

## Transporte de Atrazina e Diuron no Perfil de um Argissolo

Vander Kaufmann, Marcos Rivail da Silva, Adilson Pinheiro

Guilherme Fath, Leandro Mazzuco de Aguida

Fundação Universidade Regional de Blumenau - FURB

ambitec.amb@gmail.com, rivail@furb.br, pinheiro@furb.br, guruxxx@hotmail.com, leandrom@tpa.com.br

Recebido : 17/04/11 - revisado : 20/12/11 - aceito : 14/02/12

---

### RESUMO

O transporte de atrazina e diuron no perfil de um Argissolo Vermelho Amarelo álico Tb A moderado foi verificado, utilizando-se 3 lisímetros de coluna montados em laboratório, contendo solo indeformado. O solo é proveniente de uma área de plantio de milho em sistema de cultivo mínimo, situada no município de Lontres (Santa Catarina). Foram aplicados nos lisímetros, 31,95 L de água que representam 650,85 mm de chuva, durante cerca de 6 meses. Os volumes de água coletados nos lisímetros corresponderam a  $72,57 \pm 8,40$  % do total aplicado. O comportamento hidrodinâmico nos três lisímetros não foi uniforme em relação aos volumes distribuídos no perfil do solo. No 5º dia foi realizada a aplicação dos herbicidas diuron e atrazina nas doses equivalentes de 2,5 kg e 2,4 kg por hectare de ingrediente ativo, respectivamente. Registraram-se concentrações maiores dos herbicidas na profundidade de 5 cm com uma precipitação aplicada de 15 mm. Os herbicidas permaneceram no solo por um período da ordem de 100 dias. A quantidade recuperada de diuron foi de 1,25 % do total aplicado e a da atrazina foi de 3,66 %. Da massa total recuperada de atrazina, 78 % foi obtida nos primeiros 20 dias.

**Palavras-Chave:** Argissolo, herbicida, lisímetro, lixiviação.

---

### INTRODUÇÃO

Herbicidas são compostos químicos, geralmente sintéticos, utilizados para controlar ervas daninhas, indesejáveis na agricultura. Usados para aumentar a produtividade dos sistemas agrícolas, no entanto, podem gerar efeitos deletérios ao meio ambiente e à saúde humana e animal. No meio ambiente, podem ser transportados pelo ar e pelas águas de escoamento superficial e de percolação.

A atrazina (2-cloro-4-etilamina-6-issopropilamina-s-triazina) é um herbicida seletivo utilizado no controle pré e pós-emergente de plantas infestantes de diversas culturas agrícolas, nomeadamente milho, sorgo e cana de açúcar (Sanches et al., 2003). É uma base fraca, com características polares (Yen et al., 2003), sofrendo reações de degradação no meio ambiente, formando classes de metabólitos diversos. Essas reações ocorrem em diversos estágios de degradação, promovendo a desaminação, desalquilação (Sanches et al., 2003) e descloração. A retenção de atrazina no solo é atribuída e atrelada à matéria orgânica do solo (Weber et al., 2006). A atrazina apresenta potencial de lixiviação, com índice GUS (Groundwater Ubiquity Score) da ordem de 3,5.

O diuron (3-(3,4-diclorofenil)-1,1-dimetiluréia) é um herbicida sistêmico. É absorvido pela solução do solo, pelo sistema radicular das plantas, sendo rapidamente translocado em caules e folhas pelo sistema transpiratório, que se desloca principalmente através do xilema (Blewett et al., 2005). Esse herbicida é relativamente persistente no solo, com meia-vida variando de 30 a 365 dias (Field et al., 2003).

A mobilidade dos herbicidas no perfil do solo tem sido identificada como principal característica do potencial de contaminação da água subterrânea. Os principais fatores que afetam os processos de mobilidade dos herbicidas no solo são suas propriedades físico-químicas desses compostos (Inoue et al., 2004), sua adsorção aos colóides do solo (Ciotto et al., 2003), as propriedades físicas, químicas e microbiológicas do solo (Peñaherrera-Colina et al., 2005), o clima, a forma e época de aplicação (Paraiiba et al., 2003) e as práticas culturais (Landry et al., 2005).

Nos solos, os herbicidas podem ser estudados em diferentes níveis: no laboratório com colunas de solo deformadas ou indeformadas, ou, no campo, com o emprego de lisímetros, seja de sucção seja enterrados em um perfil do solo (Bergstrom, 1990; Byers et al., 1995; Mallawatantri et al., 1996;

Lennartz et al., 2001; El Imache et al., 2009). Nos experimentos montados procura-se representar a dinâmica do escoamento da água, além do transporte e dispersão dos herbicidas em condições controladas. Em campo, há muitas variáveis e condições de contorno que dificultam a realização dos experimentos, e que devem ser controladas.

O objetivo desse trabalho foi avaliar o movimento dos herbicidas atrazina e diuron no perfil de um Argissolo Vermelho Amarelo álico Tb A moderado, empregando lisímetro contendo solo indeformado. O solo é proveniente de uma área de plantio de milho em sistema de cultivo mínimo. Em laboratório, os lisímetros foram mantidos sob condições de repouso, onde se pôde observar a variação temporal das concentrações dos herbicidas ao longo de aproximadamente seis meses.

## MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia empregada compreendeu a montagem de lisímetros em laboratório, a partir da coleta de amostras indeformadas de solo em uma área agrícola, com cultivo de milho em sistema de plantio mínimo, sem rotação de cultura. No laboratório, foi realizada a simulação da altura de precipitação registrada na bacia onde o solo foi coletado. Foram determinadas as concentrações dos herbicidas na água de percolação, em diferentes profundidades, através de extratores de amostras de água, instalados nos lisímetros.

A área agrícola onde o solo foi obtido localiza-se na bacia do ribeirão Concórdia, no município de Lontras. Essa bacia pertence à região do Alto Vale do Itajaí, onde o clima é classificado como Cfa, subtropical constantemente úmido, sem estação seca e com verão quente. A temperatura média anual varia entre 17,0 e 19,1 °C e a precipitação anual entre 1320 e 1640 mm (Epagri/Ciram, 1999). Os principais usos na bacia são mata nativa (47,61%), pastagem (20,35%) e milho (9,29%) (Goldenfum et al., 2008). O solo é classificado como Argissolo Vermelho Amarelo álico Tb A moderado (EMBRAPA, 2004). As características físicas e químicas do solo são apresentadas nas Tabelas 1 e 2.

### Dispositivo experimental

O transporte de herbicidas no perfil do solo foi realizado em lisímetro constituído de uma coluna de aço com 25 cm de diâmetro e 100 cm de profundidade. O tubo foi cravado no solo com o auxílio

de um equipamento mecânico, visando à obtenção de uma amostra indeformada. Após as coletas das amostras, os tubos com solo foram levados ao laboratório, onde os lisímetros foram preparados. Na base foi instalada uma camada de 5 cm de brita, envolta com manta geotextil bidim, e nas laterais foram instalados extratores de solução de água, compostos por uma cápsula de cerâmica porosa de 12,52 mm ( $\frac{1}{2}$ "') colada em um tubete de vidro de 12,52 mm ( $\frac{1}{2}$ "') com 15 cm de comprimento, acoplado ao frasco coletor de 100 mL. As coletas de amostras de água foram realizadas nas profundidades de 5, 10, 15, 30 e 60 cm. Na figura 1 é apresentado esquema de instalação dos lisímetros.

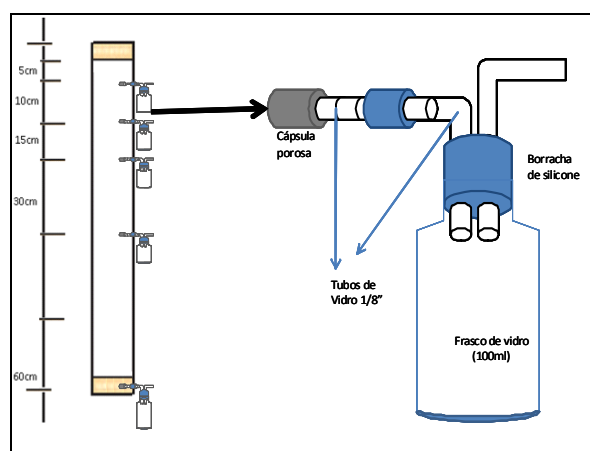


Figura 1 - Instalação do lisímetro.

Foram utilizados três lisímetros, identificados por 1, 2 e 3. Os procedimentos experimentais adotados nos lisímetros foram iguais. Inicialmente, os lisímetros foram saturados através de fluxo ascendente. Após este período, permitiu-se o escoamento da água durante 48 h para restaurar sua capacidade de campo (Matallo et al., 2003). Em seguida foram aplicadas as precipitações registradas na estação pluviométrica localizada na latitude 27°10.7220, longitude 49°31.3188 e altitude de 354 m, localizada na bacia do ribeirão Concórdia e operada pela Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina S.A. – EPAGRI. A aplicação da precipitação foi efetuada de forma concentrada no topo dos lisímetros, considerando a não existência de escoamento superficial. A distribuição temporal das precipitações é apresentada na Figura 2.

Tabela 1 – Características físicas do solo e teor da matéria orgânica e acidez no perfil do solo.

Profundidade	Porosidade Total	Densidade	Textura do solo			Matéria orgânica	H+Al	pH	
			Areia	Silte	Argila				
cm	%	g cm <sup>-3</sup>	%	%	%	% (m/v)	cmol L <sup>-1</sup>	H <sub>2</sub> O	KCl
5	56,42	1,13	24	73	3	3,20	3,47	6,40	4,90
10	49,94	1,27	23	74	3	3,20	4,36	5,75	4,60
15	51,33	1,24	17	68	15	2,50	4,36	5,54	4,60
30	51,03	1,28	15	64	21	1,30	3,47	5,24	4,60
60	47,15	1,37	13	55	32	1,00	2,75	5,99	5,00

Tabela 2 – Características químicas do solo na parcela coletada no campo.

Profundidade (cm)	P	Ca	Mg	K	Na	Al	CTC	Soma de bases	Saturação de bases
	mg kg <sup>-1</sup>						cmolc L <sup>-1</sup>		(V%)
5	14,10	400,80	194,44	347,00	4,00	71,95	7,97	4,50	56,47
10	7,20	180,36	85,07	170,00	3,00	215,84	6,41	2,05	31,94
15	3,20	120,24	60,76	39,00	7,00	251,81	5,59	1,23	21,94
30	1,20	160,32	60,76	79,00	43,00	206,85	5,13	1,66	32,38
60	6,40	440,88	109,37	123,00	16,00	152,89	6,22	3,47	55,82

No 5º dia após o início do experimento, foi realizada a aplicação dos herbicidas diuron e atrazina, dos produtos comerciais Erburon 500 BR e Posmil, na forma de suspensão concentrada, nas doses de 2,5 e 2,4 kg por hectare de ingrediente ativo, respectivamente. Assim, foi aplicado 12,27 mg de diuron e 11,78 mg de atrazina. A aplicação dos ingredientes ativos foi realizada em dois lisímetros (1 e 2), permanecendo o terceiro como testemunho, o qual funcionou como branco.

#### Análises Químicas

As coletas de água no perfil do solo foram realizadas nos dias 2, 4, 6, 11, 24, 44, 67, 98, 144 e 161 após o início do experimento. Isso corresponde a -3, -1, +1, +6, +19, +39, +62, +93, +139, +156 dias após a aplicação dos ingredientes ativos (Figura 2). Em cada amostra foi determinada a concentração dos herbicidas diuron e atrazina utilizando-se um Cromatógrafo Líquido Varian? ProStar 230, com um detector UV-Vis ProStar 310 com um comprimento de onda de trabalho de 280nm. As condições cromatográficas foram: coluna: C18 (250 x 4,6 mm,

filme 5 µm), e os solventes utilizados: metanol (A), água acidificada com ácido fosfórico 0,05M (B) e acetonitrila (C). O fluxo dos solventes foi regulado como segue: no início, 0% de A, 75% de B e 25% de C, sendo mantidos por 20 minutos. No final, a composição dos solventes foi avaliada. A pressão máxima foi de 400 atm e a mínima de 6 atm. A taxa de fluxo foi de 1 mL min<sup>-1</sup> e o volume injetado de 20 µL. Foram utilizadas as moléculas-padrão atrazina e diuron obtidas individualmente junto à SUPELCO.

#### RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em cada lisímetro foram aplicados 31,95 L de água correspondente a 650,85 mm de chuva, registrados na estação pluviométrica instalada na bacia do ribeirão Concórdia. A Tabela 3 apresenta os volumes médios de água coletados, ao longo do experimento, nos lisímetros nas diferentes profundidades. O volume total médio coletado foi de 23,19 ± 1,60 L, correspondendo a 72,57 ± 8,40 % do total aplicado. A diferença entre o total de água aplicada e coletada foi evaporada.

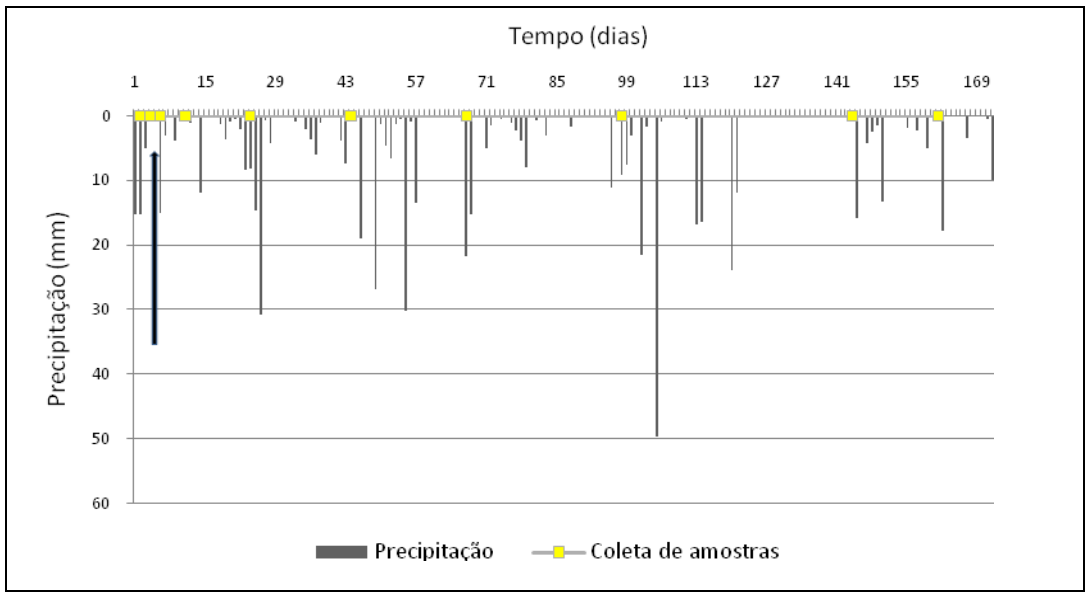


Figura 2 - Precipitações aplicadas e coletas de amostras.

Os comportamentos hidrodinâmicos nos três lisímetros não foram uniformes. Os desvios padrão foram da mesma ordem de grandeza dos valores médios coletados em cada profundidade. Observou-se, no lisímetro 1, que o volume escoado na camada de 30 a 60 cm foi superior aos demais, indicando a possibilidade de ocorrência de caminhos preferenciais. Esse comportamento não foi evidenciado no lisímetro 3. Por outro lado, verificou-se que a camada de 15 a 30 cm do lisímetro 2 gerou menor escoamento que as camadas adjacentes.

Tabela 3 – Balanço hídrico médio dos três lisímetros no perfil estudado.

Volume irrigado (L)	Profundidade (cm)	Volume coletado (L)	Percolado (%)
31,95	5	1,95 ± 0,14	5,65 ± 1,75
	10	2,93 ± 0,24	8,26 ± 3,04
	15	5,54 ± 0,44	16,84 ± 3,74
	30	4,25 ± 0,24	14,67 ± 3,70
	60	8,50 ± 0,54	27,13 ± 3,37
	Total	23,19 ± 1,60	72,57 ± 8,40

Na Tabela 4 são apresentadas as concentrações médias dos herbicidas diuron e atrazina no perfil do solo ao longo do tempo. A aplicação dos

herbicidas foi realizada logo após a coleta de amostra do 4º dia (identificado como -1 dia em relação a data de aplicação dos ingredientes ativos), em dois dos lisímetros, permanecendo um como testemunho. Desse modo, as concentrações dos herbicidas nas amostras de água coletadas nas diferentes profundidades dos lisímetros serão discutidas em termos de valores médios. Nota-se que nos dias anteriores a aplicação dos herbicidas, não foram detectadas concentrações nas amostras de água ao longo do perfil do solo, nos lisímetros.

As concentrações médias máximas de diuron (391,8 µg L<sup>-1</sup>) e de atrazina (1029,5 µg L<sup>-1</sup>) ocorreram no +1 dia após a aplicação (6º dia após o início do experimento), na profundidade de 5 cm. A precipitação aplicada foi de 15 mm. Nessa data, os herbicidas se movimentaram até a profundidade de 30 cm, com concentração da ordem de 2,6% do valor da camada superficial. Ao longo do tempo, observa-se que existe movimento dos ingredientes ativos na vertical do lisímetro, provocando redução das concentrações da camada superior e aumento nas camadas inferiores. Na profundidade de 10 cm, a concentração máxima média do diuron foi determinada 1 dia após a aplicação, enquanto a atrazina ocorreu no +6 dias após a aplicação (11 dias após o início do experimento). Guzzella et al. (2006) mostraram que a concentração de diuron na camada superficial (0-10 cm) foi reduzida para 50% de sua concentração inicial em 150 dias.

Tabela 4 - Concentração de atrazina e diuron no perfil em função do tempo.

		Intervalo após início do experimento (dias)									
Ingrediente Ativo	Profundidade	2	4	6	11	24	44	67	98	144	161
	(cm)	Concentração (µg L <sup>-1</sup> )									
Atrazina	5	nd	nd	1029,60	311,70	127,50	9,90	16,90	2,90	nd	nd
	10	nd	nd	167,80	548,00	31,30	11,30	4,00	nd	nd	nd
	15	nd	nd	47,90	117,40	43,60	13,80	0,40	nd	nd	nd
	30	nd	nd	26,30	15,10	nd	3,40	4,00	2,60	2,00	nd
	60	nd	nd	nd	21,60	29,70	14,800	14,60	15,80	nd	nd
Diuron	5	nd	nd	391,80	47,40	8,2	18,70	9,80	0,70	nd	nd
	10	nd	nd	55,30	5,30	10,20	19,50	2,50	0,60	nd	nd
	15	nd	nd	13,80	2,40	6,80	6,20	0,50	0,90	nd	nd
	30	nd	nd	1,10	0,50	nd	3,60	3,20	2,50	nd	nd
	60	nd	nd	nd	12,90	16,40	3,60	7,40	10,60	nd	nd

nd – não detectado

Os herbicidas atingiram a profundidade de 60 cm no +6 dias após a aplicação, tanto para a atrazina como para o diuron. A precipitação aplicada nos primeiros seis dias foi de 54 mm. Os herbicidas permaneceram no solo por um período de 100 dias. Na Austrália, Ferreira et al. (2002) e Weber et al. (2007) encontraram atrazina nos lixiviados na profundidade de 80 cm, com concentração de  $34 \mu\text{g L}^{-1}$ , 9 dias após a aplicação no solo, na dose de  $5 \text{ kg ha}^{-1}$  de ingrediente ativo.

Na profundidade de 60 cm, foram encontradas concentrações médias de  $29,7 \mu\text{g L}^{-1}$  de atrazina e de  $16,4 \mu\text{g L}^{-1}$  para o diuron, no +19 dias após a aplicação dos ingredientes ativos. Essas concentrações mostram que os herbicidas apresentam potencial de risco de contaminação de águas profundas. Cerdeira et al. (2005a) argumentam que a atrazina e o diuron podem ultrapassar 1,0 m de profundidade.

A Figura 3 apresenta a distribuição temporal das médias das massas de ingredientes ativos recuperados nos lisímetros. A massa é função da quantidade de água percolada em cada nível e foi determinada pelo produto entre o volume e a concentração. O volume considera o intervalo de tempo entre  $t_{1/2}$  e  $t_{1/2}$ , onde t indica o instante de tempo no qual foi efetuada a coleta da amostra de água. A distribuição temporal foi diferenciada para ambas as moléculas. Aproximadamente 78% da massa de atrazina foi recuperada nos primeiros 19 dias após a sua aplicação. A quantidade de diuron, no +6 dia após a aplicação, foi de cerca de 4%. Nas demais coletas as

quantidades recuperadas variaram entre 15 e 28% para o diuron e a atrazina, respectivamente.

A Tabela 5 apresenta os percentuais de ingredientes ativos recuperados em cada profundidade. Nota-se que eles são diferentes para as duas moléculas. Na profundidade de 30 cm, os valores foram baixos, o que leva a supor que o diuron é mais adsorvido que a atrazina.

Tabela 5 - Percentual de ingrediente ativo recuperado conforme a profundidade.

	Profundidade (cm)					
	5	10	15	30	60	Total
$\mu\text{g de atrazina}$	169,49	112,22	99,83	15,72	96,85	494,12
%	34,30	22,71	20,20	3,18	19,60	
$\mu\text{g de diuron}$	48,89	31,20	19,01	7,02	53,86	160,01
%	30,55	19,49	11,88	4,39	33,66	

O pH do solo influencia na degradação dos herbicidas (Lavorenti et al., 2003; Peñaherrera-Colina et al., 2005). As moléculas da atrazina têm comportamento catiônico, podendo ligar-se com os cátions inorgânicos que saturam as argilas e a matéria orgânica, ficando retidas pela força eletrostática. A atrazina, particularmente, se protona com baixo

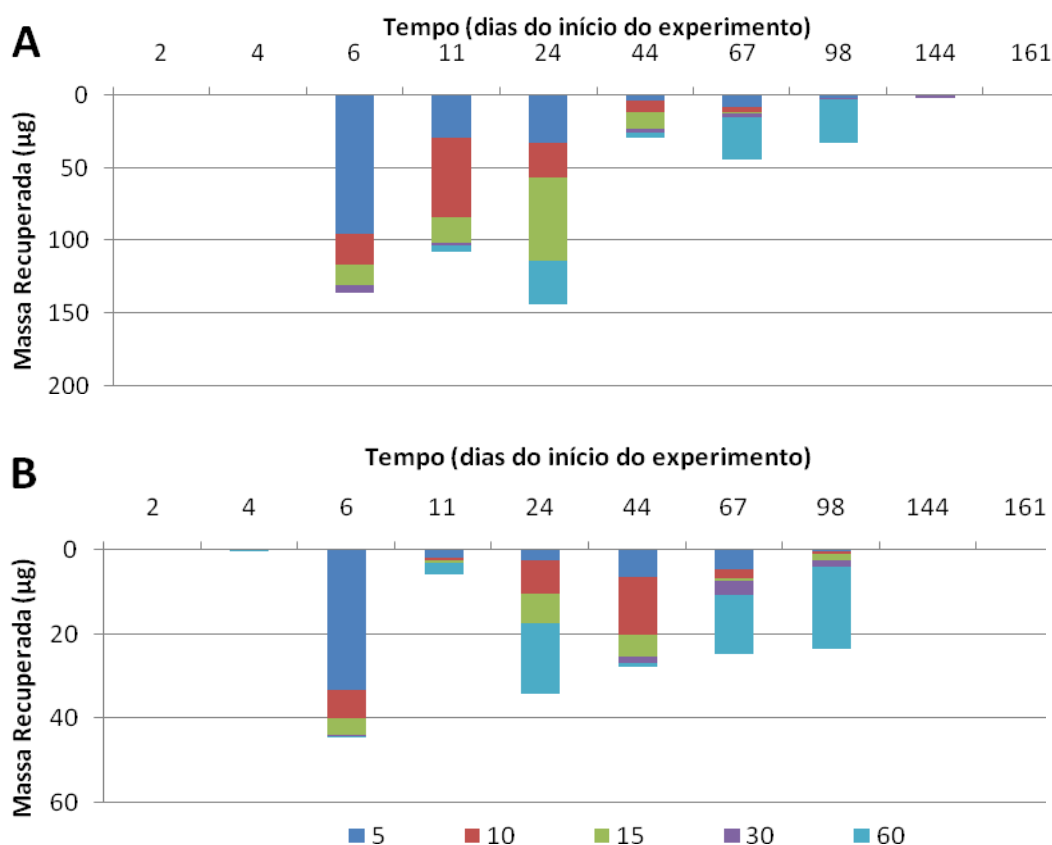


Figura 3 - Massas recuperadas ( $\mu\text{g}$ ) de ingredientes ativos nas profundidades de 5, 10, 15, 30 e 60 cm: A) atrazina e B) diuron.

pH, degradando-se rapidamente. Na camada de 15-30 cm a solução de água no solo possui um pH 5,24 (Tabela 1) que reflete em uma concentração de atrazina muito baixa no mesmo nível (Tabela 4). Além da atrazina, o diuron também apresenta os menores valores nesse nível.

O pH da solução do solo determina a carga superficial dos componentes com carga variada, como a argila e a matéria orgânica, promovendo a ionização das moléculas de herbicidas (Li et al., 2001; Mohan et al., 2007). A atrazina é adsorvida nas superfícies da argila e da matéria orgânica. A sorção da atrazina no solo é significativa (em torno de 35%), independentemente do teor de matéria carbônica e da mineralogia (Kleinschmitt et al., 2006). No entanto, a dessorção é dependente do carbono no solo e, do tipo de solo e quanto maior a quantidade de carbono, menor é a dessorção (Archangelo et al., 2004). Em profundidade, a presença de material orgânico é decrescente e a de argila é crescente (Tabela 1) e assim tende-se a diminuir a presença de

atrazina devido ao potencial eletrostático da argila em atrair e reter as moléculas dos herbicidas (Weber et al., 2006; Mohan et al., 2007).

A atrazina foi encontrada +6 dias após a aplicação a uma profundidade de 60 cm, com uma concentração média de  $21,6 \mu\text{g L}^{-1}$ , e o diuron com  $12,9 \mu\text{g L}^{-1}$  (Tabela 4). Na profundidade de 60 cm, foram encontradas concentrações médias de  $29,7 \mu\text{g L}^{-1}$  de atrazina e de  $16,4 \mu\text{g L}^{-1}$  para o diuron, no +19 dias após a aplicação. Essas concentrações mostram que os herbicidas podem apresentar-se como potenciais de risco de contaminação de águas subterrâneas.

Normalmente a perda dos herbicidas no escoamento superficial é de 1 a 2% da massa do produto aplicado, podendo chegar, algumas vezes, a 4% (Wauchope, 1978). Considerando que a principal parte do fluxo de massa no solo ocorre durante a primeira chuva, após a aplicação dos herbicidas, a perda por meio da lixiviação durante uma chuva

pode ser assumida como sendo comparável à perda por escoamento superficial (Flury, 1996).

Avaliando-se a quantidade dos herbicidas recuperados (Tabela 5), a atrazina (4,03%) tem maior quantidade de ingrediente ativo recuperado, se comparada ao diuron (1,36%), permitindo concluir que a atrazina fica mais tempo livre no solo para ser lixiviada.

Cerdeira et al., (2005b) obtiveram a lixiviação da atrazina de 4,4% em profundidades superiores a 0,5 m após 90 mm de infiltração cumulativa. De acordo com Weber et al. (2007) enquanto atrazina e metabólitos são, em grande parte retidos na coluna do solo, quantidades significativas (na ordem dos 5% do aplicado) são recuperados junto aos lixiviados. A presença de atrazina no solo depende da longevidade que a molécula possui relacionada a características químicas do solo (Weber et al., 2006) e das práticas agrícolas adotadas (Siczek et al., 2008). Essa molécula apresenta potencial de lixiviação no solo, independente do sistema de manejo (Montoya et al., 2006).

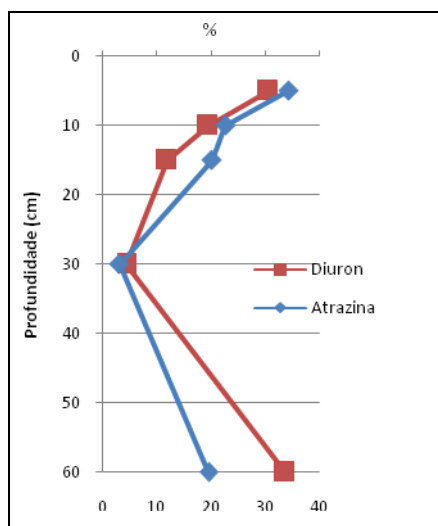


Figura 4 - Porcentagem média de massa recuperada de atrazina e diuron no perfil de um argissolo.

A retenção de atrazina nos primeiros 10 cm de solo foi de 57% e do diuron de 50% (Figura 4). Resultados semelhantes também foram obtidos por Guzzella et al. (2006) para o diuron. As características do solo na camada de 15 a 30 cm possuem uma diferença físico-química visível em relação aos outros níveis (Tabela 1). Essas diferenças parecem refletir no comportamento dos herbicidas no solo,

tanto que no transporte total de massa, a atrazina (3,18%) e o diuron (4,39%) possuem os menores valores de exportação (Tabela 5)

## CONCLUSÕES

Nos ensaios realizados nos três lisímetros, verificou-se que os comportamentos hidrodinâmicos não foram uniformes. Um dia após sua aplicação, os herbicidas se movimentaram até a profundidade de 30 cm, com concentração da ordem de 2,6% do valor da camada superficial. Os herbicidas permaneceram no solo por um período de 100 dias. Cerca de 78% da massa de atrazina foram recuperadas nos primeiros 19 dias após a sua aplicação, enquanto que a massa recuperada de diuron, no sexto dia após a aplicação, foi de cerca de 4%. Na profundidade de 30 cm, as concentrações dos herbicidas foram baixas, o que leva a supor que as moléculas de ambos os herbicidas foram mais adsorvidas, dificultando o seu transporte em solução. A massa recuperada de atrazina foi 4,03% do total aplicada e de diuron foi de 1,36%. Na profundidade de 60 cm, foram determinadas, no 19º dia após a aplicação dos herbicidas, as concentrações de 29,7 µg L<sup>-1</sup> de atrazina e de 16,4 µg L<sup>-1</sup> de diuron o que mostra que os herbicidas podem constituir elevado risco para contaminação das águas subterrâneas.

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao CNPq processos 470736/2004-6 e 470736/2005-6 pelos financiamentos recebidos e pela concessão de bolsa em nível de mestrado ao primeiro autor e, aos revisores pelas preciosas contribuições para o aprimoramento do artigo.

## REFERÊNCIAS

- ARCHANGELO, E. R.; KARAM, D.; FERREIRA, F. A.; PRA-  
TES, H. T.; FERREIRA, L. R.; CARDOSO, A. A. Sor-  
ção, dessorção e potencial de lixiviação de dimethe-  
namid em solos brasileiros. *Planta Daninha*, v. 22, p.  
467-477, 2004.
- BARRETO, A. C.; FREIRE, M. B. G. D. S.; NACIF, P. G. S.;  
ARAÚJO, Q. R.; FREIRE, F. J.; INÁCIO, E. D. S. B.

- Fracionamento químico e físico do carbono orgânico total em um solo de mata submetido a diferentes usos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, p. 1471-1478, 2008.
- BERGSTROM, L. Use of Lysimeters to Estimate Leaching of Pesticides in Agricultural Soils. *Environ Pollut*, v. 67, n. 4, p. 325-347, 1990.
- BLEWETT, T. C.; ROBERTS, D. W.; BRINTON, W. F. Phytotoxicity factors and herbicide contamination in relation to compost quality management practices. *Renewable Agriculture and Food Systems*, v. 20, n. 2, p. 67-72, 2005.
- BYERS, M. E.; TYESS, D.; ANTONIOUS, G. F.; HILBORN, D.; JARRET, L. Monitoring Herbicide Leaching in Sustainable Vegetable Culture Using Tension Lysimeters. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, v. 54, n. 6, p. 848-854, 1995.
- CERDEIRA, A. L.; DORNELAS-DESOUZA, M.; BOLONHEZI, D.; QUEIROZ, S. C. N.; FERRACINI, V. L.; LIGO, M. A. V.; PESSOA, M. C. P. Y.; SMITH, S. Effects of sugar cane mechanical harvesting followed by no-tillage crop systems on leaching of triazine herbicides in Brazil. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, v. 75, n. 4, p. 805-812, 2005a.
- CERDEIRA, A. L.; DOS SANTOS, N. A. G.; PESSOA, M. C. P. Y.; GOMES, M. A. F.; LANCHOTE, V. L. Herbicide leaching on a recharge area of the Guarany aquifer in Brazil. *Journal of Environmental Science and Health Part B-Pesticides Food Contaminants and Agricultural Wastes*, v. 40, n. 1, p. 159-165, 2005b.
- CIOTTA, M. N.; BAYER, C.; FONTOURA, S. M. V.; ERNANI, P. R.; ALBUQUERQUE, J. A. Soil organic matter and cation exchange capacity increase in a low activity clay soil under no-tillage system. *Ciência Rural*, v. 33, n. 6, p. 1161-1164, 2003.
- EMBRAPA, Solos do Estado de Santa Catarina, Rio de Janeiro, 2004, 726p. (Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 46).
- EL IMACHE, A.; DAHCHOUR, A.; ELAMRANI, B.; DOUSSET, S.; POZZONNI, F.; GUZZELLA, L. Leaching of Diuron, Linuron and their main metabolites in undisturbed field lysimeters. *Journal of Environmental Science and Health Part B-Pesticides Food Contaminants and Agricultural Wastes*, v. 44, n. 1, p. 31-37, 2009.
- EPAGRI/CIRAM. Zoneamento Agroecológico e Sócioeconômico do Estado de Santa Catarina. . Estado de Santa Catarina. Florianópolis, 1999, 1010p.
- FERREIRA, J. A.; MARTIN-NETO, L.; VAZ, C. M. P.; REGITANO, J. B. Sorption interactions between imazaquin and a humic acid extracted from a typical Brazilian Oxisol. *Journal of Environmental Quality*, v. 31, n. 5, p. 1665-1670, 2002.
- FIELD, J. A.; REED, R. L.; SAWYER, T. E.; GRIFFITH, S. M.; WIGINGTON, P. J. Diuron occurrence and distribution in soil and surface and ground water associated with grass seed production. *Journal of Environmental Quality*, v. 32, n. 1, p. 171-179, 2003.
- 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.
- GOLDENFUM, J. A.; CASTRO N. M. R.; MERTEN G., PINHEIRO A., PAIVA E. M. C. DIAS, FERNANDES C. V. S., GASTALDINI M. C. C., PAIVA J. B. DIAS, DORNELES F., MINELLA J. P. G., OPPA L. F., KAUFMAN V. & CARON C. F.. Projeto Matasul: Rede de Pesquisa em Bacias Representativas e Experimentais no Bioma Mata Atlântica, na região Sul do Brasil. In: Relatório parcial 01.2008.81p. disponibilidade irrestrita. Chamada pública edital MCT/FINEP/CTHIDRO bacias representativas 04/2005 Convênio FAURGS-UFRGS-MATASUL.
- GUZZELLA, L.; CAPRI, E.; DI CORCIA, A.; CARACCILO, A. B.; GIULIANO, G. Fate of diuron and linuron in a field lysimeter experiment. *Journal of Environmental Quality*, v. 35, n. 1, p. 312-323, 2006.
- INOUE, M. H.; OLIVEIRA, R. S.; REGITANO, J. B.; TORMENA, C. A.; CONSTANTIN, J.; TORNISIELO, V. L. Sorption kinetics of atrazine and diuron in soils from southern Brazil. *Journal of Environmental Science and Health Part B-Pesticides Food Contaminants and Agricultural Wastes*, v. 39, n. 4, p. 589-601, 2004.
- KLEINSCHMITT, A. R. B.; DICK, D. P.; SELBACH, P. A.; SANTOS, M. D. Dessorção do herbicida atrazina e atividade microbiana em duas classes de solos do Estado do Rio Grande do Sul. *Ciência Rural*, v. 36, p. 1794-1798, 2006.
- LANDRY, D.; DOUSSET, S.; FOURNIER, J. C.; ANDREUX, F. Leaching of glyphosate and AMPA under two soil management practices in Burgundy vineyards (Vosne-Romane'e, 21-France). *Environ Pollut*, v. 138, n. 2, p. 191-200, 2005.
- LAVORENTI, A.; ROCHA, A. A.; PRATA, F.; REGITANO, J. B.; TORNISIELO, V. L.; PINTO, O. B. Reactions of diclosulam in a Rhodic Hapludox soil under no-till and conventional tillage systems. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo*, v. 27, n. 1, p. 183-190, 2003.
- LENNARTZ, B.; SIMIC, E.; DESTOUNI, G. Field-scale variability of herbicide transport. In: WALKER, A. (Ed.). Pesticide behaviour in soils and water. Bracknell, UK.: British Crop Protection Soc., 2001. p. 165-170. (Proc. Int. Conf., Brighton).
- LI, H.; LEE, L. S.; FABREGA, J. R.; JAFVERT, C. T. Role of pH in partitioning and cation exchange of aromatic amines on water-saturated soils. *Chemosphere*, v. 44, n. 4, p. 627-635, 2001.



- MALLAWATANTRI, A. P.; MCCONKEY, B. G.; MULLA, D. J. Characterization of pesticide sorption and degradation in macropore linings and soil horizons of Thatuna silt loam. *Journal of Environmental Quality*, v. 25, n. 2, p. 227-235, 1996.
- MATALLO, M. B.; LUCHINI, L. C.; GOMES, M. A. F.; SPADOTTO, C. A.; CERDEIRA, A. L.; MARIN, G. C. Lixiviação dos herbicidas tebutiuron e diuron em colunas de solo. *Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente*, v. 13, p. 83-90, 2003.
- MOHAN, S. V.; KRISHNA, M. R.; MURALIKRISHNA, P.; SHAILAJA, S.; SARMA, P. N. Solid phase bioremediation of pendimethalin in contaminated soil and evaluation of leaching potential. *Bioresource Technology*, v. 98, n. 15, p. 2905-2910, 2007.
- MONTOYA, J. C.; COSTA, J. L.; LIEDL, R.; BEDMAR, F.; DANIEL, P. Effects of soil type and tillage practice on atrazine transport through intact soil cores. *Geoderma*, v. 137, n. 1-2, p. 161-173, 2006.
- PARAIBA, L. C.; CERDEIRA, A. L.; DA SILVA, E. F.; MARTINS, J. S.; COUTINHO, H. L. D. Evaluation of soil temperature effect on herbicide leaching potential into groundwater in the Brazilian Cerrado. *Chemosphere*, v. 53, n. 9, p. 1087-1095, 2003.
- PEÑAHERRERA-COLINA, L. A.; SOUZA, I. F. D.; GUILHERME, L. R. G.; BUENO FILHO, J. S. D. S. Persistência biológica de ametryn, diuron e oxyfluorfen no solo. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 29, p. 980-987, 2005.
- SANCHES, S. M.; SILVA, C. H. T. P.; CAMPOS, S. X.; VIEIRA, E. M. Pesticidas e seus respectivos riscos associados à contaminação da água. *Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente* v. 13, p. 53-58, 2003.
- SICZEK, A.; KOTOWSKA, U.; LIPEC, J.; NOSALEWICZ, A. Macro-porosity and leaching of atrazine in tilled and orchard loamy soils. *Chemosphere*, v. 70, n. 11, p. 1973-1978, 2008.
- WAUCHOPE, R. D. Pesticide Content of Surface-Water Draining from Agricultural Fields - Review. *Journal of Environmental Quality*, v. 7, n. 4, p. 459-472, 1978.
- WEBER, J. B.; TAYLOR, K. A.; WILKERSON, G. G. Soil and herbicide properties influenced mobility of atrazine, metolachlor, and primisulfuron-methyl in field lysimeters. *Agronomy Journal*, v. 98, n. 1, p. 8-18, 2006.
- WEBER, J. B.; WARREN, R. L.; SWAIN, L. R.; YELVERTON, F. H. Physicochemical property effects of three herbicides and three soils on herbicide mobility in field lysimeters. *Crop Protection*, v. 26, n. 3, p. 299-311, 2007.
- YEN, J. H.; SHEU, W. S.; WANG, Y. S. Dissipation of the herbicide oxyfluorfen in subtropical soils and its potential to contaminate groundwater. *Ecotoxicology*

and *Environmental Safety*, v. 54, n. 2, p. 151-156, 2003.

### ***Atrazine and Diuron Transport in an Argisol Profile***

#### **ABSTRACT**

*The transport of atrazine and diuron in an argisol profile was observed by using three lysimeters assembled in the laboratory, filled with undisturbed soil. The soil samples were obtained from an area of corn produced in a reduced tillage system. In each lysimeter, 31.95 L of water were applied representing 650.85 mm of rain. The water volumes collected in lysimeters corresponded to  $72.57 \pm 8.40\%$  of total applied. The hydrodynamic behavior in the three lysimeters was not uniform. On the 5th day the herbicides diuron and atrazine were applied in doses equivalent to 2.5 and 2.4 kg per hectare of active ingredient, respectively. High concentrations of herbicides were recorded at the depth of 5 cm, with a rainfall of 15 mm applied. Pesticides remained in the soil for a period of about 100 days. The amount of diuron recovered was 1.36% of total applied and the atrazine was 4.03%. From the total mass of atrazine recovered, 78% occurred within the first 19 days.*

**Key-words:** argisol, herbicide, lysimeter, leaching.