

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE LIXIVIAÇÃO DE PESTICIDAS EM LATOSSOLO DA REGIÃO DE GUAÍRA, SP

CLAUDIO A. SPADOTTO *
HELOISA FILIZOLA *
MARCO A. F. GOMES *

Os potenciais de lixiviação de dezenove pesticidas nos primeiros 60 cm de latossolo da região de Guairá, Estado de São Paulo, foram estimados mediante fator de atenuação (*AF*). O modelo aplicado considerou propriedades do pesticida e do solo, assim como a taxa de recarga hídrica líquida. Os pesticidas com maior potencial de lixiviação foram: Monocrotofós > Carbofuran > Metalaxil > Aldicarb > Metolaclo > Metamidofós. Para todos os pesticidas estudados naquele latossolo, o retardamento da lixiviação devido à volatilização foi muito pequeno quando comparado com o retardamento devido à sorção. Todos os pesticidas que apresentaram os mais altos potenciais de lixiviação foram os mais solúveis em água, com valores do coeficiente de partição (K_{oc}) iguais ou menores que 200 mL/g. Além disso, a meia-vida da maioria destes pesticidas excedeu 30 dias. Os resultados obtidos permitiram estimar que 15,2% do Monocrotofós, 5,7% do Carbofuran e 2,5% do Metalaxil que atinge a superfície do solo ultrapassariam os primeiros 60 cm do perfil do solo, sendo que cerca de 8 mg para cada 100 g de Monocrotofós aplicados na superfície do solo passariam através dos primeiros 3 m. Com base nos baixos valores de *AF* calculados, o potencial de lixiviação dos pesticidas que têm sido usados em áreas agrícolas de Guairá (SP) sobre latossolos apresenta-se baixo, assim como o conseqüente risco de contaminação da água subterrânea.

PALAVRAS-CHAVE: LIXIVIAÇÃO; FATOR DE ATENUAÇÃO; LATOSSOLOS.

* Pesquisadores da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP.
(e-mail: spadotto@cnpma.embrapa.br).

1 INTRODUÇÃO

O Brasil está entre os maiores consumidores de pesticidas no mundo, sendo que seu uso no país tem aumentado muito além do crescimento da área agrícola nos últimos trinta anos (SPADOTTO et al., 1996). Após a entrada de determinado pesticida no solo, vários processos físicos, químicos e biológicos determinam seu comportamento. A dinâmica do pesticida no solo é governada por processos de retenção, transformação e transporte, e pela interação entre estes. Além da variedade de processos envolvidos na determinação do comportamento do pesticida, muitos fatores podem afetar a cinética dos processos.

Alguns latossolos apresentam agregados muito estáveis e a condutividade hidráulica em muitos casos é considerável. As propriedades do solo que afetam a sorção de pesticidas são variáveis e dependem também da composição específica do produto. Entretanto, a literatura indica a matéria orgânica como sendo a mais importante propriedade do solo que afeta a sorção de pesticidas.

Vários autores têm proposto métodos de seleção para verificar se determinado pesticida apresenta possibilidade de lixiviar. Alguns cientistas têm tentado estabelecer valores limites para uma propriedade física ou conjunto de propriedades que, quando excedidos, indicariam que o pesticida apresenta potencial de lixiviação. Outros autores têm proposto modelos analíticos ou numéricos muito simples, os quais empregam propriedades medidas ou estimadas dos pesticidas e dos solos, no sentido de prever a possibilidade de lixiviação.

Grande número de modelos computacionais de simulação está disponível para avaliações do comportamento de pesticidas na zona de raiz no solo. Modelos têm também sido desenvolvidos para descrever os vários processos ambientais que influenciam a dinâmica de pesticidas. Tais modelos usualmente demandam muitos dados e requerem conhecimento de diversos parâmetros do solo, do clima, do pesticida e da cultura. Na maioria dos casos, tais parâmetros não estão disponíveis e nem estarão num futuro próximo, devido aos altos custos associados com a obtenção destes dados para grande número de combinações solo-clima-pesticida-cultura. No entanto, como anotado por DeCOURSEY (1992), a experiência tem mostrado que a resposta de sistemas naturais complexos podem, freqüentemente, ser representados por modelos de baixa ordem e poucos parâmetros que incorporem os modos dominantes do comportamento.

Por muitos anos, a mobilidade dos pesticidas foi identificada como característica-chave na avaliação do potencial de lixiviação exigindo o uso de mecanismos como o coeficiente de sorção para ordenar o potencial

de mobilidade de pesticidas no solo. Entretanto, mobilidade por si só não constitui bom indicador de lixiviação e de potencial de contaminação de água subterrânea. A combinação mobilidade/persistência é que determina se o composto será degradado durante seu tempo de permanência na zona vadosa do solo.

Como alternativa para simplificar índices de mobilidade, JURY et al. (1983) recomendaram o uso de modelo de triagem/seleção que inclui a influência de mobilidade e meia-vida bioquímica na avaliação do potencial de lixiviação. Abordagem similar foi usada por RAO et al. (1985) na elaboração de índice simples baseada no tempo de permanência na zona vadosa do solo.

Considerando apenas o movimento convectivo (ou advectivo), e assumindo fluxo sem dispersão no solo e equilíbrio instantâneo entre fases, JURY et al. (1983) definiram o tempo de convecção como: função da densidade do solo, da fração de carbono orgânico, dos conteúdos volumétricos de água e ar, do coeficiente de partição (ou sorção) do pesticida normalizado para o teor de carbono orgânico, constante da lei de Henry, da distância sobre a qual o fluxo ocorre e a vazão do fluxo de água. Nas comparações em que a densidade do solo, a fração de carbono orgânico, a relação entre a distância sobre a qual o fluxo ocorre e a vazão de água são relativamente constantes o coeficiente de partição do pesticida normalizado para carbono orgânico (K_{oc}) é útil como índice de mobilidade ou para prever o tempo de convecção (t_c). Compostos com baixo K_{oc} revelam menor t_c e, portanto, movem-se a maiores distâncias ou em menor tempo, apresentando maior potencial de lixiviação.

RAO et al. (1985) incorporaram funções de degradação de pesticidas em expressões de tempo de transporte para produzir o fator de atenuação (AF). Este consiste na relação entre a massa do pesticida entrando na água subterrânea a alguma distância abaixo da superfície do solo e a massa do pesticida aplicado à superfície. Calculando índices relativos de mobilidade, JURY et al. (1984) utilizaram profundidade arbitrária de 10 cm, enquanto RAO et al. (1985) usaram a distância aproximadamente real até a água subterrânea.

Na verdade, o fluxo através da zona de raiz é altamente transiente e as taxas de degradação são, provavelmente, diferentes na zona de raiz e abaixo dela. Tal fato pode tornar-se importante em situações cujo pesticida é rapidamente levado para a zona vadosa (abaixo da zona de raiz) pela água da chuva, logo após sua aplicação. Uma vez na zona vadosa, a taxa de degradação pode mostrar-se menor que na zona de raiz, assim o potencial de transporte para águas subterrâneas pode ser significativamente subestimado. No entanto, isso pode não apresentar sérios problemas, principalmente quando desenvolve-se ordenamento de

compostos, no qual percebe-se que a posição ou ordem relativa de lixiviabilidade pode mudar um pouco sob diferentes condições de solo e clima.

Avaliou-se, neste trabalho, o potencial de lixiviação de dezenove pesticidas empregados em agricultura irrigada intensiva na Região de Guaíra, Estado de São Paulo.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Os valores médios das propriedades dos dezenove pesticidas estudados foram coletados em várias fontes (Tabela 1).

TABELA 1 - PROPRIEDADES DOS PESTICIDAS USADOS EM AGRICULTURA IRRIGADA INTENSIVA NA REGIÃO DE GUAÍRA, ESTADO DE SÃO PAULO

Pesticida	t‰ (dias)	K _{oc} (mL/g)	K _H *
Aldicarb	30	30	1.0E-04
Captan	2.5	200	4.9E-05
Carbofuran	50	22	3.1E-07
Clorotalonil	30	1380	9.1E-05
Clorpirif s	30	6070	1.8E-04
Dicofol	45	5000	1.0E-04
Diuron	90	480	5.4E-08
Endosulfan	50	12400	1.2E-04
Iprodione	14	700	1.3E-06
λ-Cyhalothrin	30	180000	----
Mancozeb	70	2000	2.4E-06
Maneb	70	2000	----
Metalaxil	70	50	1.0E-07
Metamidof s	6	5	1.2E-09
Metil Paration	5	5100	3.9E-06
Metolaclof	90	200	1.0E-05
Monocrotof s	30	1	2.7E-10
Tiram	15	670	----
Trifluralin	60	8000	6.7E-03

(*) adimensional, (----) aproximadamente zero.

Fonte: Adaptado de JURY et al. (1984), RAO et al. (1985), HORNSBY (1996).

As propriedades do solo foram obtidas a partir de doze amostras e os valores apresentados na Tabela 2 representam as médias das análises realizadas. A porosidade e a densidade do solo foram determinadas segundo o método proposto pelo Instituto Agrônômico de Campinas (IAC) (CAMARGO et al., 1986), em mesa de tensão e estufa a 105 °C. Para a

avaliação da capacidade de campo utilizou-se o extrator de Richards (EMBRAPA, 1997), enquanto que o teor de carbono orgânico foi determinado por titulação segundo o método de Walkley e Balck modificado pela EMBRAPA (1997). Essas propriedades representam aquelas dos latossolos predominantes na região que têm horizonte oxidico (CTC <13 meq/100 g de argila após dedução da contribuição do carbono orgânico) com poucos minerais intemperizáveis, consistindo de misturas de caulinita, óxidos de ferro (18-40% de Fe₂O₃) e quartzo. Tais solos apresentam 35% ou mais de saturação de base em todo o perfil dentro de 125 cm da superfície do solo, sendo classificados como Latossolos Vermelhos Distroféricos – LVdf - (EMBRAPA, 1999). São solos profundos e bastante drenados, com propriedades relativamente uniformes no perfil. Apresentam agregados muito estáveis com estrutura granular, cobertos com argilas oxidicas e matéria orgânica. A taxa de recarga hídrica líquida de 667 mm/ano foi estimada como a diferença entre chuva (1.777 mm/ano) mais irrigação (353 mm/ano), e evapotranspiração (1.463 mm/ano), assumindo, portanto, fluxo constante na zona do solo considerada.

Os potenciais de lixiviação dos pesticidas foram avaliados por meio do modelo *AF* (RAO et al., 1985), cuja aplicação foi determinada não apenas pelos objetivos da pesquisa, mas também pela disponibilidade de dados que são requeridos considerando a profundidade de 60 cm. De acordo com RAO et al. (1985) o fator de atenuação (*AF*) é definido como a fração da quantidade de pesticida aplicada na superfície do solo que lixivia através de determinada profundidade, podendo ser expressa pela equação:

$$AF = \exp(-tr \times k) \quad [1]$$

na qual, *tr* representa o tempo de percurso e *k* a constante da taxa de degradação de primeira ordem do pesticida. A meia-vida do pesticida (*t*^{1/2}) está relacionada com *K* conforme a equação:

$$k = \frac{0.693}{t^{1/2}} \quad [2]$$

O tempo de percurso foi calculado de acordo com RAO et al. (1985) pela seguinte equação:

$$tr = \left(\frac{L \times FC}{q} \times RF \right) \quad [3]$$

na qual *L* representa a distância até a água subterrânea, *FC* a capacidade de campo do solo e *q* a taxa de recarga líquida.

O fator de retardamento (Retardation Factor, *RF*) do movimento do pesticida foi obtido pela equação:

$$RF = 1 + \frac{(BD \times OC \times K_{oc})}{FC} + \frac{(AC \times K_H)}{FC} \quad [4]$$

na qual *BD* é a densidade do solo, *OC* a fração de carbono orgânico, *K_{oc}* o coeficiente de partição do pesticida normalizado para carbono orgânico, *AC* a fração da porosidade preenchida com ar e *K_H* a constante da lei de Henry.

TABELA 2 - PROPRIEDADES DO LATOSSOLO VERMELHO DISTROFÉRRICO – LVDF - (EMBRAPA, 1999) DA REGIÃO DE GUAÍRA, ESTADO DE SÃO PAULO

Propriedade	Valor
Porosidade	57.9 %
Capacidade de Campo	23.1 %
Densidade Global	1.27 g/cm ³
Carbono Orgânico	1.4 %

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores do fator de atenuação (*AF*) foram calculados e os pesticidas ordenados em termos do potencial de lixiviação (Tabela 3). Para todos os pesticidas estudados, o retardamento devido à volatilização foi muito baixo quando comparado com o retardamento devido à sorção. O maior valor do fator de retardamento foi calculado para λ -cyhalothrin (*RF* = 1,4 x 10⁴) e o menor para Monocrotofós (*RF* = 1,1). Entre os pesticidas com os maiores potenciais de lixiviação, o Metolaclor obteve o maior valor para o retardamento (*RF* = 16,7), juntamente com o Captan.

Considerando apenas o fator de retardamento (*RF*), o ordenamento do potencial de lixiviação seria: Monocrotofós> Metamidofós> Carbofuran> Aldicarb> *Metalaxil*> Metolaclor e Captan. Com exceção de Captan, os pesticidas com maior potencial de lixiviação são os mesmos do ordenamento baseado no Fator de Atenuação, mas com algumas diferenças nas posições. O pesticida Captan não está entre os com maior potencial de lixiviação, de acordo com *AF*, em razão da sua meia-vida muito curta ($t_{1/2} = 2,5$ dias).

TABELA 3 - FATOR DE ATENUAÇÃO (*AF*) DE CADA PESTICIDA CALCULADO PELA EQUAÇÃO 1 E OS DADOS DAS TABELAS 1 E 2

Pesticida	<i>AF</i>*
Monocrotof s	1.52E-01
Carbofuran	5.70E-02
Metalaxil	2.48E-02
Aldicarb	2.81E-03
Metolaclor	5.82E-05
Metamidof s	5.16E-06

* Valores menores que E-07 não foram considerados, pois representam potencial muito baixo de lixiviação.

Dentre os pesticidas estudados, os mais solúveis foram os que apresentaram os maiores potenciais de lixiviação (solubilidade em água maior que 350 mL/L). Para estes pesticidas, os valores de meia-vida excederam 30 dias, exceto Metamidofós ($t_{1/2} = 6$ dias), que é muito solúvel em água e apresenta baixo coeficiente de partição ($K_{oc} = 5$ mL/g). Metolaclor e Diuron apresentam a mesma meia-vida ($t_{1/2} = 90$ dias), porém o valor de K_{oc} (480 mL/g) do Diuron é mais alto que o do Metolaclor ($K_{oc} = 200$ mL/g). Os pesticidas com maiores potenciais apresentam valores de K_{oc} igual a 200 mL/g ou menor.

O *Fator de Atenuação* apresenta vantagem comparativa ao *Fator de Retardamento* por permitir a estimativa da massa do pesticida entrando na água subterrânea. Os resultados permitem estimar que 15,2% do Monocrotofós, 5,7% do Carbofuran e 2,5% do Metalaxil que atinge a superfície do solo passaria através dos primeiros 60 cm do perfil do solo, decorridos, respectivamente, 81, 206 e 373 dias após a aplicação. É de conhecimento que os latossolos, de modo geral, apresentam propriedades relativamente uniformes no perfil. Assim, assumindo o mesmo valor de *AF*, abaixo dos 60 cm superficiais, cerca de 8 mg para cada 100 g de Monocrotofós aplicado na superfície do solo passaria através dos primeiros 3 m. Vale notar que o Monocrotofós é usado na cultura de feijão na dose de ± 300 g i.a./ha. A não-detecção de pesticidas em águas do lençol suspenso e das águas procedentes do aquífero Botucatu na região de Guairá, conforme relatado pela EMBRAPA (1998), pode ser corroborada pelos baixos valores de *AF* calculados para os pesticidas usados naquela região.

4 CONCLUSÃO

Com base nos baixos valores de *AF* calculados pode-se concluir que o potencial de lixiviação dos pesticidas em latossolos vermelhos, sob uso agrícola na região de Guairá (SP), apresenta-se baixo, assim como o conseqüente risco de contaminação da água subterrânea.

Abstract

ASSESSING LEACHING POTENTIAL OF PESTICIDES IN OXISOL FROM GUAÍRA REGION, STATE OF SÃO PAULO, BRAZIL

The leaching potentials of nineteen pesticides in the top 60 cm of a Brazilian Oxisol from Guaira region, São Paulo state were estimated by means of the Attenuation Factor (*AF*) method. The model applied considers pesticide and soil properties, as well as, the net recharge rate. The highest leaching potential pesticides were: Monocrotophos > Carbofuran > Metalaxyl > Aldicarb > Metolachlor > Metamidophos. For all of the pesticides studied in that Brazilian Oxisol, the leaching retardation due to the volatilization was very low when compared with the retardation due to sorption. All of the pesticides receiving the top leaching potential ranking were the most soluble pesticides, and they have organic carbon partitioning coefficient values equal 200 mL/g or lower. For almost all of these pesticides, half-life values exceed 30 days. Results allowed to estimate that 15.2% of Monocrotophos, 5.7% of Carbofuran, and 2.5% of Metalaxyl that reaches the soil surface would pass through the top 60 cm of the soil profile, and about 8 mg per 100 g of Monocrotophos applied on the soil surface would pass through the top 3 m. According to the *AF* values calculated, the leaching potential of the pesticides in use in

Guaira (SP) agricultural areas with Oxisols is low, as well the consequent ground water contamination risk.

KEY-WORDS: LEACHING; ATTENUATION FACTOR; OXISOL.

REFERÊNCIAS

- 1 CAMARGO, O.A. de; MONIZ, A.C.; JORGE, J.A.; VALADARES, J.M.A.S. **Métodos de análise química, mineralógica e física de solos**. Campinas: Instituto Agrônômico, 1986. (Boletim Técnico 106).
- 2 DeCOURSEY, D.G. Developing models with more detail: do more algorithms give more truth? **Weed Technology**, v. 6, p. 709-715, 1992.
- 3 EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.
- 4 EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa Produção da Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412 p.
- 5 EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa e Monitoramento de Impacto Ambiental. **Projeto Guaira**: subprojeto agrotóxicos e saúde ambiental em áreas irrigadas (relatório final). Jaguariúna, 1998. 11 p.
- 6 HORNSBY, A.G.; WAUCHOPE, R.D.; HERNER, A.E. **Pesticide properties in the environment**. New York: Springer-Verlag, 1996. 227 p.
- 7 JURY, W.A.; SPENCER, W.F.; FARMER, W.J. Behavior assessment model for trace organics in soil. I. Model description. **Journal of Environmental Quality**, v. 12, p. 558-564, 1983.
- 8 JURY, W.A.; SPENCER, W.F.; FARMER, W.J. Behavior assessment model for trace organics in soil. III. Application of screening model. **Journal of Environmental Quality**, v. 13, p. 573-579, 1984.

- 9 RAO, P.S.C.; HORNSBY, A.G.; JESSUP, R.E. Indices for ranking the potential for pesticide contamination of groundwater. **Soil and Crop Science Society FL Proceedings**, v. 44, p. 1-8, 1985.
- 10 SPADOTTO, C.A.; GOMES, M.A.F.; NEVES, M.C.; LUIZ, A.J.B. Caracterização do uso de agrotóxicos no Brasil: subsídio para o gerenciamento dos riscos ambientais. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, 13., Águas de Lindóia, SP, 1996. **Resumos expandidos...** Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996. CD-ROM.