

# PERSISTÊNCIA DE HERBICIDAS EM LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO EM CULTURA DE CANA-DE-AÇÚCAR<sup>1</sup>

HÉLIO GARCIA BLANCO<sup>2</sup> e DOMINGOS DE AZEVEDO OLIVEIRA<sup>3</sup>

RESUMO - A persistência dos herbicidas simazine, atrazine, ametryne, diuron e tebuthiuron, aplicados no mês de abril, foi verificada em um Latossolo Vermelho-Amarelo, de textura argilosa, nas condições de cultivo de cana-de-açúcar, no município de Capivari, Estado de São Paulo, Brasil, durante dois anos consecutivos. Bioensaios conduzidos sob condições controladas de um fitotron, utilizando aveia como planta-teste, indicam que a ordem de persistência no solo é a seguinte: tebuthiuron > diuron > simazine > atrazine > ametryne. Tebuthiuron (1,2 kg/ha) permanece no solo com bioatividade, à profundidade de 0-10 cm, por um período maior que onze e menor que quatorze meses; diuron (2,8 kg/ha) e simazine (2,8 kg/ha) por um período maior que sete e menor que onze meses; e atrazine e ametryne, ambos a 2,8 kg/ha, apresentam uma persistência entre seis e sete meses.

Termos para indexação: Bioatividade, pesticidas, solo, *Saccharum*.

## PERSISTENCE OF HERBICIDES IN CLAY SOIL UNDER SUGARCANE CROP

ABSTRACT - The persistence of simazine (2.80 kg/ha), ametryne (2.8 kg/ha), atrazine (2.8 kg/ha), diuron (2.8 kg/ha) and tebuthiuron (1.2 kg/ha), applied in April in a clay soil, planted with sugarcane was investigated for two consecutive years under field conditions at Capivari, SP, Brazil. Out bioassays conducted under phytotron conditions indicated that the order of persistence is: tebuthiuron > diuron > simazine > atrazine > ametryne. Tebuthiuron did not present residual bioactivity after 14 months from its application; diuron and simazine after 11 months; atrazine and ametryne after 7 months, were no longer found in the soil (0 to 10 cm depth).

Index terms: bioactivity, pesticides, soil, *Saccharum*.

## INTRODUÇÃO

No Brasil, a cana-de-açúcar é plantada na região do planalto paulista em dois períodos do ano: no início da primavera e ao final do verão, produzindo cortes de doze e de dezoito meses, respectivamente. Em ambas as estações, as condições climáticas são favoráveis ao desenvolvimento de plantas daninhas que provocam redução da produção (Blanco et al. 1979, 1981, 1984). Por essas razões, o uso de herbicidas em cana-de-açúcar é de caráter extensivo, sendo a terceira cultura a aplicar o maior volume desses defensivos no país, superada apenas pela soja e arroz.

O período que um herbicida permanece biologicamente ativo no solo controlando o desenvolvimento de plantas é chamado de persistência ou vida residual. Produtos com bioatividade muito prolongada podem causar injúrias a plantas sensíveis

em um sistema de rotação de culturas ou em culturas consorciadas.

A persistência ou bioatividade de um herbicida no solo depende da natureza química, formulação e dose aplicada do produto, das características do solo e dos fatores climáticos do meio. Por isso, dados de persistência obtidos para uma dada região não podem ser generalizados.

As informações sobre o comportamento dos herbicidas usados na cultura de cana em solos brasileiros são, ainda, em pequeno número. Mello Filho et al. (1985) determinaram a lixiviação e degradação do tebuthiuron em solos dos Estados de São Paulo e Alagoas; Eaton et al. (1978) realizaram um levantamento da taxa de degradação desse herbicida em experimentos de campo realizados em São Paulo, no período de 1972 a 1974; Dal Piccolo & Christoffoleti (1985) verificaram o efeito residual do tebuthiuron, diuron e ametryne, sobre *Crotalaria juncea* L.; Lorenzi (1984), por meio de análises químicas, concluiu que o herbicida tebuthiuron se localiza na camada superior de 0,30 cm do solo e que a metade da quantidade aplicada se degrada depois de doze meses.

<sup>1</sup> Aceito para publicação em 27 de agosto de 1986.

<sup>2</sup> Eng.-Agr., Dr. Instituto Biológico (IB), Seção de Herbicidas, Caixa Postal 70, CEP 13100 Campinas, SP. Bolsista do CNPq.

<sup>3</sup> Eng.-Agr., M.Sc., Seção de Bioestatística. Bolsista do CNPq.

O objetivo deste trabalho foi determinar a persistência dos herbicidas ametryne, atrazine, simazine, diuron e tebutiuron, herbicidas residuais de largo uso na cultura da cana, para se conhecer o comportamento desses defensivos quando aplicados nas condições do mês de abril, época ainda de plantio de cana-de-açúcar no Planalto Paulista.

### MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido durante os anos de 1983 a 1985, na Usina São Francisco, localizada no município de Capivari, Estado de São Paulo, em um Latossolo Vermelho de textura argilosa, com as seguintes características: 69% de argila, 7% de limo, 24% de areias; pH 4,4,  $H^+$  +  $Al^{+3}$  6,5 meq/100  $cm^3$  TFSA (terra fina seca ao ar),  $Ca^{+2}$  3,3 meq/100  $cm^3$  TFSA,  $Mg^{+2}$  0,6 meq/100  $cm^3$  TFSA,  $K^+$  0,39 meq/100  $cm^3$  TFSA, P 136  $\mu g/cm^3$  TFSA, e matéria orgânica 4,3%.

As condições climáticas do local do experimento no que diz respeito aos totais mensais de chuva, em comparação com as normais da região estabelecidas para o município vizinho de Campinas, distante cerca de 30 km do local, são apresentadas na Tabela 1.

A pesquisa foi desenvolvida em duas fases: a primeira, conduzida nas condições naturais da cultura, onde os herbicidas foram aplicados no solo e uma segunda fase, onde bioensaios foram conduzidos nas amostras de solo que eram retiradas, periodicamente, do experimento do campo, para determinação da persistência dos herbicidas.

**Fase experimental no campo** - Foi empregado um delimitamento de blocos ao acaso, com quatro repetições, e parcelas subdivididas para épocas de amostragem do solo, como subparcelas. Os tratamentos, em número de seis, foram aplicações dos herbicidas ametryne (Gesapax 80 PM), atrazine (Gesaprim 80 PM), simazine (Gesatop 80 PM) e diuron (Karmex 80 PM) a 2,8 kg/ha i.a. cada um, tebutiuron (Perflan 80 PM) a 1,2 kg/ha i.a., e mais um tratamento testemunha sem herbicida.

Como parcelas experimentais, foram utilizados canteiros com dez sulcos de cana-de-açúcar, variedade SP71-1406, espaçados de 1,40 m e com 8 m de comprimento. Como subparcelas para as amostragens foram consideradas as entrelinhas da cultura.

As aplicações dos herbicidas foram realizadas após o plantio da cana, utilizando um pulverizador costal de pressão constante a  $CO_2$ , equipado com 4 bicos Teejet 110.02, gastando-se o equivalente a 300 l/ha de calda.

Os herbicidas foram aplicados em 12 de abril de 1983 e reaplicados em 13 de abril de 1984. Antes da reaplicação foi efetuado o corte da cana.

**Amostragem do solo** - As amostragens do solo foram realizadas logo após a aplicação dos herbicidas e a intervalos de 30 dias, até sete meses, como também aos onze meses para o ano de 1983 e quatorze meses para 1984. A coleta do solo foi realizada utilizando-se um cilindro de aço de

10,5 cm de diâmetro interno por 10 cm de altura. De cada subparcela casualizada, representada pelas entrelinhas da cultura, eram retiradas duas subamostras de modo a se conseguir uma amostra composta de camada superficial de 0-10 cm de profundidade, em cada época de amostragem.

O solo amostrado era seco ao ar, passado em peneira com malha de 0,2 cm de diâmetro, e armazenado sob temperatura de  $-13$  a  $-15^\circ C$ , até ser utilizado nos bioensaios.

**Ensaios biológicos** - A técnica empregada foi a de Santelmann (1977), com pequenas modificações. Em copos de plástico, sem percolação, foram colocadas 250 g de solo amostrado das parcelas experimentais, usando-se três copos para cada amostra e planta-teste. Como planta-teste utilizou-se a aveia (*Avena sativa* L.), segundo recomendações de Behrens (1970), como sendo a planta mais sensível e mais frequentemente utilizada para o grupo das s-triazinas, na base de seis plantas por vaso.

Os bioensaios foram conduzidos sempre nas mesmas condições ambientais, fornecidas por uma câmara de crescimento (Fitotron), regulada automaticamente para  $24^\circ C \pm 2^\circ C$  de temperatura do ar,  $70\% \pm 10\%$  de umidade relativa do ar, fotoperíodo de doze horas e intensidade luminosa máxima de 5.000 "foot candles", fornecida por lâmpadas incandescentes, colocadas a 1,10 m acima da superfície do solo dos vasos. A umidade dos vasos era elevada diariamente por peso, a nível próximo à umidade correspondente à capacidade de campo, previamente determinada.

Após 24 dias da semeadura, as plantas eram cortadas rente à superfície do solo, e determinado o seu desenvolvimento através do peso verde da parte aérea.

A persistência dos herbicidas em uma dada época foi avaliada através dos pesos das plantas nos solos tratados em comparação com as do solo testemunha. O nível de significância para a análise da variância desses dados foi de 5% de probabilidade, sendo o mesmo adotado para as comparações de médias pelo teste de Tukey.

### RESULTADOS E DISCUSSÃO

As Tabelas 2 e 3 apresentam os dados de desenvolvimento da parte aérea de plantas de aveia, representando os bioensaios para determinação da atividade inicial dos herbicidas (dados relativos aos pesos obtidos em solo amostrado logo após a aplicação) e atividade residual, para um período de onze meses na aplicação de 1983 e quatorze meses na do ano seguinte.

A análise da variância desses dados revelou efeitos significativos para herbicidas, para épocas em que o solo foi amostrado e, para a interação entre herbicidas e épocas, demonstrando que os produtos apresentaram atividades residuais diferenciadas, em função do tempo, no solo.

Observa-se, primeiramente, que a bioatividade inicial de todos os herbicidas é bastante alta, independente do ano analisado. Isto é visto na amostragem correspondente a logo após a aplicação, em que todas as plantas morreram, em comparação com a testemunha. Por essa razão esses dados foram eliminados das análises da variância, do mesmo modo que aqueles da amostragem do primeiro mês para o experimento de 1983, e todos os rela-

tivos ao herbicida tebuthiuron. Para esse produto, quando os bioensaios apresentaram dados mensuráveis, utilizou-se o teste "t" para contraste de médias com o tratamento testemunha.

As Tabelas 2 e 3 mostram, também, que o comportamento residual das triazinas foi diferente para cada ano estudado. Os herbicidas diuron e tebuthiuron, por outro lado, apresentaram resultados de persistência semelhantes para os dois anos.

TABELA 1. Dados mensais de chuva (mm) e temperatura média (°C) do período experimental e normais pluviométricas da região.

	Local do experimento: Capivari, SP		Normais da região de Campinas, SP (Período: 1956-1982)	
	1º ano: 1983/84 chuva	2º ano: 1984/85 chuva	Chuva	Temperatura média
	mm	mm	mm	°C
abril	190	125	63	20,8
maio	297	105	53	18,5
junho	205	0	53	17,2
julho	18	5	40	17,2
agosto	5	115	37	19,0
setembro	339	82	62	20,5
outubro	168	50	141	21,2
novembro	245	66	138	21,9
dezembro	154	222	218	22,4
janeiro	175	164	238	23,0
fevereiro	29	145	193	23,0
março	25	203	131	22,7
		abril 79		
		maio 74		
		junho 25		

TABELA 2. Persistência de herbicidas em solo "argila pesada", cultivado com cana-de-açúcar, em Capivari, Estado de São Paulo, Brasil, avaliada por bioensaios. Os dados, em gramas, referem-se ao peso verde da planta-teste cultivada em solo amostrado do experimento de campo. Dados médios de quatro repetições. Época de aplicação: 12.04.1983.

Herbicidas	Doses: i.a.	Planta-teste: aveia								
		Épocas de amostragem do solo após a aplicação: 1º ano								
		logo após	1 mês	2 meses	3 meses	4 meses	5 meses	6 meses	7 meses	11 meses
kg/ha	g	g	g	g	g	g	g	g	g	
Testemunha	—	1,269	1,322	1,196 a	1,903 a	2,216 a	1,841 a	1,511 a	1,311 a	1,833 a
ametryne	2,8	0,0	0,241	1,011 a	1,074 b	1,253 b	1,065 b	1,039 b	0,955 ab	1,764 a
atrazine	2,8	0,0	0,0	0,396 b	0,437 c	1,161 b	1,062 b	1,044 b	1,120 ab	1,667 a
simazine	2,8	0,0	0,088	0,493 b	0,865 b	1,200 b	0,983 b	0,972 b	0,790 b	1,765 a
diuron	2,8	0,0	0,0	0,104 b	0,737 bc	1,018 b	0,648 b	0,677 b	0,737 b	1,416 a
tebuthiuron <sup>1</sup>	1,2	0,0	0,0	0,138	0,0	0,0	0,750*	0,623*	0,212*	1,201*

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade. Médias sem letras não foram incluídas na análise de variância por apresentarem efeitos evidentes. C.V.: 19,21%.

<sup>1</sup> Comparação de média pelo teste t com a testemunha; \* significativo a 5% de probabilidade.

TABELA 3. Persistência de herbicidas em solo "argila pesada", cultivado com cana-de-açúcar, em Capivari, Estado de São Paulo, Brasil, avaliada por bioensaios. Os dados, em gramas, referem-se ao peso verde da planta-teste cultivada em solo amostrado do experimento de campo. Dados médios de quatro repetições. Época de aplicação: 12.04.1983.

Herbicidas	Doses: i.a.  kg/ha	Planta-teste: aveia								
		Épocas de amostragem do solo após a aplicação: 1º ano								
		logo após	1 mês	2 meses	3 meses	4 meses	5 meses	6 meses	7 meses	14 meses
Testemunha	—	1,560	1,701 a	1,285 a	1,342 ab	1,543 a	1,449 a	1,359 a	1,590 ab	1,342 a
ametryne	2,8	0,0	1,285 a	0,762 ab	1,574 a	1,505 a	0,950 a	1,252 a	1,308 ab	1,386 a
atrazine	2,8	0,0	0,243 b	0,434 b	0,843 b	1,466 a	1,092 a	1,064 a	1,672 a	1,165 a
simazine	2,8	0,031	0,119 b	0,737 ab	1,104 ab	1,410 ab	0,939 a	1,017 a	1,396 ab	1,149 a
diuron	2,8	0,0	0,365 b	0,170 b	0,795 b	0,825 b	0,242 b	0,297 b	0,997 b	1,159 a
tebuthiuron <sup>1</sup>	1,2	0,0	0,0	0,0	0,064	0,0	0,0	0,030	0,0	0,944 ns

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade. Médias sem letras não foram incluídas na análise de variância por apresentarem efeitos evidentes. C.V.: 33,17%.

<sup>1</sup> Comparação de média pelo teste t com a testemunha: ns: não significativo.

### Resultados de 1983

Os bioensaios para aveia (Tabela 2) demonstraram que ametryne e atrazine apresentam bioatividade residual no período de seis meses após sua aplicação. Um mês depois, no entanto, essa atividade não foi mais revelada por plantas sensíveis. Nessa época, simazine e diuron ainda foram encontrados no solo. Somente na amostragem seguinte, aos onze meses, estes dois herbicidas teriam atingido um grau de degradação de modo a não influenciar mais o desenvolvimento da planta-teste. Esses dados demonstram, também, que aos onze meses o tebuthiuron ainda apresenta persistência no solo.

### Resultados de 1984

Os dados da Tabela 3 demonstram que ametryne sofreu degradação no espaço de um mês, e simazine, em dois meses. Atrazine, três meses após a aplicação no solo, não apresentou mais persistência. Os bioensaios acusaram a presença do herbicida diuron, sete meses depois da aplicação. Somente na amostragem seguinte, de quatorze meses, esse efeito não foi evidenciado. O tebuthiuron, não obstante apresentar maior grau de fitotoxicidade que o diuron, aos quatorze meses, também não apresentou mais persistência no solo.

Os resultados para os dois anos estudados podem, também ser vistos através dos gráficos das Fig. 1, 2, 3, 4 e 5, onde os dados de desenvolvimento da planta-teste, no solo tratado, são trans-

formados em percentagem em relação à testemunha.

Considerando os resultados dos dois anos, observa-se a seguinte ordem de persistência no solo desses herbicidas: tebuthiuron > diuron ≥ simazine > atrazine ≥ ametryne.

No que diz respeito às s-triazinas, esses resultados concordam com Sheets (1970) que, revisando trabalhos estrangeiros, indica que a simazine parece ser mais persistente no solo do que a atrazine.

As diferentes condições de distribuição de chuvas, entre os anos de 1983 e 1984, devem ter alterado o modelo de persistência das triazinas. Observa-se, pela Tabela 1, os baixos índices pluviométricos do segundo ano (1984/85) para os meses de junho e julho. Pelas condições de distribuição da chuva, observou-se que houve ocorrência de chuvas até o 35º dia após a aplicação dos produtos, havendo em seguida um período de 75 dias sem chuva. É possível que o baixo nível de umidade no solo tenha provocado uma forte adsorção das moléculas dos herbicidas pela fração coloidal do solo, inativando as triazinas. Grover (1966), Thompson Junior & 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 competi-

riam 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 da simazine, é mais intensa. Deve-se ressaltar que nos experimentos aqui descritos o solo apresentou pH 4,4.

A persistência do diuron no solo foi maior que sete e menor que onze meses. Este comportamento pode ser verificado para os dois anos de observação. No entanto, difere dos encontrados por Losso (1980) que encontrou um período menor que 90 dias, quando o diuron foi usado em dezembro em pomares de pessegueiro, no Rio Grande do Sul. As diferentes condições, principalmente, as climáticas, entre os experimentos devem explicar essas variações nos períodos de persistência do produto.

Os resultados de persistência para o tebuthiuron, situada entre onze e quatorze meses, de certo modo podem ser comparados com os encontrados por Mello Filho et al. (1985), Eaton et al. (1978) e Lorenzi (1984), que apontam como doze meses a meia-vida desse herbicida, independente da textura do solo, nas condições brasileiras. Pela Fig. 1, observa-se que a redução de 50 por cento do desenvolvimento da planta indicadora ocorreu no período situado entre onze e quatorze meses.

Pelos resultados encontrados, deve-se considerar, também, que as aplicações, durante dois anos seguidos, não provocaram efeitos cumulativos dos herbicidas.

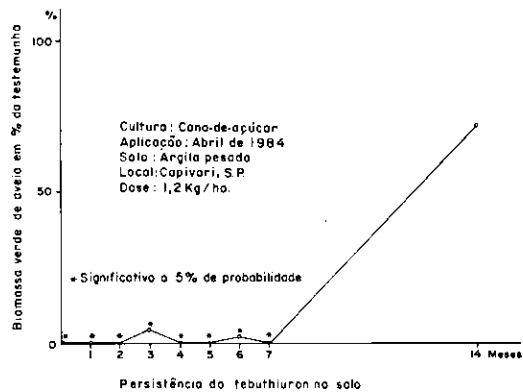
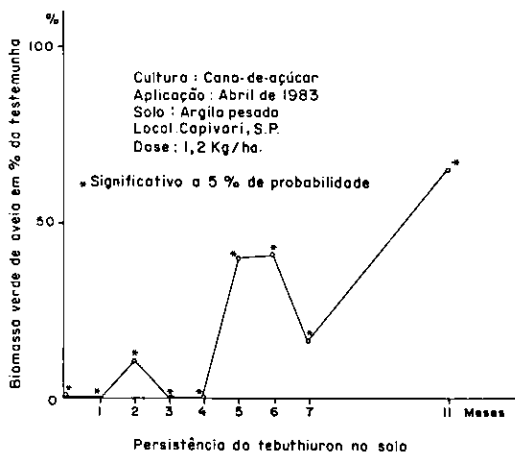


FIG. 1. Persistência do herbicida tebuthiuron no solo nos anos de 1983 e 1984.

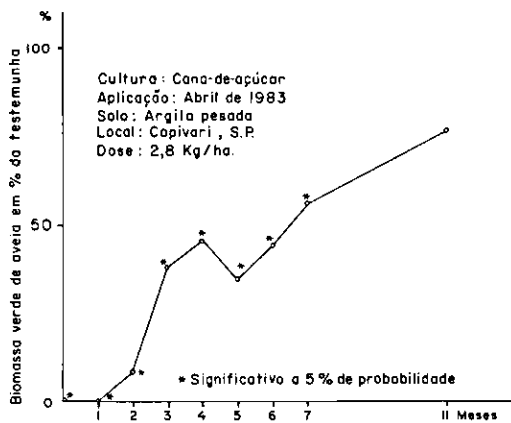


FIG. 2. Persistência do herbicida diuron no solo nos anos de 1983 e 1984.

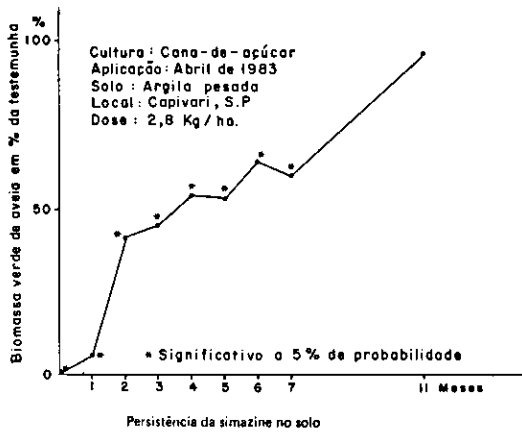


FIG. 4. Persistência do herbicida atrazine no solo nos anos de 1983 e 1984.

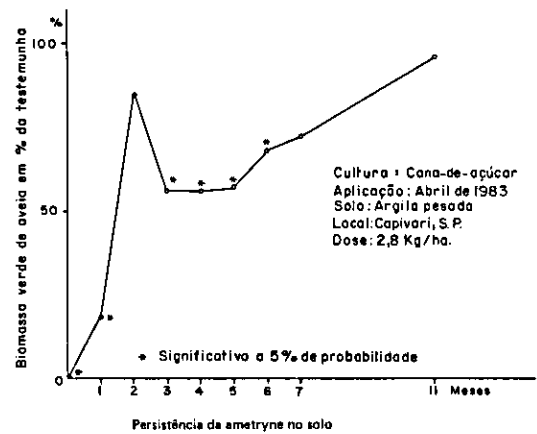
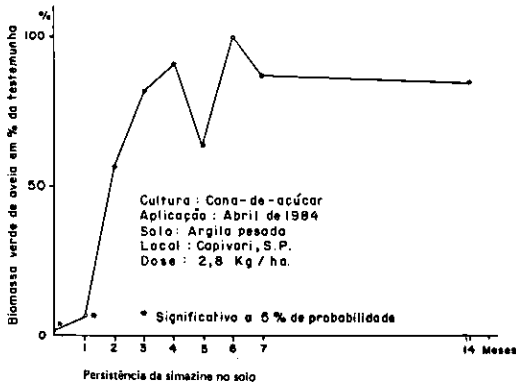


FIG. 3. Persistência do herbicida simazine no solo nos anos de 1983 e 1984.

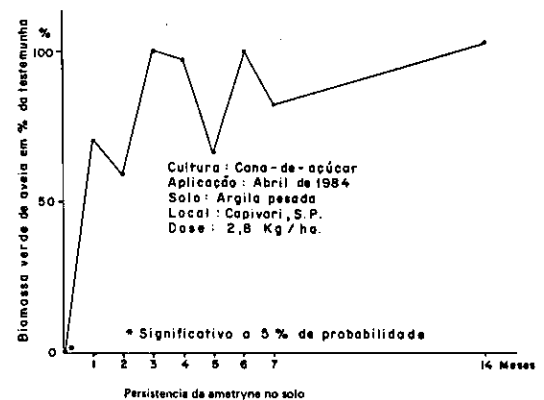
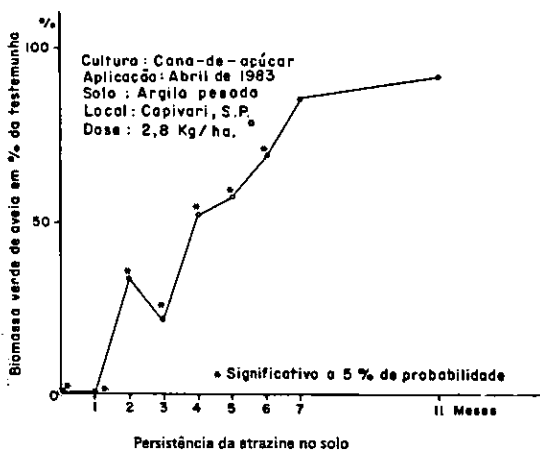


FIG. 5. Persistência do herbicida ametryne no solo nos anos de 1983 e 1984.

## CONCLUSÕES

A persistência em um solo de textura argilosa, à profundidade de 0-10 cm, de herbicidas aplicados em abril em pré-emergência da cultura de cana-de-açúcar, nas condições climáticas da região de Capivari, Estado de São Paulo, pode ser estabelecida do seguinte modo:

1. A persistência do tebutiuron, na dose de 1,2 kg/ha, corresponde a um período maior que onze meses e menor que quatorze meses.

2. Os herbicidas diuron e simazine, ambos aplicados a 2,8 kg/ha, apresentam uma persistência no solo igual a um período maior que sete e menor que onze meses.

3. A persistência dos herbicidas ametryne e atrazine, a 2,8 kg/ha, corresponde a um período maior que seis e menor que sete meses após a aplicação.

4. Em solo com alto teor de argila, períodos prolongados sem chuvas podem diminuir a duração da persistência desses produtos.

## REFERÊNCIAS

- BEHRENS, R. Quantitative determination of triazine herbicides in soils by bioassay. *Residue Rev.*, 32:355-69, 1970.
- BLANCO, H.G.; BARBOSA, J.C.; OLIVEIRA, D.A. Competição entre plantas daninhas e a cultura de cana-de-açúcar (*Saccharum* sp.). IV. Período de competição produzido por uma comunidade natural de mato em cultura de ano e meio. *O Biológico*, 50:237-45, 1984.
- BLANCO, H.G.; OLIVEIRA, D.A.; ARAÚJO, J.B.M. Competição entre plantas daninhas e a cultura de cana-de-açúcar. I. Período crítico de competição produzido por uma comunidade natural de dicotiledôneas em cultura de ano. *O Biológico*, 45:131-40, 1979.
- BLANCO, H.G.; OLIVEIRA, D.A.; COLETI, J.T. Competição entre plantas daninhas e a cultura de cana-de-açúcar. II. Período de competição produzido por uma comunidade natural de mato, com predomínio de gramíneas, em cultura de ano. III. Influência da competição na nutrição da cana-de-açúcar. *O Biológico*, 47:77-88, 1981.
- DAL PICCOLO, C.R. & CHRISTOFFOLETI, P.J. Efeito residual de herbicidas utilizados na cultura da cana-de-açúcar sobre a *Crotalaria juncea* L. em rotação. *Saccharum*, 8(41):34-8, 1985.
- EATON, B.T.; FRANK, R.; RAINEY, D.P.; SCHANS, C. van der. Soil residues of tebutiuron following single and repeat applications in sugar cane. In: CONGRESS OF THE INTERNATIONAL SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS, 2., São Paulo, 1977. *Proceedings*. São Paulo, s. ed., 1978. 1049-58.
- GROVER, R. Influence of organic matter, texture, and available water on the toxicity of simazine in soil. *Weeds*, 14:148-51, 1966.
- LORENZI, H. Comportamento dos resíduos de tebutiuron em solos cultivados com cana-de-açúcar. In: SEMINÁRIO DE TECNOLOGIA AGRONÔMICA, 2., Piracicaba, 1984. *Anais*. Piracicaba, COPERSUCAR, 1984. p.263-72.
- LOSSO, M. Persistência e lixiviação do diuron no solo e eficiência de sua mistura com glifosate, no controle de plantas daninhas em pomar de pessegueiro (*Prunus persica* (L.) Batsch). Pelotas, UFPEl, 1980. 43p. Tese Mestrado.
- MELLO FILHO, A.T.; ROCHA, C.L.; SILVA, S.A. da; HONDA, T. Estudo da lixiviação e degradação de tebutiuron em solos dos Estados de São Paulo e Alagoas. *STAB Açúç.* *Álcool Subprod.*, 3(4):47-51, 1985.
- SANTELMANN, P.W. Herbicides bioassay. In: TRUELOVE, B., ed. *Research methods in weed science*, 2.ed., s.l., Southern Weed Science Society, 1977. p.79-87.
- SHEETS, T.J. Persistence of triazine herbicides in soils. *Residue Rev.*, 32:287-310, 1970.
- THOMPSON JUNIOR, L. & SLIPE, F.W. Foliar and root absorption of atrazine applied postemergence to giant foxtail. *Weed Sci.*, 17:251-6, 1969.