

LIXIVIAÇÃO DE CLOMAZONE + AMETRYN, DIURON + HEXAZINONE E ISOXAFLUTOLE EM DOIS TIPOS DE SOLO¹

Ametryn + Clomazone, Diuron + Hexazinone, and Isoxaflutole Leaching in Two Types of Soil

MONQUERO, P.A.², BINHA, D.P.³, AMARAL, L.R.³, SILVA, P.V.³, SILVA, A.C.⁴ e INACIO, E.M.³

RESUMO - Objetivou-se neste trabalho avaliar a lixiviação de herbicidas pré-emergentes recomendados para cana-de-açúcar em solos com textura argilosa e média. Os ensaios consistiram na aplicação de ametryn + clomazone (1.500 + 1.000 g ha⁻¹), isoxaflutole (187,5 g ha⁻¹) e diuron + hexazinone (1.170 + 330 g ha⁻¹) no topo das colunas de solo montadas em tubos de PVC. Foram simuladas precipitações pluviiais de 10, 20, 40 e 80 mm decorridas 24 h da aplicação dos herbicidas. Os tubos foram desmontados para a semeadura de *Sorghum bicolor* e de *Cucumis sativus*, três dias após a simulação. O herbicida ametryn + clomazone em solo com textura argilosa foi detectado aos 20 e 35 cm de profundidade, nas aplicações de 10 e 80 mm de água, respectivamente. Em solo com textura média, observou-se maior efeito deste herbicida em todas as precipitações, em relação ao argiloso. Com a aplicação de 40 e 80 mm de água, o herbicida foi detectado até 35 cm de profundidade em solo com textura argilosa. O herbicida isoxaflutole aplicado em solo argiloso causou albinismo na parte aérea das plantas até 15 e 25 cm de profundidade no solo com chuvas de 10 e 80 mm, respectivamente. Em solo com textura média, as maiores simulações de chuva possibilitaram detectar este herbicida até 30 cm. Com a simulação de 80 mm de chuva, o herbicida diuron + hexazinone foi encontrado aos 30 cm de profundidade em ambos os solos, provocando efeitos tóxicos sobre as plantas bioindicadoras de 25 e 60% em solos argiloso e médio, respectivamente. Concluiu-se que todos os herbicidas avaliados têm tendência a serem lixiviados por influência das precipitações pluviiais ou de irrigações artificiais, com efeitos mais pronunciados em solos com textura média e com menor teor de matéria orgânica.

Palavras-chave: herbicidas, bioensaio, chuva, cana-de-açúcar.

ABSTRACT - The objective of this work was to evaluate the leaching of pre-emerging herbicides recommended for sugarcane in clayey and medium soils. The experiments consisted in spraying ametryn + clomazone (1500 + 1000 g ha⁻¹), isoxaflutol (187.5 g ha⁻¹) and diuron + hexazinone (1170 + 330 g ha⁻¹) on top of PVC columns filled with soil. After spraying, simulated rainfall of 10, 20, 40 and 80 mm was applied to the top of the columns. Three days later, ***Cucumis sativus*** and ***Sorghum bicolor*** were used in bioassays to detect herbicide leaching. The herbicide mixture ametryn + clomazone applied on clayey soil was detected at depths of 20 and 35 cm in applications of 10 and 80 mm of water, respectively. In soil with medium texture, a greater herbicide effect was observed in all the rainfall simulations. With application of 40 and 80 mm water, the herbicide was detected up to 35 cm depth in clayey soil. The herbicide isoxaflutole in clayey soil caused albinism in the aerial part of the plants up to 15 and 25 cm of depth with rainfall of 10 and 80 mm, respectively. In soil with medium texture, the highest rainfall simulations made possible to detect this herbicide up to 30 cm. With rainfall simulation of 80 mm, the herbicide mixture diuron + hexazinone was found at the depth of 30 cm in both soils, causing toxic effects of 25 and 60% on the bio-indicator plants in clayey and medium soil, respectively. It was concluded that all the herbicides assessed show a tendency to be leached under rainfall or artificial irrigation influence, with more pronounced effects in medium soils with lower organic matter content.

Keywords: herbicides, bioassays, rainfall, sugarcane.

¹ Recebido para publicação em 2.10.2007 e na forma revisada em 29.5.2008.

² Professora adjunta do Centro de Ciências Agrárias/UFSCar, Rodovia Anhanguera, km 174, 13600-970, Araras-SP, <pamonque@cca.ufscar.br>; ³ Alunos de graduação do Centro de Ciências Agrárias/UFSCar; ⁴ Pesquisadora científica do Pólo Regional da Alta Sorocabana, Rodovia Raposo Tavares, km 561 Caixa Postal 298, 19015-970 Presidente Prudente-SP.



INTRODUÇÃO

Devido ao seu uso intensivo, os herbicidas são apontados como o grupo de pesticidas mais freqüentemente detectado em estudos de qualidade de águas superficiais e subterrâneas (Carter, 2000; Tanabe et al., 2001), sendo as áreas próximas ao cultivo de cana-de-açúcar de maior ocorrência de resíduos desses compostos, já que esta é uma das culturas que mais utilizam herbicidas no manejo de plantas infestantes (Southwick et al., 2002; Vivian et al., 2007).

O processo de lixiviação é a principal forma de transporte no solo das moléculas não-voláteis e solúveis em água. Essas moléculas se movimentam no perfil do solo, acompanhando o fluxo de água, pela diferença de potencial de água entre dois pontos (Prata et al., 2003). A lixiviação apresenta dois aspectos importantes: é fundamental para incorporação superficial da maioria dos herbicidas, atingindo sementes ou plantas em germinação, mas, quando excessiva, pode carregá-los para camadas do solo mais profundas, limitando sua ação e podendo, inclusive, promover contaminação do lençol freático (Velini, 1992).

No entanto, esses processos são dependentes do tipo de solo, das condições climáticas e das características dos produtos, e conhecê-los é de fundamental importância para prever o comportamento de herbicidas nas classes de solo e para seleção de dosagens adequadas, bem como para evitar efeitos prejudiciais ao ambiente e às culturas subseqüentes (Rossi et al., 2005).

O movimento descendente dos herbicidas no solo é influenciado pelo conteúdo e tipo de matéria orgânica, composição e distribuição do tamanho das partículas do solo, pH, densidade do solo, tamanho e distribuição dos poros, além da solubilidade em água das moléculas dos herbicidas e do índice pluviométrico da região (Prata et al., 2003). O conteúdo de matéria orgânica é um fator importante principalmente para os herbicidas não-iônicos, que apresentam elevada capacidade de sorção; quanto maior a sorção, menor a lixiviação. Em solos arenosos, a lixiviação será ainda maior do que em siltosos ou argilosos (Rossi et al., 2005). O pH é uma medida importante que pode interferir nos processos de sorção dos herbicidas,

sobretudo naqueles com grande capacidade de ionização (Silva et al., 2007).

Em solo cultivado com cana, na região nordeste do pantanal mato-grossense, foram detectados resíduos de ametryn na maioria das amostras coletadas em águas de superfície, embora em baixa concentração. Entretanto, em amostras de sedimentos, as concentrações foram superiores a $4,5 \mu\text{g kg}^{-1}$. A elevada frequência de detecção de ametryn, juntamente com sua alta concentração em algumas amostras, foi atribuída, conforme os autores, ao intenso cultivo de cana-de-açúcar no nordeste do pantanal, em que se utiliza o ametryn (Laabs et al., 2002).

Simulação de aplicação dos herbicidas atrazine, diuron e tebuthiuron, realizada por Pessoa et al. (1999) e Matallo et al. (2003) em áreas de recarga do Aquífero Guarani, revelou que todos os herbicidas se deslocam mais no perfil do Neossolo Quartzarênico Órtico do que no Latossolo Vermelho Psamítico, com destaque para o tebuthiuron, que atingiu 9,43 m num período simulado de quatro anos.

O monitoramento de pesticidas realizado entre 1992 e 2001 no sul da Flórida revelou que os herbicidas ametryn e atrazine foram os compostos mais comumente encontrados em águas superficiais (Pfeuffer & Rand, 2004). Recentemente, Mitchell et al. (2005) também identificaram, em solo cultivado com cana-de-açúcar, resíduos de ametryn ($0,3 \mu\text{g L}^{-1}$) e outros quatro herbicidas em águas de rios na Austrália.

A lixiviação potencial dos pesticidas no solo pode ser determinada por alguns métodos diferentes, como, por exemplo, por meio da percolação em colunas preenchidas com amostras deformadas ou indeformadas do solo, assim como por estudos em lisímetro. Entretanto, estudos sob condições de lisímetro são extremamente caros e, portanto, pouco utilizados no Brasil. Assim, os estudos de lixiviação potencial no Brasil ficam restritos às colunas e aos modelos matemáticos (Prata et al., 2003).

Precipitações intensas podem promover a lixiviação de herbicidas e contaminar as águas subsuperficiais. Para estudar a atividade da molécula do herbicida nos solos, muitos pesquisadores têm utilizado o bioensaio, que alia baixo custo a uma boa precisão. Essa técnica

consiste em utilizar plantas sensíveis aos produtos testados, de forma que resíduos de agrotóxicos ou soluções presentes no solo possam ser evidenciados por meio da alteração das características agrônômicas da planta-teste.

Além do bioensaio, um parâmetro muito utilizado na determinação do potencial de lixiviação de pesticidas é o chamado índice GUS, estabelecido por Gustafson (1989): $GUS = \log(t^{1/2}) \times [4,0 - \log(k_{oc})]$. Quando maior a meia-vida da molécula pesticida ($t^{1/2}$) e menor o coeficiente de sorção (K_{oc}), maior será o GUS e, portanto, maior o potencial de lixiviação. Entretanto, críticas podem ser feitas a esse modelo, como o fato de omitir propriedades físico-químicas das moléculas determinantes no seu potencial de lixiviação, como sua solubilidade em água e seu coeficiente n-octanol-água. O modelo também não considera características ambientais do solo, como taxa de recarga, porosidade do solo e capacidade de campo (Lavorenti et al., 2003).

Objetivou-se neste trabalho avaliar a lixiviação dos herbicidas diuron + hexazinone, ametryn + clomazone e isoxaflutole em dois tipos de solos e em diferentes intensidades de chuva simulada, utilizando-se método de bioensaio.

MATERIAL E MÉTODOS

As amostras dos solos Latossolo Vermelho distrófico – textura argilosa e Latossolo Vermelho distroférico – textura média (Embrapa, 1999) utilizadas nos experimentos foram coletadas nas profundidades de 0-20, 20-35 e 35-50 cm, em dois locais do município de Araras. As análises química e física das amostras dos solos são apresentadas na Tabela 1.

Essas amostras foram secas ao ar, moídas e passadas em peneiras de 2 mm de malha. As colunas de solo foram montadas (em ordem

de profundidade das amostras retiradas do solo) em tubos de PVC de 10 cm de diâmetro e 50 cm de comprimento. Esses tubos foram cortados longitudinalmente, e a abertura foi fechada com fita adesiva, para preenchimento com as amostras de solo. Os tubos foram envoltos internamente por uma camada de parafina, a fim de evitar escorrimento lateral da solução do solo. Na parte basal, para reter o solo e permitir a drenagem, foram colocadas telas de sombrite 50%. As colunas foram submetidas à irrigação por capilaridade, até que o solo se apresentasse saturado até o topo da coluna. Após esse período, permitiu-se o escoamento da água durante 48 horas, para restaurar sua capacidade de campo.

As colunas foram colocadas em casa de vegetação para aplicação dos herbicidas ametryn + clomazone (1.500 + 1.000 g ha⁻¹), isoxaflutole (187,5 g ha⁻¹) e diuron + hexazinone (1.170 + 330 g ha⁻¹). Os herbicidas foram aplicados, separadamente, nas colunas com pulverizador costal provido de barra de pulverização contendo dois bicos tipo leque Teejet 11002, trabalhando em pressão constante de 2,5 kgf cm², mantida por CO₂ pressurizado, com volume de aplicação equivalente a 200 L ha⁻¹.

Após a aplicação, as colunas foram colocadas sob simulador de chuva, com intensidade de precipitação de 1 mm min⁻¹, aplicando-se lâminas de água de 10, 20, 40 e 80 mm. Após a simulação, as colunas permaneceram em repouso por 72 horas, quando então foram abertas longitudinalmente e colocadas na posição horizontal. Cada coluna foi dividida em oito seções de 5 cm a partir da superfície. Em cada seção, foi semeada uma linha contínua de sementes do bioindicador *Cucumis sativus* (pepino) para o herbicida diuron + hexazinone e *Sorghum bicolor* (sorgo) para os herbicidas isoxaflutole e ametryn + clomazone.

O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, com quatro repetições. Os

Tabela 1 - Características físico-químicas das amostras de solo utilizadas no ensaio

Solo	pH CaCl ₂	MO g dm ⁻³	P mg dm ⁻³	K	Ca	Mg	Al	SB	CTC	V% -- % --	Argila	Silte	Areia
				-----mmolc dm ⁻³ -----							-----g kg ⁻¹ -----		
LV distroférico ^{1/}	4,7	36	7	2,9	25	13	0	40,9	68,9	59	530	320	150
LV distrófico ^{2/}	5,3	22	12	2,3	28	11	0	41,3	65,3	63	320	170	510

^{1/} Latossolo Vermelho distroférico; ^{2/} Latossolo Vermelho distrófico.



tratamentos foram arranjados em esquema fatorial 4 x 8, sendo quatro lâminas de água e oito profundidades, avaliados para cada herbicida e tipo de solo.

Aos 21 dias após a semeadura, foram realizadas avaliações visuais de controle nas plântulas de pepino. Essas avaliações foram baseadas em critérios qualitativos, segundo a ALAM (1974), que utiliza uma escala percentual de notas, em que 0 corresponde a nenhuma injúria na planta e 100, à morte das plantas.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, sendo plotadas curvas de regressão utilizando o programa SIGMAPLOT.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve lixiviação da mistura ametryn + clomazone ao longo do perfil do solo de textura argilosa (Figura 1). O efeito da lixiviação foi mais pronunciado à medida que se aumentou a quantidade de chuva simulada. Não houve diferença entre as lâminas de água na faixa de 0-5 cm de profundidade. Todavia, a lâmina de 80 mm controlou o bioindicador em torno de 80% na faixa de 10-15 cm e, nesta mesma profundidade, a lâmina de 40 mm apresentou controle em torno de 40%, o que indica potencial de lixiviação dessa mistura principalmente em lâminas acima de 40 mm. Foi constatado resíduo do herbicida até 30 cm de profundidade nas precipitações mais altas, porém em baixa quantidade.

A mesma tendência de aumento da lixiviação com o incremento da precipitação foi verificada no solo de textura média; contudo, não houve tanta discrepância entre os resultados entre as lâminas, em relação ao verificado no solo de textura argilosa. Houve maior controle do bioindicador na lâmina de 80 mm no solo de textura argilosa até 20 cm de profundidade; entretanto, no solo de textura média observou-se maior concentração do herbicida nas camadas abaixo de 20 cm, comparado ao solo de textura argilosa (Figura 1). Os dados obtidos demonstram que solos com maiores teores de matéria orgânica e argila apresentam menor tendência geral de lixiviação dos herbicidas, representando, assim, menor risco de contaminação dos lençóis freáticos (Cox et al., 1998). Resíduos de clomazone foram detectados um ano após a aplicação em diferentes tipos de solo, e em solos com textura arenosa ocorre mais facilmente a dessorção deste herbicida, o que pode propiciar a lixiviação (Cumming et al., 2002).

Para se determinar o potencial de lixiviação de produtos empregados em cana-de-açúcar na região do Rio Corumbataí, os índices GUS foram calculados para diversos agrotóxicos. No caso de clomazone, os valores foram de 2,102, e para ametryn, de 5,975. De acordo com esse índice, os herbicidas são classificados como imóveis ($GUS < 1,8$), potencialmente móveis ($1,8 \leq GUS \leq 2,8$) e móveis ($GUS > 2,8$), podendo percolar no solo e atingir água subterrânea (Armas, 2005). Os dados obtidos

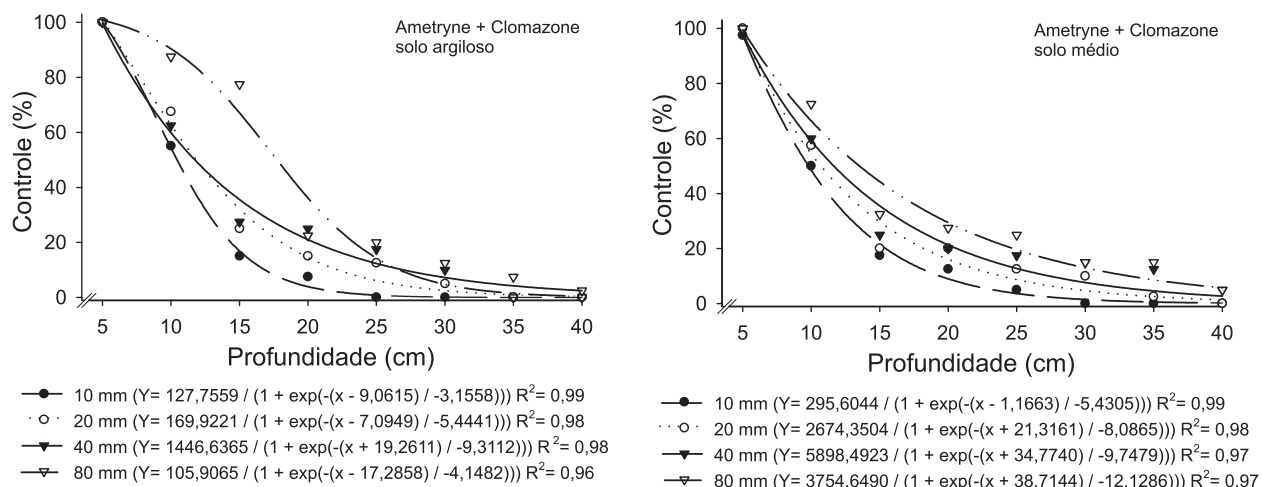


Figura 1 - Lixiviação do herbicida ametryn + clomazone, aplicado em dois tipos de solo submetidos a diferentes intensidades de precipitação, avaliada aos 21 dias após a semeadura da planta indicadora (*Sorghum bicolor*).

no trabalho corroboram o índice teórico GUS, já que indicam que a mistura ametryn + clomazone possui potencial de lixiviação principalmente em solos com menor teor de matéria orgânica e argila.

O herbicida isoxaflutole, quando submetido a 10 mm de chuva em solo argiloso, causou efeitos tóxicos pronunciados (albinismo na parte aérea) em plantas emergidas até 5 cm de profundidade. Nas profundidades de 10 e 15 cm houve menor controle do bioindicador, com cerca de 40 e 20%, respectivamente (Figura 2). À medida que se aumentou a lâmina de água aplicada, houve incremento na disponibilidade do herbicida em profundidade; com 40 e 80 mm de água foi possível detectar esta molécula em até 25 cm de profundidade. Em solo com textura média, o herbicida foi detectado pelas plantas bioindicadoras em até 30 cm de profundidade, nas lâminas de 40 e 80 mm. Embora o herbicida tenha atingido essas profundidades nas maiores lâminas, a quantidade detectada pelo bioensaio foi baixa (Figura 2).

A sorção do isoxaflutole (IFT) no solo diminui com o decréscimo do teor de matéria orgânica e com o aumento do pH do solo (Oliveira Jr. et al., 2006). O conteúdo de argila e a concentração de Ca^{2+} não afetam o grau de sorção de IFT (Oliveira Jr. et al., 2006). Conforme Mitra et al. (2000), em solos com teores de matéria orgânica maiores ou iguais a 2%, a sorção, a persistência e a mobilidade do IFT no

solo correlacionam-se com o teor de matéria orgânica, mas não com a textura. Essas informações corroboram o que foi observado neste trabalho, uma vez que o herbicida lixiviou em menor profundidade no solo com 36 g dm^{-3} de matéria orgânica e em maiores profundidades no solo com matéria orgânica de 22 g dm^{-3} .

No solo, o IFT é rapidamente convertido em metabólito diquetonitrila (DKN), que é a molécula biologicamente ativa no controle de plantas daninhas; além disso, é mais solúvel, mais estável e mais persistente que o IFT (Taylor-Lovell et al., 2000, 2002; Mitra et al., 2000). Uma vez que a solubilidade do DKN em água é cerca de 50 vezes maior do que a do IFT, espera-se maior disponibilidade de DKN na solução do solo com menor sorção (Taylor-Lovell et al., 2000), a qual também diminui com o decréscimo de matéria orgânica presente no solo (Mitra et al., 2000).

A mistura diuron + hexazinone apresentou lixiviação superior à das demais misturas avaliadas (Figura 3). Ao simular 80 mm de chuva, o herbicida diuron + hexazinone aplicado sobre o solo com textura argilosa e média atingiu a camada de 30 cm com aproximadamente 25 e 60% de controle, respectivamente, ou seja, em quantidade muito maior que a dos demais herbicidas. A formulação utilizada apresenta concentração alta de hexazinone, que é um ingrediente ativo de alta solubilidade (29.800 ppm a 25 °C), necessitando de menor umidade no solo para se movimentar e atuar,

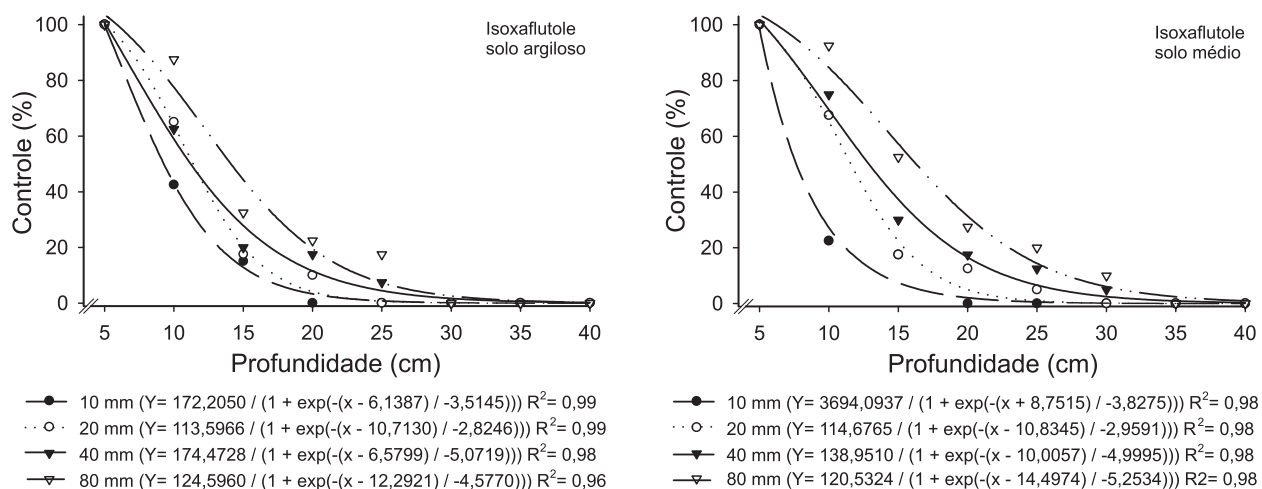


Figura 2 - Lixiviação do herbicida isoxaflutole, aplicado em dois tipos de solo submetidos a diferentes intensidades de precipitação, avaliada aos 21 dias após a semeadura da planta indicadora (*Sorghum bicolor*).



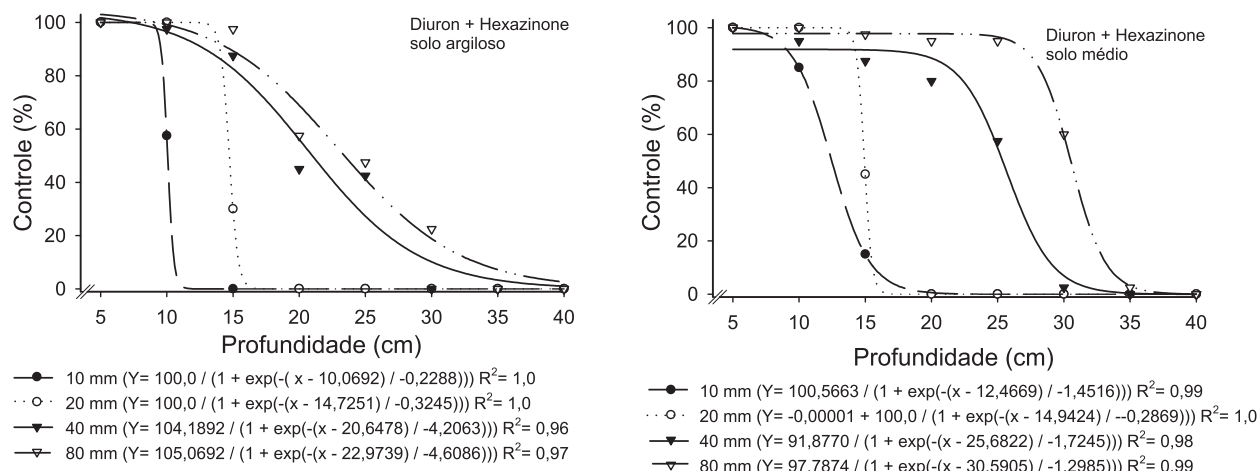


Figura 3 - Lixiviação do herbicida diuron + hexazinone, aplicado em dois tipos de solo submetidos a diferentes intensidades de precipitação, avaliada aos 21 dias após a semeadura da planta indicadora (*Cucumis sativus*).

quando comparado ao diuron (42 ppm a 25 °C) (Bouchard et al., 1985). Na Geórgia (EUA) foi detectado hexazinone tanto na água de escoamento superficial quanto no fluxo descendente de água no solo por vários meses após a aplicação de uma dose de 1,62 kg ha⁻¹ (Bouchard et al., 1985). Este herbicida é bastante utilizado no manejo de plantas daninhas na cultura da cana-de-açúcar; portanto, a conjunção de elevada utilização, alto potencial lixiviador e solos de baixa capacidade de retenção (baixo teor de matéria orgânica) sugere uma situação de risco acentuado de lixiviação.

A lixiviação de pesticidas no perfil do solo tem implicações diretas no potencial de contaminação de recursos hídricos do subsolo, já que, uma vez retirado das camadas superficiais do solo, onde há maior teor de matéria orgânica e atividade microbiana, a sua persistência no ambiente pode ser intensamente prolongada (Sarmah et al., 1998; Costa et al., 2000; Prata et al., 2001). Matallo et al. (2003), ao desenvolverem estudos de lixiviação dos herbicidas diuron e tebuthiuron em colunas de solo dos tipos Latossolo Vermelho (argiloso) e Neossolo Quartzarênico (arenoso), representativos das áreas de recarga do Aquífero Guaraní, concluíram que os dois herbicidas lixiviaram através da camada de 50 cm, e o teor de matéria orgânica desses solos determinou a capacidade de lixiviação dos herbicidas.

Concluiu-se que todos os herbicidas avaliados têm tendência a serem lixiviados por

influência das precipitações pluviais ou de irrigações artificiais, com efeitos mais pronunciados em solos com textura média e com menor teor de matéria orgânica. Essa movimentação no perfil do solo pode determinar a seletividade e/ou a eficiência de controle das plantas daninhas, além do potencial de contaminação de águas subterrâneas.

LITERATURA CITADA

- ARMAS, E.; MONTEIRO, R. T. R. Uso de agrotóxicos em cana-de-açúcar na bacia do Rio Corumbataí e o risco de poluição hídrica. **Química Nova**, v. 28, n. 6, p. 975-982, 2005.
- ASOCIACION LATINOAMERICANA DE MALEZAS – ALAM. Recomendaciones sobre unificación de evaluación en ensayos de control de malezas. **ALAM**, v. 1, n. 1, p. 35-38, 1974.
- BOUCHARD, D. C.; LAVY, T. L.; LAWSON, E. R. Mobility and persistence of hexazinone in a forest watershed. **J. Environ. Qual.**, v. 14, n. 2, p. 229-233, 1985.
- CARTER, A. D. Herbicide movement in soils: Principles, pathways and processes. **Weed Res.**, v. 40, n. 1, p. 113-122, 2000.
- COSTA, E. A. D.; GELMINI, G. A.; ZAMBON, S. Avaliação de isoxaflutole aplicado isoladamente ou em mistura de tanque no nivelamento do solo para controle pré-emergente de infestantes em cana-planta. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 22., 2000, Foz do Iguaçu. **Anais...** Londrina: Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas, 2000. p. 295.

- COX, L. et al. Sorption of imidacloprid on soil clay mineral and organic components. **Soil. Sci. Soc. Am. J.**, v. 62, n. 4, p. 911-915, 1998.
- CUMMING, J. P. et al. Clomazone dissipation in four Tasmanian topsoils. **Weed Sci.**, v. 50, n. 3, p. 405-409, 2002.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: 1999. 412 p.
- GUSTAFSON, D. I. Groundwater ubiquity scores: A simple method for assessing pesticide leachability. **Environ. Toxic. Chem.**, v. 8, n. 4, p. 339-357, 1989.
- LAABS, V. et al. Pesticides in surface water, sediment and rainfall of the northeastern Pantanal basin, Brasil. **J. Environ. Qual.**, v. 31, n. 5, p. 1636-1648, 2002.
- LAVORENTI, A.; PRATA, F.; REGITANO, J. Comportamento de pesticidas em solos brasileiros. In: CURI, N. et al. (Eds.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. v. 3. p. 335-400.
- MATALLO, M. B. et al. Lixiviação dos herbicidas tebutiuron e diuron em colunas de solo. **Pesticidas. R. Ecotoxicol. Meio Amb.**, v. 13, n. 1, p. 83-90, 2003.
- MITCHELL, C. et al. Sediments, nutrients and pesticide residues in event flow conditions in streams of the Mackay Whitsunday region, Australia. **Marine Poll. B.**, v. 51, n. 1, p. 23-36, 2005.
- MITRA, S.; BHOWMILK, P. C.; XING, B. Sorption and desorption of the diketonitrile metabolite of isoxaflutole in soils. **Environ. Poll.**, v. 108, n. 1, p. 183-190, 2000.
- OLIVEIRA JR., R. S. et al. Influência do período de restrição hídrica na atividade residual de isoxaflutole no solo. **Planta Daninha**, v. 24, n. 4, p. 733-740, 2006.
- PESSOA, M. C. P. Y. et al. Simulação de herbicidas utilizados no monocultivo de cana-de-açúcar em latossolos da área de recarga do Aquífero Botucatu (Guarani) em Ribeirão Preto, SP. **R. Ci. Rural**, v. 4, n. 1, p. 15-24, 1999.
- PFEUFFER, R. J.; RAND, G. M. South Florida ambient pesticide monitoring program. **Ecotoxicology**, v. 13, n. 1, p. 195-205, 2004.
- PRATA, F. et al. Degradação e sorção de ametryn em dois solos com aplicação de vinhaça. **Pesq. Agropec. Bras.**, v. 36, n. 7, p. 975-981, 2001.
- PRATA, F. et al. Glyphosate sorption and desorption in soils with different phosphorous levels. **Sci. Agric.**, v. 60, n. 1, p. 175-180, 2003.
- ROSSI, C. V. S.; ALVES, P. L. C. A.; MARQUES JUNIOR, J. Mobilidade do sulfentrazone em latossolo vermelho e em chernossolo. **Planta Daninha**, v. 23, n. 4, p. 701-710, 2005.
- SARMAH, A.; KOOKANA, R.; ALSTON, A. Fate and behaviour of triasulfuron, metsulfuron-methyl and chlorsulfuron in the Australian soil environment: A review. **Aust. J. Agric. Res.**, v. 49, n. 5, p. 775-790, 1998.
- SILVA, A. et al. Herbicidas: comportamento no solo. In: SILVA, A.; SILVA, J. F. (Eds.). **Tópicos em manejo de plantas daninhas**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2007. p. 189-248.
- SOUTHWICK, L. M. et al. Potential influence of sugarcane cultivation on estuarine water quality of Louisiana's gulf coast. **J. Agric. Food Chem.**, v. 50, n. 15, p. 4393-4399, 2002.
- TAYLOR-LOVELL, S. et al. Hydrolysis and soil adsorption of the labile herbicide isoxaflutole. **Environ. Sci. Technol.**, v. 34, n. 19, p. 3186-3190, 2000.
- TANABE, A. et al. Seasonal and special studies on pesticides residues in surface waters of the Shinano river in Japan. **J. Agric. Food Chem.**, v. 49, n. 6, p. 3847-3852, 2001.
- VELINI, E. D. Comportamento de herbicidas no solo. In: SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE MANEJO DE PLANTAS DANINHAS EM HORTALIÇAS, 1992, Botucatu. **Anais...** Botucatu: 1992. p. 44-64.
- VIVIAN, R. et al. Persistência e lixiviação de ametryn e trifloxysulfuron-sodium em solo cultivado com cana-de-açúcar. **Planta Daninha**, v. 25, n. 1, p. 111-124, 2007.

