

## Lixiviação no solo de herbicidas em razão da percolação de água

### Leaching in soil of herbicides as a function of water percolation

Adriana Tierno Magalhães PASSOS<sup>1</sup>, José Salvador Simoneti FOLONI<sup>2</sup>, Edwards Rinaldo FAGAN<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Eng. Agrônoma, Mestre em Agronomia – Produção Vegetal. Centro de Ciências Agrárias - UNOESTE. Rodovia Raposo Tavares, km 572. CEP 19067-175, Presidente Prudente-SP. e-mail: dritierno@yahoo.com.br

<sup>2</sup> Pesquisador Doutor. Embrapa Soja. Rod. Carlos João Strass - Distrito de Warta, Caixa Postal 231, CEP 86001-970, Londrina-PR. e-mail: salvador.foloni@cnpso.embrapa.br

<sup>3</sup> Eng. Agrônomo. Centro de Ciências Agrárias - UNOESTE. Rodovia Raposo Tavares, km 572. CEP 19067-175, Presidente Prudente-SP.

#### Resumo

O objetivo do trabalho foi avaliar a lixiviação no solo de dois herbicidas recomendados para a cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.), em razão da percolação de água. O experimento foi realizado em casa de vegetação com colunas de PVC contendo Argissolo distroférico de textura média, para comparar dois herbicidas aplicados em pré-emergência, a ametrina na dose de 3 kg ha<sup>-1</sup> e a mistura de 1 kg ha<sup>-1</sup> de clomazone mais 0,25 kg ha<sup>-1</sup> hexazinona, submetidos à percolação de 10; 20; 40; 80 e 160 mm. A lixiviação dos herbicidas no perfil do solo foi avaliada por meio de planta indicadora, utilizando-se do sorgo (*Sorghum bicolor*). A mistura de herbicidas clomazone+hexazinona tem potencial de supressão expressivamente superior ao da ametrina, mesmo em condições de elevada percolação de água no solo. Após 160 mm de água percolada e drenagem livre, não há lixiviação de ametrina para camadas abaixo de 20 cm de profundidade no solo. O clomazone+hexazinona é detectado abaixo de 20 cm no perfil do solo somente quando há 160 mm de água percolada.

**Palavras-chave adicionais:** *Saccharum* spp., ametrina, clomazone, hexazinona, impacto ambiental.

#### Abstract

The objective of this experiment was to evaluate the leaching of two herbicides recommended for sugar cane (*Saccharum* spp) cultivation as influenced by water percolation. The experiment was carried out under greenhouse conditions in a median textured soil with the herbicides being applied in pre-emergence: ametryn at the rate of 3 kg ha<sup>-1</sup> and the mixture of 1 kg ha<sup>-1</sup> of clomazone and 0.25 kg ha<sup>-1</sup> of hexazinone. The soil was then submitted to the percolation of 10, 20, 40, 80, and 160 mm of water. The leaching of the herbicides in the soil was evaluated by *Sorghum bicolor* plants acting as a bioindicator. The clomazone+hexazinone mixture was found to be more effective in suppressing weeds even under conditions of high volumes of percolating water. After the percolation of 160 mm of water, ametryn is no longer leached below a 20 cm deep layer. The clomazone+hexazinone mixture was found to leach below the 20 cm layer only when water was percolated at a volume of 160 mm.

**Additional keywords:** *Saccharum* spp., ametryn, Clomazone, Hexazinone, Environmental impact.

#### Introdução

Nos últimos anos, tem havido forte expansão de canaviais em regiões de solos mais arenosos do oeste do Estado de São Paulo, em grande parte sobre áreas que vinham sendo ocupadas por pastagens degradadas (IEA, 2011), onde predominam Latossolos e Argissolos de elevado grau de intemperização (EMBRAPA, 1999). Os Latossolos e Argissolos do Brasil Central, por influência de sua formação e mineralogia, em geral são ricos em argilas de baixa reatividade, apresentam granulometria comumente mais grosseira na camada de

0-20 cm de profundidade e há drenagem relativamente rápida nas camadas superficiais (FONTES et al., 2001), o que pode favorecer a lixiviação de produtos fitossanitários.

Um dos pontos críticos do processo produtivo da cana-de-açúcar é a interferência das plantas daninhas, que podem prejudicar diretamente a cultura por meio da competição por água, nutrientes e luz, ou liberando aleloquímicos. Indiretamente, podem ser hospedeiras de pragas e doenças, prejudicam fortemente as operações de colheita e diminuem o número de cortes economicamente viáveis do canavial (KUYA et al., 2003).

Apesar de a cana-de-açúcar ser altamente eficiente no acúmulo de matéria vegetal, a brotação e o crescimento inicial das soqueiras são relativamente lentos, o que favorece a proliferação de plantas invasoras (PROCÓPIO et al., 2003). Além disso, a flora infestante das lavouras canavieiras é bastante específica se comparada à de outras culturas, e as espécies do grupo das gramíneas (*Poaceae*), de maneira geral, são as mais difíceis de serem controladas quimicamente, por apresentarem alta semelhança genética com a planta cultivada (LORENZI, 1988).

Sendo assim, é primordial manter a lavoura de cana livre de plantas daninhas até o fechamento das entrelinhas, que varia de 60 a 90 dias após o início da brotação (PROCÓPIO et al., 2003). Nesse contexto, os herbicidas aplicados em pré-emergência e/ou em pós-emergência inicial são, na atualidade, ferramentas tecnológicas muito importantes por apresentarem elevada eficiência de controle e custo relativamente baixo (SILVA et al., 2005).

A dinâmica de um herbicida no ambiente e o seu efeito residual na lavoura são condicionados por propriedades físico-químicas do produto (solubilidade, adsorvidade aos colóides do solo, volatilidade e degradabilidade), condições climáticas no momento da aplicação e no decorrer da persistência do herbicida no solo (precipitação pluvial, temperatura e luminosidade) e fatores edáficos (disponibilidade de água no solo, granulometria e teor de matéria orgânica), e essas interações determinam a eficiência de controle de plantas daninhas e de seletividade para a espécie cultivada (CHRISTOFFOLETI & LOPEZ-OVEJERO, 2005).

Reforçando os argumentos supracitados, a sorção e dessorção influenciam o destino e movimentação dos herbicidas no perfil do solo, que são fundamentais para a dinâmica dos herbicidas aplicados em pré-emergência (CARTER, 2000). Para herbicidas de elevada capacidade adsorvida, o conteúdo de matéria orgânica (MO) do solo é muito importante para definir a intensidade de lixiviação e/ou de disponibilização do ingrediente ativo para as plantas (SENESI et al., 1994).

A lixiviação de herbicidas no solo sofre forte influência da quantidade e da época de ocorrência de chuvas após a aplicação, como já foi constatado para metribuzin (BANKS & ROBINSON, 1982), oryzalin (BANKS & ROBINSON, 1984) e alachlor e metolachlor (BANKS & ROBINSON, 1986). Além do regime de chuvas, da adsorção coloidal e da taxa de infiltração de água, a intensidade de translocação de herbicidas no perfil do solo é fortemente dependente das características físico-químicas do pro-

duto aplicado, principalmente da solubilidade em água (SOUZA, 1982; DEUBER, 1992).

Contudo, GELMINI (1988) enfatiza que é necessária certa lixiviação dos herbicidas nos primeiros centímetros do solo quando aplicados em pré-emergência, para aumentar a eficiência de controle e reduzir o risco de perdas por erosão e fotodegradação. Porém, argumenta-se que, quando há excesso de percolação de água, pode haver contaminação do lençol freático por herbicidas, fitotoxicidade da cultura e subdose do ingrediente ativo nas camadas mais superficiais do solo, prejudicando o ambiente e o manejo agrônomo.

Objetivou-se com este trabalho avaliar a lixiviação no solo de dois herbicidas recomendados para a cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.), a ametrina e a mistura de clomazone+hexazinona, em razão da percolação de 10; 20; 40; 80 e 160 mm de água.

## Material e métodos

O experimento foi conduzido em casa de vegetação da Faculdade de Agronomia da Universidade do Oeste Paulista, UNOESTE, em Presidente Prudente-SP, durante os meses de abril a maio de 2007. Utilizou-se uma porção de solo agrícola coletada na camada de 0 a 20 cm de profundidade, de um Argissolo Vermelho distroférrico (EMBRAPA, 1999), típico de extensas áreas do oeste do Estado de São Paulo.

A porção de solo foi secada ao ar e passada em peneira com malha de 2 mm. Em seguida, foram coletadas amostras para caracterização de atributos químicos (RAIJ et al., 2001) e granulometria (EMBRAPA, 1997), com os seguintes resultados: pH (CaCl<sub>2</sub> 1 mol L<sup>-1</sup>) 5,7; 13 g dm<sup>-3</sup> de MO; 16 mg dm<sup>-3</sup> de P resina; 17 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de H+Al; 1,9 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de K; 22 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de Ca; 9 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de Mg; 33 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de SB; 44 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de CTC; 75% de saturação por bases (V); 710 g kg<sup>-1</sup> de areia; 80 g kg<sup>-1</sup> de silte; 210 g kg<sup>-1</sup> de argila. A capacidade de campo de quatro amostras do solo desestruturado (peneirado) foi determinada a - 0,03 MPa no aparelho extrator de Richards (EMBRAPA, 1997), e o valor médio foi de 0,217 (± 4,25) kg<sup>1</sup> kg<sup>-1</sup>.

As colunas de solo utilizadas no trabalho foram constituídas por tubos de PVC rígido com 10 cm de diâmetro interno e 35 cm de comprimento, com uma abertura longitudinal contínua de 2,5 cm de largura, e tais colunas foram fechadas ao fundo com filmes de plástico contendo orifícios para permitir a drenagem livre da água percolada. O solo desestruturado foi acomodado

nas colunas de PVC de tal forma que sua densidade permaneceu próxima a  $1,30 \text{ g cm}^{-3}$ , correspondente à do solo comumente encontrado no campo. Durante a aplicação dos herbicidas, as colunas de solo foram mantidas com 35 cm de altura, e, no decorrer da percolação de água, adicionou-se um anel de PVC de 5 cm de altura na extremidade superior das colunas, para evitar a perda lateral de solo e água.

Antes da pulverização dos herbicidas, determinou-se a umidade média do solo desestruturado e seco ao ar contido nas colunas e adicionou-se água para atingir 70% da máxima capacidade de retenção do solo, definidos por meio de pesagens. Em seguida, as colunas de solo foram envolvidas em sacos de plástico para não haver perda de água até o momento da aplicação dos tratamentos. Os herbicidas foram pulverizados por meio de equipamento manual de precisão, pressurizado a  $\text{CO}_2$  para operar à pressão constante de 150 kPa, munido de barra com quatro ponteiros de jato plano do tipo leque, modelo 110.02, espaçadas a 0,50 m e com largura total de molhamento de 2,0 m, que proporcionaram volume de calda equivalente a  $200 \text{ L ha}^{-1}$ . A altura da barra de pulverização foi mantida a aproximadamente 0,70 m acima das colunas de solo, e a velocidade média de deslocamento durante a aplicação dos herbicidas foi constante, calibrada de acordo com testes preliminares. Durante a pulverização, as colunas de solo foram posicionadas com 1,0 m de distância umas das outras, em ambiente protegido, para eliminar o risco de deriva.

Utilizou-se o herbicida ametrina na dose de  $3 \text{ kg ha}^{-1}$  de ingrediente ativo (produto comercial Gesapax® 500, Syngenta), e a mistura dos herbicidas clomazone e hexazinona nas doses de  $1 \text{ kg ha}^{-1}$  e  $0,25 \text{ kg ha}^{-1}$  de ingredientes ativos, respectivamente (produto comercial Ranger®, Du Pont). Após a aplicação dos herbicidas sobre as superfícies expostas das colunas de solo, fizeram-se percolações de água destilada equivalentes a 10; 20; 40; 80 e 160 mm.

A intensidade de percolação de água nas colunas de solo foi mantida aproximadamente constante para todas as unidades experimentais, para que não houvesse transbordamentos. As colunas de solo permaneceram sob drenagem livre por tempo que variou em torno de 6 a 48 h, de acordo com a lâmina aplicada, e, em seguida, tais colunas foram posicionadas no sentido horizontal para a realização do cultivo da planta indicadora. Utilizou-se, nesta fase, o sorgo (*Sorghum bicolor*) cultivar Volumax - Agrocere, com germinação de 98% (BRASIL, 1992), em que foram colocadas 10 sementes a cada 5 cm longitudinais das colunas

de solo, numa profundidade-padrão de 2,5 cm, e fez-se a cobertura das sementes com areia grossa lavada.

Fez-se a opção pelo sorgo como planta indicadora por ser uma gramínea tropical (*Poaceae*), ou seja, pertencente ao grupo das plantas daninhas mais problemáticas na lavoura canaveira, e também por apresentar sensibilidade relativamente elevada aos herbicidas utilizados no presente experimento. De acordo com CAETANO et al. (1995), embora não exista uma única espécie capaz de ser considerada adequada para avaliar a presença de variados tipos de herbicidas no solo, o sorgo tem sido constantemente utilizado em trabalhos de pesquisa para este fim.

O delineamento experimental utilizado foi em blocos completos ao acaso, com quatro repetições, no esquema fatorial  $3 \times 5$ , totalizando 15 tratamentos que seguem: três condições de herbicida, com pulverizações em pré-emergência de ametrina, da mistura de clomazone+hexazinona e a testemunha (sem aplicação de herbicida), em colunas de solo que receberam, posteriormente, cinco níveis de percolação de água com 10; 20; 40; 80 e 160 mm.

Durante o cultivo do sorgo, foram feitas regas diárias para repor a água evapotranspirada e manter a umidade do solo próxima à capacidade de campo. Aos 20 dias após a semeadura (20 DAS), foram contadas as plantas sobreviventes a cada 5 cm longitudinais de coluna de solo, considerando-se somente as plantas vivas, mesmo as que apresentavam acentuados sintomas visuais de toxicidade.

Também aos 20 DAS, realizou-se a coleta da parte aérea das plantas sobreviventes, cortando-as rente à superfície do solo, separadamente para as camadas de 0-10, 10-20 e 20-35 cm de profundidade das colunas de solo. Em seguida, o material vegetal foi levado à secagem em estufa de aeração forçada a  $60 \text{ }^\circ\text{C}$  até atingir massa constante.

As variáveis qualitativas de herbicidas foram submetidas à análise de variância ( $p \leq 0,05$ ) e teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ) para comparar as médias dos tratamentos. As variáveis quantitativas de percolação de água foram submetidas à análise de regressão, na qual foram escolhidas equações de acordo com a significância do coeficiente de regressão e do teste F da regressão, ambos a 5% de probabilidade, em consonância com os maiores valores de coeficiente de determinação ( $R^2$ ).

## Resultados e discussão

Observa-se, na Figura 1, que percolações de até 80 mm de água não acarretaram em lixiviações significativas de ametrina e da mistura clomazone+hexazinona, em camadas abaixo de 20 cm de profundidade do solo. Foram necessários 160 mm para forçar a translocação do clomazone+hexazinona até a camada mais profunda do perfil (30-35 cm), ao contrário da ametrina, que não foi detectada nesta profundidade do solo, evidenciando o elevado potencial de lixiviação da mistura de herbicidas.

A ametrina apresentou-se efetiva somente nos primeiros 10 ou 15 cm do perfil do solo, porém com poder de supressão da gramínea indicadora significativamente inferior ao do clomazone+hexazinona (Figura 1). O resultado encontrado no presente estudo é compatível ao do trabalho de VIVIAN et al. (2007), no qual se constatou que a ação da ametrina foi expressiva somente na camada de 0-10 cm de profundidade do solo.

Segundo PRATA et al. (2001), em geral, a ametrina apresenta elevada persistência no solo devido a sua baixa solubilidade e lenta degradação, o que a torna passiva de ser arrastada junto à água de escoamento superficial (erosão hídrica). Nesse contexto, os autores enfatizam que é preciso ter precaução reforçada no uso da ametrina para evitar contaminações de corpos d'água superficiais.

De acordo com VELINI et al. (2000), a ametrina pertence ao grupo das triazinas, tem caráter básico no solo, atua na inibição do fotossistema II e é facilmente absorvida por raízes e folhas. Além disso, quando se aplica ametrina em pós-emergência, há sintomas de clorose generalizada e subdesenvolvimento das plantas, e podem surgir lesões necróticas acentuadas nos pontos de contato dos tecidos com a calda de pulverização (PROCÓPIO et al., 2003).

O efeito supressor da mistura clomazone+hexazinona foi significativamente superior ao da ametrina na camada mais superficial das colunas de solo, 0-10 cm, independentemente da quantidade de água percolada (Figura 2). Porém, nas camadas de 10-20 cm e 20-35 cm, o clomazone+hexazinona diferiu significativamente da testemunha e da ametrina somente quando foram percolados 160 mm, evidenciando a expressiva suscetibilidade à lixiviação dessa mistura de herbicidas (Figura 2). Segundo RODRIGUES & ALMEIDA (2005), o clomazone é um herbicida do grupo das isoxazolidinonas, inibe a síntese de carotenos em tecidos vegetais e, apesar de apresentar solubilidade relativamente elevada, é adsorvido por colóides do solo em proporções altas, acarretando em baixo potencial de lixiviação. Por

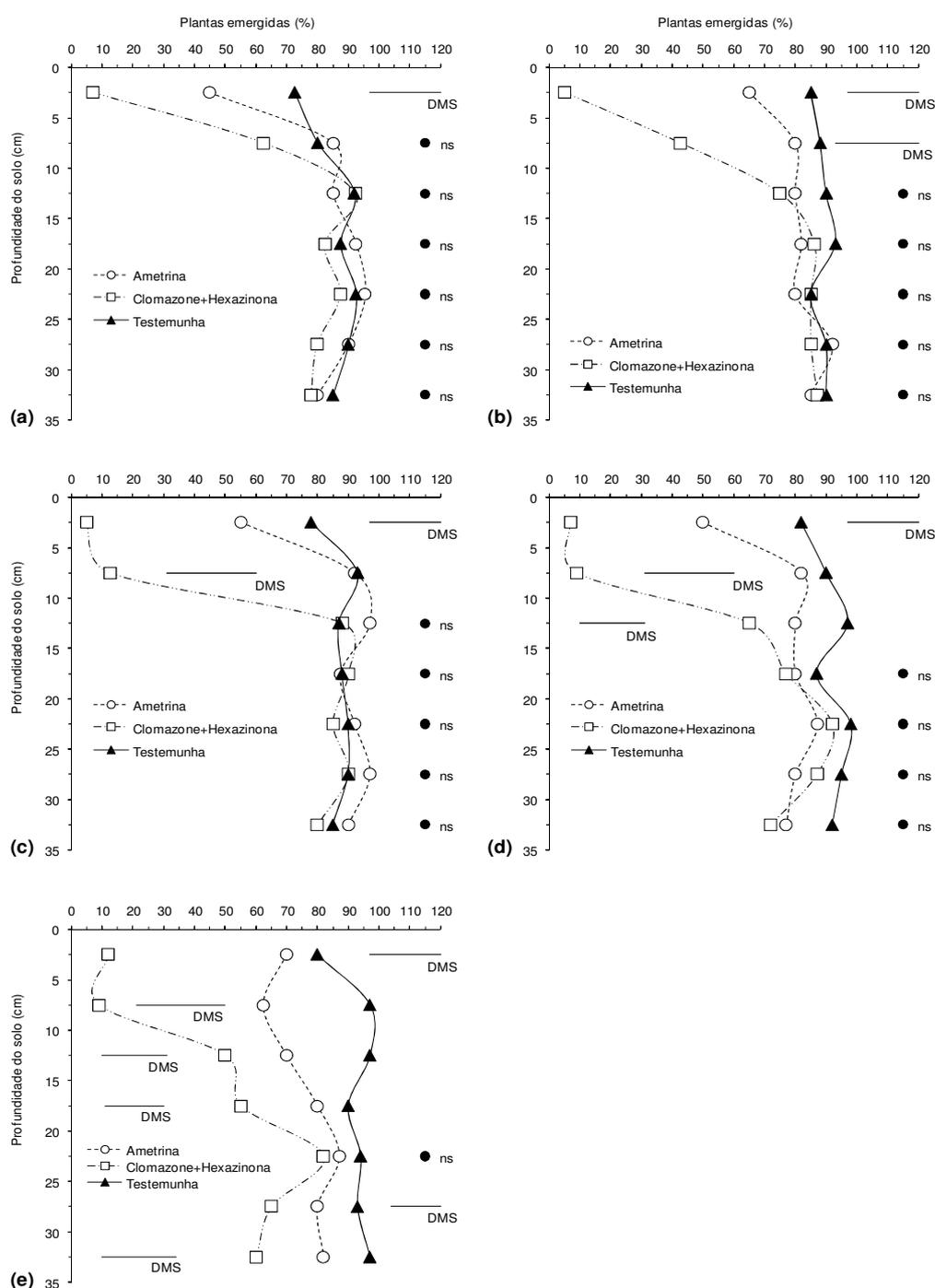
outro lado, a hexazinona, que é do grupo das triazinas, atua no fotossistema II e apresenta alta tendência à lixiviação no solo.

É preciso enfatizar que foi utilizada, no presente estudo, porção de solo coletada na camada de 0-20 cm de profundidade de um Argissolo distroférrico de textura média, que é bastante representativo de extensas áreas agricultáveis do oeste do Estado de São Paulo e do Brasil Central (IEA, 2011; EM-BRAPA, 1999). Além disso, nas regiões tropicais de predomínio de Latossolos e Argissolos de elevado grau de intemperização (FONTES et al., 2001), são frequentes os períodos de excesso de chuva nos meses de verão, que não raro superam 200 mm em poucas semanas (INOUE et al., 2003), indicando que há expressivo potencial de contaminação de corpos d'água em razão do uso inadequado de produtos fitossanitários.

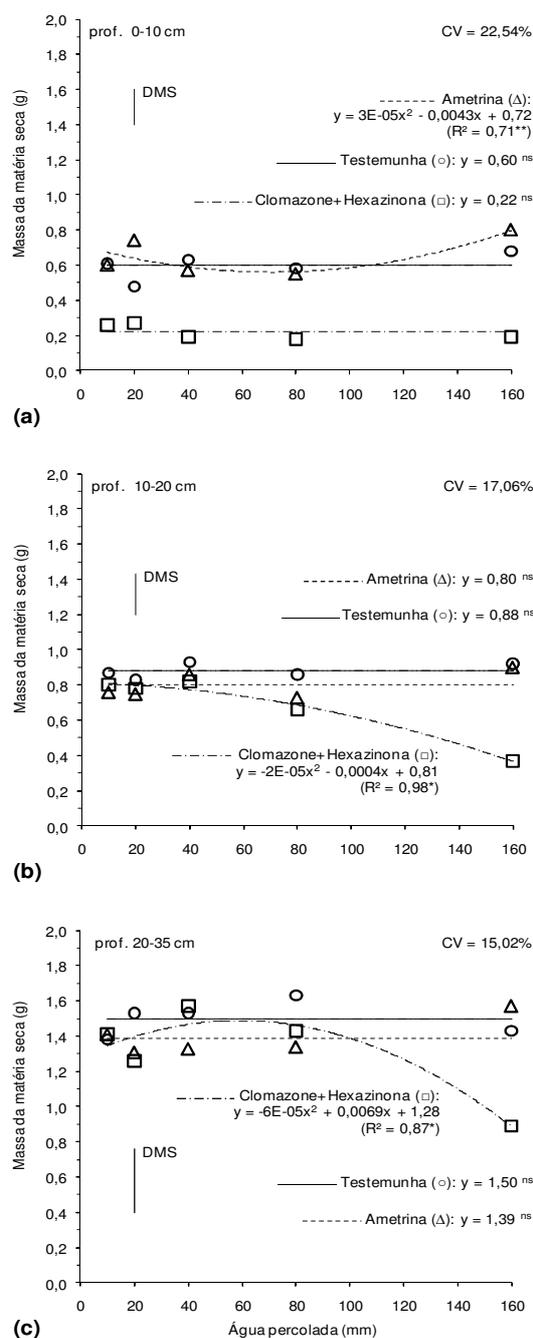
Segundo a empresa DU PONT (2007), a mistura clomazone+hexazinona é recomendada para aplicações em pré-emergência na cultura da cana-de-açúcar, na situação denominada de "soca-seca", ou seja, durante os meses de inverno no Brasil Central, onde predominam os períodos prolongados de estiagem ou de índices pluviométricos relativamente baixos. A solubilidade do clomazone em água é de  $1.100 \text{ mg L}^{-1}$ , e a da hexazinona é de  $32.000 \text{ mg L}^{-1}$ , muito superiores à da ametrina, que é de  $200 \text{ mg L}^{-1}$  (RODRIGUES & ALMEIDA, 2005).

GOSS (1992) relata que, quanto maior for a solubilidade de um determinado herbicida, maior será seu poder de dissociação na solução do solo para que haja controle efetivo de plantas daninhas, influenciando fortemente o manejo químico; contudo, herbicidas de alta solubilidade têm maior tendência à lixiviação. O autor ressalta que é preciso considerar outras características dos ingredientes ativos, como o coeficiente de partição octanol-água ( $K_{ow}$ ) e o coeficiente de adsorção à matéria orgânica do solo ( $K_{oc}$ ).

O  $K_{ow}$  refere-se ao grau de afinidade da molécula de herbicida pelas fases polar (representada pela água) e apolar (representada pela substância 1-octanol). Por ser uma medida da lipofilicidade de moléculas, essa propriedade é utilizada para medir a atividade de herbicidas na solução do solo, ou seja, o quanto da molécula está livre em água (fase polar) ou associada a outras substâncias orgânicas em solução (fase apolar) (OLIVEIRA et al., 2001). Por sua vez, o  $K_{oc}$  permite estimar a quantidade sorvida de uma dada substância por unidade de carbono orgânico, índice que serve para comparar a disponibilização de produtos fitossanitários no solo (VIEIRA et al., 1999).



**Figura 1** - Percentagem de plantas de sorgo emergidas aos 20 dias após a sementeira, ao longo do perfil do solo que recebeu ametrina (○), clomazone+hexazinona (□) e testemunha de ausência de herbicida (▲), em razão da percolação de 10 (a), 20 (b), 40 (c), 80 (d) e 160 (e) mm de água. DMS: Diferença mínima significativa para comparar tratamentos dentro de cada camada de 0-5, 5-10, 10-15, 15-20, 20-25, 25-30 e 30-35 cm de profundidade do solo, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. ns: não significativo. *Sorghum plants emerged 20 days after sowing (%)*, after application of ametryn (○), clomazone + hexazinone (□), and without herbicide (control) (▲), with percolation of 10 (a), 20 (b), 40 (c), 80 (d), and 160 (e) mm of water. DMS: minimum significant difference by Tukey test ( $p \leq 0,05$ ) to the depths of 0-5, 5-10, 10-15, 15-20, 20-25, 25-30, and 30-35 cm in soil. ns: not statistically significant.



**Figura 2** - Massa da matéria seca da parte aérea das plantas de sorgo aos 20 dias após a semeadura, nas camadas de 0-10 (a), 10-20 (b) e 20-35 cm (c) de profundidade do solo que recebeu ametrina, clomazone+hexazinona e testemunha de ausência de herbicida, em razão da percolação de água. CV: coeficiente de variação; DMS: diferença mínima significativa, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. \*\* e \* significativo a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente; ns: não significativo. *Sorghum shoots dry matter 20 days after sowing, in the layers of 0-10 (a), 10-20 (b), and 20-35 cm (c) depth of soil, after application of ametryn (□), clomazone+hexazinone (□) and without herbicide (control) (○), with different amounts of water percolated. CV: coefficient of variation, DMS: minimum significant difference by Tukey test ( $p \leq 0,05$ ). \*\* and \* significant at 1% and 5% levels of probability, respectively. ns: not statistically significant.*

Segundo NICHOLLS (1998), quanto menor for o valor de Kow do herbicida, maior será o seu potencial de lixiviação; em contrapartida, quanto maior for o Koc, maior será sua sorção no solo. Portanto, nos solos ricos em matéria orgânica (MO), raramente ocorrem perdas excessivas de herbicidas por lixiviação, porém há menor disponibilização dos ingredientes ativos na solução do solo, o que pode comprometer o controle químico (GOSS, 1992).

De acordo com PIASAROLO (2006), na interação entre moléculas de produtos fitossanitários e coloides do solo, estão envolvidos processos de adsorção e absorção, em que a adsorção é definida como a retenção das moléculas na superfície das partículas sólidas, e a absorção refere-se à transferência das substâncias dissolvidas na solução do solo para dentro dos coloides e dos microrganismos. O autor ressalta que, devido às dificuldades práticas de se separar as porções de moléculas que sofrem adsorção ou absorção, o termo sorção é utilizado para expressar a quantidade de ingrediente ativo que fica presa ao solo.

Nas regiões tropicais do Brasil Central, em geral, os solos agrícolas apresentam teores de MO relativamente baixos e são constituídos por minerais de argila de baixa reatividade (FONTES et al., 2001), o que implica maior tendência de perda de produtos fitossanitários por lixiviação e/ou por arraste superficial, reforçando a necessidade de ampliar estudos sobre o manejo químico em lavouras nessas regiões, do ponto de vista de impacto ambiental.

Segundo INOUE et al. (2003) e RODRIGUES & ALMEIDA (2005), seguem algumas propriedades físico-químicas dos herbicidas utilizados no presente trabalho: ametrina com 300 mL g<sup>-1</sup> de Koc, 427 mL g<sup>-1</sup> de Kow e 200 mg L<sup>-1</sup> de solubilidade em água; clomazone com 350 mL g<sup>-1</sup> de Koc, 300 mL g<sup>-1</sup> de Kow e 1.100 mg L<sup>-1</sup> de solubilidade em água; e hexazinona com 34 mL g<sup>-1</sup> de Koc, 11,3 mL g<sup>-1</sup> de Kow e 32.000 mg L<sup>-1</sup> de solubilidade em água.

Com base nos valores de Koc, Kow e solubilidade dos ingredientes ativos clomazone+hexazinona (INOUE et al., 2003; RODRIGUES & ALMEIDA, 2005), sugere-se que tais moléculas sofreram segregação no perfil do solo em razão da percolação de água, ou seja, o clomazone, provavelmente, atuou mais fortemente nos primeiros centímetros do perfil, e a hexazinona pode ter sido mais efetiva na supressão da gramínea indicadora nas camadas abaixo de 10 cm de profundidade do solo.

Segundo GOSS (1992), herbicidas que apresentam valores de Koc inferiores a 300 mL g<sup>-1</sup>, ficam fortemente sorvidos aos coloides orgânicos nos primeiros centímetros do perfil do solo, e por isso apresentam maior potencial de perda pela ação das enxurradas (escorrimento superficial ou erosão hídrica). Em contrapartida, moléculas que têm Koc relativamente baixo são menos sorvidas aos coloides do solo, resultando em maior propensão à lixiviação em profundidade, como é o caso da hexazinona (ARMAS et al., 2005).

Portanto, a recomendação da mistura clomazone+hexazinona para o manejo de plantas daninhas nas "socas-secas" de cana (DU PONT, 2007), provavelmente se deve ao fato de esses ingredientes ativos possuírem características físico-químicas distintas e complementares quanto ao comportamento no perfil do solo, ampliando a capacidade de controle de invasoras, pois o clomazone apresenta solubilidade relativamente baixa e sorção relativamente alta no solo, ao contrário da hexazinona que tem alta solubilidade e baixa sorção.

Diante do exposto, depara-se com a necessidade de aprimorar critérios de uso de herbicidas pré-emergentes em razão do potencial de lixiviação no solo, e especificamente na cultura da cana-de-açúcar deve-se ter ainda mais precaução, visto que há complicações decorrentes da sazonalidade das chuvas para as diferentes situações de lavoura, como, por exemplo: cana-planta de ano, cana-planta de ano e meio, manejo em pós-colheita de soqueiras "secas" (meses de elevada estiagem no meio da safra) e "úmidas" (meses mais chuvosos de início e final de safra), além de outros fatores, como textura do solo, palhada, etc.

Relatam-se duas situações críticas de interação entre dinâmica da água e persistência de herbicidas no solo: (1) quando há arraste de ingrediente ativo pela enxurrada, podendo contaminar corpos d'água superficiais e causar desuniformidade de deposição no solo; e (2) quando há lixiviação em profundidade, podendo contaminar lençóis freáticos e acarretar em subdose de ingrediente ativo nos primeiros centímetros do perfil (RAO et al., 1983; PRATA et al., 2001).

No trabalho de PFEUFFER & RAND (2004), foram realizados monitoramentos periódicos de produtos fitossanitários, entre 1992 e 2001, no sul da Flórida, nos EUA, e revelou-se que os herbicidas ametrina e atrazina foram os que mais frequentemente contaminavam corpos d'água superficiais. Argumentou-se que tais ingredientes ativos eram largamente utilizados em culturas

gramíneas como o arroz, o trigo, a cana-de-açúcar, o milho, etc., associado à solubilidade relativamente baixa dessas moléculas, justificando a contaminação de corpos d'água superficiais.

É importante reforçar que, quando determinados produtos fitossanitários sofrem lixiviação e são retirados dos primeiros centímetros do perfil do solo, onde há maior teor de MO e elevada atividade microbiana (maior degradação), a persistência de tais substâncias no ambiente pode ser intensamente prolongada, podendo resultar em impactos ambientais e problemas de saúde pública de longo prazo (PRATA et al., 2000; ALBUQUERQUE et al., 2001).

### Conclusão

A mistura de herbicidas clomazone+hexazinona tem potencial de supressão expressivamente superior ao da ametrina, mesmo em condições de elevada percolação de água no solo.

Após 160 mm de água percolada e drenagem livre, não há lixiviação de ametrina para camadas abaixo de 20 cm de profundidade no solo.

O clomazone+hexazinona é detectado abaixo de 20 cm no perfil do solo somente quando há 160 mm de água percolada.

### Referências

- 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*, Viçosa, MG, v.25, n.1, p.179-188, 2001.
- ARMAS, E. D.; MONTEIRO, R. T. R.; AMÂNCIO, A. V.; CORREA, R. M. L.; GUERCIO, M. A. Uso de agrotóxicos em cana-de-açúcar na bacia do rio Corumbataí e o risco de poluição hídrica. *Química Nova*, São Paulo, v.28, n.2, p.975-982, 2005.
- BANKS, P. A.; ROBINSON, E. L. Soil reception and activity of acetochlor and metolachlor as affected by wheat (*Triticum aestivum*) straw and irrigation. *Weed Science*, Champaign, v.34, n.4, p.607-611, 1986.
- BANKS, P. A.; ROBINSON, E. L. The fate of oryzalin applied to straw-mulched and nonmulched soils. *Weed Science*, Champaign, v.36, n.2, p.405-410, 1984.
- BANKS, P. A.; ROBINSON, E. L. The influence of straw mulch on the soil reception on persistence of metribuzin. *Weed Science*, Champaign, v.30, n.2, p.164-168, 1982.
- BRASIL Ministério da Agricultura. Regras para análises de sementes, 1992. 365 p.
- CAETANO, L. C. S.; COSTA, L. M. da; FREITAS, S. P.; SANTOS, A. M. B.; FONTES, L. E. F. Adsorção e lixiviação do herbicida napropamida em dois Latossolos. *Ciência Prática*, Lavras, v.19, n.2, p.129-134, 1995.
- CARTER, A. D. Herbicide movement in soils: principles, pathways and processes. *Weed Science*, Champaign, v.40, n.1, p.113-122, 2000.
- CHRISTOFFOLETI, P. J.; LOPEZ OVEJERO, R. F. Dinâmica dos herbicidas aplicados ao solo na cultura da cana-de-açúcar. Piracicaba: BASF, 2005. 49p.
- DEUBER, R. Botânica das plantas daninhas. In: DEUBER, R. *Ciência das plantas daninhas*. Jaboticabal: FUNEP, 1992. p.31-73
- DU PONT. Recomendações técnicas do herbicida Ranger. Disponível em: <<http://www.dupont.com.br>>. Acesso em: 19 jun. 2007.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412p.
- FONTES, M. P. F.; CAMARGO, O. A.; SPOSITO, G. Eletroquímica das partículas coloidais e sua relação com a mineralogia de solos altamente intemperizados. *Scientia Agricola*, Piracicaba, v.58, n.3, p.627-646, 2001.
- GELMINI, G. A. Herbicidas: indicações básicas. 2 ed. São Paulo: Fundação Cargill, 1988. 334p.
- GOSS, D. W. Screening procedure for soils and pesticides for potential water quality impacts. *Weed Technology*, Champaign, v.6, n.4, p.701-708, 1992.
- IEA. Instituto de Economia Agrícola. Anuário IEA 2010. Série Informações Estatísticas da Agricultura, São Paulo, v.22, p.1-127, 2011.

- INOUE, M. H.; OLIVEIRA JR., R. S.; REGITANO, J. B.; TORMENA, C. A.; TORNISIELO, V. L.; CONSTANTIN, J. Critérios para avaliação do potencial de lixiviação dos herbicidas comercializados no estado do Paraná. *Planta Daninha*, Londrina, v.21, n.2, p.313-323, 2003.
- KUVA, M. A.; GRAVENA, R.; PITELLI, R. A.; CHRISTOFFOLETI, P. J.; ALVES, P. L. C. A. Períodos de interferência das plantas daninhas na cultura da cana-de-açúcar. III - capim brachiaria (*Brachiaria decumbens*) e capim colônia (*Panicum maximum*). *Planta Daninha*, Londrina, v.21, n.1, p.37-44, 2003.
- LORENZI, H. Plantas daninhas e seu controle na cultura da cana-de-açúcar. In: SEMINÁRIO DE TECNOLOGIA AGRONÔMICA, 4 1988, Piracicaba: Anais...Piracicaba COPERSUCAR, 1988. p.281-301.
- 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, 1988. p.87-132.
- OLIVEIRA, M. F.; ALVARENGA, R. C.; OLIVEIRA, A. C.; CRUZ J. C. Efeito da palha e da mistura atrazine e metolachlor no controle de plantas daninhas na cultura do milho, em sistema de plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.36, n.1, p.37-41, 2001.
- PFEUFFER, R. J.; RAND, G. M. South Florida ambient pesticide monitoring program. *Ecotoxicology*, v.13, n.3, p.195-205, 2004.
- PIASAROLO, L. Influência da polaridade de pesticidas não-iônicos sobre sua sorção em um latossolo. 2006. 41f. Tese (Mestrado em Agroquímica e Agrobioquímica) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2006.
- PRATA, F. ; LAVORENTI, A.; REGITANO, J. B.; TORNISIELO, V. L. Degradação e sorção de ametrina em dois solos com aplicação de vinhaça. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.36, n.7, p.975-981, 2001.
- PRATA, F.; LAVORENTI, A. Comportamento de herbicidas no solo: influência da matéria orgânica. *Revista Biociências*, Taubaté, v.6, p.2, p.17-22, 2000.
- PROCÓPIO, S. O.; DA SILVA, A. A.; VARGAS, L.; FERREIRA, F. A. Manejo de plantas daninhas na cultura da cana-de-açúcar. Viçosa: Editora UFV, 2003. 150p.
- RAIJ, B. van.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 284p.
- RAO, P. S. C.; JESSUP, R. E.; DAVIDSON, J. M. Mass Flow and Dispersion. In: GROVER, R. (Ed.) *Environmental chemistry of herbicides*. Boca Raton: CRC Press, 1983. v. 1, p.21-44.
- RODRIGUES, B. N.; ALMEIDA, F. S. Guia de herbicidas. Londrina: IAPAR, 2005. 592p.
- SENESI, N.; BRUNETTI, G.; LA CAVA, P. Adsorption of alachlor by humic acids from sewage and amended and nonamended soils. *Soil Science*, Baltimore, v.157, n.3, p.176-184, 1994.
- SILVA, A. A.; FERREIRA, F. A.; FERREIRA, L. R. Manejo de plantas daninhas. Viçosa: DFT/UFV - ABEAS, 2005. 203p.
- SOUZA, I. F. Comportamento dos herbicidas no solo. *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, v.8, n.87, p.38-44, 1982.
- VELINI, E. D.; MARTINS, D.; MANOEL, L. A.; MATSUOKA, S.; TRAVAIN, J. C.; CARVALHO, J. C. Avaliação da seletividade da mistura de oxyfluorfen e ametryne, aplicada em pré e pós-emergência, a dez variedades de cana-de-açúcar (cana planta). *Planta Daninha*, Rio de Janeiro, v.18, n.2, p.123-134, 2000.
- VIEIRA, E. M.; PRADO, A. G. S.; LANDGRAF, M. D.; REZENDE, M. O. Estudo da adsorção/dessorção do ácido 2,4 diclorofenoxiacético (2,4-D) em solo na ausência e presença de matéria orgânica. *Química Nova*, São Paulo, v.22, n.1, p.305-308, 1999.
- VIVIAN, R.; QUEIROZ, M. E. L. R.; JAKELAITIS, A.; GUIMARÃES, A. A.; REIS, M. R.; CARNEIRO, P. M.; SILVA, A. A. Persistência e lixiviação de ametrina e trifloxysulfuron-sodium em solo cultivado com cana-de-açúcar. *Planta Daninha*, Rio de Janeiro, v.25, n.1, p.111-124, 2007.