

PERSISTÊNCIA DE AMETRYNE, ATRAZINE, SIMAZINE E DIURON NO SOLO APÓS APLICAÇÕES ANUAIS, EM CULTURA DE CANA-DE-AÇÚCAR¹

HÉLIO GARCÍA BLANCO² e DOMINGOS DE AZEVEDO OLIVEIRA³

RESUMO - A persistência no solo de ametryne, atrazine, simazine e diuron, em doses de 2,8 kg/ha de cada produto, aplicados anualmente em setembro em uma lavoura de cana-de-açúcar, foi estudada em um experimento de campo localizado em Limeira, SP, em solo argiloso, durante três anos consecutivos. Amostras de solo, coletadas à profundidade de 0 cm a 10 cm e 10 cm a 30 cm, em épocas correspondentes a 30, 60, 90, 120, 150 e 180 dias após a aplicação dos produtos, foram submetidas a bioensaios conduzidos em um fitotron para determinação da persistência dos produtos. Os resultados demonstraram que para as condições climáticas de primavera, ametryne não mais apresenta bioatividade residual no solo para plantas sensíveis, na camada de 0 cm a 10 cm, 90 dias após a sua aplicação; no que se refere aos herbicidas atrazine, simazine, e diuron essa situação foi alcançada já aos 60 dias. Nenhum herbicida provocou efeitos cumulativos no solo no período estudado, nem foi percolado para a camada de 10 cm a 30 cm de profundidade.

Termos para indexação: bioatividade, herbicidas, bioensaios, degradação.

PERSISTENCE OF AMETRYNE, ATRAZINE, SIMAZINE AND DIURON IN SOIL, AFTER REPEATED ANNUAL APPLICATIONS IN SUGAR-CANE CULTURE

ABSTRACT - The soil persistence of ametryne, atrazine, simazine and diuron (2.8 kg/ha of each product), was investigated. They were applied in the month of September, during three years, under field conditions of clay soil sugar-cane crop at Limeira, SP, Brazil. Analyses of soil samples, collected at 0 cm to 10 cm and 10 cm to 30 cm depth, 30, 60, 90, 120, 150 and 180 days after the herbicide applications showed through oat bioassays in phytotron conditions that at 0 cm to 10 cm of depth the soil did not present residual bioactivity of ametryne, 90 days after its application; for atrazine, simazine and diuron, this phenomenon happened after 60 days. Soil samples of 10 cm to 30 cm of depth did not show presence of herbicides.

Index terms: bioactivity, herbicides, bioassays, degradation.

INTRODUÇÃO

Desde o início do emprego dos herbicidas residuais, reconheceu-se que as condições climáticas e as propriedades do solo, principalmente o conteúdo de colóides, influenciavam grandemente a atividade desses produtos no ambiente. Por essa razão, os estudos sobre as interações entre herbicidas e solos ocuparam a atenção dos pesquisadores de todos os países. Nessa área de conhecimento, a determinação da duração da persistência dos herbicidas no solo ganhou um maior volume de trabalho, porque herbicidas com bioatividade muito prolongada causam danos a plantas sensíveis, plantadas em seqüência em um sistema de rotação de culturas, ou em áreas com cultivos consorciados.

Nas condições edafoclimáticas brasileiras, as investigações sobre o comportamento dos herbicidas no solo são, ainda, em número reduzido, especial-

mente para a cana-de-açúcar. Eaton et al. (1978) realizaram um levantamento para verificar a taxa de degradação do tebutiuron em experimentos de campo conduzidos no estado de São Paulo, concluindo que a meia-vida desse herbicida é aproximadamente de doze meses; posteriormente, Mello Filho et al. (1985) e Lorenzi (1984) confirmaram essas observações.

Blanco & Oliveira (1987) verificaram que, para aplicações no mês de abril, em plantio de cana de 18 meses, o tebutiuron permanece com bioatividade no solo, para planta-teste sensível, por um período entre onze e quatorze meses, diuron e simazine entre sete e onze meses, e atrazine e ametryne entre seis e sete meses.

O objetivo desse trabalho foi determinar a persistência dos herbicidas ametryne, atrazine, simazine e diuron, na dose única de 2,8 kg/ha cada, em solo argiloso, quando aplicados em plantio de primavera de cana-de-açúcar.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Usina Tabajara, localizada no município de Limeira, estado de São Paulo, em solo

¹ Aceito para publicação em 3 de novembro de 1988.

² Eng. - Agr., Dr., Seção de Herbicidas, Instituto Biológico, Caixa Postal 70, CEP 13100 Campinas, SP. Bolsista do CNPq.

³ Eng. - Agr., Seção de Bioestatística, Instituto Biológico. Bolsista do CNPq.

de textura argilosa (argila 52%, limo 8%, areias 40%), plantado com cana-de-açúcar, variedade CP 51-22, no espaçamento de 1,40 m entre sulcos.

Os tratamentos, distribuídos em um esquema de blocos, ao acaso, com quatro repetições, consistiram de aplicações anuais sobre o solo, dos herbicidas ametryne (Gesapax 80 PM), atrazine (Gesaprim 80 PM), simazine (Gesatop 80 PM) e diuron (Karmex 80 PM), todos na dose única de 2,8 kg/ha de i.a. cada um, e um tratamento-testemunha sem herbicida. A primeira aplicação ocorreu em 19 de setembro de 1978, sendo os produtos reaplicados em mesma data nos anos de 1979 e 1980. Antes de cada reaplicação, procedia-se ao corte da cana.

Como parcelas experimentais, foram utilizados dez sulcos de cana com 8 m de comprimento. As entrelinhas foram consideradas subparcelas para amostragens do solo.

O solo foi coletado às profundidades de 0 cm a 10 cm e 10 cm a 30 cm, utilizando-se um trado de çaçamba, em épocas correspondentes a 30, 60, 90, 120, 150 e 180 dias após a aplicação dos herbicidas no solo.

O solo amostrado foi secado ao ar, passado em peneira com malha de 0,2 cm de diâmetro e mantido sob temperatura de 15°C negativos até a sua utilização nos bioensaios.

A técnica de bioensaios utilizada foi a indicada por Santelmann (1977) e descrita em detalhes por Blanco & Oliveira (1987). A planta-teste utilizada foi a aveia, sugerida por Behrens (1970) como sendo a mais sensível aos herbicidas do grupo das s-triazinas, e os bioensaios foram conduzidos em copos de plástico sem percolação, com 250 g de solo, em um ambiente com 24°C \pm 2°C de temperatura do ar, 70% \pm 10% de umidade relativa do ar, fotoperíodo de doze horas e intensidade luminosa máxima de 10,8 klux, regulada por um fitotron. A umidade do solo era elevada por peso, uma vez ao dia, a níveis próximos da umidade correspondente à capacidade de campo do solo ensaiado. Cada bioensaio foi conduzido com três repetições por amostra de solo.

A persistência em cada época foi avaliada através do peso verde da parte aérea das plantas de aveia, cortadas 18 dias após a semeadura. A análise estatística desses dados foi realizada com base no modelo de parcelas subdivididas, adotando-se o nível de 5% de probabilidade, tanto para o teste F de variância quanto para o teste de Tukey, de comparação de médias dos tratamentos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise estatística dos dados dos bioensaios, em peso verde da parte aérea de aveia, conduzidos na série de amostras de solo retiradas do experimento de campo, durante três anos, apresentou significância para as diferentes interações, de 2ª a 4ª ordem, entre os fatores herbicidas, épocas de amostragem do solo, profundidade de amostragem e ano de observação, com exceção para herbicidas x épocas (Tabela 1). Por ser este resultado complexo, e considerando-se o objetivo da pesquisa, optou-se por analisar os efeitos dos herbicidas sobre a planta-teste em cada época de amostragem, para cada nível de profundidade do solo, considerando-se cada ano de ob-

servação isoladamente. As Tabelas 2 e 3 apresentam os resultados dos bioensaios, para as duas profundidades de solo, respectivamente, com os contrastes para herbicidas dentro de cada época de amostragem.

A movimentação dos herbicidas para camadas mais profundas não foi detectada pelos bioensaios, pois mesmo para os dados de 1980/81, quando o teste F foi significativo para herbicidas x épocas na profundidade de 10 cm a 30 cm (Tabela 1), o contraste para as médias de tratamentos não foi significativo (Tabela 3). Estes resultados concordam com Helling (1970), que, após revisão do assunto, concluiu serem as triazinas classificadas como produtos de baixa a moderada mobilidade no solo. Khan et al. (1976), em trabalho conduzido durante sete anos, verificaram que o diuron não se aprofundou a mais de 10 cm a 15 cm da superfície de solos agrícolas. Essa pequena mobilidade no solo pelas triazinas e pelo diuron se explicaria porque esses produtos pertencem ao grupo dos herbicidas alcalinos e apresentam a característica de serem fortemente adsorvidos pelos colóides orgânicos e inorgânicos do solo.

Os dados da Tabela 2 mostram que na camada de 0 cm a 10 cm de profundidade, ametryne foi o produto que apresentou maior atividade residual, pois até 60 dias após a aplicação ainda afetava o desenvolvimento da planta-teste. Nessa época, o desenvolvimento da aveia nas amostras com diuron, simazine e atrazine foi semelhante ao produzido pela testemunha, não demonstrando mais persistência no solo. A persistência do ametryne não mais foi verificada na amostra de 90 dias.

As Fig. 1, 2, 3 e 4 apresentam as curvas de persistência dos herbicidas ametryne, atrazine, simazine e diuron. Observa-se que ametryne foi o herbicida que, além de apresentar fitotoxicidade residual mais prolongada foi também o que demonstrou maior fitotoxicidade inicial. Comparando esses gráficos com as curvas de persistência obtidas por Blanco & Oliveira (1987), para aplicações em abril, verifica-se a existência de comportamento diferenciado quanto à época do ano em que esses herbicidas são utilizados: naquele trabalho, ametryne e atrazine desapareceram do solo depois de sete meses e simazine e diuron persistiram por um período situado entre sete e onze meses.

Têm sido observadas diferenças na persistência entre as s-triazinas. Sheets & Shaw (1963) encontraram a seguinte ordem de persistência: simazine > atrazine > ametryne, para um tipo de solo, resultado compatível com o encontrado por Blanco & Oliveira

TABELA 1. Resumo da análise da variância conjunta para os três anos, considerando-se as diversas interações de fatores.

F.V.	G.L.	F
Total	719	
Parcelas	119	
Blocos	9	
Anos	2	26,35*
1978/79:		
Profundidade	1	56,58*
Tratamentos x profundidade (0 cm - 10 cm)	4	16,66*
Tratamentos x profundidade (10 cm - 30 cm)	4	0,47 n.s.
1979/80:		
Profundidade	1	4,65*
Tratamentos x profundidade (0 cm - 10 cm)	4	16,76*
Tratamentos x profundidade (10 cm - 30 cm)	4	2,18 n.s.
1981/82:		
Profundidade	1	6,18*
Tratamentos x profundidade (0 cm - 10 cm)	4	8,57*
Tratamentos x profundidade (10 cm - 30 cm)	4	7,16*
Resíduo (a)	81	
Subparcela	600	
1978/79:		
Época x profundidade (0 cm - 10 cm)	5	38,46*
Época x tratamentos x profundidade (0 cm - 10 cm)	20	1,81*
Época x profundidade (10 cm - 30 cm)	5	7,46*
Época x tratamentos x profundidade (10 cm - 30 cm)	20	0,96 n.s.
1979/80:		
Época x profundidade (0 cm - 10 cm)	5	4,47*
Época x tratamentos x profundidade (0 cm - 10 cm)	20	6,71*
Época x profundidade (10 cm - 30 cm)	5	8,59*
Época x tratamentos x profundidade (10 cm - 30 cm)	20	1,90*
1980/81:		
Época x profundidade (0 cm - 10 cm)	5	1,96 n.s.
Época x tratamentos x profundidade (0 cm - 10 cm)	20	4,92*
Época x profundidade (10 cm - 30 cm)	5	10,11*
Época x tratamentos x profundidade (10 cm - 30 cm)	20	1,20 n.s.
Resíduo (b)	450	

s (a): 0,1262
 c.v. (a): 16,42%
 s (b): 1,253
 c.v. (b): 16,3%

TABELA 2. Persistência de herbicidas em solo argiloso cultivado com cana-de-açúcar, em Limeira, SP. Peso verde da planta-teste (aveia) cultivada em amostras de solo retiradas à profundidade de 0 cm - 10 cm, em diversas épocas após a aplicação. Dados médios de quatro repetições, em gramas.

Herbicidas: 2,8 kg/ha i.a.	Desenvolvimento da planta-teste					
	Épocas de amostragem do solo após a aplicação (dias)					
	30	60	90	120	150	180
	g	g	g	g	g	g
Primeiro ano						
Aplicação: 19.09.78						
testemunha	0,592 c	0,623 b	0,958 a	0,922 a	0,821 a	0,863 a
ametryne	0,072 a	0,126 a	0,901 a	0,811 a	0,653 a	0,674 a
atrazine	0,350 abc	0,550 b	0,892 a	0,923 a	0,787 a	0,802 a
simazine	0,417 bc	0,547 b	0,863 a	0,861 a	0,819 a	0,836 a
diuron	0,178 ab	0,398 ab	0,835 a	0,790 a	0,575 a	0,671 a
Segundo ano						
Reaplicação 19.09.79						
testemunha	1,040 d	1,024 b	0,806 a	0,960 a	0,949 a	0,715 a
ametryne	0,0 a	0,613 a	0,637 a	0,891 a	0,943 a	0,728 a
atrazine	0,550 bc	0,975 b	0,787 a	0,953 a	0,838 a	0,749 a
simazine	0,830 cd	0,961 b	0,751 a	0,970 a	1,069 a	0,699 a
diuron	0,399 d	0,954 b	0,695 a	0,809 a	0,992 a	0,670 a
Terceiro ano						
Reaplicação: 19.09.80						
testemunha	0,927 b	0,745 ab	0,950 a	0,651 a	0,930 a	1,001 a
ametryne	0,443 a	0,448 a	0,738 a	0,778 a	0,781 a	0,810 a
atrazine	0,377 a	0,878 b	0,773 a	0,680 a	0,781 a	0,837 a
simazine	0,539 a	0,688 b	0,753 a	0,638 a	0,717 a	0,778 a
diuron	0,595 ab	1,039 b	0,642 a	0,699 a	0,662 a	0,668 a

Para cada ano, dentro de cada época de amostragem, médias seguidas de mesma letra não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade.

(1987); para outro solo, no entanto, a ordem de persistência foi: ametryne > atrazine > simazine (Sheets & Shaw 1963).

Sabe-se que as condições edafoclimáticas alteram a persistência dos herbicidas no solo, de modo direto ou por seus efeitos no tipo de degradação, seja ela biótica, causada por microorganismos, ou abiótica. Os dois modelos de degradação são dependentes de condições favoráveis de temperatura e umidade. A meia-vida de simazine no solo varia com a temperatura: a 25°C, 50% de 4 ppm desaparecem em 20 dias, a 18°C em 39 dias, enquanto a 8,5°C são necessários 140 dias para atingir-se esse nível de degradação (Burschel 1961). Em solos gelados, simazine não foi inativado durante 6 meses (Burnside et al. 1961). Buchanan & Rogers (1963) citados por Sheets (1970) relatam que a inativação de simazine e

atrazine processa-se mais rapidamente a 45°C que em temperaturas mais baixas como 35°C, 30°C e 25°C. Para uma mesma área o modelo de persistência das triazinas será alterado também 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-lo, (temperaturas al-

TABELA 3. Persistência de herbicidas em solo argiloso cultivado com cana-de-açúcar, em Limeira, SP. Peso verde da planta-teste (aveia) cultivada em amostras de solo retiradas à profundidade de 10 cm - 30 cm, em diversas épocas após a aplicação. Dados médios de quatro repetições, em gramas.

Herbicidas: 2,8 kg/ha i.a.	Desenvolvimento da planta-teste					
	Épocas de amostragem do solo após a aplicação (dias)					
	30	60	90	120	150	180
	g	g	g	g	g	g
Primeiro ano						
Aplicação: 19.09.78						
testemunha	0,679	0,774	0,870	0,875	0,895	0,818
ametryne	0,575	0,734	0,915	0,806	0,784	0,796
atrazine	0,772	0,588	0,842	0,944	0,823	0,872
simazine	0,711	0,682	0,877	0,822	0,884	0,831
diuron	0,816	0,674	0,814	0,844	0,802	0,811
Segundo ano						
Reaplicação 19.09.79						
testemunha	0,991	0,829	0,563	0,862	0,808	0,834
ametryne	1,089	0,952	0,740	0,876	0,802	0,776
atrazine	1,007	0,829	0,680	0,872	0,651	0,785
simazine	1,058	0,866	0,744	0,910	0,936	0,801
diuron	0,988	0,909	0,684	0,540	0,911	0,783
Terceiro ano						
Reaplicação: 19.09.80						
testemunha	0,759 a	0,805 a	0,819 a	0,812 a	0,964 a	0,978 a
ametryne	0,733 a	0,465 a	0,665 a	0,611 a	0,803 a	0,801 a
atrazine	0,641 a	0,639 a	0,882 a	0,584 a	0,898 a	0,828 a
simazine	0,564 a	0,695 a	0,720 a	0,552 a	0,909 a	0,853 a
diuron	0,894 a	0,846 a	0,812 a	0,776 a	0,866 a	0,896 a

Para cada ano, dentro de cada época de amostragem, médias seguidas de mesma letra não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade.

TABELA 4. Totais mensais e frequência de ocorrência de chuvas no local do experimento: Usina Tabajara, Limeira, SP.

	Totais (mm) e frequência de chuvas (dias)													
	setembro		outubro		novembro		dezembro		janeiro		fevereiro		março	
	mm	dias	mm	dias	mm	dias	mm	dias	mm	dias	mm	dias	mm	dias
1978/79	48,3	5	83,1	10	234,9	14	245,3	11	120,5	11	137,9	12	232,7	7
1979/80	99,0	13	71,6	11	121,8	11	203,5	17	244,1	15	193,6	18	95,5	6
1980/81	4,8	2	370,4	16	217,6	13	200,0	14	271,2	13	101,6	10	292,0	14

tas), (Sheets 1964, 1970, Kaufman & Kearney 1970, Marriage et al. 1975).

A rápida inativação de ametryne, atrazine, simazine e diuron, observada nesse experimento, seria explicada pelas condições de altas temperaturas e

pelo regime pluvial, que ocorrem normalmente a partir de outubro no estado de São Paulo (Tabela 4).

O resultado de persistência do diuron, menor que 60 dias, se aproxima do encontrado por Losso (1980), para aplicações no mês de dezembro no Rio Grande do Sul.

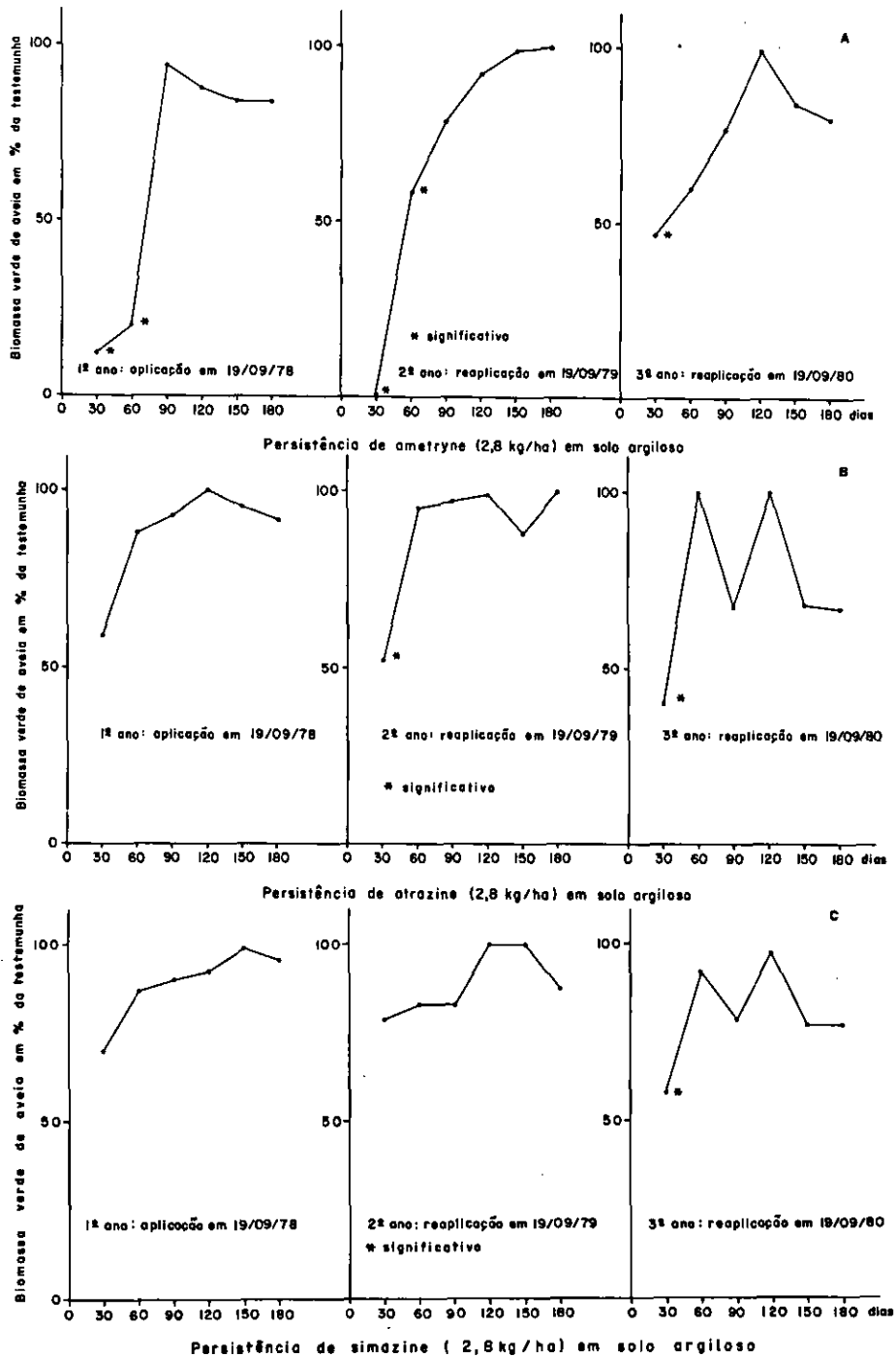


FIG. 1. Curvas de persistência dos herbicidas ametryne, atrazine e simazine em solo argiloso cultivado com cana-de-açúcar, aplicados no mês de setembro nas condições climáticas de Limeira, SP, durante três anos consecutivos.

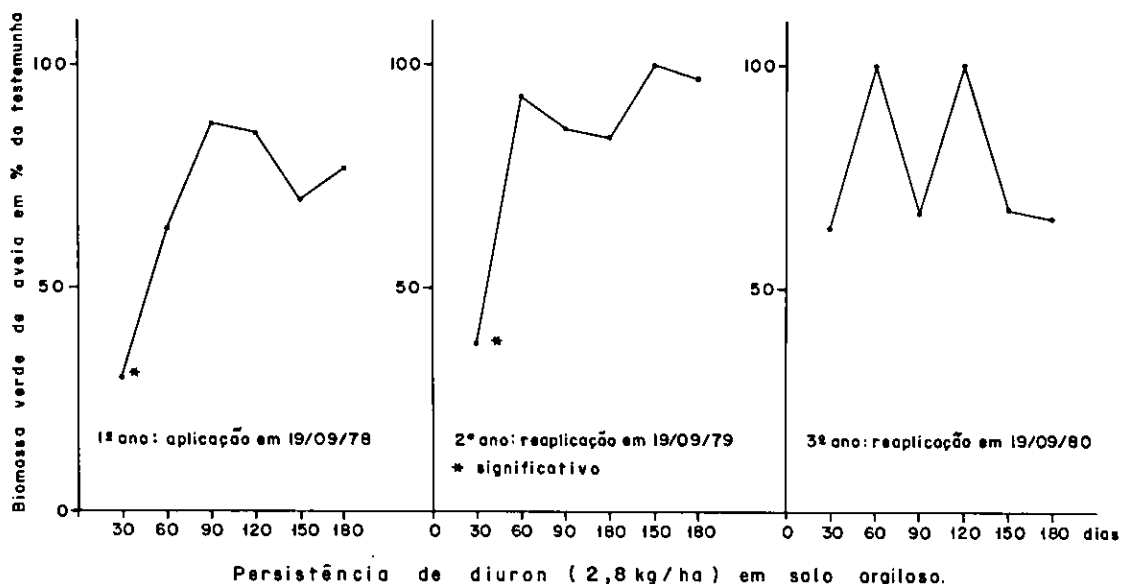


FIG. 2. Curvas de persistência do diuron em solo argiloso cultivado com cana-de-açúcar, em Limeira, SP. Diuron foi aplicado em setembro durante três anos consecutivos.

CONCLUSÕES

1. Aplicações de ametryne, atrazine, simazine e diuron, a 2,8 kg/ha cada, nas condições climáticas de setembro durante três anos consecutivos em solo argiloso, não provocam efeito cumulativo. O experimento foi realizado no município de Limeira, estado de São Paulo.

2. Estes herbicidas permanecem na camada de 0 cm a 10 cm de profundidade do solo.

3. A persistência para ametryne foi de até, no máximo, 90 dias após a aplicação, e para atrazine, simazine e diuron, de até 60 dias.

REFERÊNCIAS

- BEHRENS, R. Quantitative determination of triazine herbicides in soils by bioassay. *Res. Rev.*, 32:355-69, 1970.
- BLANCO, H.G. & OLIVEIRA D. de A. Persistência de herbicidas em Latossolo Vermelho-Amarelo em cultura de cana-de-açúcar. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, 22(7):681-87, jul. 1987.
- BURNSIDE, O.C.; SCHMIDT, E.L.; BEHRENS, R. Dissipation of simazine from soil. *Weeds*, 9:477-84, 1961.
- BURSCHEL, P. Untersuchungen über das Verhalten von Simazin im Boden. *Weed Res.*, 1:131-41, 1961.
- EATON, B.T.; FRANK, R.; RAINEY, D.P.; SCHANS, C. van der. Soil residues of tebuthiuron following single

and repeated applications in sugar cane. In: CONGRESS OF THE INTERNATIONAL SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS, 2, São Paulo, 1977. *Proceedings* . . . São Paulo, s. ed., 1978. p.1049-58.

HELLING, C.S. Movement of s-triazine herbicides in soils. *Res. Rev.*, 32:175-210, 1970.

KAUFMAN, D.D. & KEARNEY, P.C. Microbial degradation of triazine herbicides. *Res. Rev.*, 32:235-66, 1970.

KHAN, S.U.; MARRIAGE, P.B.; SAIDAK, W.J. Persistence and movement of diuron and 3,4-dichloroaniline in an orchard soil. *Weed Sci.*, 24:583-86, 1976.

LORENZI, H. Comportamento de resíduos de tebuthiuron em solos cultivados com cana-de-açúcar. In: SEMINÁRIO DE TECNOLOGIA AGRONÔMICA, Piracicaba, 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.

MARRIAGE, P.B.; SAIDAK, W.J.; STRYK, F.G. von. Residues of atrazine, simazine, linuron and diuron after repeated annual applications in a peach orchard. *Weed Res.*, 15:373-9, 1975.

MELLO FILHO, A.T.; ROCHA, C.L.; SILVA, S.A.; HONDA, T. Estudo da lixiviação e degradação de tebuthiuron em solos dos estados de São Paulo e Alagoas. *Tecnol. Pesq. STAB*, 47-51, mar./abr. 1985.

- SANTELMANN, P.W. Herbicides bioassay. In: RESEARCH methods in Weed Science. 2. ed. Georgia, Southern Weed Sci. Soc., 1977. p.79-87.
- SHEETS, T.J. Review of disappearance of substituted urea herbicides from soil. *Agric. Food Chem.*, **12**(1):30-3, 1964.
- SHEETS, T.J. Persistence of triazine herbicides in soils. *Res. Rev.*, **32**:287-310, 1970.
- SHEETS, T.J. & SHAW, W.C. Herbicidal properties and persistence in soils of s-triazines. *Weeds*, **11**:15-21, 1963.