

# MOBILIDADE DO FOMESAFEN EM SOLOS BRASILEIROS<sup>1</sup>

## *Mobility of Fomesafen in Brazilian Soils*

SILVA, G.R.<sup>2</sup>, D'ANTONINO, L.<sup>2</sup>, FAUSTINO, L.A.<sup>2</sup>, SILVA, A.A.<sup>2</sup>, FERREIRA, F.A.<sup>2</sup>, TEIXERA, C.C.<sup>2</sup>  
e COSTA, A.I.G.<sup>2</sup>

**RESUMO** - A fim de prever o potencial de lixiviação e degradação de um herbicida, bem como a eficiência no controle das plantas daninhas, é essencial conhecer os processos de retenção dessa molécula no solo. Neste trabalho, avaliou-se a lixiviação do fomesafen em quatro solos: Cambissolo, Latossolo Vermelho-Amarelo com pH corrigido e original, Argissolo Vermelho-Amarelo e Organossolo. Para isso, foram utilizados bioensaios, empregando-se o híbrido de sorgo BRS655 como planta indicadora da presença do fomesafen. Os solos foram acondicionados em colunas de PVC de 10 cm de diâmetro por 50 cm de comprimento, marcadas e seccionadas a cada 5 cm de distância. Aplicou-se o herbicida fomesafen no topo das colunas, na dose de 500 g ha<sup>-1</sup> do fomesafen. Após 12 horas procedeu-se à simulação de chuva, com aplicação de uma lâmina de água de 80 mm. Realizaram-se avaliações de intoxicação das plantas e colheita da parte aérea, para determinação da matéria seca aos 21 dias após a semeadura do sorgo em cada coluna. A ordem decrescente de lixiviação foi: Cambissolo > Latossolo Vermelho-Amarelo, pH corrigido > Latossolo Vermelho-Amarelo, pH original > Argissolo Vermelho-Amarelo > Organossolo. Os fatores que mais afetaram a lixiviação, em ordem decrescente de importância, foram o teor de matéria orgânica, a textura e o pH do solo.

**Palavras-chave:** bioensaio, movimentação, características do solo, lixiviação.

**ABSTRACT** - To obtain an estimate of a herbicide's potential for leaching and degradation, as well as its weed control efficiency, it is essential to understand its retention processes in the soil. This work evaluated fomesafen leaching in four soils: Inceptisol, Latosol with original and corrected pH, Ultisol and Histosol. Thus, bioassays were carried out using the sorghum hybrid BRS655 as indicator of the presence of fomesafen in soils. The soils were packed in PVC columns of 10 cm diameter and 50 cm in length, marked and sectioned every 5 cm apart. Fomesafen was applied at the top of the columns, at a dose of 500 g ha<sup>-1</sup>. Rainfall was simulated 12 hours later, by applying a level of water of 80 mm. Plant poisoning evaluations and aerial part harvest were performed to determine shoot dry matter at 21 days after sowing sorghum in the soil of each column. The decreasing leaching order was: Inceptisol > Latosol, corrected pH > Latosol, original pH > Ultisol > Histosol. The factors that most affected leaching in a decreasing order of importance were: organic matter content, soil texture, and soil pH.

**Keywords:** bioassay, movement, soil characteristics, leaching.

## INTRODUÇÃO

O feijão é um dos principais alimentos da população brasileira. Trabalhos realizados com essa leguminosa reportam reduções de 67 e até acima de 80% na produtividade de grãos

quando ocorre interferência de plantas daninhas durante o período crítico do ciclo dessa cultura (Kozlovski, 2002).

Um dos herbicidas mais utilizados na cultura do feijão é o fomesafen, por ser seletivo

<sup>1</sup> Recebido para publicação em 18.7.2013 e aprovado em 18.5.2014.

<sup>2</sup> Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, Brasil, <gustavo.r.silva@ufv.br>.



a ela. Ele pertence ao grupo químico dos difeniléteres e é indicado no controle de plantas dicotiledôneas anuais. Esse herbicida apresenta solubilidade em água de 50 mg L<sup>-1</sup>; pKa: 2,83; Kow: 794; e Koc médio de 60 mg g<sup>-1</sup> de solo (Rodrigues & Almeida, 2011).

O fomesafen apresenta capacidade de contaminação do lençol freático por ter potencial de lixiviação (Inoue et al., 2003; Andrade et al., 2011). Em trabalho realizado por Scorza Júnior & Silva (2007), esse herbicida foi encontrado até a profundidade de 10 m em Latossolo Vermelho Distrófico e Argissolo Vermelho.

A lixiviação é definida como um processo em que o herbicida em solução é carregado para baixo, no perfil do solo, principalmente, por meio da força gravitacional (Keller & Weber, 2007). Esse movimento depende das características biológicas, físicas e químicas do solo, além das propriedades físico-químicas dos compostos e das características ambientais (Lavorenti et al., 2003; Costa et al., 2004). Para ser lixiviado, o herbicida deve estar na solução do solo ou adsorvido a pequenas partículas, como argilas, ácidos fúlvicos e húmicos de baixo peso molecular, aminoácidos, peptídeos e açúcares, entre outros (Oliveira, 2001). As diferentes características físicas e químicas do solo podem provocar retenção diferencial dos herbicidas. Isso pode refletir numa disponibilidade variável do herbicida na solução do solo, podendo gerar alteração no controle das plantas daninhas (Gerstl, 2000). Além disso, essa retenção diferencial pode acarretar variabilidade no potencial de lixiviação dos herbicidas (Oliveira Junior et al., 1999). De fato, a mobilidade e a persistência de um herbicida são os principais indicadores do potencial de contaminação de águas subterrâneas e de corpos de água (Gustafson, 1989; Inoue et al., 2003).

Por existir potencial risco de contaminação do lençol freático pelo uso do fomesafen, o objetivo deste trabalho foi avaliar a lixiviação desse herbicida em solos brasileiros com diferentes características físico-químicas.

## MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizadas neste trabalho amostras de cinco solos coletadas nas profundidades de 0 a 20 cm, em diferentes localidades, como descrito a seguir: Organossolo, coletado no município de Venda Nova do Imigrante, ES; Argissolo Vermelho-Amarelo, no município de Viçosa, MG; Cambissolo, no município de Porto Firme, MG; e Latossolo Vermelho-Amarelo, com pH original e alterado, no município de Viçosa, MG.

Após as coletas das amostras de solo, estas foram destorroadas e peneiradas (peneira de 4 mm - TFSA). Logo depois, realizaram-se as caracterizações físicas (Tabela 1) e químicas (Tabela 2) das amostras. Posteriormente, todos os solos foram adubados na proporção de 1 kg de supersimples para 100 L de solo. A amostra do Latossolo Vermelho-Amarelo foi dividida em duas subamostras, uma das quais foi incubada com 3,3 t ha<sup>-1</sup> de calcário, PRNT 96%, por 32 dias. A umidade do solo foi mantida próxima à capacidade de campo, visando facilitar as

**Tabela 1** - Resultados da análise física das amostras dos solos

Solo	Areia	Silte	Argila	Classe textural
	(dag kg <sup>-1</sup> )			
Argissolo	50	10	40	Argiloarenosa
Cambissolo	76	7	17	Franco-Arenosa
Organossolo	34	30	36	Franco-Argilosa
Latossolo	22	3	75	Muito Argilosa

**Tabela 2** - Resultados da análise química das amostras dos solos

Solo	pH	P	K	Ca	Mg	Al <sup>3+</sup>	H+Al	SB	(t)	(T)	V	M	MO
	(H <sub>2</sub> O)	(mg dm <sup>-3</sup> )	(cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )							(%)		(dag kg <sup>-1</sup> )	
Argissolo Vermelho-Amarelo	5,10	8,5	34	2,66	0,50	0,29	5,30	3,25	3,57	5,55	38,0	8,2	2,93
Cambissolo	4,60	2,2	14	0,30	0,10	0,20	1,32	0,44	0,64	1,26	25,0	7,0	1,10
Organossolo	5,00	18,1	185	5,10	3,00	0,60	26,64	8,57	9,17	34,81	25,0	31,0	20,20
Latossolo	5,00	2,1	13	0,33	0,00	0,86	8,20	0,36	1,22	8,56	4,2	70,5	1,60
Latossolo	5,78	1,8	15	1,70	0,57	0,00	5,20	2,31	2,31	7,51	30,8	0,0	1,70

reações do calcário.

As amostras de solo foram acondicionadas em colunas de PVC de 10 cm de diâmetro por 50 cm de comprimento, contendo tampa lateral removível (Figura 1). As colunas foram previamente preparadas e parafinadas no seu interior, para evitar escorrimento lateral da água a ser utilizada na mobilidade do herbicida. Para evitar perda de solo, colocou-se na extremidade inferior de cada coluna papel-filtro e gaze hidrófila. Todas as colunas foram marcadas e seccionadas a cada 5 cm de distância. Após o preenchimento das colunas com as amostras de solo, estas foram saturadas com água. Em seguida ao umedecimento, as colunas foram deixadas em repouso na posição vertical por 72 horas, a fim de drenar o excesso de água.

Posteriormente, aplicou-se o herbicida fomesafen no topo das colunas, na dose de  $500 \text{ g ha}^{-1}$  ( $2 \text{ L ha}^{-1}$  – produto comercial Flex<sup>®</sup>). Foi utilizado um pulverizador equipado com uma barra com dois bicos TT 110.02, espaçados de 0,5 m, mantidos à pressão de 2 bar, aplicando um volume de calda de  $150 \text{ L ha}^{-1}$ . Doze horas após a aplicação do herbicida, estando as colunas ainda na posição vertical, procedeu-se à simulação da chuva, com aplicação

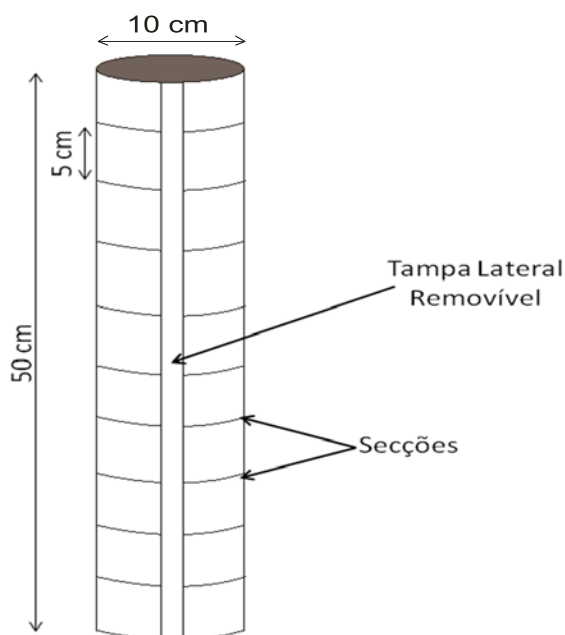


Figura 1 - Esquema da coluna utilizada no experimento.



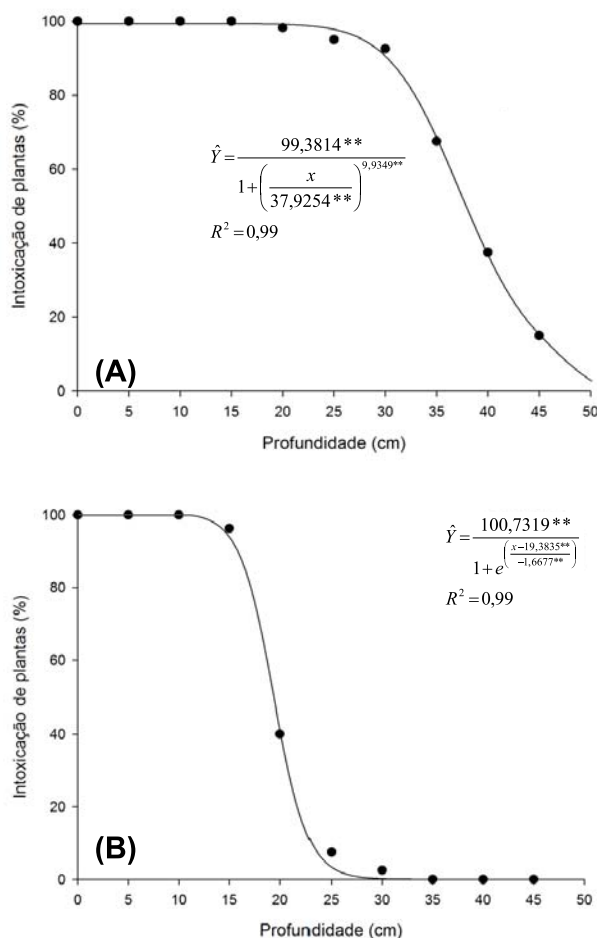
de uma lâmina de água de 80 mm. Com o propósito de aferir a precipitação, foram instalados quatro pluviômetros, acoplados às paredes laterais das colunas.

Após a simulação de chuva, as colunas permaneceram por 72 horas na posição vertical, sendo em seguida colocadas na posição horizontal. Nessa ocasião, foi aberta a lateral de cada coluna e seccionado o solo a cada 5 cm de profundidade com lâminas de polietileno rígido, sendo removido para vasos de  $280 \text{ cm}^3$  revestidos internamente com sacos de polietileno. A seguir, realizou-se o plantio do híbrido de sorgo BRS 655 como planta indicadora. Aos 21 dias após o plantio (DAP), fez-se a avaliação de intoxicação das plantas [escala visual variando de 0 a 100, em que 0 (zero) significa planta isenta de sintoma de intoxicação e 100 representa a morte da planta indicadora]. Em seguida, foi feita a colheita das plantas de sorgo, para determinação da matéria seca da parte aérea.

Foram avaliados 50 tratamentos (cinco solos e dez profundidades). Utilizou-se o esquema de parcelas subdivididas, no delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições. Alocaram-se os solos nas parcelas, e as profundidades, nas subparcelas. Para interpretação dos resultados, os dados obtidos no bioensaio foram submetidos à análise de variância e regressão, sendo os coeficientes das equações testados pelo teste t a 5% de probabilidade.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A presença do fomesafen no Cambissolo (Figura 2A), Latossolo Vermelho-Amarelo com pH corrigido (Figura 2B), Latossolo Vermelho-Amarelo com pH original (Figura 3A), Argissolo Vermelho-Amarelo (Figura 3B) e Organossolo, coletados na profundidade de 0-5 cm das colunas, causou severa intoxicação nas plantas de sorgo. Ao se avaliar o acúmulo de matéria seca das plantas de sorgo nos diferentes substratos (Figuras 4A, 4B, 5A, 5B e 6A), verificou-se comportamento semelhante, ou seja, à medida que aumenta a profundidade amostrada, aumenta também a matéria seca da planta-teste. De fato, a ocorrência do processo de sorção das moléculas de fomesafen nas camadas iniciais do solo, nas colunas, pode



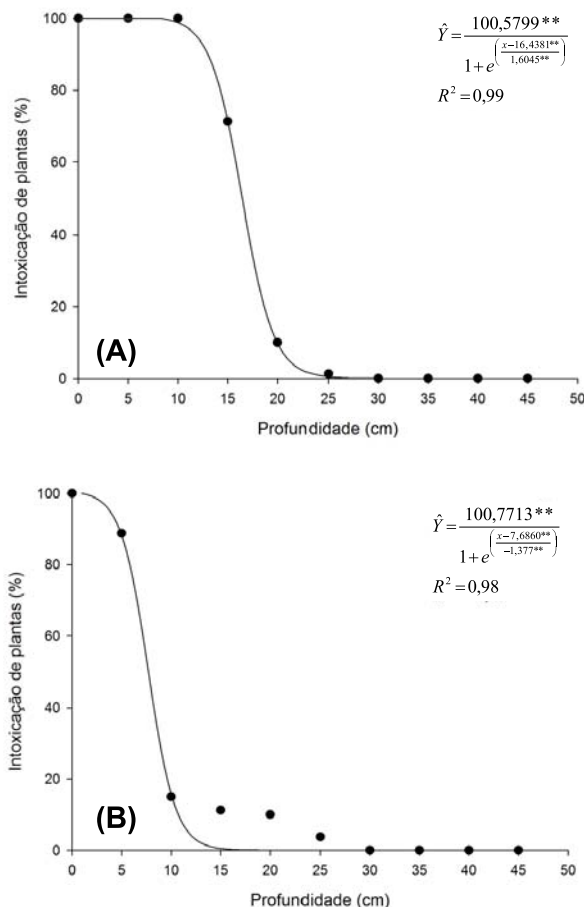
**Figura 2** - Intoxicação de plantas de sorgo 21 dias após plantio, cultivadas em amostras de solos tratados com 500 g ha<sup>-1</sup> de fomesafen em diferentes profundidades das colunas: Cambissolo (A); Latossolo Vermelho-Amarelo (pH 5,8) (B).

ter diminuído ou anulado a concentração do herbicida nas maiores profundidades amostradas.

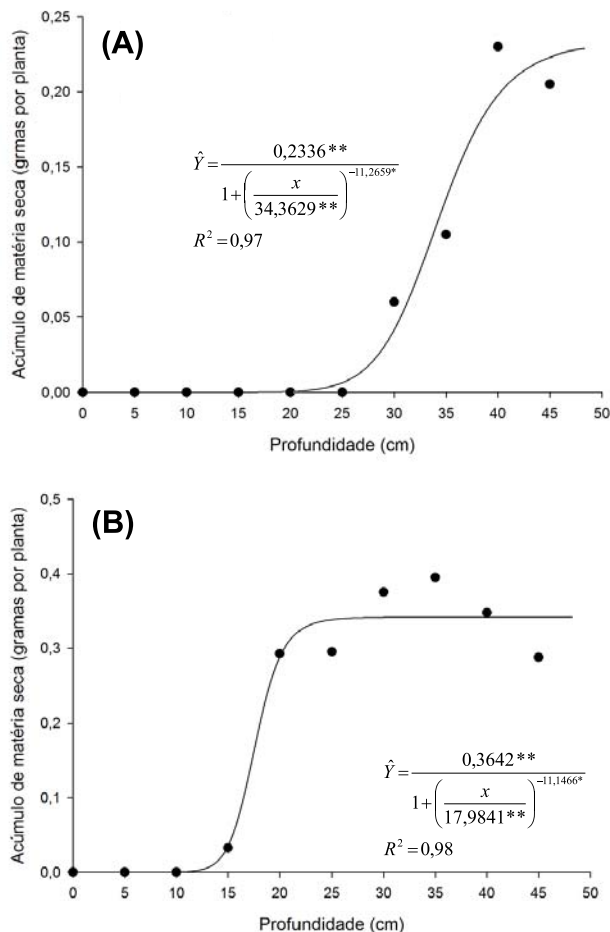
Ocorreu maior lixiviação do herbicida em quatro dos cinco solos analisados. No entanto, foi observado comportamento diferenciado do herbicida em cada substrato, com o grau de intoxicação das plantas variando conforme a profundidade analisada (Figuras 2A, 2B, 3A e 3B). No Cambissolo (Figura 2A) foi observada a maior lixiviação do fomesafen. Isso provavelmente aconteceu devido à sua textura arenosa e ao seu baixo teor de matéria orgânica. Solos com essas características apresentam menor sorção do fomesafen e, conseqüentemente, maior percolação. Esse resultado está de acordo com Rossi et al. (2005), pois esses autores

afirmam que a lixiviação do sulfentrazone, um inibidor da protoporfirinogênio oxidase, é maior em solos arenosos do que em solos siltosos ou argilosos. Em trabalho realizado por Melo et al. (2010), o sulfentrazone também apresentou maior mobilidade em solo de textura franco-arenosa em comparação ao solo argiloso. Segundo Passos (2011), a lixiviação do sulfentrazone em Planossolo Háplico, Argissolo Vermelho, Cambissolo Húmico e Neossolo Regolítico foi dependente de suas características físico-químicas.

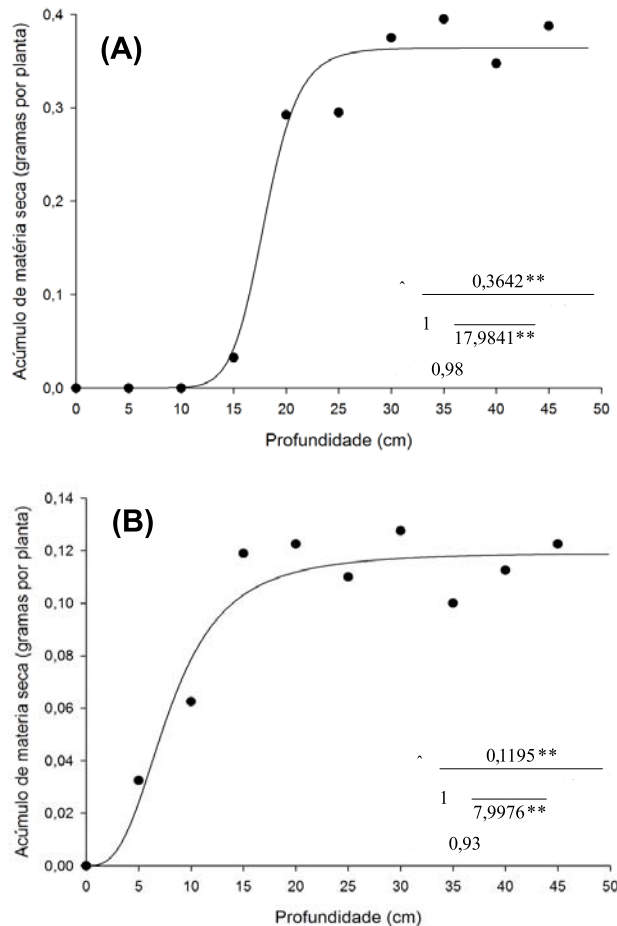
Outros solos que apresentaram maior intensidade de lixiviação foram o Latossolo Vermelho-Amarelo com pH corrigido (Figura 2B) e o Latossolo Vermelho-Amarelo com pH original (Figura 3A). A diferença de lixiviação



**Figura 3** - Intoxicação de plantas de sorgo 21 dias após plantio, cultivadas em amostras de solos tratados com 500 g ha<sup>-1</sup> de fomesafen em diferentes profundidades das colunas: Latossolo Vermelho-Amarelo (pH 5,0) (A); Argissolo Vermelho-Amarelo (B).



**Figura 4** - Acúmulo de matéria seca de plantas de sorgo 21 dias após plantio, cultivadas em amostras de solos tratados com 500 g ha<sup>-1</sup> de fomesafen em diferentes profundidades das colunas: Cambissolo (A); Latossolo Vermelho-Amarelo (pH 5,8) (B).



**Figura 5** - Acúmulo de matéria seca de plantas de sorgo 21 dias após plantio, cultivadas em amostras de solos tratados com 500 g ha<sup>-1</sup> de fomesafen em diferentes profundidades das colunas: Latossolo Vermelho-Amarelo (pH 5,0) (A); Argissolo Vermelho-Amarelo (B).

entre os Latossolos com pH corrigido e original pode estar relacionada à diferença de valores de pH entre eles. Isso acontece porque o fomesafen é derivado de um ácido fraco; herbicidas com essa característica apresentam-se dissociados em solos onde o pH é maior que seu pK<sub>a</sub>, sendo mais suscetíveis à lixiviação nessa condição. Esses resultados corroboram os de Guo (2003), o qual reporta que o fomesafen aplicado em solos com pH próximo da alcalinidade pode ser suscetível à maior distribuição no perfil do solo.

A maior lixiviação ocorrida nos Latossolos Vermelho-Amarelos, pH original e corrigido, em relação ao Argissolo Vermelho-Amarelo e

ao Organossolo provavelmente está relacionada ao seu menor teor de matéria orgânica, o que pode ter ocasionado sorção inferior do herbicida (Figuras 2B e 3A). Em estudos em solo com características físicas semelhantes às deste trabalho, o fomesafen foi recuperado do solo em maior concentração na camada de 0-10 cm (Cobucci, 1996). Verificou-se no presente trabalho a ocorrência de plantas com sintomas de intoxicação até a camada de 25-30 cm no Latossolo com pH corrigido e até a de 20-25 cm no Latossolo com pH original. A diferença encontrada, entre os trabalhos, de intoxicação entre as plantas cultivadas na mesma profundidade, possivelmente, está relacionada à diferença do teor de matéria



orgânica dos solos. No solo estudado por Cobucci (1996) o teor matéria orgânica era de 3,92 dag kg<sup>-1</sup>. Neste estudo, o teor de matéria orgânica mensurado nos Latossolos utilizados foi de 1,6 dag kg<sup>-1</sup> (Tabela 1).

Observou-se que no Argissolo Vermelho-Amarelo o fomesafen foi menos lixiviado nas colunas em comparação ao Latossolo Vermelho-Amarelo (Figura 3A, B), mesmo apresentando textura com maior teor de areia (Tabela 1). Esse fato pode ter sido em decorrência do maior teor de matéria orgânica no Argissolo Vermelho-Amarelo, comparado ao Latossolo Vermelho-Amarelo (Tabela 2). Segundo Hang et al. (1996), apesar de o pH ser a característica de maior importância na sorção de herbicidas ácidos no solo, a matéria orgânica tem correlação moderada positiva na retenção desses herbicidas. Dependendo das características físicas e químicas do herbicida e do solo, a qualidade e o teor de argila ou de matéria orgânica podem ser mais importantes do que o pH do solo.

O solo que apresentou menor lixiviação nas colunas foi o Organossolo (Figura 6). Possivelmente, esse fato veio a acontecer devido ao seu elevado teor de matéria orgânica (Tabela 2), não ocorrendo ajustamento da curva de intoxicação das plantas de sorgo. Observou-se que o fomesafen ficou praticamente todo retido na profundidade de 0-5 cm, pois apenas nessa região foram verificados sintomas de intoxicação nas plantas indicadoras. Esse resultado está de acordo com os obtidos por Guo (2003), em que esse autor afirma que solos com grande teor de matéria orgânica apresentam baixa mobilidade e elevada sorção do fomesafen. Resultado semelhante foi encontrado por Inoue et al. (2010) trabalhando com oxyfluorfen em solos com diferentes teores de matéria orgânica. Segundo Blumhorst et al. (1990) e Gonese & Weber (1998), o principal componente do solo que altera a retenção de um herbicida é a matéria orgânica. Além disso, o teor de matéria orgânica no solo desempenha papel fundamental quando se trata de contaminantes ambientais, como herbicidas e metais pesados (Vieira et al., 1999).

O principal atributo do solo que afetou a lixiviação do fomesafen foi o teor de matéria orgânica, seguido pela textura e, finalmente,



**Figura 6** - Acúmulo de matéria seca de plantas de sorgo 21 dias após plantio, cultivadas em amostras de Organossolo tratado com 500 g ha<sup>-1</sup> de fomesafen em diferentes profundidades das colunas.

pelo pH. Solos com baixos teores de matéria orgânica, textura arenosa e pH mais elevado apresentam maior risco de contaminação do lençol freático, pela maior possibilidade de lixiviação do fomesafen.

## LITERATURA CITADA

ANDRADE, A. S. et al. Potencial de lixiviação de herbicidas em solos agrícolas na região do Alto Paranaíba (MG).

**Pesticidas: R. Ecotoxicol. Meioamb.**, v. 21, n.1, p. 95-102, 2011.

BLUMHORST, M. R. et al. Efficacy of selected herbicides as influenced by soil properties. **Weed Technol.**, v. 4, p. 279-283, 1990.

COBUCCI, T. **Avaliação agrônômica dos herbicidas fomesafen e bentazon e efeito de seus resíduos no ambiente, no sistema irrigado feijão-milho**. 1996. 106 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1996.

COSTA, C. N. et al. Contaminantes e poluentes do solo e do ambiente. In: MEURER, E. J. **Fundamentos de química do solo**. 2.ed. Porto Alegre: 2004. 290 p.

GERSTL, Z.N. An update on the Koc concept in regard to regional scale management. **Crop Protec.**, v. 19, n.8-10, p. 643-648, 2000.

GONESE, J. U.; WEBER, J. B. Herbicide rate recommendations: soil parameter equations vs. registered rate recommendations. **Weed Technol.**, v. 12, n. 1, p. 235-242, 1998.

- GUO, J. et al. Adsorption, desorption and mobility of fomesafen in Chinese soils. **Air, Water Soil Poll.**, v. 14, n. 8, p. 77-85, 2003.
- GUSTAFSON, D. I. Groundwater ubiquity score: a simple method for assessing pesticide leachability. **Environ. Toxicol. Chem.**, v. 8, n. 4, p. 339-357, 1989.
- HANG, S. B. et al. Movilidad y adsorción-desorción de picloram, dicamba e imazaquin. **Invest. Agr. Produç. Protec. Veget.**, v. 11, n. 2, p. 345-361, 1996.
- INOUE, M. H. et al. Critérios para avaliação do potencial de lixiviação dos herbicidas comercializados no Estado do Paraná. **Planta Daninha**, v. 21, n. 2, p. 313-323, 2003.
- INOUE, M. H. et al. Potencial de lixiviação de herbicidas utilizados na cultura do algodão em colunas de solo. **Planta Daninha**, v. 28, n. 4, p. 825-833, 2010.
- SCORZA JÚNIOR, R. P.; SILVA, J. P. Potencial de contaminação da água subterrânea por pesticidas na Bacia do Rio Dourados, MS. **Pesticidas: R. Ecotoxicol. Meio Amb.**, v. 17, n. 1, p. 87-106, 2007.
- KELLER, K. E.; WEBER, J. B. Soybean (*Glycine max*) influences metolachlor mobility in soil. **Weed Sci.**, v. 45, n. 6, p. 833-841, 2007.
- KOZLOWSKI, L. A. et al. Interferência de plantas daninhas na cultura do feijoeiro comum em sistema de semeadura direta. **Planta Daninha**, v. 20, n. 2, p. 213-220, 2002.
- LAVORENTI, A. et al. Comportamento de pesticidas em solos – fundamentos. In: CURI, N. et al. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. v. 3. p. 335-400.
- MELO, C. A. D. et al. Lixiviação de sulfentrazone, isoxaflutole e oxyfluorfen no perfil de três solos. **Planta Daninha**, v. 28, n. 2, p. 385-392, 2010.
- OLIVEIRA JUNIOR, R. S. et al. Spatial variability of imazethapyr sorption in soil. **Weed Sci.**, v. 47, n. 1, p. 243-248, 1999.
- OLIVEIRA, M. F. Comportamento de herbicidas no ambiente. In: OLIVEIRA JR., R. S.; CONSTANTIN, J. **Plantas daninhas e seu manejo**. Guaíba: Agropecuária, 2001. p. 315-362.
- PASSOS, A. B. R. J. **Sorção, dessorção e lixiviação do sulfentrazone em diferentes solos brasileiros**. 2011. 50 f. Dissertação (Mestrado em Agroquímica) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2011.
- RODRIGUES, B. N.; ALMEIDA, F. S. **Guia de herbicidas**. 6.ed. Londrina: Universidade Estadual de Londrina, 2011. 697 p.
- ROSSI, C. V. S. et al. Mobilidade do sulfentrazone em Latossolo Vermelho e em Chernossolo. **Planta Daninha**, v. 23, n. 4, p. 701-710, 2005.
- VIEIRA, E. M. et al. Estudo da sorção/dessorção do ácido 2,4 diclorofenoxiacético (2,4-D) em solo na ausência e presença de matéria orgânica. **Química Nova**, v. 22, n. 3, p. 305-308, 1999.

