

SEÇÃO IX - POLUIÇÃO DO SOLO E QUALIDADE AMBIENTAL

DEGRADAÇÃO E ADSORÇÃO DE DIURON EM SOLOS TRATADOS COM VINHAÇA⁽¹⁾

F. PRATA⁽²⁾, A. LAVORENTI⁽³⁾,
J. B. REGITANO⁽⁴⁾ & V. L. TORNISIELO⁽⁴⁾

RESUMO

O objetivo deste estudo foi avaliar os efeitos da adição de vinhaça, nas doses de 100 e 200 m³ ha⁻¹, nos processos de degradação e adsorção do herbicida diuron em solos Terra Roxa Estruturada (TR) e Latossolo Vermelho-Amarelo (LV). Para o estudo da degradação, foi instalado um experimento em delineamento inteiramente casualizado, arranjado em fatorial 2 (solos) x 3 (vinhaça: 0, 100 e 200 m³ ha⁻¹), que foi conduzido por 120 dias. A mineralização foi avaliada por radiorrespirometria. Após os 120 dias, a molécula original e seus metabólitos foram extraídos do solo e detectados em "radio-scanner". Paralelamente, foi realizado um ensaio para avaliação do efeito das doses de vinhaça juntamente com o herbicida na atividade microbiana, pH e C orgânico do solo. O experimento de adsorção foi realizado com os mesmos tratamentos empregados no estudo de degradação, utilizando cinco concentrações do herbicida. A degradação do diuron no solo TR foi maior na presença de vinhaça, o que não foi observado para o LV. A adição do resíduo contribuiu para o aumento da atividade microbiana e do pH. A adsorção do diuron foi baixa nos dois solos, não apresentando influência da adição da vinhaça.

Termos de indexação: herbicida diuron, vinhaça, adsorção de herbicidas, degradação de herbicidas.

⁽¹⁾ Parte da Tese de Mestrado do primeiro autor, apresentada à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"- USP, em 1998. Recebido para publicação em janeiro de 1999 e aceito em outubro de 1999.

⁽²⁾ Engenheiro-Agrônomo, Doutorando do Curso de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas da ESALQ/USP. Caixa Postal 9, CEP 13418-900, Piracicaba (SP). E-mail: fprata@carpa.ciagri.usp.br. Bolsista da CAPES.

⁽³⁾ Professor Associado do Departamento de Ciências Exatas, ESALQ/USP.

⁽⁴⁾ Pesquisador Científico do Centro de Energia Nuclear na Agricultura.

SUMMARY: DEGRADATION AND SORPTION OF DIURON IN SOILS AMENDED WITH VINASSE

The aim of this study was to evaluate the effects of vinasse (100 and 200 m³ ha⁻¹) on the degradation and sorption of diuron in Rhodudalf and Haplorthox soils. For the degradation study an experiment was carried out in a completely randomized design with a factorial experiment of 2 (soils) x 3 (vinasse: 0, 100 and 200 m³ ha⁻¹), for 120 days. The mineralization was evaluated by radiorespirometry. At the end of the incubation, the original compounds and their metabolites were extracted from the soils and detected in the radio-scanner. Another experiment was simultaneously carried out to evaluate the effect of the vinasse doses and herbicide on the microbial activity, pH and organic carbon content of the soil. The sorption experiment was carried out under the same conditions as the degradation study, with 5 herbicide concentrations. The diuron degradation in the Rhodudalf soil was higher in the vinasse presence, but no difference was found on the Haplorthox soil. The vinasse addition increased the microbial activity and the pH. The sorption of diuron was low and not affected by vinasse.

Index terms: herbicide diuron, diuron sorption, diuron degradation, vinasse.

INTRODUÇÃO

O diuron [3-(3,4-diclorofenil)-1,1-dimetiluréia] é um dos herbicidas mais utilizados no controle de plantas invasoras na cultura da cana-de-açúcar no Brasil. Esta molécula apresenta relatos de elevada persistência no solo (Cox et al., 1996), podendo apresentar efeitos residuais de controle sob dicotiledôneas (Rodrigues & Almeida, 1995). Sua aplicação é feita em pré-emergência e, geralmente, precede em alguns dias a aplicação de vinhaça em soqueiras de cana.

Muitos estudos têm sido realizados mostrando o efeito da matéria orgânica no comportamento de pesticidas no solo. Alguns autores observaram que a adição da matéria orgânica tem aumentado a degradação de várias moléculas, apoiando seus resultados no aumento da atividade e biomassa microbiana (Costa, 1992; Vroumsia et al., 1996). Outros, porém, observaram a maior persistência de moléculas em solos com maiores teores de matéria orgânica, que foi explicado em função da maior adsorção (Luchini, 1987; Gaillardon, 1997).

A vinhaça constitui-se numa fonte de carbono solúvel aos microrganismos, sendo o glicerol seu principal constituinte (Rodella et al., 1983). Alguns atributos químicos e biológicos do solo, tais como: pH, C orgânico, acidez trocável (Camargo et al., 1987; Reis & Rodella, 1998), atividade e biomassa microbiana (Minhoni & Cerri, 1987; Martinez Cruz et al., 1987), respectivamente, são modificados temporariamente com a aplicação da vinhaça.

Muito embora os efeitos da matéria orgânica no comportamento de pesticidas venham sendo amplamente discutidos, ainda não existem relatos na literatura sobre os efeitos da adição de vinhaça no comportamento de herbicidas no solo.

Neste sentido, o presente trabalho objetivou estudar o efeito da vinhaça nos processos de degradação e adsorção do herbicida diuron em solos Terra Roxa Estruturada textura muito argilosa e Latossolo Vermelho-Amarelo textura média-arenosa.

MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram realizados no Laboratório de Ecotoxicologia do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA), em Piracicaba (SP). As amostras de solo foram coletadas na camada de 0-10 cm de uma Terra Roxa Estruturada (TR) e de um Latossolo Vermelho-Amarelo (LV) do município de Piracicaba.

Análises químicas e granulométricas dos solos foram feitas de acordo com Rajj & Quaggio (1983) e Camargo et al. (1987), respectivamente (Quadro 1).

O herbicida utilizado foi o diuron [3-(3,4-diclorofenil)-1,1-dimetiluréia] grau técnico, com seu correspondente radiomarcado uniformemente nos carbonos do anel (¹⁴C), com atividade específica de 2,43 MBq mg⁻¹, pureza radioquímica de 98,74% e solubilidade em água de 62 mg L⁻¹.

Degradação

O experimento foi realizado em laboratório, num delineamento inteiramente casualizado, em arranjo fatorial 2 (solos) x 3 (doses 0, 100 e 200 m³ ha⁻¹ de vinhaça), em triplicata. As características químicas da vinhaça encontram-se descritas no quadro 2.

O ensaio foi desenvolvido em frascos de vidro de boca larga, hermeticamente fechados, com capacidade para 500 mL, utilizando uma massa de solo de 100 g por frasco.

Quadro 1. Características químicas e granulométricas dos solos Terra Roxa Estruturada (TR) e Latossolo Vermelho-Amarelo (LV)

Solo	pH _{H₂O}	C orgânico	P	K	Ca	Mg	Al	H + Al	T	Areia	Silte	Argila
		g dm ⁻³	mg dm ⁻³	mmol _c dm ⁻³					g kg ⁻¹			
TR	6,9	14,3	23	7,4	49	26	0	22	104,4	280	120	600
LV	6,0	4,0	6	0,7	14	5	1	38	57,7	700	60	240

Quadro 2. Características químicas da vinhaça

pH	C ⁽¹⁾	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	S	N	C/N
	g L ⁻¹							
4,30	7,47	0,10	5,10	1,18	0,42	0,96	0,70	11

⁽¹⁾ Determinado de acordo com o método da combustão (Nelson & Sommers, 1982).

A concentração do herbicida utilizada foi de 0,267 mg 100g⁻¹ de solo (3,2 kg ha⁻¹ de ingrediente ativo, dose máxima utilizada no campo), com radioatividade de 25 kBq 100 g⁻¹.

O ensaio foi conduzido por 120 dias, no escuro, a 25 ± 2°C, mantendo-se a umidade dos solos em 60% da capacidade de campo. O ¹⁴CO₂ desprendido do herbicida foi coletado por uma solução de NaOH 0,2 mol L⁻¹, e as avaliações foram feitas nos dias 0, 1, 7, 14, 21, 28, 35, 42, 49, 56, 63 e 120 após a aplicação. A radioatividade foi determinada por cintilação líquida (Mesquita & Ruegg, 1984).

Ao final do período de incubação, o herbicida remanescente e seus metabólitos foram extraídos com metanol, sendo feita a primeira extração por um período de duas horas e as duas extrações posteriores por 30 min. A separação dos metabólitos foi feita por cromatografia de camada delgada (TLC), utilizando-se hexano-acetona (6:4, v/v) como sistema solvente, e a detecção foi feita em "radio-scanner" (Automatic TLC-Linear Analyzer Berthold). Após a extração, alíquotas de amostras de solo foram oxidadas para o fechamento do balanço de radioatividade.

Para avaliar a atividade microbiana, foi instalado um experimento em arranjo fatorial 2 x 3 x 2, sendo: dois solos (TR e LV), três doses de vinhaça (0, 100 e 200 m³ ha⁻¹), com e sem herbicida. As avaliações foram feitas nos dias 0, 4, 11, 18, 25, 32 e 63, pelo método da ¹⁴C-glicose (Freitas et al., 1979). Foram realizadas análises de carbono orgânico por combustão seca e pH em água após o período de incubação.

Adsorção

Os tratamentos utilizados neste ensaio foram os mesmos empregados para o estudo da degradação. Entretanto, foram utilizadas cinco concentrações do herbicida para cada tratamento: 1,37; 2,67; 5,0; 7,0 e 10,0 µg mL⁻¹, com radioatividade de 0,33 kBq mL⁻¹. A relação solo/CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹ foi de 1/10 e o tempo de agitação de equilíbrio de 24 h.

O experimento foi feito em triplicata com um branco (herbicida sem solo) para cada concentração do herbicida, que foi utilizado como padrão.

Através do modelo matemático linearizado de Freundlich, descrito abaixo, foram determinadas as constantes de Freundlich para adsorção (K_f) e grau de linearidade (1/n).

$$\log A = \log K_f + 1/n \log C_e$$

em que:

A = quantidade do herbicida sorvido no solo (µg g⁻¹)

C_e = concentração do herbicida na solução em equilíbrio com o solo (µg mL⁻¹)

K_f = coeficiente de Freundlich

1/n = grau de linearidade da adsorção.

As análises estatísticas foram realizadas através do programa SAS. Foram feitas análises de variância e comparação de médias pelo teste t para o desprendimento de ¹⁴CO₂ acumulado e foram calculadas as diferenças mínimas significativas (DMS) para o pH e para a atividade microbiana.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Degradação

A adição de vinhaça ao solo TR proporcionou aumento significativo no desprendimento de ¹⁴CO₂ deste herbicida, contribuindo para maior mineralização da molécula (Quadro 3).

A avaliação semanal do desprendimento de ¹⁴CO₂ (Figura 1) neste mesmo solo mostrou que a dose de vinhaça de 200 m³ ha⁻¹ contribuiu mais com a

Quadro 3. Percentagem acumulada de $^{14}\text{CO}_2$ despreendido do herbicida diuron nos solos Terra Roxa Estruturada (TR) e Latossolo Vermelho-Amarelo (LV)

Dia após aplicação	Solo	Dose de vinhaça ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$)		
		0	100	200
28	TR	6,27 bA ⁽¹⁾	10,89 aA	11,64 aA
	LV	1,30 aB	1,34 aB	1,38 aB
63	TR	11,07 cA	20,28 bA	34,64 aA
	LV	2,44 aB	2,56 aB	2,91 aB
120	TR	15,12 cA	37,20 bA	59,77 aA
	LV	3,47 aB	3,67 aB	4,19 aB

⁽¹⁾ Letras minúsculas e maiúsculas iguais, nas linhas e colunas, respectivamente, indicam não haver diferença entre tratamentos a 0,01 de significância pelo teste t.

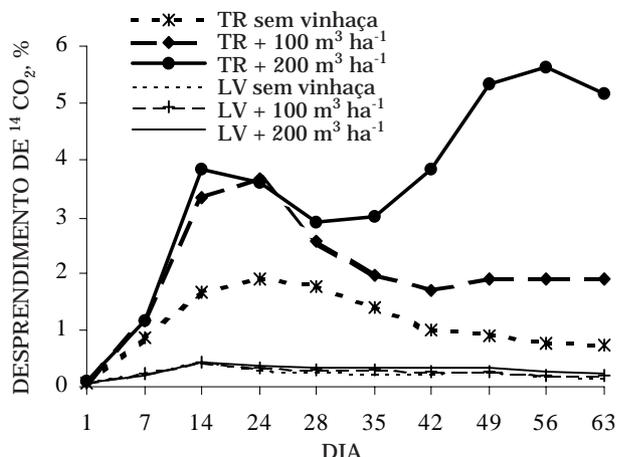


Figura 1. Desprendimento de $^{14}\text{CO}_2$ do diuron nos solos Terra Roxa Estruturada (TR) e Latossolo Vermelho-Amarelo (LV), incubados com vinhaça até 63 dias. Coeficiente de variação $\leq 10,75\%$.

mineralização do herbicida que a de $100 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1}$, que, por sua vez, proporcionou um desprendimento mais pronunciado do que a testemunha. Tal tendência prosseguiu até os 120 dias, quando cerca de 60% do diuron aplicado foi mineralizado no tratamento com $200 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1}$ do resíduo (Quadro 3).

Considerando os primeiros 28 dias de incubação, período utilizado nos testes de classificação quanto à persistência de pesticidas no solo para fins de registro no IBAMA (BRASIL, 1988), a adição da vinhaça acelerou a mineralização do diuron, chegando ao ponto de alterar sua classificação de persistência, que passou de média para reduzida (BRASIL, 1988). Costa (1992), estudando a degradação de ametrina, também observou este

efeito, porém, causado pela adição de material vegetal. A persistência da ametrina passou de alta para média.

No solo LV, não foi observada alteração no tempo de mineralização do diuron com a presença de vinhaça; entretanto, foi sempre inferior à ocorrida no TR (Quadro 3). É provável que isto se deva à ausência de espécies microbianas neste solo capazes de degradar esta molécula, já que a vinhaça contribuiu para o aumento da atividade microbiana (Figura 2b).

Os efeitos da matéria orgânica na biodegradação de pesticidas têm sido abordados por vários autores (Costa, 1992; Cox et al., 1996; Vroumsia, 1996). Eles observaram que a matéria orgânica pode aumentar ou diminuir a biodegradação de pesticidas por ativar a microbiota heterotrófica do solo em alguns casos e, em outros, por favorecer os processos de adsorção.

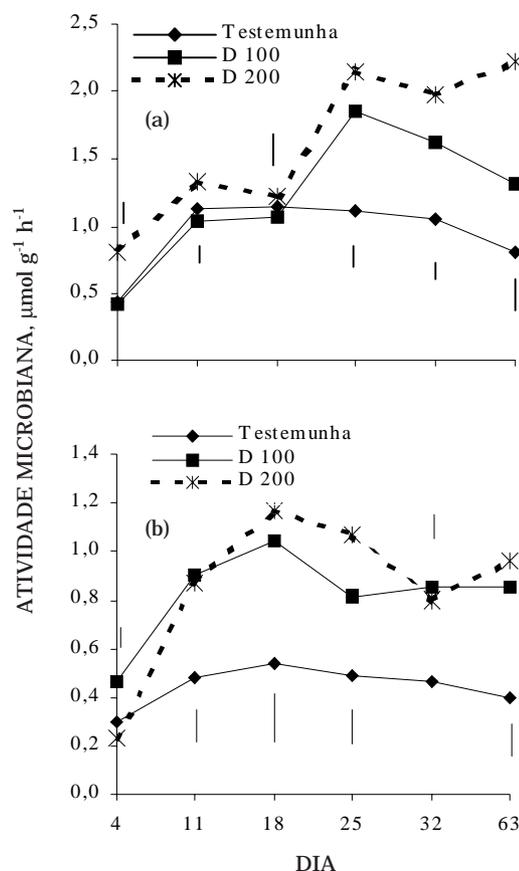


Figura 2. Atividade microbiana nos solos (a) Terra Roxa Estruturada e (b) Latossolo Vermelho-Amarelo, tratados com diuron e 100 e $200 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1}$ de vinhaça. (D 100 = diuron + $100 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1}$ de vinhaça, D 200 = diuron + $200 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1}$ de vinhaça). As barras indicam a diferença mínima significativa (DMS) pelo teste t a 0,05 de significância.

A maior percentagem de mineralização do diuron no solo TR com a adição de vinhaça pode ser, possivelmente, atribuída ao aumento da atividade microbiana nessas condições (Figura 2a), o que também foi observado por outros autores (Minhoni & Cerri, 1987; Martinez Cruz et al., 1987).

O aumento da atividade microbiana com a adição do resíduo (Figura 2a e b) pode ser devido ao fornecimento de energia e carbono aos microrganismos quimiorganotróficos por meio da matéria orgânica da vinhaça, que constitui uma fonte de carbono solúvel, prontamente disponível. Segundo Rodella et al. (1983), a maior parte do carbono da vinhaça está na forma de glicerol, proveniente de rotas alternativas durante o processo de fermentação na produção do álcool. Na célula microbiana, o glicerol pode passar a dihidroxicetona que é incorporado à via glicolítica do metabolismo microbiano (Lehninger, 1985).

Além disso, foram observados acréscimos no pH com a adição de vinhaça (Figura 3a e b). Este comportamento pode influenciar o desenvolvimento de microrganismos responsáveis pela degradação de pesticidas.

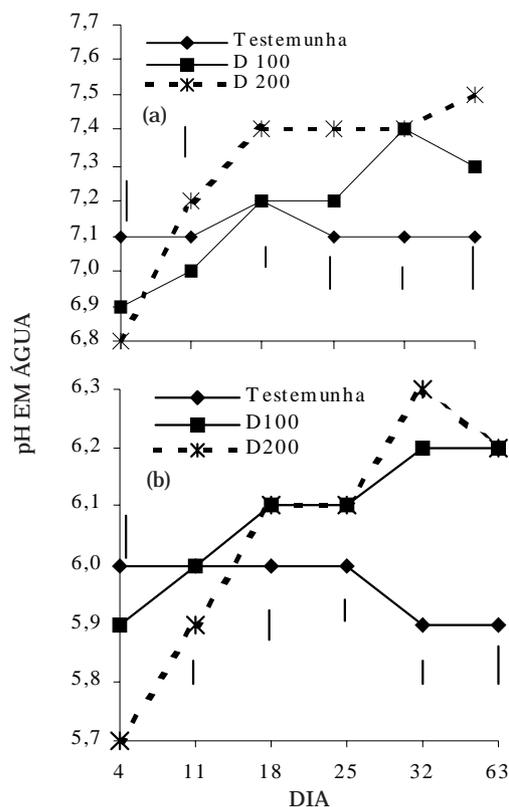


Figura 3. Valores de pH em água nos solos (a) Terra Roxa Estruturada e (b) Latossolo Vermelho-Amarelo, incubados com vinhaça e diuron. (D 100 = diuron + 100 m³ ha⁻¹ de vinhaça, D 200 = diuron + 200 m³ ha⁻¹ de vinhaça). As barras indicam a diferença mínima significativa (DMS) pelo teste t a 0,05 de significância.

Cambium & Cordeiro (1986) e Camargo et al. (1987) tentaram explicar esta elevação no pH pela introdução de cátions básicos ao sistema. Reis & Rodella (1998) atribuíram a elevação no pH ao fato de cerca de 90% do carbono da vinhaça ser solúvel e assim participar de processos que não ocorrem com as formas sólidas de carbono. Por outro lado, alguns autores defendem que o incremento no pH pela adição da vinhaça depende do aumento da atividade microbiana do solo, a qual torna o meio redutor (Leal et al., 1983; Matiazzo & Glória, 1987). Na falta de O₂, que é o receptor de elétrons, outros receptores seriam utilizados numa escala de potencial de oxirredução. Estas novas reações seriam consumidoras de prótons, elevando o pH do meio.

O aumento no pH, provocado pela adição da vinhaça, poderia favorecer o processo de hidroxilação, que é um dos principais processos envolvidos na degradação de pesticidas pelo aumento da polaridade da molécula (Bollag & Liu, 1990). Isto pode ser uma das possíveis explicações para o aumento da degradação do diuron com a adição da vinhaça, visto que a mineralização variou com os aumentos da atividade microbiana e pH no solo TR. Dessa forma, pode ter ocorrido a hidroxilação do radical dimetiluréia do diuron, aumentando a polaridade e, conseqüentemente, deixando a molécula mais passível de sofrer os processos de degradação.

Na TR, o aumento na mineralização do diuron com a adição de vinhaça (Quadro 3) pode ter ocorrido como conseqüência da atuação indireta de microrganismos. Para Bollag & Liu (1990), estes efeitos indiretos podem ser devidos à transformação do pesticida por reações metabólicas, em que o substrato não serve como fonte de energia aos microrganismos, denominando este fenômeno de cometabolismo.

Para todos os tratamentos, a extração foi quase a totalidade da fração disponível do herbicida (Quadro 4), indicando que a molécula não tende à formação de resíduos ligados. Isto implica que o diuron residual não pode ser considerado como dissipado, pois pode retornar à solução do solo e ser lixiviado ou absorvido por plantas. Este efeito residual foi alertado por Rodrigues & Almeida (1995). Os valores para o balanço final de recuperação do herbicida ficaram entre 94,26% e 110,79% (Quadro 4).

Os resultados obtidos referentes à produção de metabólitos encontram-se descritos no quadro 5. No TR, foram produzidos os metabólitos com valores de R_f de 0,43 e 0,16 nas parcelas em que foram aplicadas as doses de vinhaça de 0 e 100 m³ ha⁻¹, respectivamente. No LV, foi encontrado o metabólito com valor de R_f de 0,31 em todos os tratamentos. A identificação dos metabólitos não foi possível pela falta de padrões, no entanto, os diferentes valores de R_f nos dois solos podem ser indicativos de diferentes rotas metabólicas de degradação do diuron nestes solos.

Quadro 4. Percentagem de recuperação do herbicida diuron nos solos Terra Roxa Estruturada e Latossolo Vermelho-Amarelo, tratados com 0, 100 e 200 m³ ha⁻¹ de vinhaça, aos 120 dias da aplicação. (d. = desprendido; e. = extraído; n. = não-extraível; r. = recuperado)

¹⁴ CO ₂	Dose de vinhaça (m ³ ha ⁻¹)					
	Terra Roxa Estruturada			Latossolo Vermelho-Amarelo		
	0	100	200	0	100	200
d.	15,12	37,20	59,77	3,47	3,67	4,19
e.	82,65	55,95	36,32	91,12	87,55	104,10
n.	8,16	10,67	12,99	8,75	3,04	2,50
r.	105,93	103,82	109,08	103,34	94,26	110,79

Quadro 5. Identificação da radioatividade extraída, resultante da aplicação do herbicida diuron nos solos Terra Roxa Estruturada e Latossolo Vermelho-Amarelo, tratados com vinhaça

Solo	Dose de vinhaça	Rf ⁽¹⁾	% do extraído
Terra Roxa Estruturada	0	0,43 0,37 ⁽²⁾	33,64 49,00
	100	0,16 0,37 ⁽²⁾	15,16 40,80
	200	0,37 ⁽²⁾	36,32
Latossolo Vermelho-Amarelo	0	0,31 0,37 ⁽²⁾	14,80 76,32
	100	0,31 0,37 ⁽²⁾	20,64 66,92
	200	0,31 0,37 ⁽²⁾	29,12 70,88

⁽¹⁾ Relação de frente. ⁽²⁾ Produto original.

Adsorção

Os valores das constantes de Freundlich (K_f), em ambos os solos, foram baixos e praticamente não foram alterados com a adição da vinhaça (Quadro 6). Todavia, o herbicida foi mais adsorvido pela TR do que pelo LV (Quadro 6).

O diuron é uma molécula não-iônica. Apresenta valores de solubilidade em água de 62 mg L⁻¹ e log K_{ow} de 2,85 (Luchini, 1987), o que lhe confere características hidrofóbicas e justifica os maiores valores de K_f no solo com teor de matéria orgânica mais elevado (TR). Resultados semelhantes foram

Quadro 6. Parâmetros de Freundlich para a capacidade de adsorção dos herbicida diuron nos solos Terra Roxa Estruturada (TR) e Latossolo Vermelho-Amarelo (LV), tratados com vinhaça

Solo	Dose de vinhaça	Parâmetro de Freundlich		
		K_f ⁽¹⁾	1/n ⁽²⁾	R ²
	m ³ ha ⁻¹			
TR	0	2,4	0,64	0,97
	100	2,1	0,64	0,99
	200	2,3	0,75	0,99
LV	0	1,1	0,72	0,99
	100	1,0	0,72	0,98
	200	1,2	0,69	0,98

⁽¹⁾ Constante de Freundlich. Média de 3 repetições. Coeficiente de variação $\leq 5,30$ %. ⁽²⁾ Grau de linearidade.

obtidos por Luchini (1987) e Gaillardon (1997). Isto indica que, provavelmente, a interação hidrofóbica do diuron e a matéria orgânica do solo pode estar ocorrendo. Entretanto, Stevenson (1972) relatou que o mecanismo de adsorção de compostos orgânicos não-iônicos se dá por ligações de pontes de hidrogênio entre o herbicida e o adsorvato.

A TR também apresenta maior percentual de argila e CTC mais elevada que o LV (Quadro 1). Mustafa & Gamar (1972) obtiveram coeficientes de correlação significativos entre o diuron adsorvido e a capacidade de troca de cátions, superfície específica e, em menor escala, percentagem de argila em solos com baixo conteúdo de matéria orgânica, em regiões áridas do Sudão.

Valores de K_f entre 1,94 e 23,15 foram encontrados por Luchini (1987) para a adsorção do diuron, sendo estes maiores nos solos com taxas de matéria orgânica mais elevadas. Os graus de linearidade das isotermas, neste mesmo trabalho, ficaram entre 0,79 e 1,07. Valores de K_f condizentes aos deste trabalho (Quadro 6) também foram obtidos por Gaillardon (1997) e Walker & Jurado-Exposito (1998); entretanto, os valores de 1/n foram superiores aos mostrados no quadro 6.

A não-interferência da adição da vinhaça na adsorção do diuron pode ser explicada pelo fato de a matéria orgânica deste resíduo ser constituída, principalmente, de glicerol, que é prontamente disponível aos microrganismos quimiorganotróficos do solo. Assim, após quatro dias da adição da vinhaça, grande parte da matéria orgânica do resíduo já havia sido mineralizada. Isto pode ser observado pelas análises de C orgânico (Quadro 7) das amostras de solo com e sem adição de vinhaça, quatro dias após sua aplicação.

Quadro 7. Carbono orgânico nos solos Terra Roxa Estruturada (TR) e Latossolo Vermelho-Amarelo (LV), aos 4 dias da aplicação de vinhaça

Dose de vinhaça m ³ ha ⁻¹	Solo	
	Terra Roxa Estruturada	Latossolo Vermelho-Amarelo
	g kg ⁻¹	
0	14,8 ⁽¹⁾	4,6
100	15,1	4,7
200	14,5	4,9

⁽¹⁾ Médias de duas repetições. Coeficiente de variação ≤ 6,95 % para o TR e ≤ 13,86% para o LV.

CONCLUSÕES

1. A adição da vinhaça fez com que o processo de mineralização do diuron fosse acelerado no TR.
2. A degradação do diuron foi superior no TR em relação ao LV.
3. A adsorção do diuron foi baixa nos dois solos e não foi influenciada pela adição da vinhaça.
4. O diuron foi pouco adsorvido pelos solos TR e LV e pôde ser extraído 120 dias após a aplicação, o que indicou baixa tendência à formação de resíduo ligado.
5. O cometabolismo pode ser um dos processos microbianos envolvidos na transformação microbiana do diuron.

LITERATURA CITADA

- BOLLAG, J.M. & LIU, S.Y. Biological transformation processes of pesticides. In: CHENG, H.H., ed. Pesticides in the soil environment: processes, impacts and modeling. Madison, Soil Science Society of America, 1990. p.169-211.
- BRASIL. Ministério do Interior. Manual de testes para avaliação da ecotoxicidade de agentes químicos. Brasília, Secretaria Especial do Meio Ambiente, 1988. 408p.
- CAMARGO, O.A.; VALADARES, J.M.A.S.; BERTON, R.S.; TEÓFILO SOBRINHO, J. & MENK, J.R.F. Alteração de características químicas de um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico pela aplicação de vinhaça. Campinas, Instituto Agrônomo de Campinas, 1987. 23p. (Boletim Científico)
- CAMBUIM, F.A & CORDEIRO, D.A. Ação da vinhaça sobre pH, acidez total, acumulação e lixiviação de nutrientes, em solo arenoso. STAB - Açú. Álcool Subprod., 4:27-33, 1986.
- COSTA, M.A. Biodegradação de ¹⁴C-ametrina em Areia Quartzosa com adição de palha de cana e solo rizosférico. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 1992. 107p. (Tese de Mestrado)
- COX, L.; WALKER, A. & WELCH, S.J. Evidence for the accelerated degradation of isoproturon in soils. Pest. Sci., 48:253-260, 1996.
- FREITAS, J.R.; NASCIMENTO FILHO, V.F.; VOSE, P.B. & RUSCHEL, A.P. Estimativa da atividade da microflora heterotrófica do solo TRE usando respirometria com Glucose-¹⁴C. Energia Nuc. Agric., 1:123-130, 1979.
- GAILLARDON, P. Desorption of diuron and isoproturon from undispersed clay loam soil. Pest. Sci., 51:185-193, 1997.
- LEAL, J.R.; AMARAL SOBRINHO, N.M.B.; VELLOSO, A.C.X. & ROSSIELLO, R.O.P. Potencial redox e pH: variações em um solo tratado com vinhaça. R. Bras. Ci. Solo, 7:257-261, 1983.
- LEHNINGER, A.L. Princípios de bioquímica. Tradução de W.L. Lodi e A.A. Simões. São Paulo, Sarvier, 1985. 725p.
- LUCHINI, L.C. Adsorção-dessorção dos herbicidas paraquat, diuron e 2,4-D em seis solos brasileiros. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 1987. 91p. (Tese de Mestrado)
- MARTINEZ CRUZ, A.; ALEMÉN, I.; BACH, T. & CALERO, B.J. Effects of irrigation with sugar factory waste water. II. Microflora associated to the carbon cycle. Ci. Agric., 30:118-127, 1987.
- MATTIAZZO, M.E. & GLÓRIA, N.A. Effect of vinasse on soil activity. Water Sci. Tecnol., 19:1293-1296, 1987.
- MESQUITA, T.B. & RUEGG, E.F. Influência de agentes tensoativos na detecção da radiação beta. Ci. Cult., 36:446-450, 1984.
- MINHONI, M.T.A. & CERRI, C.C. Decomposição de vinhaça em solo sob diferentes níveis de umidade: liberação de CO₂, formação de biomassa microbiana e imobilização do nitrogênio adicionado. R. Bras. Ci. Solo, 11:25-30, 1987.
- MUSTAFA, M.A. & GAMAR, Y. Adsorption and desorption of diuron as a function of soil properties. Soil Sci. Soc. Proc., 36:561-565, 1972.
- NELSON, D.W. & SOMMERS, L.E. Total carbon, organic carbon, and organic matter. In: PAGE, A.L., ed. Methods of soil analysis. 2.ed. Part 2. Madison, American Society of Agronomy, 1982. p.539-579
- RAIJ, B. van & QUAGGIO, J.A. Métodos de análise de solo para fins de fertilidade. Campinas, Instituto Agrônomo de Campinas, 1983. 31p. (Boletim técnico, 81)
- REIS, T. & RODELLA, A.A. Relação entre a incorporação de matéria orgânica, pH e alumínio trocável do solo. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO, 22., Caxambú, 1998. Anais. Caxambú, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1998. p.382.
- RODELLA, A.A.; ZAMBELLO Jr., E. & ORLANDO FILHO, J. Effects of vinasse added to soil on pH and exchangeable aluminum content. In: CONGRESS OF INTERNATIONAL SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS, 18., La Habana, 1983. Proceedings. La Habana, 1983. p.189-214.
- RODRIGUES, B.N. & ALMEIDA, F.S. Guia de herbicidas. Londrina, Instituto Agrônomo do Paraná, 1995. 676p.
- STEVENSON, F.J. Organic matter reactions involving herbicides in soil. J. Environ. Qual., 1:333-343, 1972.
- VROUMSIA, T.; STEIMAN, R.; SEIGLE-MURANDI, F.; BENOIT-GUYOD, J.L. & KHADRANI, A. Biodegradation of three substituted phenylurea herbicides (chlortoluron, diuron and isoproturon) by soil fungus. A comparative study. Chemosphere, 33:2045-2056, 1996.
- WALKER, A. & JURADO-EXPOSITO, M. Adsorption of isoproturon, diuron and metsulfuron-methyl in two soils at high soil:solution ratios. Weed Res., 38:229-238, 1998.