

LIXIVIAÇÃO DOS HERBICIDAS TEBUTIURON E DIURON EM COLUNAS DE SOLO

MARCUS BARIFOUSE MATALLO *
LUIS CARLOS LUCHINI **
MARCO ANTONIO FERREIRA GOMES ***
CLAUDIO A. SPADOTTO ****
ANTONIO LUIS CERDEIRA *****
GUILHERME CALDERARI MARIN *****

Desenvolveu-se estudo em lisímetro para determinar a lixiviação dos herbicidas Tebutiuron e Diuron em colunas de solos com diferentes texturas coletados em área típica de recarga do Aquífero Guarani em Ribeirão Preto, São Paulo (Brasil). O método analítico utilizado para determinação dos resíduos desses produtos na água foi a cromatografia a líquido de alta eficiência (CLAE), após extração por agitação com diclorometano:isopropanol (9:1). Os resultados mostraram maior lixiviação de ambos produtos em Neossolo, sendo a do Tebutiuron mais acentuada. Esse resultado sugere que o teor de carbono orgânico, além da associação entre a baixa capacidade adsortiva do Tebutiuron e sua longa persistência podem ser os responsáveis pela diferença. Os herbicidas estudados podem apresentar potencial de risco de contaminação do lençol freático da região da microbacia do Córrego do Espraiado, embora dificilmente alcançando a zona saturada do Aquífero Guarani (situada, bem abaixo do perfil estudado neste trabalho).

PALAVRAS-CHAVE: HERBICIDAS-RESÍDUOS; TEBUTIURON; DIURON; LISÍMETROS; AQUÍFERO GUARANI.

- * Engenheiro Agrônomo, Doctor Ingeniero Agrónomo, Pesquisador Científico VI do Laboratório das Ciências das Plantas Daninhas, Instituto Biológico, Campinas, São Paulo (e-mail: matallo@biologico.sp.gov.br).
- ** Químico, Doctor Scientiae em Química, Pesquisador Científico VI do Laboratório de Ecologia de Agroquímicos do Instituto Biológico, São Paulo, SP.
- *** Geólogo, Doctor Scientiae em Solos, Pesquisador da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP.
- **** Engenheiro Agrônomo, PhD em Ciência de Solo-Água, Pesquisador da Embrapa Meio Ambiente.
- ***** Engenheiro Agrônomo, PhD em Fisiologia de Herbicidas, Pesquisador da Embrapa Meio Ambiente.
- ***** Estudante de Biologia, Pontifícia Universidade Católica (PUC), Campinas, SP.

1 INTRODUÇÃO

A preservação da qualidade da água subterrânea vem sendo amplamente debatida em todas as partes do mundo, frente à diversidade de fontes poluidoras a que esse recurso natural está exposto.

O município de Ribeirão Preto, localizado ao norte do Estado de São Paulo, representa significativo pólo produtor de cana-de-açúcar com intensa utilização de agrotóxicos. A região constitui também, importante área de recarga do lençol subterrâneo do Aquífero Guarani, um dos maiores mananciais transfronteiriços de água doce do mundo. São abrangidas áreas de sete estados brasileiros, além de partes da Argentina, Uruguai e Paraguai com aproximadamente 1.200.000 km² e população estimada em 15 milhões de habitantes (REBOUÇAS, 1994). As reservas permanentes de água do aquífero são da ordem de 45 trilhões de metros cúbicos e sua recarga natural ocorre por meio da infiltração direta das águas de chuva nas áreas de afloramento das rochas do Guarani. Também ocorre de forma indireta, nas áreas confinadas por meio de filtração vertical ao longo de descontinuidades das rochas do pacote confinante sobrejacente (ROCHA, 1996).

Um dos principais problemas existentes é o risco de deterioração do aquífero em decorrência do crescimento das fontes de poluição pontuais e difusas. Isso corre com o cultivo da cana-de-açúcar, pois o uso constante de herbicidas pré-emergentes potencializa o risco de contaminação das águas subterrâneas e exige estudo "in loco" do comportamento desses produtos no solo. O problema se agrava quando as áreas de recarga, constituída por materiais arenosos, com elevada macroporosidade (oriundos da decomposição do arenito Botucatu) estão sendo ocupadas por atividades agrícolas com número expressivo de aplicações de agrotóxicos (GOMES et al., 2001; GOMES et al., 2002). Esse, aliás, apresenta cenário extremamente favorável à lixiviação de produtos com alta mobilidade no perfil do solo.

O Diuron (3-(3,4-diclorofenil)-1,1-dimetilureia) e o Tebutiuron (N-(5-(1,1-dimetiletil)-1,3,4-tiadiazol-2-il)-N,N'-dimetilureia), herbicidas do grupo dos derivados da uréia, são recomendados para uso na cultura da cana-de-açúcar (em pré e pós-emergência) no controle de plantas daninhas mono e dicotiledôneas (RODRIGUES e ALMEIDA, 1998). Mesmo classificados como produtos com baixa a moderada lixiviabilidade, os baixos valores de coeficiente de adsorção (Kd) permitem eficiente movimentação no perfil do solo, principalmente do Tebutiuron (WSSA, 2002), podendo contaminar, além de outras fontes de água, o lençol freático (ROQUE, 1998; GOODY et. al., 2002). Análises desses herbicidas em amostras ambientais podem ser realizadas por Cromatografia a Líquido de Alta Eficiência (CLAE) ou por Cromatografia a Gás (GC), usando-se detectores seletivos (CERDEIRA, et. al., 2000).

Estudou-se a lixiviação de Diuron e de Tebutiuron em colunas com dois tipos de solo não-desestruturados, coletados em área com histórico de cultivo de cana-de-açúcar e localizada na microbacia do Córrego do Espriado em Ribeirão Preto (área de recarga do Aquífero Guarani).

2 MATERIAL E MÉTODOS

Selecionou-se a Microbacia do Córrego do Espriado como unidade analítica por tratar-se de local representativo do monocultivo de cana-de-açúcar, que ocupa 67% da área total da Microbacia. Além disso, abrange locais considerados frágeis sob o ponto de vista de risco de contaminação da água subterrânea e reconhecidos como áreas de recarga do Aquífero Guarani (extensão de 16.000 km). São caracterizados também por apresentarem solos semelhantes a outras áreas de recarga no Estado de São Paulo. A microbacia do Córrego do Espriado, com área de 4.463 ha, está localizada a sudeste da cidade de Ribeirão Preto-SP (na divisa entre os municípios de Ribeirão Preto, Cravinhos e Serrana), pertencendo à bacia hidrográfica do Rio Pardo.

Foram estudados dois tipos de solos, representativos das áreas de recarga do Aquífero Guarani (na microbacia do Córrego do Espriado em Ribeirão Preto), sendo o primeiro Latossolo Vermelho

Distrófico psamítico (LVdq) de textura média e o segundo Neossolo Quartzarênico (RQ) de textura arenosa (EMBRAPA 1999). Os Quadros 1 e 2 apresentam as características físicas de interesse (até a profundidade de 60 cm) de LVdq e de RQ, típicos da região da microbacia do Espriado.

QUADRO 1 - CARACTERIZAÇÃO FÍSICA REPRESENTATIVA DO LVdq DAS ÁREAS DE RECARGA DO AQUÍFERO GUARANI NA REGIÃO DE RIBEIRÃO PRETO/SP

Profundidade (cm)	Co (%)	Macroporosidade (%)	Microporosidade (%)	Condutividade hidráulica - k (cm/h)	Areias (%)	Silte (%)	Argila (%)
0 - 210	0,72	29,72	26,12	13,32	71	5	24
20 - 40	0,50	30,77	31,30	25,44	70	4	26
40 - 60	0,34	31,90	23,03	34,57	74	6	30

CO= Carbono orgânico.

QUADRO 2 - CARACTERIZAÇÃO FÍSICA REPRESENTATIVA DO RQ DAS ÁREAS DE RECARGA DO AQUÍFERO GUARANI NA REGIÃO DE RIBEIRÃO PRETO/SP

Profundidade (cm)	CO (%)	Macroporosidade (%)	Microporosidade (%)	Condutividade hidráulica - K (cm/h)	Areias (%)	Silte (%)	Argila (%)
0-20	0,30	29,60	15,03	16,79	91	3	6
20-40	0,24	32,04	30,49	10,69	90	2	8
40-60	0,20	29,89	31,14	16,31	87	2	11

CO = Carbono orgânico.

Dez colunas de solo foram coletadas em área de recarga do Aquífero Guarani (5 para cada solo), mediante tubos de PVC de 15 cm de diâmetro por 55 cm de comprimento, evitando-se a deformação das amostras para obter representatividade do perfil original do solo. As amostras foram transferidas e instaladas em lisímetro perpendicular ao Laboratório de Ecologia de Agroquímicos do Instituto Biológico em São Paulo. Oito dos dez tubos coletados foram selecionados por apresentarem melhores condições de acomodação do solo, sem compactação e maior semelhança às condições naturais. Antes de serem definitivamente instalados no lisímetro, os tubos contendo os solos foram acondicionados, saturando-se por capilaridade cada um deles com água durante uma semana. Após esse período, permitiu-se o escoamento da água durante 48 horas para restaurar sua capacidade de campo. Nos 15 dias seguintes foram despejados 300 mL de água em cada tubo até que o volume coletado permanecesse constante, descartando-se 3 tubos com volume irregular. Os 5 tubos restantes foram definitivamente instalados no lisímetro, admitindo-se que os mesmos estavam perfeitamente condicionados. Tebutiuron e Diuron foram, cuidadosamente, aplicados no topo de cada tubo em concentrações equivalentes respectivamente às doses de 1,0 e 1,5 kg/ha do produto comercial (contendo 800 g/kg do respectivo ingrediente ativo). As colunas de solo ficaram expostas às condições naturais, permitindo-se livremente a sua drenagem de acordo com o regime pluviométrico local. Toda a água lixiviada de cada tubo, no período de 14/01/2002 a 13/01/2003 foi coletada (Tabela 1). Retirou-se alíquota de 100 mL, de cada coleta (16 no total), que foi mantida congelada (-18°C) até a realização da análise cromatográfica.

TABELA 1 - VOLUME DE ÁGUA (ML) LIXIVIADA NOS TUBOS DURANTE O PERÍODO COMPREENDIDO ENTRE 14/01/02 (APLICAÇÃO) E 13/01/03 (16ª COLETA)

DATAS	VOLUME DE ÁGUA LIXIVIADA (mL)				
	TUBO A (LVdq)	TUBO B (RQ)	TUBO C (RQ)	TUBO D (LVdq)	TUBO E (LVdq)
14/01/02	4200	4200	4200	4200	4200
17/01/02	1300	1250	1280	1400	1200
28/01/02	2700	2800	2500	2600	2260
06/02/02	1900	1740	1520	2000	1740
15/02/02	3440	3120	3140	3580	3460
25/02/02	2260	2200	2220	2100	2060
19/03/02	2320	2520	2450	1900	2100
26/03/02	4200	3800	4060	3400	3980
27/05/02	1640	1840	2100	2100	1840
06/08/02	790	1290	1290	1490	1170
23/10/02	1560	2130	2670	2710	2280
14/11/02	4200	4200	4200	4200	4200
04/12/02	1160	3000	3700	3600	4200
13/12/02	2380	2300	2560	2420	3300
23/12/02	2400	2480	2580	2400	2500
13/01/03	3420	4280	4260	4260	2520
TOTAL	39872	43154	44735	44367	43018
M DIA	2491,9 (±1116,4)	2696,9 (±1001,7)	2795,6 (±1031,4)	2772,5 (±969,8)	2688,1 (±1057,9)

As análises de Tebutiuron e Diuron foram efetuadas segundo o método (modificado) proposto por BONATO et. al. (1999) para o Tebutiuron. Utilizou-se cromatógrafo a líquido Shimadzu (mod. LC 2010) com duas bombas LC – 10AD, detector ultra violeta, operando a 254 nm e injetor automático (SIL 10A), com volume de injeção de 30 µL. A separação foi obtida com coluna C-18 Shimpack 150 x 4 mm (partículas com 5 µm de diâmetro), protegida por pré-coluna C18 Shimpack. Empregou-se como fase móvel metanol: água (60:40) com fluxo de 1,0 mL.min⁻¹.

As curvas de calibração foram obtidas com soluções de Tebutiuron e Diuron em metanol grau analítico (99,9%), nas concentrações de 0,05, 0,1, 0,5, 1,0 e 5,0 µg/mL.

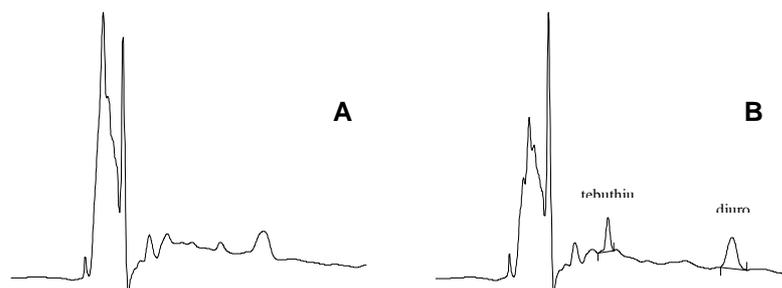
As alíquotas de água (100 mL) foram filtradas em papel de filtro (Whatman n.1) e alcalinizadas com 40 µL de solução 4M de NaOH, sendo extraídas durante 1 hora em agitação horizontal com 12 mL de solução de diclorometano:isopropanol (9:1 v/v). Depois de repouso por 15 minutos, a fase orgânica recolhida foi passada por Na₂SO₄ e levada à secura por meio de corrente de N₂ a 35°C. Os resíduos foram ressuspensos em 1 mL de metanol para serem injetados no cromatógrafo.

Todas as soluções usadas para a análise cromatográfica foram preparadas em metanol grau HPLC (MallinKrodt ChromAR), sendo os solventes utilizados no processo de extração de grau pesticida (p.a.).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O processo de extração adotado permitiu recuperações de Tebutiuron e Diuron na ordem de 62% (± 5%) e 76% (± 4%) respectivamente, com a eliminação de interferentes (Figura 1).

FIGURA 1 - CROMATOGRAMA DE TEBUTIURON E DIURON EM ÁGUA POR CLAE



A = Branco de água eluída pela coluna de lixiviação antes de aplicar os herbicidas;
B = Água eluída da mesma coluna e contaminada com Tebutiuron e Diuron a 0,2 µg/mL.

As curvas de calibração obtidas para os dois herbicidas mostraram que o modelo linear ajustou-se perfeitamente para descrever o relacionamento entre as concentrações e a área ($r^2 = 99,81\%$ para o Tebutiuron e $99,96\%$ para o Diuron), com forte dependência entre as variáveis ($r = 0,9990$ e $0,9998$). Os valores dos limites de quantificação de $0,02 \mu\text{g/mL}$ para Tebutiuron e $0,01 \mu\text{g/mL}$ para Diuron indicaram sensibilidade que permite a análise de seus resíduos em limite inferior ao estabelecido pelo Environmental Protection Agency ($0,5 \mu\text{g/mL}$) para a detecção de Tebutiuron em água potável (BONATO, 1999).

A permeabilidade entre os solos constituintes dos tubos mostrou-se similar com o volume de água coletada, evidenciando pouca diferença entre os solos. Os valores médios variaram do máximo de $2795,6 \text{ mL}$ para o tubo B (neossolo) até o mínimo de $2688,1$ para o tubo E (latossolo) (Tabela 1). O teste t não mostrou diferenças significativas entre os volumes de água percolados pelas colunas com neossolo (colunas B e C), nem com latossolo (colunas A, D e E). Apesar dos tubos serem constituídos por solos com composição granulométrica heterogênea, a pouca variabilidade nos volumes de água percolados pode ser atribuída à alta condutividade (com conseqüente alto potencial de infiltração), além da porosidade semelhante entre os solos (Quadros 1 e 2). Essas características são descritas por GOMES et. al. (1998) como típicas para os solos da região da microbacia do Córrego do Espreado.

A concentração média de Tebutiuron e Diuron para cada tipo de solo é apresentada na Tabela 2.

O movimento de pequenas quantidades dos herbicidas para o subsolo e sua posterior movimentação no perfil pode ser explicado pela alta condutividade hidráulica dos solos. Isso permitiu que a água se infiltrasse nos tubos, fluindo rapidamente e carregando pequenas quantidades dos produtos adicionados no topo das colunas de lixiviação.

A quantidade total de Tebutiuron e Diuron lixiviados foi superior no Neossolo Quartzarênico, indicando maior mobilidade em solo de composição textural do tipo areia. Esse fato, evidenciou que características específicas desse solo (tais como baixo teor de argila e baixo teor de matéria orgânica) contribuíram para a maior mobilidade dos herbicidas. Também corrobora as afirmações de NICHOLLS (1991) sobre a adsorção de compostos não-ionizáveis (como o Tebutiuron e o Diuron), a qual está relacionada mais com o teor de matéria orgânica dos solos que qualquer outra propriedade. Considerando-se a camada compreendida nos primeiros 60 cm de solo (Tabelas 1 e 2) verificou-se que os teores de carbono orgânico decresceram, sendo muito inferiores para o neossolo quando comparado com o latossolo, o que poderia explicar a maior mobilidade desses herbicidas nas colunas com o neossolo.

Pela Tabela 2 observa-se que em ambos os solos a quantidade média total de Tebutiuron eluída foi maior do que a de Diuron.

TABELA 2 - QUANTIDADE MÉDIA DE TEBUTIURON E DIURON (mg) NOS ELUATOS COLETADOS PERIODICAMENTE ENTRE 14/01/02 E 13/01/03

Datas de coleta	Tebutiuron (μg)		Diuron (μg)	
	LVdq	RQ	LVdq	RQ
14/01/02	2,8	2,7	1,8	6,2
17/01/02	1,5	11,9	0,7	4,2
28/01/02	2,2	91,2	0,7	30,5
06/02/02	1,9	1,9	0,7	0,6
15/02/02	2,8	101,1	0,3	33,7
25/02/02	3,4	64,5	0,0	21,5
19/03/02	4,6	42,4	0,1	14,1
26/03/02	23,5	81,8	0,0	27,3
27/05/02	5,9	18,0	0,0	6,0
06/08/02	3,4	142,1	0,2	47,4
23/10/02	6,3	13,0	0,0	4,6
14/11/02	23,3	19,8	5,6	6,6
04/12/02	12,7	15,6	0,0	5,2
13/12/02	16,5	18,3	0,0	6,1
23/12/02	17,7	16,6	0,0	5,5
13/01/03	24,8	17,4	0,0	5,8
TOTAL	153,3	658,3	10,1	225,3

O potencial de lixiviação do Tebutiuron e do Diuron de acordo com o índice GUS proposto por GUSTAFSON (1989), indica produtos lixiviáveis em relação ao coeficiente de lipofilicidade (K_{ow}). Uma vez que esses pouco diferiram entre si (Quadro 3) é de se esperar que a relativa baixa sortividade do Tebutiuron, aliada à sua alta persistência no solo sejam os principais fatores responsáveis pela sua maior mobilidade em relação ao Diuron. A combinação desses fatores é citada por GOMES et. al., (2001) e SPADOTTO et. al. (2002) como responsável pela alta lixivabilidade do Tebutiuron e do herbicida Hexazinone em solos da região da microbacia do Espiraiado.

QUADRO 3 - COEFICIENTE DE ADSORÇÃO PELA MATÉRIA ORGÂNICA, PERSISTÊNCIA E ÍNDICE GUS PARA TEBUTIURON E DIURON

Herbicida	Koc (mL/g)*	T _{1/2} (dias)*	GUS*	Kow**
Tebutiuron	80	360	5,4	671
Diuron	480	90	2,6	589

*Fonte: GOMES et. al. (2001).

** Fonte: WSSA (2002).

Koc = coeficiente de sorção.

T_{1/2} = meia-vida.

Kow = coeficiente de partição octanol/água.

O Tebutiuron apresentou valores de concentração do eluato quase três vezes maior que o Diuron no Neossolo Quartzarênico, mostrando maior risco potencial de alcançar o lençol freático. Conforme levantamento do nível piezométrico, realizado pelo IPT (1994) que teve como linha de base o leito do Córrego do Espraiado, o lençol freático na área estudada encontra-se, em média, a 8 metros de profundidade. No entanto, para alcançar a zona saturada do Aquífero Guarani os herbicidas em discussão teriam que se deslocar, verticalmente, mais algumas dezenas de metros. Tal condição é mais difícil de ocorrer, considerando que existe fluxo preferencial em direção à calha do Córrego do Espraiado. Estudos de simulação realizados por PESSOA et al. (1999) e CERDEIRA et. al. (2000), durante quatro anos, mostraram risco potencial do Tebutiuron alcançar o lençol freático em Neossolo Quartzarênico (antiga Areia Quartzosa).

4 CONCLUSÃO

Tanto o Tebutiuron como o Diuron aplicados na superfície de Neossolo Quartzarênico e de Latossolo Psamítico, provenientes da região da microbacia do Espraiado, lixiviaram através da camada de 50 cm. O teor de matéria orgânica desses solos determinou a capacidade de lixiviação dos herbicidas, retardando o aparecimento do Diuron. A combinação entre baixa capacidade adsorptiva do Tebutiuron e sua alta persistência no solo parecem constituir fatores importantes na sua lixivibilidade através do perfil do solo. Os resultados do presente trabalho mostraram a necessidade de se aprofundar estudos em relação ao lençol freático e à zona não-saturada do Aquífero Gurarani, bem como em relação à lixiviação de herbicidas na região da microbacia do Córrego do Espraiado.

ABSTRACT

TEBUTHIURON AND DIURON LEACHING IN SOIL COLUMNS

A lysimeter study was developed to investigate the leaching of Tebutiuron and Diuron in soil columns with different textures collected in a typical direct recharge area of the Guarani Aquifer, in Ribeirão Preto, Sao Paulo, Brazil. The analytical method for determination of residues in water was high performance liquid chromatography (HPLC) after extraction by shaking the sample with dichloromethane:isopropanol (9:1). The results showed that both herbicides leached faster in the Typic Quartzipsamment being Tebutiuron more accentuated. This result suggests that the organic carbon content, besides the association between the low adsorptive capacity of Tebutiuron and its long persistence may be the responsible by the difference. The studied herbicides may present contamination risk potential of the Espraiado watershed although reaching with difficulties the saturated zone of Guarani Aquifer situated right below the studied profile in this work. Tebutiuron amount was larger than amount of Diuron in both cases, probably due to soil organic carbon content and large herbicide persistence. Further studies are necessary to investigate the leaching of herbicides in this region.

KEY-WORDS: HERBICIDES-RESIDUES; TEBUTHIURON; DIURON; LYSIMETERS; GUARANI AQUIFER.

REFERÊNCIAS

- 1 BONATO, P.S.; LANCHOTE, V.L.; DREOSSI, S.A.C. High performance liquid chromatographic screening and gas chromatography-mass spectrometry confirmation of Tebutiuron residues in drinking water. **J. High Resol. Chromatogr.**, v. 22, n. 4, p. 239-241, 1999.
- 2 CERDEIRA, L.C.; GOMES, M.A.F.; PESSOA, M.C.P.Y.; BONATO, P.S.; LANCHOTE, V.L. Tebutiuron in soil and water in sugarcane area in Brazil. **Boll. Chim. Igien.**, Milano, v. 51, p. 51-57, May 2000.
- 3 EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412 p.
- 4 GOMES, M.A.F. **Agricultural utilization of the recharge area of Botucatu aquifer and implications on ground water quality**. Jaguariúna: Embrapa Environment, 1998. 28 p. (SINSSEP Project Proposal).
- 5 GOMES, M. A. F.; SPADOTTO, C.A.; LANCHOTTE, V.L. Ocorrência do herbicida Tebutiuron na água subterrânea da microbacia do Córrego do Espraiado, Ribeirão Preto - SP. **Pesticidas: Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente**,

Curitiba, v.11, p. 65-76, jan/dez. 2001.

- 6 GOMES, M.A.F.; FILIZOLA, H.F.; SPADOTTO, C.A. Uso agrícola das áreas de afloramento do Aquífero Guarani e implicações na qualidade da água subterrânea. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA E MERCOSOJA, 2., 2002, Londrina. **Anais...** Londrina: Embrapa Soja, 2002. p. 36-42. (Embrapa Soja, n. 180).
- 7 GOODY, D.C.; CHILTON, P.J.; HARRISON, I. A field study to assess the degradation and transport of Diuron and its metabolites in a calcareous soil. **Sci. Total Environ.**, v. 29, n. 1-3, p. 67-83, Oct. 2002.
- 8 GUSTAFSSON, D.I. Groundwater ubiquity score: a simple method for assessing pesticide leachability. **Environmental Toxicology and Chemistry**. v.8,n.4, p.339-357, 1989.
- 9 IPT. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. **Mapa de profundidade do nível d'água da microbacia do Córrego do Espraido**. São Paulo, 1994. (Escala 1:25.000).
- 10 NICHOLLS, P.H. Organic contaminants in soils and groundwaters. In: JONES, K.C. (Ed). **Organic contaminants in the environment: environmental pathways and effects**. London: Elsevier Applied Science, 1991. p. 87-132.
- 11 PESSOA, M.C.P.Y.; GOMES, M. A.F.; DORNELAS DE SOUZA, M.; CERDEIRA, A.; NEVES, M.C.; NICOLELLA, G. **Estudos de simulação da movimentação vertical de herbicidas em solos com cana-de-açúcar na microbacia do Córrego do Espraido, Ribeirão Preto (SP)**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 1999. 44 p. (Boletim de Pesquisa, 1).
- 12 REBOUÇAS, A.C. Sistema aquífero Botucatu no Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA, 8., 1994, Recife, PE. **Anais...** Recife: ABAS, 1994. p. 500-509.
- 14 RODRIGUES, B.N.; ALMEIDA, F.S. **Guia de herbicidas**. 4.ed. Londrina: IAPAR, 1998. 648 p.
- 15 ROQUE, M.R.de A.; FERRACINI, V.L.; MELO, I.S. de. **Avaliação da degradação do herbicida Diuron utilizando extração em fase sólida**. Jaguariúna: EMBRAPA - CNPMA, 1998. 15 p. (Boletim de Pesquisa, 3).
- 16 SPADOTTO, C.A.; GOMES, M.A.F.; HORNSBY, A.G. Pesticide leaching potential assessment in multi-layered soils. **Pesticidas: Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente**, Curitiba, v.12, p. 1-13, jan/dez. 2002.
- 17 WSSA. Weed Science Society of America. **Herbicide handbook**. 8th ed. Lawrence, 2002. 493 p.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo pelo suporte financeiro para a realização desse trabalho.