



Revista Brasileira de Ciências Agrárias

ISSN: 1981-1160

editorgeral@agraria.pro.br

Universidade Federal Rural de Pernambuco

Brasil

Arantes, Sayonara A. do C. M.; de Lima, José Maria; Lima, Luiz A.; de Jesus, Élen A.; Julião, Luiz G. F.; Arantes, Kelte R.

Influência do sistema de manejo na retenção e mobilidade da atrazina em amostras de solos

Revista Brasileira de Ciências Agrárias, vol. 7, núm. 1, 2012, pp. 167-173

Universidade Federal Rural de Pernambuco

Pernambuco, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=119023656022>

- ▶ Como citar este artigo
- ▶ Número completo
- ▶ Mais artigos
- ▶ Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica

Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal  
Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

**AGRÁRIA**

Revista Brasileira de Ciências Agrárias  
ISSN (on line): 1981-0997  
v.7, n.1, p.167-173, jan.-mar., 2012  
Recife, PE, UFRPE, [www.agraria.ufrpe.br](http://www.agraria.ufrpe.br)  
DOI:10.5039/agraria.v7i1a1368  
Protocolo 1368 – 21/02/2011 \*Aprovado em 16/08/2011

Sayonara A. do C. M. Arantes<sup>1</sup>

José Maria de Lima<sup>2,4</sup>

Luiz A. Lima<sup>2</sup>

Élen A. de Jesus<sup>2</sup>

Luiz G. F. Julião<sup>3,5</sup>

Kelte R. Arantes<sup>1</sup>

# Influência do sistema de manejo na retenção e mobilidade da atrazina em amostras de solos

## RESUMO

A atrazina é um dos principais herbicidas utilizados no Brasil, no entanto, sua dinâmica nos solos ainda não é bem conhecida, principalmente com relação a diferentes sistemas de manejo. Dessa forma, o objetivo do trabalho foi avaliar a sorção e a lixiviação da atrazina em um Latossolo Vermelho distroférico sob sistema de plantio direto e convencional. Para isso, o estudo de sorção foi realizado pelo método "batch" (ou em batelada) e de deslocamento miscível, em colunas de solo contendo amostras indeformadas da camada de 0-20 cm. Os resultados foram expressos pela isoterma de Freundlich e as curvas de eluição foram ajustadas ao modelo dispersivo-convectivo, obtendo-se assim o fator de retardamento (R) e o coeficiente de dispersão hidrodinâmica (D). Não houve diferença significativa do coeficiente de Freundlich ( $K_f$ ) nas amostras de solo sob o plantio direto e convencional. As amostras de solo da área sob plantio convencional apresentaram maior retardamento e menor dispersão hidrodinâmica em relação ao plantio direto, o que evidencia um maior fluxo. Isso sugere que a atrazina no solo sob plantio direto possui maior potencial de lixiviação no perfil do solo.

**Palavras-chave:** Deslocamento miscível, plantio convencional, plantio direto, sorção.

## Influence of management systems in the retention and mobility of atrazine in soil samples

<sup>1</sup> Universidade Federal de Mato Grosso, Avenida Alexandre Ferronato, 1200, Setor Industrial, CEP 78550-000, Sinop-MT, Brasil. Fone: (66) 3531-1663. Fax: (66) 3531-9796. E-mail: [sayocm@ufmt.br](mailto:sayocm@ufmt.br); [kelte@ufmt.br](mailto:kelte@ufmt.br)

<sup>2</sup> Universidade Federal de Lavras, Departamento de Ciência do Solo, Setor de Física e Conservação do Solo e da Água, Campus Universitário, CEP 37200-000, Lavras-MG, Brasil. Caixa Postal 3037. Fone: (35) 3829-1332. Fax: (35) 3829-1251. E-mail: [jmlima@ufla.br](mailto:jmlima@ufla.br); [lalima@ufla.br](mailto:lalima@ufla.br); [elenalvarenga@yahoo.com.br](mailto:elenalvarenga@yahoo.com.br)

<sup>3</sup> Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola, Campus Universitário, CEP 13083-970, Campinas-SP, Brasil. Caixa Postal 6011. Fone: (19) 8200-9983. E-mail: [luizgustavo.fernandesjuliao@gmail.com](mailto:luizgustavo.fernandesjuliao@gmail.com)

<sup>4</sup> Bolsista de Produtividade em Pesquisa do CNPq

<sup>5</sup> Bolsista de Doutorado da CAPES

## ABSTRACT

Atrazine is one of the most used pesticides in Brazil, however, its dynamic in soils is still unknown, specially regarding different management systems. Thus, the aim of this work was to evaluate the sorption and leaching of atrazine in a dystroferric Red Latosol cultivated under no-till or conventional till management system. Sorption was evaluated using the "batch" method and the miscible displacement method, using undisturbed soil columns from 0-20 cm layer. Results were expressed by Freundlich isotherm and the elution curves were to the dispersive-convective model in order to obtain the retardation factor (R) and the hydrodynamic dispersion coefficient (D). No significant difference of the the Freundlich coefficient ( $K_f$ ) was found in the soil samples under no-till or conventional till management systems. The retardation factor was higher and the hydrodynamic dispersion coefficient was lower in the samples under conventional till system, showing evidences of a higher leaching potential in soils under no-till system.

**Key words:** Miscible displacement, conventional till system, no-till system, sorption.

## INTRODUÇÃO

Dentre os vários pesticidas utilizados na agricultura, destaca-se a atrazina, que é um herbicida amplamente utilizado para o controle de plantas daninhas na cultura do milho, cana-de-açúcar e sorgo, entre outras, sendo empregado tanto em sistema de plantio direto como em sistema de plantio convencional. Esse produto é considerado um dos pesticidas de maior potencial para a contaminação do lençol freático (Caspel & Larson, 2001) e de águas superficiais; por essa razão seu uso já foi proibido em vários países (Arias-Estévez, 2008). Bortoluzi et al. (2006) observaram a presença de diferentes pesticidas, entre eles a atrazina, em águas superficiais de uma microbacia localizada no Rio Grande do Sul.

Quando moléculas de pesticidas alcançam o solo, elas podem ser retidas na fase sólida ou permanecer em solução, podendo ser degradadas ou lixiviadas no perfil do solo. O processo de retenção retarda e, até mesmo, impede o movimento das moléculas no perfil do solo. Vários são os fatores que afetam a retenção e, consequentemente, a lixiviação de pesticidas em solos; dentre estes fatores, destacam-se as características relacionadas ao próprio pesticida, aos solos, às condições ambientais e as práticas de manejo, relacionadas ao sistema de manejo dos solos.

O sistema convencional de cultivo com intensiva mecanização vem sendo substituído pelo sistema de plantio direto, com grande restrição na mecanização, que tem trazido benefícios de ordem química e física aos solos. Do ponto de vista químico, o aumento nos teores de matéria orgânica, com incrementos significativos na capacidade de troca de cátions, está entre os maiores benefícios. Por outro lado, a maior agregação entre partículas e continuidade de poros está entre os aspectos que melhoram a dinâmica da água no solo. Essas alterações podem afetar diretamente a dinâmica de pesticidas em solos.

Lavorenti et al. (2003) estudaram o comportamento do diclosulam em um Latossolo Vermelho distroférreico sob plantio direto e convencional e observaram que tanto a dissipação quanto a formação de resíduo ligado foi maior no solo sob plantio direto. Kraemer et al. (2009) avaliaram a lixiviação do pesticida imazethapyr em solo de várzea sob os dois sistemas de manejo (direto e convencional) e observaram maior concentração da molécula na superfície do solo no plantio convencional do que no direto. O efeito dos sistemas de cultivo na mineralização e sorção da atrazina foi estudado por Albuquerque et al. (2001) que concluíram que houve maior mineralização e maior sorção do herbicida no solo sob o sistema de plantio direto em comparação ao sistema convencional.

Segundo Javaroni (1999) e Toni et al. (2006), os principais caminhos ou rotas pelos quais os pesticidas podem deixar a área de aplicação são a volatilização, a lixiviação, o escoamento superficial, ou “runoff”, a absorção pelas plantas e a remoção por outros organismos. Uma grande preocupação com o destino de pesticidas no ambiente é com respeito à lixiviação, que tem sido apontada como a principal causa de contaminação de águas subsuperficiais.

O processo de retenção de moléculas no perfil do solo é determinante na disponibilidade da atrazina e de outros pesticidas para que ocorra a lixiviação. É bem conhecido que os sistemas de manejo de solo, a exemplo do plantio direto e convencional, influenciam de forma diferenciada as características do solo, alterando as condições de permeabilidade, atributo determinante na lixiviação de pesticidas em solos. Correia et al. (2007a) estudaram a lixiviação e o potencial de contaminação de lençóis de água com atrazina em solos sob manejo de plantio direto e convencional e observaram maior deslocamento vertical do herbicida no plantio convencional.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a retenção do herbicida atrazina e sua mobilidade em amostras de um Latossolo Vermelho distroférreico cultivado há 5 anos sob o sistema de plantio direto e há cerca de 30 anos sob plantio convencional.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Amostras de solo

Foram coletadas amostras com estrutura deformada e indeformada, da camada de 0-20 cm, de um Latossolo Vermelho distroférreico (LVdf), em duas áreas, sendo uma cultivada há 5 anos sob sistema de plantio direto ( $21^{\circ} 13' 26''$  e  $44^{\circ} 58' 23''$ , altitude 922 m) e a outra cultivada sob sistema de plantio convencional por cerca de 30 anos ( $21^{\circ} 13' 27,5''$  e  $44^{\circ} 58' 23''$ , altitude 924 m). Ambas as áreas estão localizadas no campus da Universidade Federal de Lavras (UFLA), a uma distância de 44 m uma da outra.

As amostras deformadas foram destoroadas, passadas em peneira de malha de 2 mm e secas ao ar, obtendo-se a terra fina seca ao ar (TFSA). Subamostras foram utilizadas para a caracterização física e química do solo e para o ensaio de sorção de atrazina. As amostras indeformadas foram coletadas em cilindros de aço inox, com altura de 12 cm e diâmetro de 7,6 cm. As determinações foram feitas em triplicata.

A caracterização física e química do solo nos sistemas de plantio direto e convencional é apresentada nas Tabelas 1, 2 e 3. Para a caracterização física dos solos, foram determinados os teores de argila, silte e areia, pelo método da pipeta (Day, 1965). A areia total foi fracionada em conjunto de peneiras, obtendo-se a areia muito grossa, areia grossa, areia média, areia fina e areia muito fina. Para a caracterização química, foram determinados os teores de cátions do complexo sortivo, pH em água, fósforo disponível, óxidos ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$  e  $\text{P}_2\text{O}_5$ ) extraídos pelo ataque sulfúrico e o teor de carbono orgânico e matéria orgânica, segundo metodologia proposta pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa, 1997).

### Ensaio de sorção

O estudo de sorção foi realizado pelo método “batch” (em batelada) empregando-se tubos de centrífuga de 50 mL, contendo 2 g ( $\pm 0,01$ ) de amostra de solo e 20 mL de solução de atrazina em diferentes concentrações (0; 0,125; 0,25; 0,5; 1,0; 2,5; 5,0; 10,0; 20,0; 25,0 e 30,0 mg L<sup>-1</sup>), preparada em

**Tabela 1.** Granulometria do Latossolo Vermelho distroférreo sob plantio direto (PD) e convencional (PC)*Table 1. Particle size of the dystroferric Red Latosol under no-till (PD) and conventional till (PC) management system*

Sistema manejo	Argila	Silt	Areia					
			Muito grossa	Grossa	Média	Fina	Muito fina	Total
g kg <sup>-1</sup>								
PD	570	180	0	10	39	54	147	250
PC	667	146	0	10	30	40	107	187

**Tabela 2.** Teores de óxidos e índices de intemperismo (Ki e Kr) do Latossolo Vermelho distroférreo sob plantio direto (PD) e convencional (PC)*Table 2. Oxide amounts and rates of weathering (Ki and Kr) of the dystroferric Red Latosol under no-till (PD) and conventional till (PC) management system*

Sistema manejo	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Ki	Kr
	g kg <sup>-1</sup>						
PD	153,7	260,6	171,7	40,3	1,5	1,0	0,7
PC	155,6	278,9	206,5	41,7	1,8	0,9	0,6

**Tabela 3.** Caracterização química do Latossolo Vermelho distroférreo sob plantio direto (PD) e convencional (PC)<sup>(1)</sup>*Table 3. Chemical characterization of the dystroferric Red Latosol under no-till (PD) and conventional till management system (PC)<sup>(1)</sup>*

Sistema manejo	pH	P	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	S	t	T	V	m	MO	CO
	-mg dm <sup>-3</sup> -					cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>				—%—		—g kg <sup>-1</sup> —	
PD	6,5	5,8	159,0	4,4	1,0	0,0	5,8	5,8	7,7	75,4	0,0	38,6	22,4
PC	4,9	15,9	86,0	1,7	0,5	0,3	2,4	2,7	6,0	40,2	11,0	26,2	15,2

<sup>(1)</sup>S = soma de bases trocáveis; t = CTC efetiva; T = CTC a pH 7,0; V = índice de saturação de bases; m = índice de saturação de alumínio; MO = matéria orgânica; CO = carbono orgânico.

solução de CaCl<sub>2</sub>2H<sub>2</sub>O (0,01 mol L<sup>-1</sup>), a partir de uma solução estoque em metanol, utilizando o produto comercial Gesaprim 500®. As suspensões foram agitadas durante 24 horas e centrifugadas a 16.700 g por 10 minutos. O sobrenadante foi filtrado em membrana 0,20 mm, transferido para frascos de vidro e armazenado sob refrigeração para posterior análise em cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE).

Os resultados da sorção da atrazina foram ajustados à equação linearizada de Freundlich.

$$\log \frac{x}{m} = \log K_f + \frac{1}{n} \log C_e$$

em que x/m é a quantidade de atrazina sorvida (mg kg<sup>-1</sup>), K<sub>f</sub> é a constante de Freundlich (quando 1/n difere da unidade, a unidade de K<sub>f</sub> é mg<sup>1-1/n</sup>kg<sup>-1</sup> L<sup>1/n</sup>), C<sub>e</sub> é a concentração da atrazina na solução em equilíbrio com o solo e 1/n é o grau de linearidade da isoterma de sorção.

Foi calculado também o coeficiente de partição em relação ao carbono orgânico do solo (K<sub>oc</sub>):

$$K_{oc} = \left( \frac{Kd}{C} \right) * 1000$$

em que, K<sub>d</sub> é o coeficiente de partição e C o teor de carbono orgânico do solo (g kg<sup>-1</sup>).

O estudo de sorção foi conduzido em Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC) e os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância com o teste Tukey a 5%.

#### Estudo de lixiviação

Para cada coluna das amostras indeformadas foram determinados a densidade do solo, o volume total de poros, a velocidade média da água, o fluxo de Darcy e a condutividade hidráulica.

As colunas de solo foram saturadas com água destilada, por capilaridade. Após a saturação, as colunas foram transferidas para o sistema de percolação, o qual era constituído por dois frascos de "Mariotte", um contendo solução de CaCl<sub>2</sub>2H<sub>2</sub>O (0,01 mol L<sup>-1</sup>) e outro contendo solução de atrazina na concentração de 10 mg L<sup>-1</sup> (correspondente à dose recomendada pelo fabricante – 3 kg i.a. ha<sup>-1</sup>).

No sistema de percolação, as amostras foram saturadas com solução de CaCl<sub>2</sub> a partir da parte superior da coluna, mantendo-se uma carga hidráulica de 2,0 cm. Depois de verificado o fluxo constante, suspendeu-se a alimentação da coluna com esta solução e iniciou-se a aplicação da solução contendo o herbicida atrazina. Os efluentes foram coletados sequencialmente em volumes de aproximadamente 30 mL (correspondente a

aproximadamente 0,09 cm<sup>3</sup> do volume poroso da coluna), os quais foram pesados, filtrados em membranas de 0,2 mm e analisados em cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE). Procedeu-se, então, os cálculos da concentração relativa (C/C<sub>0</sub>) do coeficiente de dispersão hidrodinâmica (D) e do fator de retardamento (R), utilizando as seguintes equações desenvolvidas por van Genuchten & Wierenga (1986):

$$C = C_0 A(x, t) + B(x, t)$$

em que  $C$  é a concentração na saída da coluna e  $C_0$  a concentração na entrada da coluna.

$$A(x, t) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left[ \frac{Rx - vt}{2\sqrt{DRt}} \right]$$

$$B(x, t) = \left[ \frac{v^2 t}{\pi DR} \right]^{\frac{1}{2}} \exp \left[ -\frac{(Rx - vt)^2}{4DRt} \right] - \frac{1}{2} \left[ 1 + \frac{vx}{D} + \frac{v^2 t}{DR} \right] \exp \left[ \frac{vx}{D} \right] \operatorname{erfc} \left[ \frac{Rx + vt}{2\sqrt{DRt}} \right]$$

sendo  $\operatorname{erfc}$  a função erro complementar,  $v$  a velocidade do fluxo,  $x$  o comprimento da coluna,  $t$  o tempo que o soluto leva para atravessar a coluna,  $D$  o coeficiente de dispersão hidrodinâmica e  $R$  o fator de retardamento.

A partir dos dados obtidos foram construídas curvas de eluição do produto, relacionando-se a concentração relativa C/C<sub>0</sub> e o volume equivalente de poros da coluna, o qual corresponde ao número de volume total de poros obtido na coleta do efluente.

O estudo foi realizado em Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC) e, para efeito de comparação, foram realizadas análises de variância aplicando-se o teste Tukey a 5%.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Sorção da atrazina

Na Tabela 4 são apresentados os resultados obtidos no ensaio de sorção da atrazina, no sistema de plantio direto e convencional. Para os dois sistemas de manejo estudados, o grau de linearidade (1/n) foi inferior a 1, indicando isotermas

**Tabela 4.** Valores dos parâmetros de sorção da atrazina no Latossolo Vermelho distroférico sob plantio direto (PD) e convencional (PC)<sup>(1)</sup>

**Table 4.** Parameter values of atrazine sorption in the dystroferric Red Latosol under no-till (PD) and conventional till management system (PC)<sup>(1)</sup>

Sistema de manejo	Parâmetro de Freundlich			K <sub>oc</sub>
	K <sub>f</sub>	1/n	R <sup>2</sup>	
PD	4,71 a	0,78	0,97	100,49 b
PC	4,16 a	0,80	0,94	176,36 a

<sup>(1)</sup>Médias seguidas por letras iguais nas colunas não diferem entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

de sorção não lineares para a atrazina nas condições estudadas. Resultado semelhante foi obtido por outros autores (Correia et al., 2007b; Pinho et al., 2007).

Alguns mecanismos podem ser responsáveis pela sorção não linear encontrada para a atrazina nas condições estudadas. O primeiro é o decréscimo da disponibilidade de sítios com o aumento da sorção. O segundo refere-se ao tipo de sorção, uma vez que moléculas orgânicas, assim como a atrazina, tendem a ser sorvidas primeiramente por sítios de alta energia, seguidos por sítios de menor energia (Tan, 1993).

Não houve diferença significativa entre os coeficientes de Freundlich (K<sub>f</sub>) do sistema de plantio direto e do convencional. É bem relatado na literatura que a matéria orgânica representa a principal fração responsável pela sorção da atrazina em solos (Traghetta et al., 1996; Gomes et al., 2002; Dick et al., 2010). Porém, neste estudo, amostras do solo sob o plantio direto, apesar de possuírem maior quantidade de matéria orgânica, não apresentaram maior retenção do herbicida.

Correia et al. (2007b), estudando a sorção da atrazina em um Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de plantio, encontraram valores de K<sub>f</sub> próximos aos obtidos no presente estudo. No entanto, a sorção do herbicida foi maior no sistema de plantio direto em comparação ao convencional.

Segundo o critério do IBAMA (1990), os valores de K<sub>f</sub> obtidos permitem classificar o solo sob ambos os sistemas de cultivo como sendo de baixa capacidade de sorção da atrazina. Dessa forma, a atrazina pode apresentar grande potencial de lixiviação, uma vez que baixos valores de K<sub>f</sub> indicam maior potencial de movimento do pesticida no perfil do solo.

O resultado do coeficiente de partição normalizado para carbono orgânico (K<sub>oc</sub>) foi maior nas amostras de solo sob plantio convencional (Tabela 4). Segundo Mattos & Silva (1999), quanto maior o valor de K<sub>oc</sub>, menor a mobilidade da molécula, o que também indica que o processo de sorção ocorre principalmente por interações hidrofóbicas com a matéria orgânica do solo.

Neste contexto, pode-se sugerir que o solo sob plantio convencional poderá apresentar menor lixiviação da atrazina em comparação ao plantio direto.

**Tabela 5.** Condições experimentais do Latossolo Vermelho distroférico sob plantio direto (PD) e convencional (PC) contido nas colunas<sup>(1)</sup>

**Table 5.** Experimental conditions of the dystroferric Red Latosol under no-till (PD) and conventional till management system (Pc) contained in the columns<sup>(1)</sup>

Parâmetro	PD	PC
Densidade solo (g cm <sup>-3</sup> )	1,00	1,01
Volume poros (cm <sup>3</sup> )	332,74	338,03
Velocidade média da água (cm h <sup>-1</sup> )	8,10	4,06
Fluxo de Darcy (cm h <sup>-1</sup> )	5,08	2,51
Conduatividade hidráulica (cm h <sup>-1</sup> )	4,35	2,15
Fator retardamento (R)	1,03 b	1,33 a
Dispersão hidrodinâmica (D)	488,97 a	117,34 b

<sup>(1)</sup>Médias seguidas por letras iguais nas linhas não diferem entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

### Deslocamento miscível da atrazina

As colunas contendo amostras indeformadas da área sob plantio direto apresentaram maiores valores de velocidade média, fluxo de Darcy e condutividade hidráulica saturada (Tabela 5). Esses parâmetros, que são relacionados com a permeabilidade do solo, foram as principais causas de diferenças entre as colunas de solos amostradas nos dois sistemas de manejo, tendo sido os valores praticamente o dobro daqueles das colunas de solo sob o cultivo convencional.

A permeabilidade do solo é um atributo reflexo, principalmente, da textura e da estrutura do solo. No geral, quanto mais estruturado for o solo, maior será a permeabilidade, em consequência da porosidade e, consequentemente, maior será a facilidade de movimento do pesticida através do perfil do solo (Flury, 1996). A maior conectividade entre os poros e os outros espaços deixados por raízes mortas, fendas, etc, é aspecto importante em solos sob o sistema de plantio direto. Dessa forma, solos cultivados no sistema de plantio direto, por não haver revolvimento do solo e por permitir maior acúmulo de matéria orgânica, apresentam, via de regra, melhor estruturação com maior permeabilidade.

As curvas de eluição, que representam a concentração relativa da atrazina em função do volume equivalente de poros, estão apresentadas na Figura 1. Pode-se observar um leve deslocamento para a direita na curva das amostras do plantio convencional comparada às do plantio direto, no período inicial da eluição, indicativo de maior retenção da atrazina nessas amostras. Assim, a lixiviação da atrazina no Latossolo Vermelho distroférico foi levemente influenciada pelo sistema de manejo, fato observado pelos diferentes valores do fator de retardamento ( $R$ ) e do coeficiente de dispersão hidrodinâmica ( $D$ ) encontrados (Tabela 5). Observou-se menor retardamento e maior dispersão nas colunas contendo amostras de solo sob plantio direto em comparação ao plantio convencional, o que implica em maior lixiviação da atrazina nessas amostras. Houve correlação entre os parâmetros de permeabilidade e a magnitude da dispersão hidrodinâmica ( $D$ ) e do fator de retardamento ( $R$ ). Resultados semelhantes foram observados por Corrêa (1996) e Lima (2004).

Os valores do  $R$  deste trabalho, independentemente do sistema de manejo, estão próximos aos encontrados por Lima (2004) que, estudando a mobilidade da atrazina em amostras indeformadas de um Latossolo Vermelho Amarelo distrófico e de um Latossolo Vermelho distrófico sob mata, obteve valores de  $R$  de 1,0 e 1,4, respectivamente. Porém, os resultados do presente estudo foram inferiores aos encontrados por Prata (2002), em colunas contendo amostras deformadas de um Latossolo Vermelho distroférico cultivado há 25 anos sob plantio direto e convencional, obteve valores de 9,65 para o plantio direto e 8,65 para o convencional. Segundo o autor, estes valores mais elevados podem ter sido devidos à utilização de amostras com estrutura deformada no seu experimento.

Comparando-se os resultados de sorção com os de lixiviação, verificou-se que não houve diferença entre os valores de  $K_f$  entre os sistemas de cultivo, no entanto, a

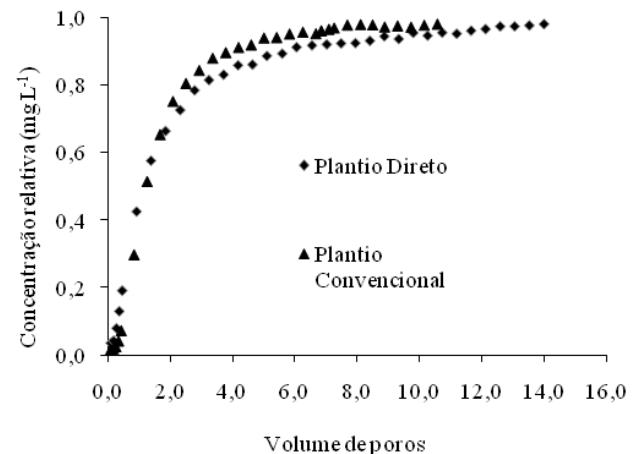


Figura 1. Curvas de eluição da atrazina em um Latossolo Vermelho distroférico sob sistema de plantio direto (PD) e convencional (PC)

Figure 1. Elution curves of atrazine in a dystroferric Red Latosol under no-till (PD) and conventional till management system (PC)

lixiviação da atrazina foi levemente superior no plantio direto. Esse resultado sugere que a capacidade de sorção do solo, embora exerça importante papel na predição do movimento de pesticidas em solos, assume efeito secundário diante das condições de permeabilidade do solo.

Conforme Flury (1996), o sistema de plantio direto conserva a estrutura do solo, incluindo a conservação de caminhos potenciais para fluxo preferencial, assim como canais feitos por minhocas, raízes, fissuras ou rachaduras, entre outros. Dessa forma, um importante aspecto a se considerar é a importância da lixiviação de pesticidas por fluxo preferencial em plantio direto, fato que pode ter contribuído para a maior movimentação da atrazina neste sistema.

Correia et al. (2007a) estudaram a lixiviação da atrazina em um Latossolo Vermelho distroférico sob manejo de plantio direto e convencional e observaram menor deslocamento vertical do herbicida em solo sob plantio direto comparativamente ao solo sob plantio convencional, sugerindo que o plantio direto pode reduzir o impacto ambiental provocado por pesticidas. No entanto, estes resultados não corroboram os obtidos no presente trabalho, que indicam o maior risco de contaminação ambiental causada por aplicações de atrazina em solos sob plantio direto.

## CONCLUSÕES

O sistema de manejo (plantio convencional e direto) não influenciou na sorção da atrazina pelo solo.

No sistema de plantio direto houve maior potencial de lixiviação da atrazina comparado ao sistema de plantio convencional.

## AGRADECIMENTOS

Ao CNPq, pela concessão de bolsas de Mestrado e Iniciação Científica, e, juntamente com a FAPEMIG, pelos recursos financeiros, que tornaram possível a realização deste trabalho.

## LITERATURA CITADA

- Albuquerque, M.A.; Schaefer, C.E.G.R.; Foloni, J.M.; Ker, J.C.; Fontes, L.E.F. Mineralização e sorção de atrazina em Latossolo Roxo sob cultivo convencional e plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.25, n.1, p.179-188, 2001. <<http://sbsc.solos.ufv.br/solos/revistas/v25n1a19.pdf>>. 12 Jan. 2011.
- Arias-Estévez, M.; López-Periago, E.; Martínez Carballo, E.; Simal-Gándara, J.; Mejuto, J.C.; García-Río, L. The mobility and degradation of pesticides in soils and the pollution of groundwater resources. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v.123, n.4, p.247-260, 2008. <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167880907001934>>. doi:10.1016/j.agee.2007.07.011. 05 Jan. 2011.
- Bortoluzzi, E.C.; Rheinheimer, D.S.; Gonçalves, C.S.; Pellegrini, J.B.R.; Zanella, R.; Copetti, A.C.C. Contaminação de águas superficiais por agrotóxicos em função do uso do solo nma microbacia hidrográfica de Agudo, RS. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.10, n.4, p.881-887, 2006. <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v10n4/v10n4a15.pdf>>. doi:10.1590/S1415-43662006000400015. 10 Jan. 2011.
- Caspel, P.D.; Larson, S.J. Effect of scale on the behavior of atrazine in surface waters. *Environmental Science and Technology*, v.35, n.4, p.648-657, 2001. <[http://www.ncbi.nlm.nih.gov/sites/entrez?Db=pubmed&Cmd=Retrieve&list\\_uids=11349273&dopt=abstractplus](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/sites/entrez?Db=pubmed&Cmd=Retrieve&list_uids=11349273&dopt=abstractplus)>. doi:10.1021/es001220f. 21 Jan. 2011.
- Corrêa M.M. Mobilidade e retenção do inseticida-nematicida sulfona de aldicarbe em colunas de solos de regiões produtoras de batata de Minas Gerais. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 1996. 76p. Dissertação Mestrado.
- Correia, F.V.; Mercante, F.M.; Fabrício, A.C.; Campos, T.M.P.; Vargas Júnior, E.A.; Langenbach, T. Infiltração de atrazina em Latossolo submetido aos sistemas de plantio direto e convencional. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.42, n.11, p.1617-1625, 2007a. <<http://www.scielo.br/pdf/pab/v42n11/v42n11a14.pdf>>. doi:10.1590/S0100-204X2007001100014. 10 Dez. 2010.
- Correia, F.V.; Mercante, F.M.; Fabrício, A.C.; Campos, T.M.P.; Vargas Júnior, E.; Langenbach, T. Adsorção de atrazina em solo tropical sob plantio direto e convencional. *Pesticidas: Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente*, v.17, p.37-47, 2007b. <<http://ojs.c3sl.ufpr.br/ojs2/index.php/pesticidas/article/view/10663/7105>>. 10 Dez. 2010.
- Day, P.R. Particle fractionation and particle-size analysis. In: Black, C.A. (Ed.). *Methods of soil analysis*. Madison: American Society of Agronomy, 1965. v.1, p.545-566.
- Dick, D.P.; Martinazzo, R.; Knicker, H.; Almeida, P.S.G. Matéria orgânica em quatro tipos de solos brasileiros: composição química e sorção da atrazina. *Revista Química Nova*, v.33, n.1, p.14-19, 2010. <<http://www.scielo.br/pdf/qn/v33n1/03.pdf>>. doi:10.1590/S0100-40422010000100003. 05 Jan. 2011.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa. Centro Nacional de Pesquisa de Solo. *Manual de métodos de análises de solo*. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa-CNPS, 1997. 212p.
- Flury, M. Experimental evidence of transport of pesticides through field soils: a review. *Journal of Environmental Quality*, v.25, n.1, p.25-45, 1996. <<https://www.agronomy.org/publications/jeq/abstracts/25/1/JEQ0250010025>>. doi:10.2134/jeq1996.004724250025000100005x. 10 Jan. 2011.
- Gomes, J.; Dick, D.P.; Souza, R. F. Sorção de atrazina em Cambissolo Húmico do Rio Grande do Sul sob vegetação nativa. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.26, n.2, p.521-528, 2002. <<http://sbsc.solos.ufv.br/solos/revistas/v26n2a26.pdf>>. 05 Dez. 2010.
- Instituto Brasileiro de Meio Ambiente - IBAMA. *Manual de testes para a avaliação da ecotoxicidade de agentes químicos*. 2.ed. Brasília: Ibama, 1990. 351p.
- Javaroni, R.C.A. Comportamento dos herbicidas atrazina e alachlor aplicados em solo preparado para o cultivo de cana-de-açúcar. *Química Nova*, v.22, n.1, p.58-64, 1999. <<http://www.scielo.br/pdf/qn/v22n1/1139.pdf>>. doi:10.1590/S0100-40421999000100012. 05 Dez. 2010.
- Kraemer, A.F.; Marchesan, E.; Grhos, M.; Avila, A.L.; Machado, S.L.O.; Zanella, R.; Massoni, P.F.S.; Sartori, G.M.S. Lixiviação do imazethapyr em solo de várzea sob dois sistemas de manejo. *Ciência Rural*, v. 39, n.6, p.1660-1666, 2009. <<http://www.scielo.br/pdf/cr/v39n6/a245cr1006.pdf>>. doi:10.1590/S0103-84782009005000119. 07 Dez. 2010.
- Lavorenti, A.; Rocha, A.A.; Prata, F.; Regitano, J.B.; Tornisielo, V.L.; Pinto, O.B. Comportamento do diclosulam em amostras de um Latossolo Vermelho distroférico sob plantio direto e convencional. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.27, n.1, p.183-190, 2003.
- Lima, D.M. Sorção e deslocamento miscível da atrazina em amostras de latossolos. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2004. 66p. Dissertação Mestrado.
- Mattos, L.M. de; Silva, E.F. da. Influência das propriedades de solos e de pesticidas no potencial de contaminação de solos e águas subterrâneas. *Pesticidas: Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente*, v.9, p.103-124, 1999.
- 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. <<http://www.scielo.br/pdf/pd/v25n1/a13v25n1.pdf>>. doi:10.1590/S0100-83582007000100013. 07 Dez. 2010.
- Prata F. Comportamento do glifosato no solo e deslocamento miscível de atrazina. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2002. 149p. Tese Doutorado.
- Tan, K.H. *Principles of soil chemistry*. 2.ed. New York: Springer-Verlag, 1993. 632p.

- Toni, L.R.M.; Santana, H.de; Zaia, D.A.M. Adsorção de glifosato sobre solos e minerais. *Química Nova*, v.29, n.4, p. 829-833, 2006. <<http://www.scielo.br/pdf/qn/v29n4/30266.pdf>>. doi:10.1590/S0100-40422006000400034. 17 Jan. 2011.
- Traghetta, D.G.; Vaz, C.M.P.; Machado, S.A.S.; Crestana, S.; Vieira, E.M.; Martin-Neto, L. Mecanismos de sorção da

atrazina em solos: estudos espectroscópicos e polarográficos. São Carlos: Embrapa-CNPDIA, p.1-7, 1996.

van Genutchen, M.T.H.; Wierenga, P.J. Solute dispersion coefficients retardation factors. In: Klute, A. (Ed.). *Methods of soil analysis: part 1 – physical and mineralogical methods*. Madison: America Society of Agronomy/Soil Science Society of America, 1986. 1188p.