

INFLUÊNCIA DO PERÍODO DE CULTIVO DO CAPIM-PÉ-DE-GALINHA-GIGANTE (*Eleusine coracana*) NA FITORREMEDIAÇÃO DE SOLO CONTAMINADO COM PICLORAM¹

Influence of Eleusine coracana Cultivation Period on Phytoremediation of Soil Contaminated with Picloram

CARMO, M.L.², PROCOPIO, S.O.³, PIRES, F.R.⁴, CARGNELUTTI FILHO, A.⁵, BRAZ, G.B.P.⁶, SILVA, W.F.P.⁶, BARROSO, A.L.L.⁷, SILVA, G.P.⁷, CARMO, E.L.², BRAZ, A.J.B.P.⁷ e PACHECO, L.P.²

RESUMO - O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência do período de cultivo do capim-pé-de-galinha-gigante (*Eleusine coracana*) sobre a fitorremediação de solo contaminado com picloram. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, no período de setembro de 2006 a fevereiro de 2007. Os tratamentos foram compostos pela combinação entre quatro períodos de cultivo da espécie vegetal *Eleusine coracana* (0, 60, 80 e 100 dias) e três doses do picloram (0, 80 e 160 g ha⁻¹), totalizando 12 tratamentos. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado em esquema fatorial 4 x 3, com quatro repetições. Como substrato para o crescimento das plantas, utilizaram-se amostras de solo classificado como Latossolo Vermelho eutrófico. Ao término do período estabelecido de atuação da espécie fitorremediadora, efetuou-se a semeadura das espécies bioindicadoras da presença do picloram: tomate (cultivar Santa Clara) e soja (cultivar Monsoy 6101). As espécies bioindicadoras demonstraram alta sensibilidade à presença do picloram no solo, sendo inviável o cultivo dessas culturas em áreas contaminadas com esse herbicida sem a execução de algum procedimento remediador. O cultivo prévio de *E. coracana* por 60 dias reduziu a contaminação do solo com picloram e permitiu crescimento inicial satisfatório das plantas de soja e de tomate cultivadas em solo que recebeu previamente a aplicação de até 160 g ha⁻¹ de picloram; contudo, essas plantas bioindicadoras apresentaram ainda sintomas visíveis de intoxicação do herbicida.

Palavras-chave: residual de herbicidas, mimetizadores de auxinas, soja, tomate, descontaminação do solo.

ABSTRACT - The objective of this study was to evaluate the influence of *Eleusine coracana* cultivation period on phytoremediation of soil contaminated with picloram. The experiment was carried out at a greenhouse from September 2006 to February 2007, in 12 treatments combining four *Eleusine coracana* cultivation periods ((0, 60, 80 and 100 days) 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 replicates and Eutroferric Red Latosol samples used as growth substrate. The bioindicators tomato (cultivar Santa Clara) and soybean (cultivar Monsoy 6101) were sowed at the end of the time established for the phytoremediation species to act. The bioindicators showed high sensitivity to picloram on soil, rendering impracticable the cultivation of those crops in areas contaminated with this herbicide without remediation. Prior cultivation of four *Eleusine coracana* for 60 days provided a satisfactory initial growth of soybean and tomato cultivated in soil that had previously received the application of up to 160 g ha⁻¹ picloram; however, these bioindicators showed visible symptoms of herbicide intoxication.

Keywords: carryover, auxin agonists, soybean, tomato, soil decontamination.

¹ Recebido para publicação em 26.9.2007 e na forma revisada em 29.5.2008.

² Mestrando do Programa de Pós-Graduação da Fesurv – Universidade de Rio Verde, 75901-970, Rio Verde-GO; ³ Pesquisador da Embrapa Tabuleiros Costeiros, 49025-040, Aracaju-SE, <procopio@cpatc.embrapa.br>, Bolsista do CNPq; ⁴ Professor do Dep. de Ciências da Saúde, Biológicas e Agrárias do Centro Universitário Norte do ES/UFES, 29933-480, São Mateus-ES; ⁵ Professor do Dep. de Estatística da UFRGS, 90040-060, Porto Alegre-RS; ⁶ Discente de Agronomia da Fesurv – Universidade de Rio Verde; ⁷ Professor da Faculdade de Agronomia da Fesurv – Universidade de Rio Verde.



INTRODUÇÃO

A aplicação de herbicidas que apresentam efeito residual longo em solos possibilita, em diversos casos, controle efetivo de plantas daninhas por período de tempo suficiente até que as culturas ocupem todo o espaço, impedindo a emergência dessas plantas na área. A utilização desses herbicidas representa, principalmente em culturas que apresentam longos períodos de prevenção total da interferência (PTPI), uma redução no custo no controle químico de plantas daninhas. Por outro lado, tem-se observado em algumas situações a ocorrência de toxicidade em culturas sensíveis (*carryover*) semeadas após a utilização desses produtos, cujo efeito residual no solo pode variar de alguns meses a mais de três anos (Bovey et al., 1982). Dentre os herbicidas que apresentam elevada persistência no solo, destaca-se o picloram, o qual se caracteriza pela elevada utilização em pastagens.

Além do *carryover*, existe ainda o problema ambiental ocasionado pela lixiviação de moléculas originais de herbicidas ou de seus metabólitos para camadas mais profundas no perfil do solo, podendo atingir aquíferos subterrâneos (Dornelas de Souza et al., 2001). O uso do picloram tem sido questionado devido à alta solubilidade em água (430 g m^{-3}), sendo por isso um herbicida que apresenta elevado potencial de lixiviação (Bovey & Richardson, 1991). Alguns autores relatam que a elevada mobilidade do picloram pode resultar na contaminação de águas subterrâneas (Glass & Edwards, 1974; Bovey et al., 1975; Lavy et al., 1996); em simulação promovida por Pang et al. (2000), níveis significativos desse herbicida foram recuperados em lençol freático a 22 e 53 m de profundidade. O problema ambiental relacionado ao picloram agrava-se, também, devido à sua elevada persistência no solo (Lavy et al., 1996). Close et al. (1998) observaram que o picloram lixiviou até a profundidade de 1,3 m nos solos testados, sendo detectado 600 dias após sua aplicação nesses solos.

Na busca de soluções para reduzir esse problema, alternativas biológicas começam a ser utilizadas com sucesso, como a biorremediação, que se constitui em uma técnica que objetiva descontaminar solos e/ou reservatórios hídricos pela introdução de organismos vivos,

capazes de degradar diversos poluentes, inclusive os herbicidas (Pires et al., 2001). Apesar de ser usada empiricamente há séculos, somente em meados da década passada começou a ser investigada a utilização de plantas na remediação de áreas que apresentavam algum tipo de contaminação, sendo essa prática denominada fitorremediação.

Resultados de pesquisas em países de clima temperado têm difundido o uso de plantas na remediação de pesticidas (Cunningham et al., 1996; Fernandez et al., 1999), e algumas apontam a eficiência de plantas na remediação de herbicidas como 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). No Brasil, diversas pesquisas têm sido conduzidas, mostrando a viabilidade de utilizar plantas na remediação dos herbicidas tebuthiuron (Pires et al., 2005 a,b, 2006) e trifloxysulfuron-sodium (Procópio et al., 2005 a,b, 2006; Santos et al., 2004), identificados como de elevada persistência em áreas agrícolas. Para esses herbicidas, as espécies de melhor desempenho foram *Stizolobium aterrimum* (mucuna-preta) e *Cannavalia ensiformis* (feijão-de-porco).

O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência do tempo de cultivo do capim-pé-de-galinha-gigante (*Eleusine coracana*) sobre a fitorremediação de solo contaminado com o herbicida picloram.

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 $17^{\circ}47'24''$ S, longitude de $50^{\circ}56'31''$ W e altitude de 698 metros. O período de condução do experimento foi de setembro de 2006 a fevereiro de 2007.

Os tratamentos foram compostos pela combinação entre quatro períodos de cultivo da espécie vegetal *Eleusine coracana*-capim-pé-de-galinha-gigante (0, 60, 80 e 100 dias) e três doses do picloram (0, 80 e 160 g ha^{-1}), totalizando 12 tratamentos. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado

em esquema fatorial 4 x 3, com quatro repetições.

Como substrato para o crescimento das plantas, utilizaram-se amostras de solo classificado como Latossolo Vermelho eutroférrico, cuja análise química e física se encontra na Tabela 1. Antes do preenchimento dos vasos com capacidade para 8 dm³, o solo foi corrigido com calcário filler, utilizando-se o equivalente a 2 t ha⁻¹, e adubado com o equivalente a 500 kg ha⁻¹ da fórmula 08-20-18.

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

Após 48 horas da aplicação do herbicida, foi realizada a semeadura da espécie vegetal fitorremediadora: o capim-pé-de-galinha-gigante. Dez dias após a emergência das plantas, realizou-se um desbaste, deixando 14 plantas por vaso. Todos os vasos foram irrigados duas vezes ao dia, para manutenção da umidade do solo.

Ao término de cada período de atuação da espécie fitorremediadora, esta foi dessecada com glyphosate (1.800 g ha⁻¹ de equivalente ácido). Cinco dias depois, as plantas foram cortadas na altura do coleto, sendo a parte aérea descartada. A seguir, em todos os vasos, amostras de solo foram retiradas e analisadas quimicamente. De posse dos resultados e tendo

como base as necessidades da cultura do tomate (*Lycopersicon esculentum*), procedeu-se à nova adubação de plantio, específica para cada tratamento, a fim de se uniformizar a disponibilidade de nutrientes em cada unidade experimental. Em seguida, efetuou-se a semeadura das espécies bioindicadoras da presença do picloram, tomate (cultivar Santa Clara) e soja (*Glycine max*) (cultivar Monsoy 6101), distribuindo-se 10 sementes de cada espécie por vaso, dividindo-se a área do vaso em duas seções. Após a emergência das plantas das espécies bioindicadoras, efetuou-se um desbaste, deixando três plantas de cada espécie por vaso. Como na etapa anterior, todos os vasos foram irrigados duas vezes ao dia.

Aos 15 e 40 dias após a emergência (DAE) das plantas bioindicadoras, avaliou-se a fitotoxicidade de forma visual, utilizando-se escala percentual, em que 0 significa ausência de sintomas e 100%, morte de todas as plantas, e a altura de plantas, utilizando-se escala graduada, tendo como referência o meristema apical. Aos 40 DAE, as plantas bioindicadoras foram cortadas rente ao solo, sendo o material vegetal imediatamente colocado em estufa de circulação forçada de ar (70 ± 2 °C) por 72 horas e pesado em balança analítica, determinando-se assim a massa seca da parte aérea.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e teste F a 5% de significância. A análise dos efeitos significativos do período de cultivo da espécie fitorremediadora dentro de cada dose do herbicida foi realizada por

Tabela 1 - Composição físico-química do solo utilizado no experimento. Rio Verde-GO, 2006/2007

Análise química								
MO	Ca+Mg	Ca	K	Mg	Al	H+Al	K	P (Mehlich)
----- g kg ⁻¹ -----	----- cmol _c dm ⁻³ -----					----- mg dm ⁻³ -----		
12,79	0,27	0,06	0,04	0,21	0,05	2,9	17	0,30
Dado complementar						Análise granulométrica		
pH	m	V	CTC	SB	Textura (%)			
CaCl ₂ 0,01 M	%	%	cmol _c dm ⁻³		Argila	Silte	Areia	
4,09	13,65	9,88	3,20	0,32	56	15	29	

*Análises realizadas nos Laboratórios de Análises Físicas e Químicas de Solo da Faculdade de Agronomia da Fesurv – Universidade de Rio Verde, segundo a metodologia descrita pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-Embrapa (1997).



análise de regressão, sendo os coeficientes das equações testados pelo teste t a 5% de significância.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A presença do picloram no solo causou intoxicação superior a 98% nas plantas de soja aos 15 e 40 dias após a emergência (DAE), nos solos sem cultivo de *Eleusine coracana*. No tratamento em que a aplicação prévia do picloram foi de 160 g ha⁻¹, nenhuma planta de soja sobreviveu (40 DAE) (Figura 1). Esses resultados mostram que a soja é uma espécie extremamente sensível à presença do picloram no solo, o que reforça o cuidado com o plantio dessa leguminosa em áreas onde esse herbicida tenha sido empregado anteriormente. Hang et al. (1996) utilizaram plantas de girassol para acusar a presença do picloram em colunas de solo, sendo essa espécie considerada sensível ao herbicida pelos autores. O cultivo de *Eleusine coracana* por 60 dias reduziu os sintomas de intoxicação provocados pelo picloram, mesmo quando o solo apresentava maior quantidade de resíduos do herbicida (160 g ha⁻¹). A toxicidade média às plantas de soja no tratamento sem fitorremediação, que era de 100,00% (morte de todas as plantas de soja) aos 40 DAE, foi reduzida a 43,75%, nível esse que muitas vezes não é suficiente para ocasionar perdas na produtividade de grãos. Tempos de permanência

das plantas de *E. coracana* superiores a 60 dias não resultaram em aumento da descontaminação do picloram no solo (Figura 1).

O tomate também mostrou ser uma planta bioindicadora da presença do picloram no solo, sendo observado acentuado nível de sintomas de intoxicação nas plantas dessa cultura quando cultivadas em solo que recebeu o herbicida e não foi efetuada a fitorremediação com *E. coracana*. Esses níveis de injúria foram iguais ou superiores a 98%, ou seja, a presença do herbicida no solo praticamente anulou qualquer possibilidade de desenvolvimento do tomate nesses solos (Figura 2). 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 fitorremediação com *E. coracana* reduziu os sintomas fitotóxicos nas plantas de tomate, aos 15 DAE, a patamares inferiores a 17% mesmo no maior nível de contaminação do solo com o herbicida (160 g ha⁻¹). No entanto, aos 40 DAE os sintomas evoluíram e, mesmo com a fitorremediação, foram superiores a 33 e 42%, quando a contaminação prévia foi de 80 e 160 g ha⁻¹ do herbicida, respectivamente (Figura 2). Apesar desses níveis de injúrias ainda constatados, o cultivo prévio com as plantas de *E. coracana* mostrou ser técnica promissora na remediação

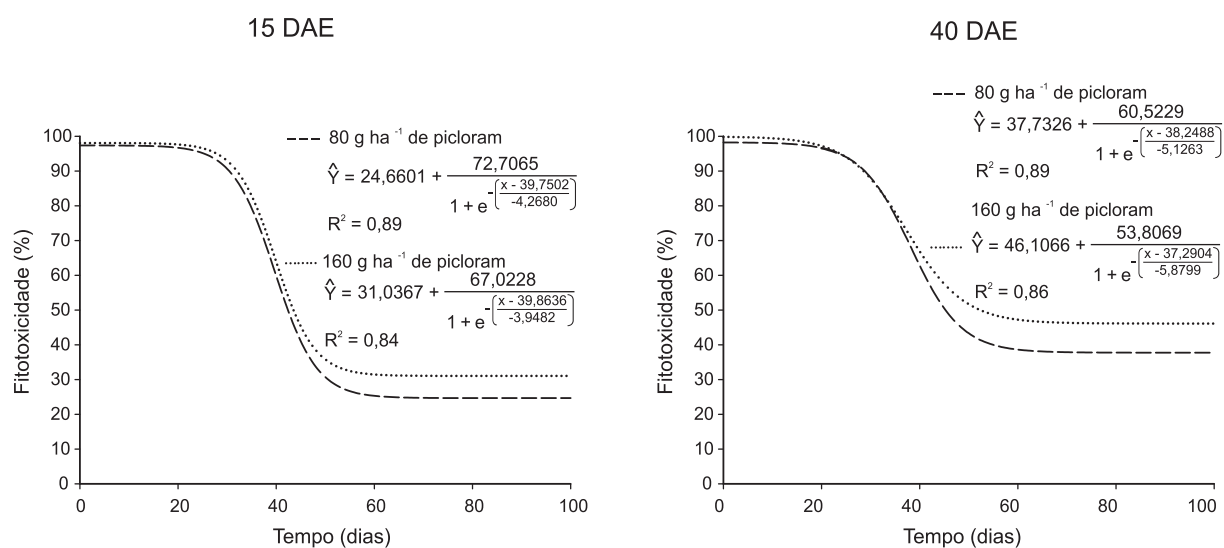


Figura 1 - Toxicidade em plantas de soja aos 15 e 40 dias após a emergência (DAE), semeadas após o cultivo prévio de *Eleusine coracana*, em função do período de permanência, em solo contaminado com dois níveis do herbicida picloram.

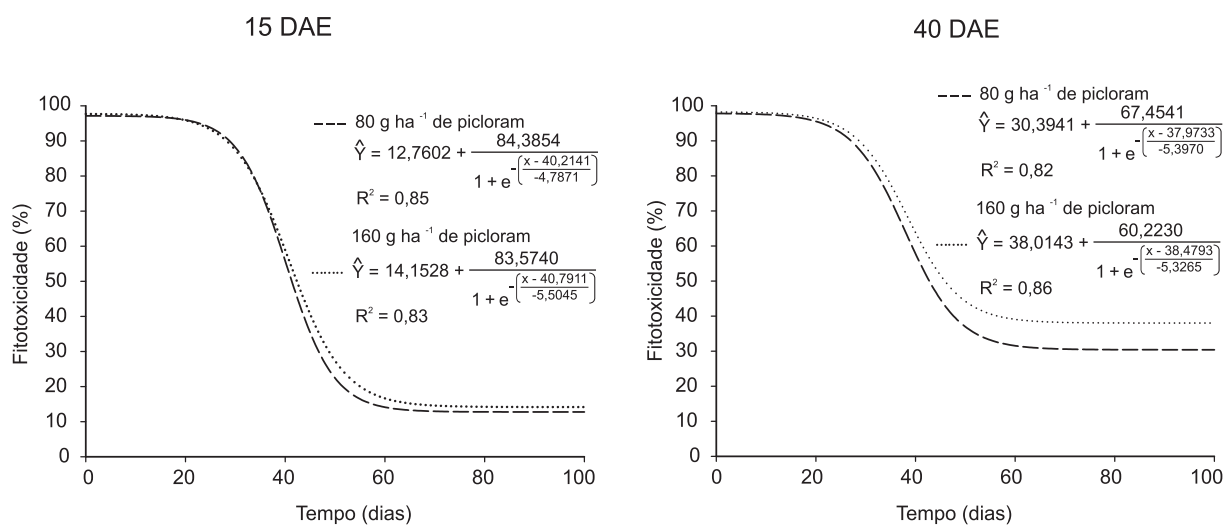


Figura 2 - Toxicidade em plantas de tomate aos 15 e 40 dias após a emergência (DAE), semeadas após o cultivo prévio de *Eleusine coracana*, em função do período de permanência, em solo contaminado com dois níveis do herbicida picloram.

dos resíduos de picloram remanescentes em solos, pois a fitotoxicidade observada nas plantas de tomate foi reduzida em cerca de 60%, aos 40 DAE. A partir de 60 dias de atuação no substrato por parte das plantas de *E. coracana* já não foi detectada mais resposta na fitorremediação, quando o cultivo subsequente da área for com a cultura do tomate (Figura 2).

A altura das plantas de soja foi reduzida drasticamente, aos 15 e 40 DAE, quando cultivada em solo com picloram, nas doses de 80 e 160 g ha⁻¹ e sem o cultivo prévio de *E. coracana* (Figura 3). Segundo Wax et al. (1969), a cultura da soja apresenta sensibilidade a quantidades extremamente baixas do herbicida picloram no solo. O cultivo dessa forrageira anterior à semeadura da soja por 60 dias proporcionou crescimento satisfatório das plantas de soja, avaliado aos 15 e 40 DAE, em solo que recebeu a aplicação prévia de 80 g ha⁻¹ de picloram, anulando parte dos efeitos fitotóxicos dos resíduos desse herbicida presentes no solo (Figura 3). Esse tempo de fitorremediação (60 dias) resultou em altura média das plantas de soja de 40,13 cm aos 40 DAE, em comparação a 2,50 cm quando não houve fitorremediação da área.

Os dados de altura das plantas de soja coletados aos 40 DAE, quando o nível de

contaminação do solo utilizado foi de 160 g ha⁻¹ de picloram, mostraram que a fitorremediação alcançada com o emprego das plantas de *E. coracana* foi significativa, porém apresentando êxito menor que o constatado na menor dose aplicada (80 g ha⁻¹). A altura das plantas de soja aumentou consideravelmente quando se cultivou *E. coracana* em todos os tempos de permanência programados (60, 80 e 100 dias). Na avaliação de 40 DAE, nenhum dos tratamentos envolvendo o período de cultivo de *E. coracana* sobre o solo contaminado previamente com 160 g ha⁻¹ de picloram conseguiu proporcionar a mesma altura das plantas de soja observada em solo sem herbicida, o que demonstra talvez a necessidade de um segundo cultivo fitorremediador consecutivo na área para obtenção de uma descontaminação mais significativa. No entanto, ressalva-se que esse cultivo conseguiu proporcionar aumento significativo no porte das plantas de soja, que passaram de 0,53 cm no tratamento sem fitorremediação para valores médios de altura superiores a 27 cm nos tratamentos com cultivo prévio de *E. coracana* (Figura 3).

Foi observada redução significativa do porte das plantas de tomate quando cultivadas em solo que recebeu o herbicida e não foi efetuada a fitorremediação com *E. coracana*. Essa redução foi proporcional ao nível do picloram no solo,



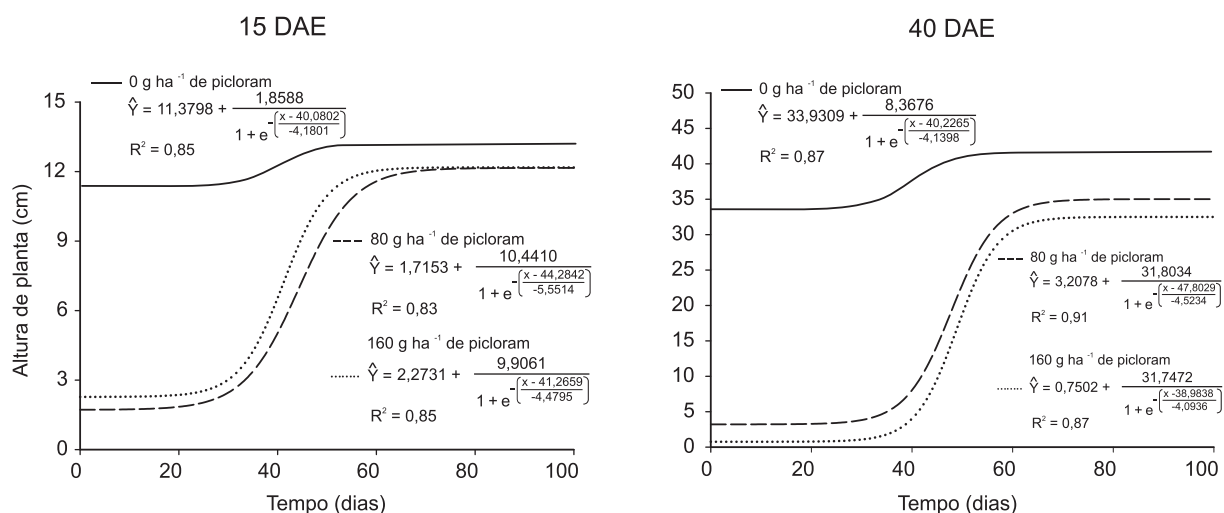


Figura 3 - Altura de plantas de soja aos 15 e 40 dias após a emergência (DAE), semeadas após o cultivo prévio de *Eleusine coracana*, em função do período de permanência, em solo contaminado com três níveis do herbicida picloram.

sendo mais acentuada na avaliação realizada aos 40 DAE (Figura 4). Bovey & Scifres (1971) reportam que concentrações de picloram de 100 mg m⁻³ em solos podem causar significativa redução no crescimento de plantas de girassol e *Vigna sinensis*. Nas duas avaliações da altura das plantas de tomate (15 e 40 DAE), observou-se que todos os tratamentos com a remediação de *E. coracana* garantiram o pleno crescimento das plantas, independentemente da dose de picloram previamente aplicada e do tempo de atuação dessas plantas (60, 80 e 100 dias). Semelhante ao que ocorreu com a

soja, constatou-se nessas avaliações que 60 dias de fitorremediação por *E. coracana* foi suficiente para que as plantas de tomate mantivessem o seu porte, mesmo com a aplicação de 160 g ha⁻¹ de picloram ao solo. Com a fitorremediação, a altura média das plantas de tomate foi incrementada de 3,37 cm, no tratamento sem fitorremediação, para 33,23 cm, quando as plantas de *E. coracana* agiram no substrato por 60 dias (Figura 4).

A avaliação da massa seca da parte aérea das plantas de soja acompanhou a mesma

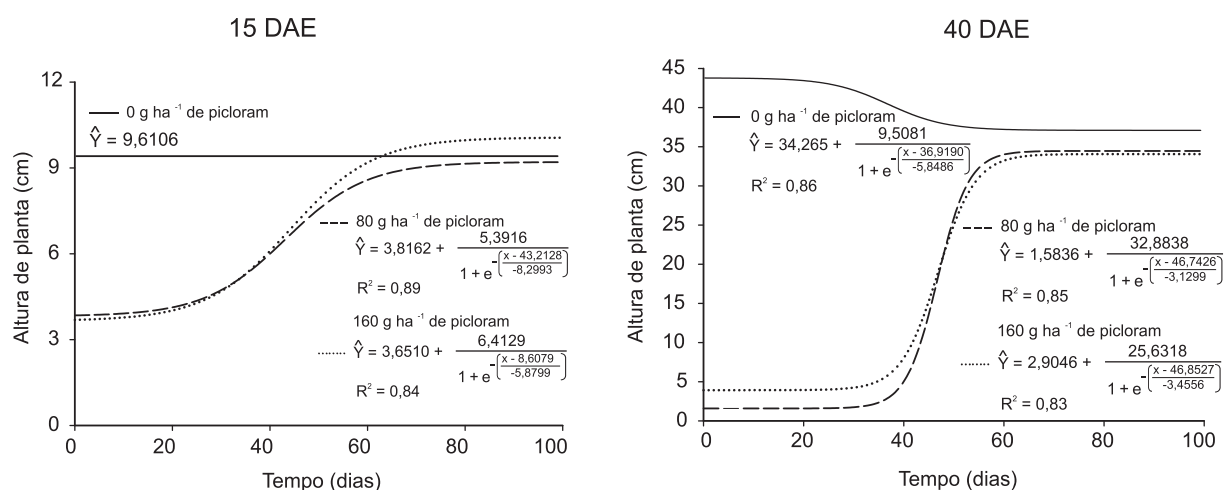


Figura 4 - Altura de plantas de tomate aos 15 e 40 dias após a emergência (DAE), semeadas após o cultivo prévio de *Eleusine coracana*, em função do período de permanência, em solo contaminado com três níveis do herbicida picloram.

tendência dos resultados verificados nas avaliações de altura de plantas. A atividade residual do picloram promoveu queda acentuada do acúmulo de fitomassa das plantas de soja quando não se realizou anteriormente a fitorremediação do herbicida. A massa seca média da parte aérea das plantas de soja no tratamento sem herbicida e sem cultivo prévio, que foi de 15,67 g, declinou para 1,55 g quando o cultivo foi realizado em solo que recebeu o equivalente a 160 g ha⁻¹ de picloram e não houve a fitorremediação de *E. coracana*. Um fato observado neste experimento foi o maior acúmulo de fitomassa pelas plantas de soja quando foi realizado o cultivo prévio de *E. coracana* nos tratamentos sem a presença do picloram (Figura 5). Esse efeito também foi verificado na altura das plantas de soja. Essa constatação pode demonstrar efeito benéfico de sucessão dessas espécies, o que reforça a possibilidade da utilização de *E. coracana* em programas de fitorremediação que envolvam a liberação da área para o plantio de soja. O tempo de permanência das plantas de *E. coracana* de 60 dias foi suficiente para proporcionar o máximo acúmulo de massa seca na parte aérea das plantas de soja, quando se aplicou previamente 80 g ha⁻¹ de picloram. Entretanto, nota-se que para a dose de 160 g ha⁻¹ o cultivo da planta remediadora por mais 20 dias proporcionou aumento significativo da produção de fitomassa. Analisando a fitotoxicidade e a altura de plantas, parece desnecessária a continuação do

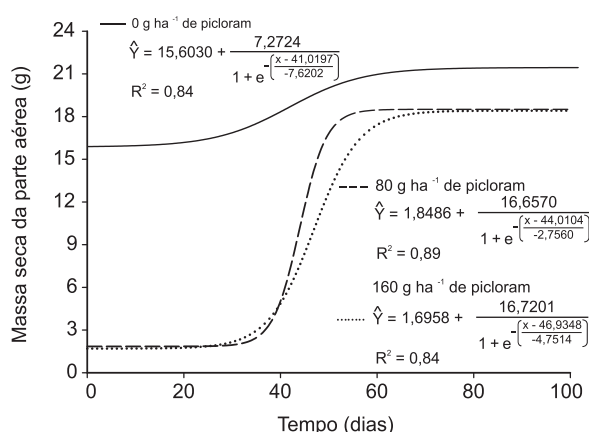


Figura 5 - Massa seca de plantas de soja aos 40 dias após a emergência (DAE), semeadas após o cultivo prévio de *Eleusine coracana*, em função do período de permanência, em solo contaminado com três níveis do herbicida picloram.



procedimento fitorremediador após 60 dias, mas, com base na massa seca, uma maior permanência pode ser interessante, pois, de acordo com Cunningham et al. (1996), quanto maior o acúmulo de fitomassa da parte aérea, maior o crescimento radicular, maior a absorção do contaminante e mais eficaz a fitorremediação.

A atividade residual plena do picloram (sem fitorremediação) acarretou queda significativa da massa seca da parte aérea das plantas de tomate, sendo esta de 18,10 g quando as plantas foram cultivadas em solo sem herbicida e de 3,18 g quando o solo havia recebido 160 g ha⁻¹ desse composto (Figura 6). A ação do picloram sobre espécies sensíveis foi avaliada por Scifres et al. (1972), os quais registram que plantas de feijão e girassol podem exibir sintomas de intoxicação quando cultivadas em solos que contêm menos de 10 ppb de picloram. Essa informação contribui para validar as inferências biológicas deste trabalho, atestando a eficiência da ação fitorremediadora de *E. coracana* para soja e tomate. Quando a contaminação prévia do herbicida foi de 80 ou 160 g ha⁻¹, 60 dias de remediação das plantas de *E. coracana* já conseguiu impedir a queda no acúmulo de massa seca da parte aérea das plantas de tomate (Figura 6).

Quanto mais rápida for a descontaminação realizada por uma determinada espécie fitorremediadora, mais rápida será a liberação da

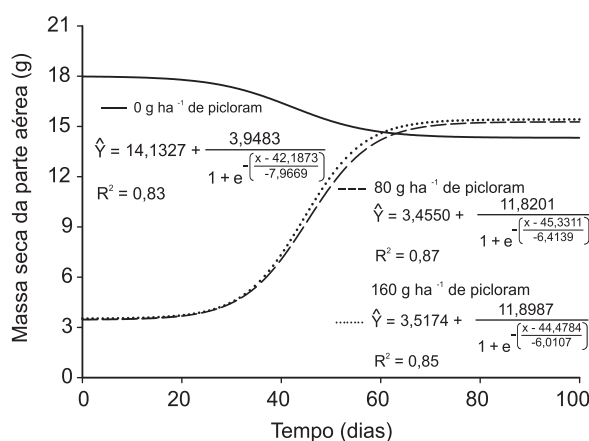


Figura 6 - Massa seca de plantas de tomate aos 40 dias após a emergência (DAE), semeadas após o cultivo prévio de *Eleusine coracana*, em função do período de permanência, em solo contaminado com três níveis do herbicida picloram.

área para o cultivo de uma espécie reconhecidamente sensível ao xenobiótico previamente utilizado e, também, menor a probabilidade de esse composto lixiviar no solo e atingir os mananciais de água presentes no subsolo. A fitorremediação do herbicida picloram tem sido também estudada por Ferreira et al. (2006) e Silva et al. (2006), mas seus resultados iniciais apontaram outra espécie, a *Brachiaria brizantha*, como potencialmente remediadora desse composto. Essa informação ratifica a potencialidade de fitorremediação desse herbicida e torna-se relevante, pois apresenta mais uma alternativa para descontaminação de pastagens e a viabilização de práticas de sucessão e rotação de culturas nessas áreas.

Tanto a soja como o tomate são espécies que apresentam alta sensibilidade à presença do herbicida picloram no solo. O cultivo prévio de *Eleusine coracana* por no mínimo 60 dias reduziu a quantidade de picloram livre no solo.

LITERATURA CITADA

- ANDERSON, T. A.; COATS, J. R. Screening rhizosphere soil samples for the ability to mineralize elevated concentrations of atrazine and metolachlor. **J. Environ. Sci. 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 herbicide-tolerant plant. **Chemosphere**, v. 28, n. 8, p. 1551-1557, 1994.
- ARTHUR, E. L. et al. Degradation of an atrazine and metolachlor herbicide mixture in pesticide-contaminated soils from two agrochemical dealerships in Iowa. **Water, Air, Soil Poll.**, v. 119, n. 1-4, p. 75-90, 2000.
- BOVEY, R. W. et al. Occurrence of 2,45-T and picloram in surface runoff water in the Blacklands of Texas. **J. Environ. Quality**, v. 4, n. 1, p. 103-106, 1975.
- BOVEY, R. W.; MEYER, R. E.; HEIN JR., H. Soil persistence of tebuthiuron in the Claypan Resource Area of Texas. **Weed Sci.**, v. 30, n. 2, p. 140-144, 1982.
- BOVEY, R. W.; RICHARDSON, C. W. Dissipation of clopyralid and picloram in soil and seep flow in the blacklands of Texas. **J. Environ. Quality**, v. 20, n. 3, p. 528-531, 1991.
- BOVEY, R. W.; SCIFRES, S. J. Residual characteristics of picloram in grassland ecosystems. **Texas Agric. Exp. Station**, v. B, n. 1111, p. 24, 1971.
- CHANG, H. H. Extraction and colorimetric of picloram in soil. **J. Agric. Food Chem.**, v. 17, n. 6, p. 1174-1177, 1969.
- CLOSE, M. E. et al. Leaching of picloram, atrazine and simazine through two New Zealand soils. **Geoderma**, v. 84, n. 1, p. 46-63, 1998.
- CUNNINGHAM, S. D.; ANDERSON, T. A.; SCHWAB, A. P. Phytoremediation of soils contaminated with organic pollutants. **Adv. Agron.**, v. 56, p. 55-114, 1996.
- DORNELAS DE SOUZA, M. et al. Adsorção e lixiviação de tebuthiuron em três tipos de solo. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 25, n. 4, p. 1053-1061, 2001.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro: 1997. 212 p.
- FERNANDEZ, R. T. et al. Evaluating semiaquatic herbaceous perennials for use in herbicide phytoremediation. **J. Am. Soc. Hortic. Sci.**, v. 124, n. 5, p. 539-544, 1999.
- 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. **Anais...** Brasília: 2006. p. 228.
- GLASS, B. L.; EDWARDS, W. M. Picloram in lysimeter runoff and percolation water. **Bull. Environ. Contam. Toxicol.**, v. 11, n. 2, p. 109-112, 1974.
- HANG, S. B.; FERREIRO, E. A.; BUSSETTI, S. G. Movilidad y adsorción-desorción de picloram, dicamba e imazaquin. **Invest. Agr. Produc. Protec. Vegetales**, v. 11, n. 2, p. 345-361, 1996.
- LAVY, T. L. et al. Long-term in situ leaching and degradation of six herbicides aged in subsoils. **J. Environ. Quality**, v. 25, n. 6, p. 1268-1279, 1996.
- MERKLE, M. G.; BOVEY, R. W.; DAVIS, F. S. Factors affecting the persistence of picloram in soil. **Agron. J.**, v. 59, n. 5, p. 413-415, 1967.
- PANG, L. P. et al. Simulation of picloram, atrazine and simazine leaching through two New Zealand soils and into groundwater using HYDRUS-2D. **J. Contam. Hydrol.**, v. 44, n. 1, p. 19-46, 2000.
- PERKOVICH, B. S. et al. Enhanced mineralization of [¹⁴C] atrazine in *Kochia scoparia* rhizospheric soil from a pesticide-contaminated site. **Pestic. Sci.**, v. 46, n. 4, p. 391-396, 1996.



- PIRES, F. R. et al. Adubos verdes na fitorremediação de solos contaminados com o herbicida tebuthiuron. **Caatinga**, v. 19, n. 1, p. 92-97, 2006.
- PIRES, F. R. et al. Inferências sobre a atividade rizosférica de espécies com potencial para fitorremediação do herbicida tebuthiuron. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 29, n. 4, p. 627-634, 2005a.
- PIRES, F. R. et al. Fitorremediação de solos contaminados com tebuthiuron utilizando-se espécies cultivadas para adubação verde. **Planta Daninha**, v. 23, n. 4, p. 711-717, 2005b.
- PIRES, F. R. et al. Uso da fitorremediação na descontaminação do solo. In: ENCONTRO REGIONAL DE BOTÂNICOS, 23., 2001, Viçosa. **Resumos...** Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2001. p. 104.
- PROCÓPIO, S. O. et al. Fitorremediação de solo contaminado com trifloxysulfuron sodium por diferentes densidades populacionais de feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis* (L). DC.). **Ci. Agrotec.**, v. 30, n. 3, p. 444-449, 2006.
- PROCÓPIO, S. O. et al. Fitorremediação de solo contaminado com trifloxysulfuron-sodium por mucuna-preta (*Stizolobium aterrimum*). **Planta Daninha**, v. 23, n. 4, p. 719-724, 2005a.
- PROCÓPIO, S. O. et al. Potencial de espécies vegetais para a remediação de do herbicida trifloxysulfuron-sodium. **Planta Daninha**, v. 23, n. 1, p. 9-16, 2005b.
- RICE, P. J.; ANDERSON, T. A.; COATS, J. R. Phytoremediation of herbicide-contaminated surface water with aquatic plants. In: KRUGER, E. L.; ANDERSON, T. A.; COATS, J. R. **Phytoremediation of soil and water contaminants**. Washington, DC: American Chemical Society, 1997. p. 133-151.
- SANTOS, J. B. et al. Fitorremediação do herbicida trifloxysulfuron-sodium. **Planta Daninha**, v. 22, n. 2, p. 223-330, 2004.
- SCIFRES, C. J.; BOVEY, R. W.; MERKLE, M. G. Variation in bioassay attributes as quantitative indices of picloram in soils. **Weed Res.**, v. 12, n. 1, p. 58-64, 1972.
- SILVA, L. L. et al. Seleção de espécies tolerantes aos herbicidas triclopyr e 2,4-D + picloram. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 25., 2006, Brasília. **Anais...** Brasília: 2006. p. 230.
- WAX, L. M.; KNUTH, L. A.; SLIFE, F. W. Response of soybeans to 2,4-D, dicamba and picloram. **Weed Sci.**, v. 17, n. 4, 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'. **Environ. Toxicol. Chem.**, v. 18, n. 7, 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 Sci.**, v. 48, p. 701-709, 2000.

