

# PERSISTÊNCIA E LIXIVIAÇÃO DO HERBICIDA AMETRINA EM SOLO BARRENTO CULTIVADO COM CANA-DE-AÇÚCAR<sup>1</sup>

F.M. García Blanco<sup>2</sup>, H. García Blanco, M.T.A. Minhoni, T.R. Machado, E.D. Vellini

<sup>2</sup>Seção de Herbicidas, Instituto Biológico, CP 70, CEP 13001-970, Campinas, SP, Brasil.

## RESUMO

Como contribuição para a construção nas condições brasileiras do perfil ecotoxicológico da ametrina, foram monitorados seus resíduos por meio de cromatografia gasosa, durante um ano após a sua aplicação em um solo podzol vermelho-amarelo de textura barrenta plantado com cana-de-açúcar, com o objetivo de determinar a sua persistência e lixiviação no solo. O experimento foi conduzido na Estação Experimental do Instituto Biológico, Campinas, SP, empregando-se um fatorial 8 X 5, "épocas de amostragem do solo" X "profundidades de amostragem", quatro repetições para os procedimentos experimentais no campo, reduzidas para duas nas determinações analíticas. O solo recebeu o tratamento de 4,0 kg/ha de ametrina em 7 de abril de 1992. Os resultados demonstraram que a maior concentração do herbicida localiza-se na camada superficial do solo (0-10 cm de profundidade), onde persiste até 195 dias após o tratamento. Amostras de solo retiradas um ano após não apresentaram resíduos de ametrina. A curva de persistência do produto foi representada por uma equação exponencial do 2º grau, para a camada de 0-10 cm de profundidade. Foram encontrados resíduos de ametrina nas camadas de solo à profundidade de 10-20 cm e 20-30 cm, até 33 dias depois do tratamento; a lixiviação do herbicida não ultrapassou a profundidade de 30cm.

**PALAVRAS-CHAVE:** Resíduos, herbicida, mobilidade, ecotoxicologia, ametrina.

## ABSTRACT

**PERSISTENCE AND LEACHING OF AMETRYNE IN SOIL WITH SUGAR-CANE CROP.** The persistence and the leaching of ametryne was investigated under field conditions in Campinas, SP, in a loamy podzol red-yellow soil planted with sugar-cane crop. The ametryne was applied at the rate of 4.0 kg/ha after sugar-cane planting and pre emergence of weeds in 1992 April seventh. Gas chromatography analyses of soil samples collected at five depths (0-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm, 30-40 cm and 40-50 cm) eight times at after the herbicide application over a year showed that the greatest ametryne concentration stayed at the 0-10 cm layer; ametryne residues were not found under 30 cm of soil depth and the persistence curve of the herbicide was accounted for by 2nd grade regression. A year after the treatment no ametryne residues were found in the soil.

**KEY WORDS:** Residues, herbicides, movement, ecotoxicology, ametryne.

## INTRODUÇÃO

Em ecotoxicologia a persistência de um agrotóxico no meio ambiente é medida pelo tempo em que o seu resíduo permanece no mesmo, tendo ou não atividade biológica.

Por definição a persistência dos herbicidas no solo

pode ser de três tipos, de acordo com o método de determinação: *persistência biológica*, *agronômica* e *química*. A persistência biológica determina por métodos biológicos (bioensaios) o tempo do efeito do resíduo sobre seres vivos (bioatividade); nesse caso a persistência agronômica é uma persistência biológica

<sup>1</sup>Parte da dissertação de Mestrado apresentada à Universidade do Estado de São Paulo, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu, SP, pelo primeiro autor.

particularizada, pois, mede o tempo que o resíduo do herbicida permanece no solo com atividade sobre plantas cultivadas, seja em um sistema de sucessão ou rotação de culturas. A persistência química diz respeito ao tempo que o resíduo permanece no solo passível de ser detectado por métodos químicos ou radiométricos.

Um dos testes que tem contribuído para a construção do perfil ecotoxicológico são os ensaios de campo para verificar a persistência, o acúmulo, a dissipação e a mobilidade destes produtos no solo.

Diversos trabalhos de monitoramento de resíduos de agrotóxicos têm sido realizados em países desenvolvidos. KENAKA (1977), por exemplo, relata os resultados de análises de resíduos de 130 diferentes agrotóxicos aplicados em solos agrícolas, em culturas anuais de 43 estados dos Estados Unidos da América. Dos 130 produtos, somente 24 foram encontrados nos solos à época da colheita, sendo 6 herbicidas, 5 inseticidas fosforados, 11 inseticidas clorados, e dois a base de arsênico. Dos herbicidas encontrados a simazina e a atrazina, ambas do grupo das triazinas, persistiram no solo por um período de até 12 e 10 meses, respectivamente.

LEON *et al.* (1978), nas condições edafoclimáticas de Porto Rico, em aplicações de ametrina durante seis anos consecutivos na cultura da cana-de-açúcar, encontraram 1,1 mg/kg do herbicida após 240 dias da última aplicação. Para os autores esses resultados foram causados por forte adsorção do produto (50 a 78%) por argila montmorilonita (tipo 2:1).

LUI & SANTIAGO-CORDOVA (1991), estudando a persistência da ametrina em condições de casa de vegetação, utilizando como planta-teste o pepino, determinaram a persistência de 60 dias. BLANCO & OLIVEIRA (1987), nas condições climáticas de São Paulo, encontraram persistência biológica até 60 dias, não sendo mais revelada a partir de 90 dias, para os herbicidas atrazina, ametrina e simazina, quando aplicados em setembro/outubro, e 210 dias (BLANCO & OLIVEIRA, 1989), para pulverização de abril-maio. Ambos os experimentos foram conduzidos em solos argilosos cultivados com cana-de-açúcar.

Assim, como contribuição ao conhecimento do perfil ecotoxicológico da ametrina, um herbicida do grupo das triazinas de largo uso na cultura da cana-de-açúcar, foi conduzido um experimento de campo para o monitoramento de resíduos do produto durante 360 dias, em diversas profundidades, até 50cm do perfil do solo.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Ensaio de campo

O experimento foi conduzido na Estação Experimental de Campinas, Seção de Herbicidas, Instituto Biológico, localizada no município de Campinas, SP, a 22° 54' latitude Sul, 47° 04' longitude Oeste e altitude 693 m, em um solo podzol vermelho-amarelo cujas características se encontram na Tabela 1.

O terreno de plantio foi preparado por meio de duas arações com arado de disco, seguidas de duas gradeações com grade niveladora de 28 discos.

A adubação consistiu em 500 kg/ha da fórmula 5-25-25, aplicada na linha de plantio.

O experimento foi iniciado em 6 de abril de 1992 com o plantio da cana-de-açúcar, var. RB72-454, em sulcos espaçados de 1,30 m entre si, na quantidade de 6 ton/ha de toletes.

A ametrina foi aplicada em área total, em 7 de abril de 1992, um dia após o plantio da cana-de-açúcar e em pré-emergência das plantas, utilizando-se o Gesapax 500 como produto comercial, formulado como solução concentrada contendo 500 g de ametrina por litro, na dose de 8,0 l/ha (4,0 kg/ha de ametrina), o que corresponde a cerca de 60% a mais da dose usual indicada (RODRIGUES & ALMEIDA, 1995).

Na aplicação utilizou-se um pulverizador costal, à pressão constante fornecida por CO<sub>2</sub> (45 lb/pol<sup>2</sup>), munido com barra de quatro bicos 1004, projetando uma faixa de aplicação de 2,5 m com vazão de 400 l/ha. A aplicação ocorreu com o solo apresentando 10,20% de umidade, e condições de 22,2°C de temperatura do ar, 65% de umidade relativa do ar e vento a 2,10 km/h.

Como tratamento controle (teste em branco), para verificar a existência de resíduos de ametrina no local, foram retiradas 10 amostras de terra/profundidade da área experimental, dois dias antes da aplicação do herbicida, nas profundidades de 0-10, 10-20, 20-30, 30-40 e 40-50 cm.

O delineamento experimental adotado foi um fatorial 8 "épocas de amostragem" X 5 "profundidades de amostragem", quatro repetições, distribuídas em blocos ao acaso. As épocas de amostragem foram: 0 dia (cinco horas após a aplicação), 15 dias após o tratamento (DAT), 33 DAT, 64 DAT, 96 DAT, 140 DAT, 195 DAT e 360 DAT; como profundidade de coleta das

Tabela 1 - Características físicas e químicas do perfil do solo do local do experimento.\*

| Profundidade (cm) |  | Análise granulométrica (%) |       |            |              | Classe e Sub-classe textural |  |  |  |  |  |  |
|-------------------|--|----------------------------|-------|------------|--------------|------------------------------|--|--|--|--|--|--|
|                   |  | Argila                     | Silte | Areia fina | Areia grossa |                              |  |  |  |  |  |  |
| 0-10              |  | 22,7                       | 12,9  | 42,9       | 21,3         | Barrento/Barrento            |  |  |  |  |  |  |
| 10-20             |  | 25,1                       | 8,6   | 33,7       | 32,5         | Barrento/Barrento            |  |  |  |  |  |  |
| 20-30             |  | 27,2                       | 9,5   | 37,5       | 25,6         | Barrento/Barrento            |  |  |  |  |  |  |
| 30-40             |  | 27,4                       | 8,1   | 34,7       | 29,6         | Barrento/Barrento            |  |  |  |  |  |  |
| 40-50             |  | 26,6                       | 10,0  | 33,2       | 30,0         | Barrento/Barrento            |  |  |  |  |  |  |

| mEq/100 mL TFSA |                      |                     |        |              |      |     |     |    |         |       |      |  |
|-----------------|----------------------|---------------------|--------|--------------|------|-----|-----|----|---------|-------|------|--|
| Prof. (cm)      | pH CaCl <sub>2</sub> | pH H <sub>2</sub> O | M.O. % | P (res.) ppm | K    | Ca  | Mg  | Al | S valor | CTC   | V %  |  |
| 0-10            | 6,2                  | 6,7                 | 1,03   | 97           | 0,48 | 6,7 | 3,0 | -  | 10,18   | 11,88 | 85,6 |  |
| 10-20           | 6,5                  | 7,2                 | 0,86   | 148          | 0,22 | 7,7 | 2,5 | -  | 10,42   | 12,32 | 84,5 |  |
| 20-30           | 6,5                  | 7,3                 | 0,34   | 117          | 0,16 | 5,6 | 1,9 | -  | 7,66    | 9,46  | 80,9 |  |
| 30-40           | 6,3                  | 7,2                 | 0,34   | 11           | 0,19 | 4,3 | 1,7 | -  | 6,19    | 8,19  | 75,5 |  |
| 40-50           | 6,1                  | 7,1                 | 0,34   | 8            | 0,17 | 3,6 | 1,3 | -  | 5,07    | 7,17  | 70,7 |  |

\*Realizadas no ICASA, Campinas, segundo metodologia de CAMARGO *et al.* (1986).

amostras foram adotados cinco faixas: 0-10, 10-20, 20-30, 30-40 e 40-50 cm.

Os blocos foram constituídos de 12 linhas de plantio de cana-de-açúcar com 5 metros, correspondendo cada bloco a uma área de 84,5 m<sup>2</sup>. Nas oito entrelinhas centrais de cada bloco, casualizadas como épocas de amostragem, foram coletadas para cada profundidade do fatorial, cinco sub amostras de terra. Foi utilizado um trado tipo meia-cana de aço inoxidável, próprio para coleta de solo, apresentando 2,3 cm de diâmetro por 60 cm de comprimento, graduado com subdivisões de 10 cm. Cada entrelinha foi considerada como parcela.

A terra das cinco sub amostras/parcela de cada época foi misturada de acordo com a faixa de profundidade e a ordem de cada bloco, resultando em uma amostra/profundidade/época/parcela. Para os procedimentos analíticos o material do Bloco I foi reunido ao do Bloco III e o do Bloco II com o do Bloco IV, reduzindo-se assim para duas amostras compostas de terra/profundidade/época, de modo a se ter duas repetições. Foram utilizados, para possíveis explicações do comportamento do herbicida no solo os dados climáticos da estação meteorológica localizada na Estação Experimental do Instituto Agrônomo de Campinas, cerca de 7 km do local do experimento, e que são apresentados na figura 1.

### Análise de resíduos

As amostras de solo permaneceram armazenadas à temperatura de 15°C negativos até a execução das análises de resíduo, quando então foram secas à temperatura ambiente, moídas e peneiradas em malha de 0,2 mm (TFSA).

O método utilizado para a determinação analítica de resíduos foi o descrito por RAMSTEINER *et al.* (1974), para multiresíduos de triazinas em água, solo e plantas.

Para a análise da ametrina foram retiradas 25 a 30g da amostra de terra com 20% p/p de umidade, adicionando-se 100 mL de metanol por duas horas em um extrator de solo. Posteriormente, transferiu-se o extrato total para um funil de separação de 500 mL, adicionaram-se mais 20 mL de solução aquosa saturada de cloreto de sódio e duas porções de 100 mL de cloreto de metileno completando-se o volume com água destilada no mesmo volume do extrato. Após a separação das fases, os extratos de cloreto de metileno combinados foram secados com sulfato de sódio anidro e evaporados até a secura, em evaporador rotativo. Adicionou-se um volume conhecido de hexano/etanol (1:1) ao resíduo do evaporador e procedeu-se às análises.

A coluna cromatográfica foi preenchida com 25 g de alumina básica grau V, adicionando n-hexano, produzindo-se uma coluna empacotada de pelo menos 7 cm de altura. O extrato oriundo da extração foi dissolvido em 5 mL de tolueno, transferido para a coluna e lavado duas vezes com 40 mL de n-hexano. Continuou-se a eluição com 75 mL de n-hexano/éter etílico na proporção de 2:1, com um fluxo de 5 mL/minuto. O eluato foi coletado em um frasco de 250 mL e, posteriormente, seco em rotavapor.

Utilizou-se uma coluna de vidro com diâmetro interno de 2 mm, comprimento de 2000 mm, e empacotada com Carbowax 200M 3% sobre GasChrom Q 80-100 mesh; o detector foi o de ionização de chama alcalino, específico para compostos contendo Nitrogênio e Fósforo (DICA).

As condições analíticas foram: temperaturas: coluna, 200°C; injetor, 220°C; detector, 250°C. Os fluxos de gases foram: nitrogênio, 30,0 mL/minuto; hidrogênio, 3,50 mL/minuto; ar, 110,0 mL/minuto; tempo de retenção de 4,6 minutos. O limite de detecção foi de 0,05 mg/kg de solo, com recuperação de 95%.

Foram preparadas três soluções padrão de ametrina diluída em hexano-etanol (1:1). Antes da análise de uma série de amostras provenientes da extração, foram injetadas no cromatógrafo alíquotas de 3 µL de cada solução padrão, de forma a se obter no cromatograma diferentes picos em função de cada concentração injetada, calculando-se a curva de calibração por regressão, permitindo calcular a concentração das amostras pela medida da altura (mm) do seu pico obtido no cromatograma.

Os resultados analíticos foram submetidos à análise de regressão polinomial em função das épocas de amostragem e das faixas de profundidade do solo.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados analíticos do “teste em branco” não acusaram resíduos de ametrina em quaisquer faixas de profundidade do perfil do solo na área experimental.

A Tabela 2 apresenta os valores médios de resíduos de ametrina nas profundidades de 0-10, 10-20, 20-30, 30-40 e 40-50 cm, monitorados durante um ano após à aplicação no campo, os valores totais e remanescentes no perfil estudado, bem como a taxa de dissipação em função do tempo.

Observa-se, inicialmente, que se considerarmos a massa de um hectare à profundidade de 10 cm, sendo a densidade do solo igual a 1,2 g/cm<sup>3</sup>, a dose aplicada de 4,0 kg/ha deveria produzir, teoricamente, uma concentração de 3,3 mg de ametrina/kg de solo, valor superior ao detectado na amostragem inicial (0 DAT) de 1,445 mg. Em condições de campo este fato tem sido observado com frequência e essas perdas dos pesticidas durante a aplicação têm sido atribuídas a diversos fatores como a natureza do produto, a formulação, as condições atmosféricas, os métodos de aplicação, o tamanho da gota, as condições de umidade e natureza do solo, e outros (GUENZI & BEARD, 1974; SMITH & WIESE, 1973; HOLLIST & FOY, 1971; PLIMER, 1976, entre outros). No caso das triazinas, KEARNEY *et al.* (1964) observaram que a ametrina sofre uma perda por volatilização, na ordem de 50 a 80%, após 4 horas da aplicação em discos metálicos; em solo úmido de textura arenosa, observaram perdas de 30% por volatilização após 4 a 5 horas da aplicação, concluindo que o fenômeno é diretamente proporcional ao conteúdo de umidade no solo e inversamente ao teor de matéria orgânica do solo. Assim, nas condições do experimento, a concentração de 1,445 mg de ametrina na amostra de terra retirada após 5 horas da aplicação pode ser considerado normal.

Pela Tabela 2, observa-se que aos 15 DAT a ametrina foi encontrada, além da profundidade de 0-10 cm, na faixa de 10-20 cm (0,075 mg/kg), e na faixa de 20-30 cm (0,08 mg/kg), aos 33 DAT. Verifica-se que foram necessários 33 dias para o produto atingir a faixa de 20-30 cm de profundidade. A partir de 64 dias a persistência do produto se restringiu à faixa de 0-10 cm.

A dissipação da ametrina foi bastante rápida logo após à aplicação do produto, principalmente nos primeiros 15 dias. Aos 33 dias o resíduo remanescente foi de 51,90%, significando uma dissipação de 48,91% da concentração inicial (0 DAT). Aos 64 dias apenas 14,18% do resíduo inicial foi encontrado; a menor taxa de dissipação foi no intervalo de 64 a 96 dias quando o resíduo remanescente passou de 14,18% para 13,15%. A partir de 64 DAT o processo de dissipação ocorreu de forma menos intensa atingindo 95,16% aos 195 DAT. 360 dias após a aplicação a ametrina não foi mais encontrada no solo, em níveis passíveis de serem detectados por cromatografia gasosa.

Se considerarmos apenas a camada de 0-10 cm do

Tabela 2 - Valores médios de resíduos de ametrina em mg/kg de solo em função da profundidade do solo e época de amostragem.

| Época de amostragem<br>Dias após o tratamento | Profundidade (cm) |       |       |       |       | Resíduo        |                   |                 |
|-----------------------------------------------|-------------------|-------|-------|-------|-------|----------------|-------------------|-----------------|
|                                               | 0-10              | 10-20 | 20-30 | 30-40 | 40-50 | Total<br>mg/kg | remanescente<br>% | Dissipação<br>% |
| 0*                                            | 1,445             | n.d.  | n.d.  | n.d.  | n.d.  | 1,445          | 100,00            | 0,00            |
| 15                                            | 0,830             | 0,075 | n.d.  | n.d.  | n.d.  | 0,905          | 62,63             | 37,37           |
| 33                                            | 0,565             | 0,105 | 0,08  | n.d.  | n.d.  | 0,705          | 51,90             | 48,91           |
| 64                                            | 0,205             | n.d.  | n.d.  | n.d.  | n.d.  | 0,205          | 14,18             | 85,82           |
| 96                                            | 0,190             | n.d.  | n.d.  | n.d.  | n.d.  | 0,190          | 13,15             | 86,85           |
| 140                                           | 0,090             | n.d.  | n.d.  | n.d.  | n.d.  | 0,090          | 6,22              | 93,78           |
| 195                                           | 0,070             | n.d.  | n.d.  | n.d.  | n.d.  | 0,070          | 4,84              | 95,16           |
| 360                                           | n.d.              | n.d.  | n.d.  | n.d.  | n.d.  | n.d.           | n.d.              | n.d.            |

n.d.: não detectável, isto é, abaixo do limite de detecção (0,05 mg/kg de solo).

\*: amostra retirada após 5 horas da aplicação.

Análise de regressão para a profundidade de 0-10 cm (resumo):

#### Persistência

| fonte de variação | GL | F       | R <sup>2</sup> |
|-------------------|----|---------|----------------|
| Reg. linear       | 1  | 29,58** | 0,65           |
| Reg. quadrática   | 1  | 11,43*  | 0,91           |
| Desvio            | 4  |         |                |

#### Dissipação

| fonte de variação | GL | F      | R <sup>2</sup> |
|-------------------|----|--------|----------------|
| Reg. linear       | 1  | 10,14* | 0,99           |
| Desvio            | 5  |        |                |

\*significativo a 5% de probabilidade

\*\* significativo a 1% de probabilidade

solo, verifica-se que o comportamento da ametrina foi semelhante àquele encontrado para todo o perfil trabalhado (Tabela 2).

As análises de regressão realizadas com os dados analíticos permitem traçar as curvas de persistência e dissipação da ametrina (Figs. 2 e 3), e determinar a sua meia-vida (20,02 dias) para a faixa de 0-10 cm de profundidade.

Com a 1ª derivada do modelo que define a persistência (Fig. 2), obtém-se a dissipação diária da ametrina, dividindo-se estes valores pela respectiva concentração diária (Fig. 2), multiplicando-se por 100, teremos os valores percentuais de dissipação diária, em função do nível de concentração encontrada no dia, de forma

a se ter a velocidade de dissipação da ametrina em porcentagem diária de dissipação (Fig. 4).

Observa-se que a velocidade de dissipação, não é constante e sim decrescente em função do tempo; isto em parte pode ser explicado pela degradação microbiana e adsorção da ametrina. No início, a concentração da ametrina na solução do solo sendo maior, as comunidades microbianas do solo podem utilizá-la como fonte energética e nutricional; com o passar do tempo a concentração diminui tornando mais difícil a utilização da molécula pelos microrganismos. Nesta situação haverá uma tendência da ametrina sofrer dessorção para a solução do solo, continuando a ser utilizada pelos microrganismos; com o tempo este processo fica cada vez mais difícil, vindo a ser mais lenta a dissipação da ametrina.

BLANCO & OLIVEIRA (1987), aplicando ametrina nas condições de abril no Estado de São Paulo, verificaram não mais existir persistência biológica a partir 210 dias, na profundidade de 0-10 cm do solo. Apesar de terem sido utilizados métodos diferentes na determinação da persistência, os dados aqui encontrados são muito semelhantes aos relatados por aqueles autores, pois, pela equação da figura 3 a taxa de dissipação foi de 97,50% a partir de 195 dias e o resíduo remanescente, calculado pela equação de persistência (Fig. 2), foi de 0,0718 mg de ametrina/kg de solo.

Sabe-se que para uma mesma área o modelo de persistência das triazinas será alterado pelo regime de chuvas: em condições prolongadas de seca, solos com

alta capacidade de troca catiônica inativarão rapidamente os herbicidas por adsorção coloidal, com posterior degradação por colônias microbianas que se desenvolvem na vizinhança dos colóides; se o solo permanecer com umidade próxima da capacidade de campo por muitos dias seguidos, as triazinas serão hidrolisadas com a formação de hidroxianálogos não fitotóxicos; por outro lado, chuvas bem distribuídas irão favorecer a presença de degradação biológica que, dependendo do grau de temperatura, irá aumentar o período de persistência das triazinas (temperaturas baixas), ou diminuir (temperaturas altas) (SHEETS, 1970; SHEETS & SHAW, 1964; KAUFMAN & KEARNEY, 1970, 1976; MARRIAGE *et al.*, 1975).

Pela figura 1 verifica-se que a distribuição das chuvas seguiu as normais pluviométricas para o Estado de São Paulo (BLANCO & GODOY, 1967), isto é, chuvas intensas e freqüentes a partir de setembro, o que correspondeu no experimento à época de 150 DAT; havendo um intervalo de 43 dias sem chuva (45 DAT a 88 DAT), e depois outro de cerca de 40 dias (92 DAT a 131 DAT). A temperatura média do período também acompanhou o esperado com picos de temperatura média mais baixas no inverno (90 e 107 DAT) e as mais elevadas no verão.

Para ALEXANDER (1965, 1977) a ocorrência da rápida decomposição microbiana dos herbicidas no solo está condicionada à presença de fatores como umidade do solo entre 50 a 100% da capacidade de campo, boa aeração, temperatura entre 27 a 32°C, índice pH de 6,5 a 8,0 e altos teores de matéria orgânica. É de se notar que, excetuando o teor de matéria orgânica, relativamente baixo, os dados climáticos registrados (Fig. 1), e as características químicas do solo (Tabela 1), estão próximos das condições consideradas ótimas para o bom desenvolvimento de populações microbianas que são responsáveis pelo rápido desaparecimento das triazinas no solo (GOSWAMI *et al.* 1975; COOK & HUTTER, 1988). Ressalta-se que até os 44 DAT a distribuição da chuva (Fig. 1) foi favorável a que o solo permanecesse sempre próximo a capacidade de campo. Por outro lado, a menor velocidade de dissipação da ametrina, dos 64 DAT a 96 DAT, se deu justamente no período de baixa precipitação pluviométrica (26,2 mm), o que de certa forma poderia reforçar a idéia que a degradação biológica da molécula foi responsável, em parte, pela dissipação da mesma. Acrescente-se que a temperatura média do ar

até 90 DAT esteve sempre, em geral, acima de 20°C, sendo a temperatura do solo dependente dessa temperatura e muito próxima a ela, principalmente nas camadas superficiais.

Considerando-se os baixos teores de argila e matéria orgânica (Tabela 1), bem como, o alto teor de umidade no solo nos primeiros 45 DAT, verifica-se que não haveria condições favoráveis para uma alta taxa de adsorção da ametrina, resultando em alta concentração na solução do solo e favorecendo a degradação tanto química como biológica.

Tabela 3 - Porcentagem de ionização da ametrina ( $pK_{(25^{\circ}C)} = 4,1$ ) em função do índice pH do solo.

| Faixa de profundidade (cm) | pH (água) | ionização % |
|----------------------------|-----------|-------------|
| 0-10                       | 6,7       | 0,250       |
| 10-20                      | 7,2       | 0,078       |
| 20-30                      | 7,3       | 0,063       |
| 30-40                      | 7,2       | 0,078       |
| 40-50                      | 7,1       | 0,099       |

Pela relação  $pK$  da ametrina e o índice pH de cada faixa de profundidade apresentada na Tabela 3, observa-se que a taxa de ionização da ametrina foi extremamente baixa, variando de 0,250% (0-10 cm) progressivamente até 0,099% (40-50 cm), o que significa, teoricamente, que a grande maioria das moléculas em contacto com a solução do solo não sofreu ionização, permanecendo em sua forma molecular, não sendo adsorvidas por troca de cátions, ou adsorvidas por forças não iônicas, ocasionando ligações mais fracas, menos resistentes à dessorção para a solução do solo.

É de se salientar que no período de 64 a 96 DAT o baixo teor de umidade no solo pode ter provocado uma forte adsorção das moléculas dos herbicidas pela fração coloidal do solo, mesmo não sendo esta alta, não permitindo assim a sua disponibilidade na solução do solo. GROVER (1966), THOMPSON JR. & SLIFE (1969) comprovaram experimentalmente este fenômeno: sob baixa condição de umidade do solo a bioatividade das triazinas é extremamente baixa porque esses compostos são fortemente adsorvidos pelas argilas. GROVER (1966) notou que adições de argila diminuem a atividade das triazinas apenas em condições de baixa umidade, sugerindo que as moléculas de água competiriam pelos pontos de adsorção da fração coloidal do solo. Estes pesquisadores verificaram, também, que em condições de pH baixo a

adsorção e, conseqüentemente, a inatividade das triazinas é mais intensa.

Não se pode deixar de levar em conta a possibilidade de ocorrência, também, de degradação química por hidrólise, pois, como foi enfatizado a umidade do solo nos 45 dias iniciais favoreceu reações deste tipo, o que resultaria na inativação da molécula. No entanto, o alto índice pH do solo, baixo teor de matéria orgânica e relativamente baixas temperaturas, são fatores indicativos que a degradação química não tenha tido papel preponderante na dissipação da ametrina.

NAKAGAWA *et al.* (1995), estudando o comportamento da atrazina em solos brasileiros verificou que a hidroxiatrazina que se forma por hidrólise, em solos com índice pH de 4,6, é bem maior que em solos com índice pH de 5,4.

## CONCLUSÕES

O monitoramento de resíduos de ametrina durante

360 dias após a sua aplicação em abril na dose de 4,0 kg/ha em um solo barrento cultivado com cana-de-açúcar, permite concluir:

1. A lixiviação da ametrina deu-se até a camada de 20-30 cm de profundidade do perfil do solo. Abaixo desta faixa não foram detectados resíduos.

2. A persistência da ametrina foi diferenciada com a faixa de profundidade do solo: na camada superficial de 0-10 cm foram encontrados resíduos até 195 dias após o tratamento (DAT); na amostragem seguinte (360 DAT), o solo não apresentou mais resíduos. Nas profundidades de 10-20 cm e 20-30 cm foram detectados resíduos até 33 DAT; na amostragem posterior (64 DAT), as análises químicas do solo não revelaram resíduos.

3. A maior concentração da ametrina permanece na camada superficial (0-10 cm) do solo.

4. A curva de dissipação da ametrina se caracteriza por um rápido desaparecimento da molécula nos primeiros quinze dias. A equação que representa melhor o fenômeno é uma exponencial do segundo grau.

Fig. 1 - Dados pluviométricos diários e temperatura média diária no período de condução do experimento (9/4/1992 a 4/4/1993).

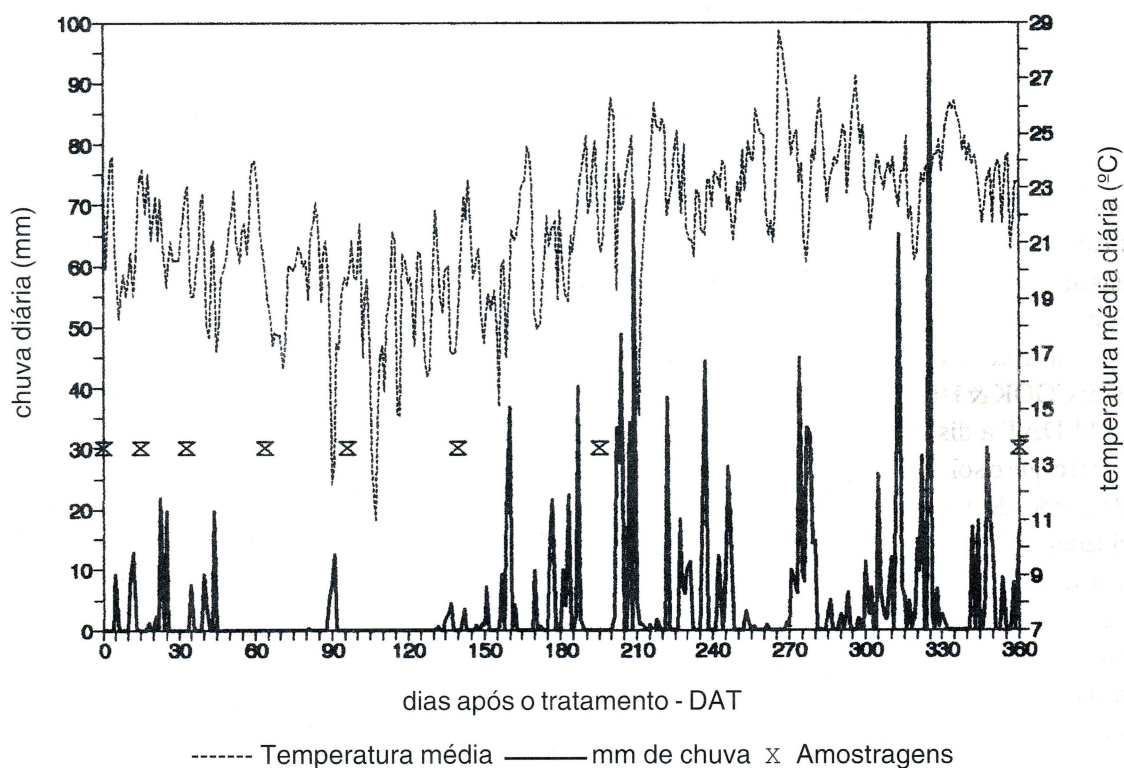


Fig. 2 - Curva de persistência de ametrina na camada de 0-10 cm de profundidade.

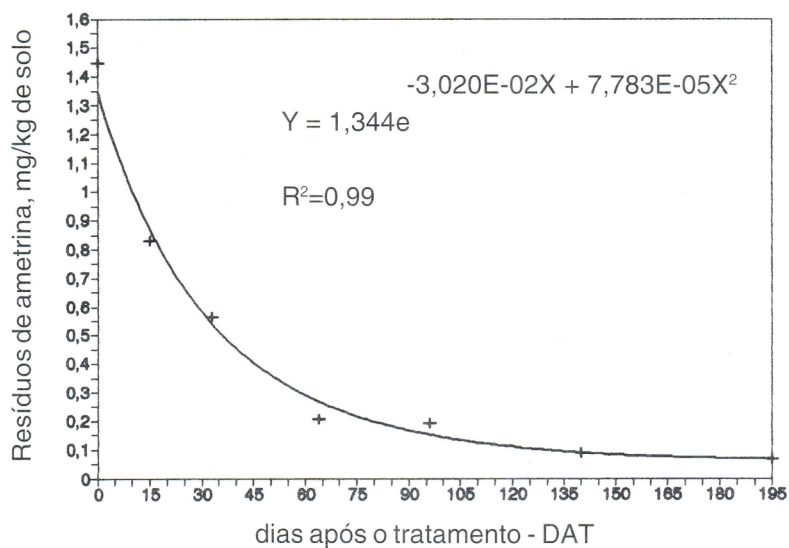


Fig. 3 - Curva de dissipação da ametrina na faixa de profundidade de 0-10 cm em relação ao nível residual inicial (0 DAT)

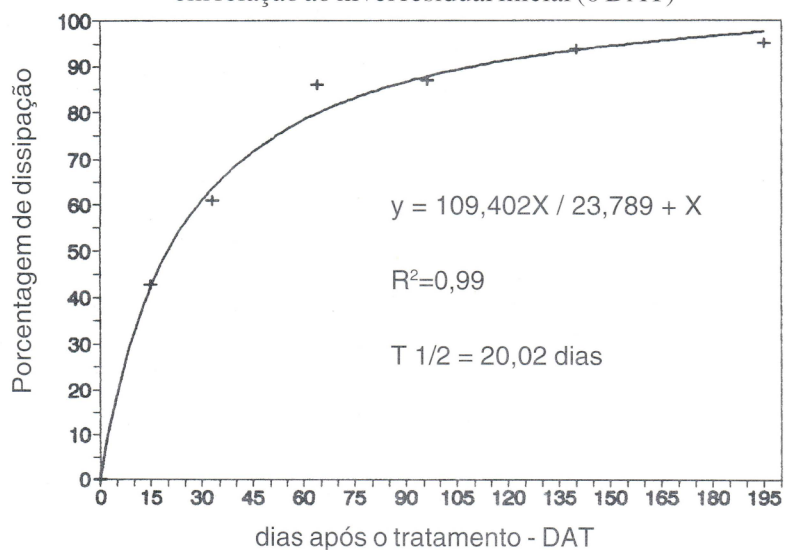
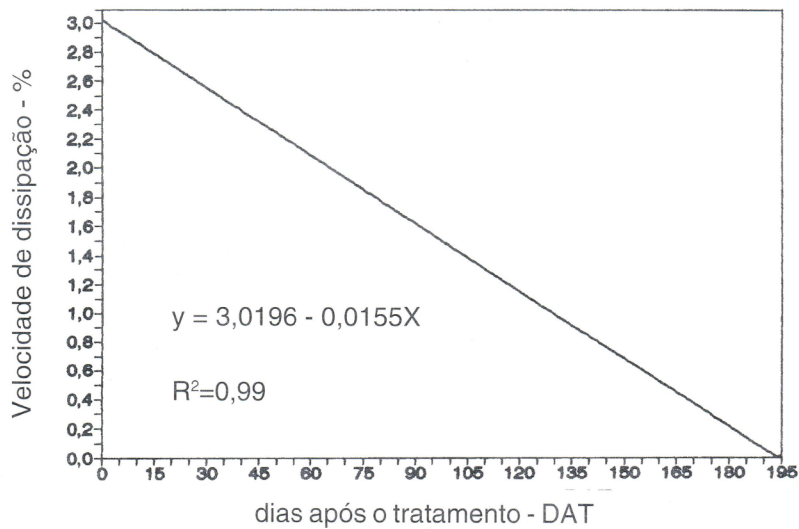


Fig. 4 - Velocidade diária de dissipação da ametrina, em porcentagem, em função da concentração de cada dia



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALEXANDER, M. *Introduction to soil microbiology*. 2.ed. New York: John Wiley, 1977. 467p.
- ALEXANDER, M. Persistence and biological reaction of pesticides in soil. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* v.29, n.1, p.1-7, 1965.
- BLANCO, H.G. & GODOY, H. Cartas das chuvas do Estado de São Paulo. Campinas, SP: Instituto Agrônomo, 1967. 16p. [13 cartas coloridas].
- BLANCO, H.G. & OLIVEIRA, D.A. Persistência de ametryne, atrazine, simazine e diuron no solo após aplicações anuais, em cultura de cana-de-açúcar. *Pesqui. Agropecu. Bras.*, v.24, n.9, p.1161-1168, 1989.
- BLANCO, H.G. & OLIVEIRA, D.A. Persistência de herbicidas em latossolo vermelho-amarelo em cultura de cana-de-açúcar. *Pesqui. Agropec. Bras.*, v.22, n.7, p.681-687, 1987.
- CAMARGO, O. A. *et al. Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agrônomo de Campinas*. Campinas: IAC, 1986. 94p. (Boletim Técnico nº 106)
- COOK, A.M. & HUTTER, R. Ametryne, prometryne and methylsulfonic acid as sulfur sources for bacteria. *Experientia*, Basel, v.37, n.11, 1988. (Abstrat 1231)
- GOSWAMI, K.P. & GREEN R.E. Microbial degradation of ametryn in Hawaii in Torrox and Hydrandep. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, v.39, n.4, p.669-673, 1975. (Abstrat 27)
- GROVER, R. Influence of organic matter, texture, and available water on the toxicity of simazine in soil. *Weed*, v. 14, p. 148-151, 1966.
- GUENZI, W.D. & BEARD, W.E. Volatilization of pesticides. In: GUENZI, W.D. (Ed.). *Pesticides in soil and water*. Madison: Soil Science Society of America, 1974. p.107-122.
- HOLLIST, R.L. & FOY, C.L. Trifluralin interactions with soil constituents. *Weed Sci.*, v.19, p.11-16, 1971.
- KAUFMAN, D.D. & KEARNEY, P.C. Microbial degradation of s-triazine herbicides. *Residue Rev.*, v.32, p.235-266, 1970.
- KAUFMAN, D.D. & KEARNEY, P.C. Microbial transformation in the soil. In: AUDUS, L.J. *Herbicides: Physiology, biochemistry, ecology*. London: Academic Press, 1976. v.2, p.29-50.
- KEARNEY, P.C.; SHEETS, P.J.; SMITH, J.W. Volatility of seven s-triazines. *Weeds*, v.12, p.83-87, 1964.
- KENAKA, E.E. Evaluation of the hazard of pesticides residues in the environment. In: WATSON, D.L. & BROWN, A.W.A. *Pesticides management and insecticides resistance*. New York: Academic Press, 1977. p.51-95.
- LEON, L.; CONSTENLA, M.; BORNIMISZA, E. Resíduos, degradación y comportamiento de la ametrina. *Turrialba*, v.28, n.1, p.3-7. 1978.
- KEARNEY, P.C.; SHEETS, P.J.; SMITH, J.W. Volatility of seven s-triazines. *Weeds*, v.12, p.83-87, 1964.
- LUI, L.C. & SANTIAGO-CORDOVA, M. Persistence of three herbicides in a drip-irrigated banana field. *J. Agric. Univ. Puerto Rico*, v.75, n.1, p.19-23. 1991.
- MARRIAGE, P.B.; SAIDAK, W.J.; STRYK, F.G. von. Residue of atrazine, simazine, linuron and diuron after repeated annual applications in a peach orchard. *Weed Res.*, v.15, p.373-379, 1975.
- NAKAGAWA, L.E.; LUCHINI, L.C.; MUSUMESI, M.R.; ANDRÉA, M.M. Comportamento da atrazina em solos brasileiros em condições de laboratório. *Pesqui. Agropec. Bras.*, v.30, n.4, p.471-476, 1995.
- PLIMMER, R.J. Volatility. In: KEARNEY, P.C. & KAUFMAN, D.D. (Eds.) *Herbicides: Chemistry, Degradation, and Mode of action*. New York: Marcel Dekker, 1976. v.1, p.891-929.
- RAMSTEINER, K.; HÖRMANN, W.D.; OBERLE, D.O. Multiresidue method for the determination of triazine herbicides in field-grown agricultural crops, water and soils. *J. Assoc. Off. Ana. Chem.*, v.57, n.1, p.129-201, 1974.
- RODRIGUES, N.B. & ALMEIDA, F.S. *Guia de Herbicidas*. Londrina: 1995. p. 32-39.
- SHEETS, T.J. & SHAW, W.C. Herbicidal persistence in soil of s-triazines. *Weed*, v.11, n.15, 1964.
- SHEETS, T.J. Persistence of triazines herbicides and related problems. *Residue Rev.*, v. 32, p. 287-310, 1970.
- SMITH, D. T. & WIESE, A. F. Delayed incorporation of trifluralin and nitralin. *Weed Sci.*, v.21, n.1, p.163-169, 1973.
- THOMPSON Jr., L. & SLIFE, F. W. Foliar and root adsorption of atrazine applied postemergence to giant foxtail. *Weed Sci.*, v.17, p.251-256, 1969.

Recebido para publicação em 11/10/96