila	C.C.*
	mg dm ⁻³	cmol _c dm ⁻³							g kg ⁻¹				
4,1	0,3	2,9	0,05	0,04	0,06	0,21	3,20	9,88	12,79	290	150	560	201

* Teor de água na capacidade de campo a -0,006 MPa

tratamento levou-se em consideração a quantidade evaporada pelo evaporímetro, além de se considerar, também, as lâminas (80, 90, 100 e 110%) e em todas as lâminas o coeficiente de cultura de 0,9 (coeficiente para estágios iniciais de crescimento) e 1,0 (quando a cultura já apresentava crescimento ativo).

As temperaturas médias mensais medidas na Estação Meteorológica da Universidade de Rio Verde durante o período de condução do experimento para os meses de outubro, novembro e dezembro de 2006 e janeiro, fevereiro e março de 2007 foram, respectivamente, de 23,6; 23,3; 23,6; 23,5; 23,5 e 24,0 °C.

Vencido o tempo estabelecido de atuação da espécie vegetal (90 dias após a emergência), as plantas foram dessecadas com glyphosate (1.800 g ha⁻¹ de equivalente ácido). Cinco dias depois da dessecação, as plantas foram cortadas na altura do coleto e a parte aérea descartada; a seguir, amostras de solo de todos os vasos foram retiradas e analisadas quimicamente. Após a análise dos resultados e se tendo, como base, as necessidades da cultura da soja, procedeu-se a uma adubação de plantio específica para cada tratamento, a fim de se uniformizar a disponibilidade de nutrientes em cada unidade experimental. Terminada esta etapa efetuou-se a semeadura da espécie bioindicadora da presença do picloram, soja (cultivar Monsoy 6101), distribuindo-se 10 sementes por vaso de cada espécie. Após a emergência das plantas de soja procedeu-se a um desbaste deixando-se três plantas por vaso e, depois do plantio da soja, a irrigação foi uniformizada em todos os tratamentos, sendo que todos os vasos recebiam a mesma lâmina de irrigação, duas vezes ao dia.

Aos 15 e 40 dias após a emergência (DAE) da planta bioindicadora avaliou-se a fitotoxicidade, de forma visual, utilizando-se escala percentual, em que 0 (zero) significa ausência de sintomas e 100%, morte de todas as plantas e a altura média de plantas, utilizando-se escala graduada, tendo como referência o meristema apical; aos 40 DAE, a parte aérea das plantas de soja foi cortada rente ao solo, sendo o material vegetal imediatamente pesado em balança analítica para determinação da massa verde da parte aérea; em seguida a esta pesagem, referidos materiais foram colocados em estufa de circulação forçada de ar (70 ± 2 °C) por 72 h e pesados novamente, determinando-se a massa seca da parte aérea.

Após a coleta e tabulação dos dados, estes foram submetidos a análise de variância. Realizou-se a análise dos efeitos significativos dos níveis diários de reposição da umidade do solo dentro de cada dose do herbicida, por análise de regressão, sendo os coeficientes das equações testados pelo teste t a 5% de significância, e os efeitos significativos das doses do picloram em cada nível diário de reposição da umidade do solo por meio do teste de Tukey a 5% de significância, devido ao número insuficiente de níveis para a confecção das equações de regressão.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resíduos no solo do herbicida picloram ocasionaram elevada fitotoxicidade às plantas de soja cultivadas após a atuação das plantas de *Eleusine coracana*, independentemente da lâmina de reposição de água aplicada no solo (Tabela 2). Esses resultados reforçam as considerações de Wax et al. (1969), sobre a alta sensibilidade da soja à presença do picloram, mesmo em quantidades extremamente baixas no solo, e intensifica o cuidado com o cultivo dessa planta em áreas com histórico de aplicações deste herbicida.

Tabela 2. Fitotoxicidade em plantas de soja semeadas após o cultivo prévio de capim pé de galinha gigante (*Eleusine coracana*), sob diferentes lâminas de reposição de água evaporada de solo contaminado previamente com o herbicida picloram

Doses de picloram (g ha ⁻¹)	Reposição diária da lâmina de água evaporada* (%)			
	80	90	100	110
Fitotoxicidade (%) em plantas de soja aos 15 DAE				
0	0,00 b	0,00 c	0,00 c	0,00 c
80	69,25a	66,75 b	65,25 b	48,50 b
160	78,00a	91,00 a	90,50 a	85,25 a
Variável	Equação de regressão			R ²
80	Y = -194,063 + 6,131x - 0,0356x ²			0,85
160	Y = -340,063 + 8,881x - 0,0456x ²			0,89
Fitotoxicidade (%) em plantas de soja aos 40 DAE				
0	0,00 b	0,00 c	0,00 b	0,00 c
80	77,25 a	72,50 b	69,25 a	37,25 b
160	84,50 a	96,75 a	89,50 a	89,00 a
Variável	Equação de regressão			R ²
80	Y = -425,163 + 11,711x - 0,0681x ²			0,86
160	Y = -199,688 + 6,119x - 0,0319x ²			0,75

*Médias não seguidas de mesma letra na vertical diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. *DAE - dias após a emergência

O aumento na contaminação inicial do picloram (160 g ha⁻¹) acarretou maior intoxicação das plantas de soja aos 15 dias após a emergência da cultura (DAE), quando a reposição da lâmina de água evaporada no solo, durante a permanência das plantas de *E. coracana*, foi de 90, 100 e 110%; contudo, na avaliação seguinte (40 DAE) o aumento das doses do picloram no solo apenas induziu maior níveis de injúrias às plantas de soja quando a reposição da água evaporada foi de 90 e 110% (Tabela 2).

Quando o nível inicial de contaminação do picloram foi de 160 g ha⁻¹ a reposição da água evaporada do solo praticamente não afetou a eficácia da fitorremediação, utilizando-se plantas de *E. coracana*; no entanto, quando a

contaminação inicial com o herbicida foi de menor proporção (80 g ha⁻¹) a maior reposição da água evaporada favoreceu a fitorremediação, chegando a reduzir os sintomas de fitotoxicidade nas plantas de soja a patamares inferiores a 40%, aos 40 DAE (Tabela 2). A manutenção da umidade do solo pode favorecer a permanência do picloram na solução do solo por maior período, o que pode favorecer a absorção do mesmo pelo sistema radicular das plantas de *E. coracana* (fitoextração). Outra possibilidade para explicar a melhora da fitorremediação com o aumento da reposição de água no solo seria o fato do maior teor de água no solo favorecer a atividade microbiana aumentando, conseqüentemente, a rizodegradação do picloram. Hang et al. (1996) utilizaram plantas de girassol para acusar a presença do picloram em colunas de solo, sendo esta espécie considerada, pelos autores, sensível ao herbicida.

Na dose de 160 g ha⁻¹ o aumento da reposição de água de 80 para 110%, tanto aos 15 como aos 40 DAE aumentou a fitotoxicidade na cultura da soja (Tabela 2). É provável que o herbicida, que anteriormente não foi disponibilizado totalmente para as plantas de *E. coracana*, por estar adsorvido à argila do solo, se tenha tornado disponível para a cultura da soja devido à maior disponibilidade de água, o que promoveu a liberação do herbicida para a solução do solo. Resultados semelhantes foram observados por Belo et al. (2007) em estudo com o herbicida tebuthiuron utilizando *Canavalia ensiformes* como planta fitorremediadora e com cultivo da soja em seqüência, em diferentes umidades do solo.

A presença do picloram no solo reduziu drasticamente a altura das plantas de soja, mesmo com a tentativa prévia de remediação do solo contaminado, utilizando-se plantas de *E. coracana* (Tabela 3). Apenas se verificaram efeitos significativos entre as doses do picloram em relação à altura das plantas de soja, na reposição da água evaporada do solo de 100% aos 15 DAE e na de 110% aos 40 DAE. Observou-se, nesses dois casos, que o aumento na dose previamente aplicada do picloram de 80 para 160 g ha⁻¹ proporcionou maior queda no porte das plantas de soja (Tabela 3).

O aumento do nível de reposição da água evaporada nos solos resultou em maior eficiência na fitorremediação; todavia, apenas quando o nível de contaminação foi de 80 g ha⁻¹ em combinação com o maior nível de reposição de água do solo é que se obteve redução aceitável no crescimento das plantas de soja, de modo que não se verificou diferença estatística em relação ao tratamento sem contaminação prévia (Tabela 3). De acordo com Chang (1969), as técnicas envolvendo bioensaios são eficientes e podem ser utilizadas na estimativa dos níveis de picloram em solos. Merkle et al. (1967) empregaram plantas de feijão (*Phaseolus vulgaris*) para sinalizar a presença de picloram em solo.

A técnica de fitorremediação avaliada empregando-se plantas da espécie *E. coracana* não foi eficiente em garantir pleno acúmulo de massa seca pelas plantas de soja, quando cultivadas em solo que recebeu as duas doses do herbicida

Tabela 3. Altura de plantas de soja semeadas após o cultivo prévio de capim pé de galinha gigante (*Eleusine coracana*), sob diferentes lâminas de reposição de água evaporada de solo contaminado previamente com o herbicida picloram

Doses de picloram (g ha ⁻¹)	Reposição diária da lâmina de água evaporada* (%)			
	80	90	100	110
Altura das plantas de soja (cm) aos 15 DAE				
0	15,13 a	15,38 a	17,85 a	16,18 a
80	8,00 b	9,08 b	10,00 b	11,70 b
160	7,18 b	6,18 b	4,18 c	7,80 b
Variável	Equação de regressão			R ²
0	Y = 16,1333			-
80	Y = 12,176 - 0,1766x + 0,0016x ²			0,88
160	Y = 109,356 - 2,1981x + 0,0116x ²			0,82
Altura das plantas de soja (cm) aos 40 DAE				
0	41,68 a	44,53 a	41,93 a	47,25 a
80	13,13 b	18,10 b	19,83 b	33,98 a
160	10,05 b	4,65 b	7,45 b	9,55 b
Variável	Equação de regressão			R ²
0	Y = 43,8438			-
80	Y = 164,339 - 3,715x + 0,0229x ²			0,85
160	Y = 173,565 - 3,550x + 0,0188x ²			0,78

*Médias não seguidas de mesma letra na vertical diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. *DAE = dias após a emergência

picloram (80 e 160 g ha⁻¹), independentemente da reposição feita da água evaporada do solo (Tabela 4).

Bovey & Scifres (1971) reportam que concentrações de picloram de 100 mg m⁻³ em solos podem causar redução significativa no crescimento de plantas de girassol e *Vigna sinensis*. Apenas no nível de reposição da água evaporada de 110%, é que se detectou maior redução na massa seca da parte aérea das plantas de soja quando cultivadas em solo com aplicação inicial de 160 g ha⁻¹ do herbicida em relação à contaminação de 80 g ha⁻¹ (Tabela 4). Verificou-se, mais uma vez, que a remediação do solo contaminado com picloram por plantas de *E. coracana* só foi mais significativa quando a contaminação do picloram foi de 80 g

Tabela 4. Massa seca da parte aérea de plantas de soja semeadas após o cultivo prévio de capim pé de galinha gigante (*Eleusine coracana*), sob diferentes lâminas de reposição de água evaporada de solo contaminado previamente com o herbicida picloram

Doses de picloram (g ha ⁻¹)	Reposição diária da lâmina de água evaporada* (%)			
	80	90	100	110
Massa seca da parte aérea de plantas de soja (g) aos 40 DAE				
0	40,48 a	39,05 a	39,20 a	42,38 a
80	14,53 b	13,73 b	12,90 b	22,05 b
160	8,50 b	6,08 b	5,28 b	8,58 c
Variável	Equação de regressão			R ²
0	Y = 40,275			-
80	Y = 216,525 - 4,5088x + 0,0249x ²			0,85
160	Y = 135,034 - 2,7251x + 0,0143x ²			0,89

*Médias não seguidas de mesma letra na vertical diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. *DAE = dias após a emergência

ha⁻¹ e a reposição diária de água no solo era a mais alta (110%) (Tabela 4).

CONCLUSÕES

1. A maior lâmina de reposição de água evaporada, de forma geral, auxilia na remediação de solos contaminados com o herbicida picloram utilizando-se, para este processo, plantas de *E. coracana*.

2. A melhoria da fitorremediação é significativa apenas quando a contaminação do solo com o herbicida não é elevada.

LITERATURA CITADA

- 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, v.1 p.299-352, 2000.
- Anderson, T. A.; Coats, J. R. Screening rhizosphere soil samples for the ability to mineralize elevated concentrations of atrazine and metolachlor. *Journal Environmental Science and Health*, v.B30, p.473-484, 1995.
- Anderson, T. A.; Kruger, E. L.; Coats, J. R. Enhanced degradation of a mixture of three herbicides in the rhizosphere of a herbicide-tolerant plant. *Chemosphere*, v.28, p.1551-1557, 1994.
- Anderson, T. A.; Walton, B. T. Fate of ¹⁴C trichloroethylene in the root zone of plants from a former solvent disposal site. *Environmental Toxicology and Chemistry*, v.14, p.2041-2047, 1995.
- Arthur, E. L.; Perkovich, B. S.; Anderson, T. A.; Coats, J. R. Degradation of an atrazine and metolachlor herbicide mixture in pesticide-contaminated soils from two agrochemical dealerships in Iowa. *Water, Air, and Soil Pollution*, v.119, p.75-90, 2000.
- Belo, A. F.; Santos, E. A.; Santos, J. B.; Ferreira, L. R.; Silva, A. A.; Cecon, P. R.; Silva, L. L. Efeito da umidade do solo sobre a capacidade de *Canavalia ensiformes* e *Stizolobium aterrimum* em remediar solos contaminados com herbicidas. *Planta Daninha*, v.25, n.2, p.239-249, 2007.
- Bovey, R. W.; Richardson, C. W. Dissipation of clopyralid and picloram in soil and seep flow in the blacklands of Texas. *Journal of Environmental Quality*, v.20, p.528-531, 1991.
- Bovey, R. W.; Scifres, S. J. Residual characteristics of picloram in grassland ecosystems. Weslaco: Texas Agricultural Experiment Station, 1971, v.B, 1111p.
- Chang, H. H. Extraction and colorimetric of picloram in soil. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v.17, p.1174-1177, 1969.
- Cunningham, S. D.; Anderson, T. A.; Schwab, A. P. Phytoremediation of soils contaminated with organic pollutants. *Advances in Agronomy*, v.56, p.55-114, 1996.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa CNPS, 1997. 212p.
- Hang, S. B.; Ferreira, E. A.; Bussetti, S. G. Movilidad y adsorción-desorción de picloram, dicamba e imazaquin. *Investigación Agraria Producción y Protección Vegetales*, v.11, n.2, p.345-362, 1996.
- Merkle, M. G.; Bovey, R. W.; Davis, F. S. Factors affecting the persistence of picloram in soil. *Agronomy Journal*, v.59, p.413-415, 1967.
- Moreno, F. N.; Corseuil, H. X. Fitorremediação de aquíferos contaminados por gasolina. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v.6, n.1, p.1-7, 2001.
- Perkovich, B. S.; Anderson, T. A.; Kruger, E. L.; Coats, J. R. Enhanced mineralization of [¹⁴C] atrazine in *Kochia scoparia* rhizospheric soil from a pesticide-contaminated site. *Pesticide Science*, v.46, p.391-396, 1996.
- Pinho, A. P.; Matos, A. T.; Morris, L. A.; Costa, L. M. Atrazine and picloram adsorption in organic horizon forest samples under laboratory conditions. *Planta Daninha*, v.25, n.1, p.125-131, 2007.
- Pires, F. R.; Souza, C. M.; Silva, A. A.; Procópio, S. O.; Cecon, P. R.; Santos, J. B.; Santos, E. A. Seleção de plantas tolerantes ao tebuthiuron e com potencial para fitorremediação. *Revista Ceres*, v.50, n.291, p.583-594, 2003b.
- Pires, F. R.; Souza, C. M.; Silva, A. A.; Procópio, S. O.; Ferreira, L. R. Fitorremediação de solos contaminados com herbicidas. *Planta Daninha*, v.21, n.2, p.335-341, 2003a.
- Pires, F. R.; Souza, C. M.; Silva, A. A.; Queiroz, M. E. L. R.; Procópio, S. O.; Santos, J. B.; Santos, E. A.; Cecon, P. R. Seleção de plantas com potencial para fitorremediação de tebuthiuron. *Planta Daninha*, v.21, n.3, p.451-458, 2003c.
- Procópio, S. O.; Santos, J. B.; Silva, A. A.; Pires, F. R.; Ribeiro Júnior, J. I.; Santos, E. A.; Ferreira, L. R. Seleção de plantas com potencial para fitorremediação de solos contaminados com o herbicida trifloxysulfuron sodium. *Planta Daninha*, v.22, n.2, p.315-322, 2004.
- Rice, P. J.; Anderson, T. A.; Coats, J. R. Phytoremediation of herbicide-contaminated surface water with aquatic plants. In: *Phytoremediation of soil and water contaminants, 1997*, Washington: ACS Symposium Series; Washington: American Chemical Society, 1997. p.133-151.
- 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.
- Santos, J. B.; Procópio, S. O.; Silva, A. A.; Pires, F. R.; Ribeiro Júnior, J. I.; Santos, E. A.; Ferreira, L. R. Fitorremediação do herbicida trifloxysulfuron sodium. *Planta Daninha*, v.22, n.2, p.223-330, 2004b.
- Santos, M. V.; Freitas, F. C. L.; Ferreira, F. A.; Viana, R. G.; Santos, L. D. T.; Fonseca, D. M. Eficácia e persistência no solo de herbicidas utilizados em pastagem. *Planta Daninha*, v.24, n.2, p.391-398, 2006.
- Silva, W. G. P.; Amaral Sobrinho, N. M. B.; Mazur, N. Uso de fosfato para remoção de arsênio de solo contaminado. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.14, n.1, p.101-106, 2010.
- Wax, L. M.; Knuth, L. A.; Slife, F. W. Response of soybeans to 2,4-D, dicamba and picloram. *Weed Science*, v.17, p.388-393, 1969.
- Wilson, P. C.; Whitwell, T.; Klaine, S. J. Phytotoxicity, uptake, and distribution of ¹⁴C-simazine in *Canna hybrida* 'Yellow King Hunbert'. *Environmental Toxicology and Chemistry*, v.18, p.1462-1468, 1999.
- Wilson, P. C.; Whitwell, T.; Klaine, S. J. Phytotoxicity, uptake, and distribution of ¹⁴C-simazine in *Acorus gramineus* and *Pontederia cordata*. *Weed Science*, v.48, p.701-709, 2000.