

Boletim de Pesquisa 44 ***e Desenvolvimento*** ISSN 1516-4675 Junho, 2007

Avaliação do Potencial de Transporte de Agrotóxicos usados no Brasil por Modelos Screening e Planilha Eletrônica

Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 44

Avaliação do Potencial de Transporte de Agrotóxicos usados no Brasil por Modelos Screening e Planilha Eletrônica

Maria Conceição Peres Young Pessoa
Shirlei Scramin
Aldemir Chaim
Vera Lúcia Ferracini

Exemplares dessa publicação podem ser solicitados à:

Embrapa Meio Ambiente

Rodovia SP 340 - km 127,5 - Tanquinho Velho
Caixa Postal 69 13820-000, Jaguariúna, SP
Fone: (19) 3867-8750 Fax: (19) 3867-8740
sac@cnpma.embrapa.br
www.cnpma.embrapa.br

Comitê de Publicação da Unidade

Presidente: *Alfredo José Barreto Luiz*

Secretária-Executiva: *Heloisa Ferreira Filizola*

Secretário: *Sandro Freitas Nunes*

Bibliotecária: *Maria Amélia de Toledo Leme*

Membros: *Ladislau Araújo Skorupa, Ariovaldo Luchiar Junior, Luiz Antônio S.Melo, Adriana M. M. Pires, Emília Hamada e Cláudio M. Jonsson*

Normalização Bibliográfica: *Maria Amélia de Toledo Leme*

Editoração Eletrônica: *Alexandre Rita da Conceição*

1ª edição eletrônica

(2007)

Todos os direitos reservados.

A reprodução não-autorizada desta publicação, no seu todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Avaliação do potencial de transporte de agrotóxicos usados no Brasil por modelos screening e planilha eletrônica / Maria C. P. Young Pessoa, Shirley Scramin, Aldemir Chaim, Vera Lúcia Ferracini. – Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2007.

24p. – (Embrapa Meio Ambiente. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento; 44).

1. Recursos hídricos. 2. Agrotóxicos - impacto ambiental. 3. Modelo matemático. I. Pessoa, Maria C. P. Young. II. Scramin, Shirlei. III. Chaim, Aldemir. IV. Ferracini, Vera Lúcia. V. Título. VI. Série.

CDD 363.7394

© Embrapa 2007

Sumário

Resumo	05
Abstract	06
Introdução	07
Material e Métodos	09
Resultados e Discussão	13
Conclusões	18
Referências	19

Avaliação do Potencial de Transporte de Agrotóxicos usados no Brasil por Modelos Screening e Planilha Eletrônica

Maria Conceição Peres Young Pessoa¹

Shirlei Scramin²

Aldemir Chaim³

Vera Lúcia Ferracini⁴

Resumo

Cerca de 863 agrotóxicos registrados no país em 2000 foram formulados a partir de 367 princípios ativos (p.a.). Essa grande quantidade demanda a priorização daqueles que ofereçam maior potencial de transporte em águas superficiais e subterrâneas, para fins de monitoramento in loco. Este trabalho avaliou 145 p.a., contemplando os mais utilizados, pelo índice de GUS, identificando aqueles com potencial de lixiviação para água subterrânea. O potencial de transporte de 142 p.a., associado a sedimento ou dissolvido em água, foi avaliado pelo Método de GOSS. Constatou-se na análise de lixiviação que 82 p.a. não apresentam potencial; 22 p.a. encontram-se em faixa de transição e 41 p.a. apresentam potencial. Pela análise do potencial de transporte dos p.a. obteve-se: a) associado a sedimento: 28 p.a. tiveram alto potencial; 65 p.a. médio potencial e 49 p.a. baixo potencial; e b) dissolvido em água: 53 p.a. apresentaram alto potencial; 62 p.a. médio potencial; e 27 p.a. baixo potencial.

Palavras-chave: impacto ambiental; qualidade das águas; modelos matemáticos; sedimento.

¹Matemática Aplicada, Ph. D. em Engenharia Elétrica, Embrapa Meio Ambiente, Rod. SP 340, km 127,5 - Caixa Postal 69, Tanquinho Velho, 13.820-000 Jaguariúna, SP. young@cnpma.embrapa.br

²Farmacêutica-Bioquímica, Ph. D. em Química Orgânica, Embrapa Meio Ambiente, Rod. SP 340, km 127,5 - Caixa Postal 69, Tanquinho Velho, 13.820-000 Jaguariúna, SP. scramin@cnpma.embrapa.br

³Engenheiro Agrônomo, Mestre em Agronomia, Embrapa Meio Ambiente, Rod. SP 340, km 127,5 - Caixa Postal 69, Tanquinho Velho, 13.820-000 Jaguariúna, SP. aldemir@cnpma.embrapa.br

⁴Química, Ph. D. em Química, Embrapa Meio Ambiente, Rod. SP 340, km 127,5 - Caixa Postal 69, Tanquinho Velho, 13.820-000 Jaguariúna, SP. veraf@cnpma.embrapa.br

Brazilian Pesticide Transport Potential Assessment by Screening Models and Electronic Sheet

Abstract

Around 863 pesticides registered in Brazil during the year of 2000 were formulated by 367 active ingredients (a.i.). That great quantity of available products have demanded for the knowledge of which of them could offer the greatest potential transport to surface water and to groundwater, in order to establish the "in loco" monitoring priorities. The present work evaluated 145 a.i., including the most used in Brazil, by Gus Index in order to identify which of them could present main lixiviation potential to groundwater. The Goss Method was also applied for 142 a.i. in order to evaluate their transport potential associated to sediment or dissolved in water. The results reached by the lixiviation potential assessment indicated that: 82 a.i. had no potential; 22 a.i. were in transition situation; and 41 a.i. had lixiviation potential. The transport potential assessment indicated that: a) associated to sediment: 28 a.i. had high potential; 65 a.i. had mean potential and 49 a.i. had low potential; and b) dissolved in water: 53 a.i. had high potential; 62 a.i. had mean potential; and 27 a.i. had low potential.

Key words: environmental impact; water quality; mathematical models; sediment.

Introdução

A produção hídrica brasileira com distribuição externa é de 258.750 m³/s (8.160km³/ano), representando cerca de 12% da água doce do mundo. Aproximadamente 19,2% dos recursos hídricos brasileiros estão disponíveis para 95% da população. Entre os diferentes tipos de usos das águas citam-se: irrigação, aquicultura, industrial, abastecimento, saneamento, geração de energia, navegação, recreação, etc. (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2005).

A pouca disponibilidade de água doce no mundo gerou a crescente preocupação com a conservação de recursos hídricos. Associada à ela acrescenta-se que a má qualidade da água também torna-se um fator agravante ao quadro de escassez desse recurso natural. Assim, a sua conservação demanda pela avaliação dos efeitos causados pelas fontes potenciais de poluição nesse recurso.

O sistema de produção agrícola adotado nos últimos anos tem sido altamente dependente do uso de agroquímicos (agrotóxicos, fertilizantes e outros insumos) para assegurar produtividade, expondo os recursos hídricos ao risco de transporte de agrotóxicos aplicados nas culturas para áreas não alvo e, assim, expondo o ambiente como um todo a risco de contaminações (MENDONÇA & MARINHO, 2005; AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2005).

A estrutura química do agrotóxico (princípio ativo, p.a.) influencia as suas eficácia e eficiência no controle das pragas e doenças das culturas, além das suas mobilidade e degradabilidade.

O comportamento do agrotóxico no ambiente é orientado basicamente pelos processos de retenção, de transformação e de transporte. Os processos de retenção são resultantes da interação entre o p.a e a partícula do solo, podendo ser reversíveis ou não. São freqüentemente descritos como adsorção. Esses processos podem retardar ou acelerar o movimento do produto em diferentes profundidades do solo influenciando, dessa forma, na sua disponibilidade e interação com outros processos, principalmente os relacionados a transformações bioquímicas e a erosão. Os processos de transformação podem ser de natureza química (catálise, fotoquímica) ou biológica (microrganismos), encontrados naturalmente no ambiente ou induzidos. Alguns agrotóxicos sofrem transformações bioquímicas em decorrência da ação de microrganismos degradadores ou metabolizadores das moléculas iniciais (mãe) dos princípios ativos dos produtos. As transformações bióticas resul-

tam geralmente na degradação da molécula original tendendo a diminuir a sua toxicidade, muito embora o processo também possa gerar moléculas mais tóxicas que a original (CHENG, 1990; SILVA & FAY, 2004).

Os principais processos que favorecem o transporte de agrotóxicos são volatilização, lixiviação, escoamento superficial (ou “run-off”) e evaporação (CHENG, 1990; SILVA & FAY, 2004).

No que se refere a aplicação de agrotóxicos e o meio ambiente, com especial atenção para a qualidade das águas superficial e subterrânea, a orientação de maneiras corretas de aplicação dos produtos e de sua avaliação de eficiência devem ser formuladas atendendo também aos ciclos hidrológicos locais, os quais fornecem as conexões diretas entre as águas superficiais e subterrâneas em muitas regiões geológicas.

Alguns trabalhos realizados no Brasil têm avaliado o potencial de contaminação das águas brasileiras por agrotóxicos e por sedimentos utilizando técnicas de modelagem e de simulação de sistemas (MINOTI, 2006; CERDEIRA et al., 2005; PESSOA et al., 2005; MINOTI & CRESTANA, 2004; PARAÍBA et al., 2003; MACHADO & VETORAZZI, 2003; PESSOA et al., 2003 a,b; GARRIDO, 2003; CERDEIRA et al., 2002a,b; MARCOMIN, 2002; FILIZOLA et al., 2002; SPADOTTO et al., 2001; PESSOA et al., 1998; PESSOA et al., 1997ab). Entretanto, vários simuladores fazem uso de modelos matemáticos apresentados como índices ou como intervalos matemáticos, tais como o Índice de GUS (GUSTAFSON, 1989) e o Método de GOSS (GOSS, 1992), os quais são reconhecidos e utilizados internacionalmente. Iniciativas brasileiras regionais vêm apontando a facilidade de uso desses dois modelos matemáticos em particular (CRUZ, 2006; LIMA, 2006; FERRACINI et al., 2005; PESSOA et al, 2004a,b; FERRACINI & PESSOA, 2004; FERRACINI et al., 2001).

Esse trabalho avaliou os princípios ativos de grande parte dos agrotóxicos em uso no Brasil por meio desses métodos no intuito de subsidiar a priorização de produtos para monitoramento “in loco” e de orientar investigações subsequentes nas matrizes onde esses compostos apresentem maior potencial de serem encontrados (solo ou água), visando a detecção de níveis de resíduos de produtos com maior potencial de contaminação de recursos hídricos.

Material e Métodos

Dados:

Neste trabalho foram investigados 236 princípios ativos, presentes na formulação de 450 produtos comerciais registrados para uso no país. Os parâmetros necessários para a avaliação desses p.a., a saber solubilidade em água, constante de adsorção à carbono orgânico (K_{OC}) e meia vida em solo ($t_{1/2}$), foram obtidos de bases de dados de agrotóxicos e nas literaturas científica nacional e internacional (CLIVE, 1994; WAUCHOP et al., 1992; NOFZIEGER & HORNSBY, 1994; SUNTIO et al., 1988; EXTOKNET, 2001). Todas as informações obtidas para um mesmo p.a. foram analisadas pelos Índice de GUS e Método de GOSS. Dos 236 p.a., 145 foram avaliados pelo índice de GUS e 142 p.a. pelo Método de GOSS. Optou-se por não considerar na avaliação por GOSS, 3 produtos avaliados por GUS que apresentavam informações parciais necessárias para uso desse método, embora fornecessem indicativos do potencial de transporte em sedimento ou dissolvido em água.

Método para avaliação de potencial de lixiviação de agrotóxicos para água subterrânea:

A avaliação do potencial de lixiviação de 145 princípios ativos foi realizada utilizando-se o método proposto por GUS (GUSTAFSON, 1989). Esse método calcula o índice de GUS para cada princípio ativo mediante o fornecimento de valores de coeficiente de adsorção ao carbono orgânico (K_{OC}) e de meia vida ($t_{1/2}$) do produto no solo os quais são posteriormente aplicados à Eq. 1.

$$GUS = \log(t_{1/2 \text{ solo}}) \times (4 - \log(K_{OC})) \quad (\text{Eq. 1})$$

onde:

$t_{1/2 \text{ solo}}$ = meia vida do produto no solo;

K_{OC} = coeficiente de adsorção ao carbono orgânico.

Posteriormente, o valor de GUS obtido para cada p.a. foi classificado em uma das categorias, definidas por faixas pré-estabelecidas, conforme atenção aos seguintes intervalos :

- a) $GUS \leq 1,8$ = > Não sofre lixiviação;
- b) $1,8 < GUS < 2,8$ = > Faixa de Transição;
- c) $GUS \geq 2,8$ = > Provável Lixiviação.

Método para avaliação do potencial de transporte de agrotóxicos associado a sedimento ou dissolvido em água – avaliação para águas superficial e subterrânea.

Para essa avaliação foi utilizado o método proposto por GOSS (1992), que faz uso dos mesmos parâmetros utilizados para o cálculo do índice de GUS já discutido, e de solubilidade do p.a . em água. Esse método reúne um conjunto de cláusulas de regras, apresentadas nos intervalos matemáticos fornecidos, a seguir, para classificar o produto em “**Alto Potencial**”, “**Médio Potencial**” e “**Baixo Potencial**” de transporte em água, associado a sedimento ou dissolvido.

a) Regras para classificação do potencial de transporte do princípio ativo associado a sedimento

a.1). Alto potencial:

Regra 1 : Cláusula1: $t_{1/2}$ solo ≥ 40 dias **E** Cláusula 2: $Koc \geq 1000$ mLg⁻¹ **OU**

Regra 2: Cláusula1: $t_{1/2}$ solo ≥ 40 dias **E** Cláusula 2: $Koc \geq 500$ mLg⁻¹ **E**
Cláusula3: Solubilidade em água $\leq 0,5$ µg.mL⁻¹

a.2.) Baixo potencial:

Regra 1 : Cláusula única: $t_{1/2}$ solo ≤ 1 dia; **OU**

Regra 2: Cláusula1: $t_{1/2}$ solo ≤ 2 dias **E** Cláusula 2: $Koc \leq 500$ mLg⁻¹; **OU**

Regra 3: Cláusula1: $t_{1/2}$ solo ≤ 4 dias **E** Cláusula 2: $Koc \leq 900$ mLg⁻¹ **E**
Cláusula 3: Solubilidade em água $\geq 0,5$ µg.mL⁻¹ **OU**

Regra 4: Cláusula1: $t_{1/2}$ solo ≤ 40 dias **E** Cláusula2: $Koc \leq 500$ mLg⁻¹ **E**
Cláusula 3: Solubilidade em água $\geq 0,5$ µg.mL⁻¹; **OU**

Regra 5: Cláusula1: $t \frac{1}{2} \text{ solo} \leq 40 \text{ dias}$ E Cláusula2: $Koc \leq 500 \text{ mLg}^{-1}$ E Cláusula3: Solubilidade em água $\geq 0,5 \mu\text{gmL}^{-1}$

a.3) Médio Potencial:

Caso não atenda a nenhuma das regras de a.1) e nenhuma das regras de a.2).

b) Regras para classificação do potencial de transporte do princípio ativo dissolvido em água.

b.1) Alto potencial:

Regra 1: Cláusula1: $t \frac{1}{2} \text{ solo} > 35 \text{ dias}$ E Cláusula2: $Koc < 100.000 \text{ mLg}^{-1}$ E Cláusula3: Solubilidade $\geq 1 \mu\text{gmL}^{-1}$ **OU**

Regra 2: Cláusula1: $Koc \leq 700 \text{ mLg}^{-1}$ E Cláusula2: $10 \leq \text{Solubilidade} \leq 100 \mu\text{gmL}^{-1}$

b.2) Baixo potencial:

Regra 1: Cláusula única: $Koc \geq 100.000 \text{ mLg}^{-1}$ **OU**

Regra 2: Cláusula1 $t \frac{1}{2} \text{ solo} \leq 1 \text{ dia}$ E Cláusula 2: $Koc \geq 1000 \text{ mLg}^{-1}$ **OU**

Regra 3: Cláusula1: $t \frac{1}{2} \text{ solo} < 35 \text{ dias}$ E Cláusula2: Solubilidade $< 0,5 \mu\text{gmL}^{-1}$

b.3) Médio Potencial:

Caso não atenda a nenhuma das regras de b.1) e nenhuma das regras de b.2).

Implementação do índice de GUS e método de GOSS utilizando planilha eletrônica

Para facilitar a avaliação dessa grande quantidade de princípios ativos avaliados, foram utilizados recursos da planilha eletrônica da Microsoft - EXCELL. Uma planilha de dados foi elaborada, contendo as seguintes informações por coluna: A = grupo químico; B = nome comercial; C = princípio ativo; D = solubilidade em água (em μgmL^{-1}); E = Koc (em mLg^{-1}); F = Kh (em $\text{Pam}^3\text{mol}^{-1}$); G = $t \frac{1}{2} \text{ solo}$ (em dias); H = $t \frac{1}{2} \text{ água}$ (em dias).

Foram inseridas fórmulas matemáticas, em formato exigido pelo EXCELL, para avaliação automática do índice de GUS e regras do Método de GOSS., na disposição apresentada na **Tabela 1**. Posteriormente cada fórmula foi copiada, na sua mesma coluna, até atingir a última linha contendo informações sobre princípios ativos.

Tabela 1. Fórmulas EXCELL inseridas em colunas para análise automática do Índice de GUS e Método de GOSS a partir da inserção das informações dos p.a. nas colunas já citadas.

COLUNA	CONTEÚDO E RESPOSTA APRESENTADA NA COLUNA	FÓRMULA INSERIDA NA COLUNA
J	valor do Índice de GUS	$=((\text{LOG}(G6))^*(4-\text{LOG}(E6)))$
L	Classificação do índice de GUS (1= provável lixiviação; 2= transição; 3= não lixiviu)	$=\text{SE}((J6 \leq 1.8), 3, \text{SE}((J6 > 2.8), 1, 2))$
M	Avaliação método GOSS para cláusulas de ALTO potencial de transporte em água associado a sedimento (1= alto potencial; 0= não atendeu as cláusulas de alto potencial).	$=\text{SE}(((G6 >= 40) * E(E6 >= 1000)), 1, \text{SE}(((G6 >= 40) * E(E6 <= 500) * E(D6 <= 0.5))), 1, 0))$
N	Avaliação método GOSS para cláusulas de BAIXO potencial de transporte em água associado a sedimento. (3= baixo potencial; 0= não atendeu as cláusulas de baixo potencial).	$=\text{SE}(((G6 <= 1) * \text{OU}((G6 <= 2) * E(E6 <= 500))), 3, \text{SE}(((G6 <= 4) * E((E6 <= 900) * E(D6 >= 0.5))), 3, \text{SE}(((G6 <= 40) * E(E6 <= 500) * E(D6 >= 0.5))), 3, \text{SE}(((G6 <= 40) * E((E6 <= 900) * E(D6 >= 2))), 3, 0))))$
O	Avaliação método GOSS para cláusulas de ALTO potencial de transporte dissolvido em água. (1= alto potencial; 0= não atendeu as cláusulas de alto potencial).	$=\text{SE}(((G6 > 35) * E((E6 < 100000) * E(D6 >= 1))), 1, \text{SE}(((E6 <= 700) * E((D6 >= 10) * E(D6 <= 100))), 1, 0))$
P	Avaliação método GOSS para cláusulas de BAIXO potencial de transporte dissolvido em água. (3= baixo potencial; 0= não atendeu as cláusulas de baixo potencial).	$=\text{SE}((E6 >= 100000), 3, \text{SE}(((G6 <= 1) * E(E6 >= 1000)), 3, \text{SE}(((G6 < 35) * E(D6 < 0.5))), 3, 0))$

OBS= Médio potencial associado a sedimento, se colunas M=0 e N=0; Médio potencial dissolvido em água, se colunas O=0 e P=0;

Resultados e Discussão

Os resultados obtidos são apresentados a seguir, onde: F= fungicida, I= inseticida, A= acaricida, N= nematocida, H= herbicida;

a) Potencial de transporte em água:

a.1) Associado a sedimento

Alto potencial: benomil (F), bifentrina (I), sulfato de cobre (F, Algicida), cihexatina (A), ciproconazol (F), diazinona (I, A), dicofol (A), diquate (H), endossulfam(I), etiona (I, A), óxido de fenbutatina (A), cloridrato de formetanato (A,I), glifosato (H), haloxifope-metílico (H), mancozebe (F), manebe (F), cloreto de mepiquate (regulador de crescimento planta), oxadiazona (H), paraquate (H), pendimetalina (H), forato (I), procimidona (F), propargito (A), propiconazol (F), quizalofope-P-etílico (H), tebuconazol (F), tiabendazol (F), trifluralina (H);

Médio potencial: abamectina (I,A), acifluorfem (H), acrinatrina (I,A), alacloro (H), ametrina (H), atrazina (H), beta-ciflutrina(I), bromacila (H), carbendazim (F), carbofurano (I,N), clorotalonil (F), clorpirifós(I), ciflutrina (I), cipermetrina (I), ciromazina(I), deltametrina (I), diclofope-metílico(H), diflubenzurom (I), dinocape (F,A), ditianona (F), diurom (H), dodina (F), esfenvarelato (I), etefom (regulador de crescimento planta), fenamifós (N), fenarimol (F), fenitrotiona (I), fenoxaprope-etílico (H), fentiona (I), fenvalerato (I,A,ixodicida), fluazifope-P-butílico (H), flumetralina (regulador de crescimento planta), folpete (H), fomesafem (H), hexazinona (H), hexitiazoxi (A), imazapir (H), imazaquim-amônia (H), imazetapir (H), lactofem (H), lambda-cialotrina (I), linurom (H), lufenurom (I,A), malationa (I,A), metalaxil (F), metolaclo (H), miclobutanil (F), paclobutrazol (regulador de crescimento planta), parationa-metílica (I), permetrina (I,A), picloram (H), pirimicarbe (I), procloraz (F), profenofós (I,A), prometrina(H), propamocarbe (F), quintozeno (F), simazina (H), sulfometurom-metílico (H), tebufenozida (I), tebutiurom (H), tiofanato-metílico (F), triadimenol (F), triclopir (H), zeta-cipermetrina (I);

Baixo potencial: 2,4-D dimetilamina (H), 2,4-D butoxietila (H), 2,4-D (H), acefato (I), acetocloro (H), aldicarbe (I,A,N), bentazona (H), captana (F), carbaril (I, regulador de crescimento planta), carboxina (F), clorimuirom-etílico (H), clomazona (H), cianazina (H), daminozida (regulador de crescimento planta), dicamba (H), dimetanamida (H), dimetoato (I,A), dissulfotom (I,A), etoprofós (N,I), flumetsulam (H), foseetil (F), glufosinato-sal de amônio (H), iprodiona (F), metamidofós (I, A), metidationa (I, A), metomil (I,A), metribuzim (H), metsulfurom-metilico (H), molinato (H), monocrotofós (I,A), nalede (I,A), nicossulfurom (H), norflurazona (H), oxicarboxina (F), fosmete (I,A), propanil (H), setoxidim (H), terbufós (I), tidiazurom (regulador de crescimento planta), tiobencarbe (H), tiodicarbe (I, moluscicida), tiram (F), triclorfom (I), triciclazol (F), triflumizol (F), triforina (F), trinexapaque-etílico (regulador de crescimento de planta), vinclozolina (F), ziram (F).

a.2) Dissolvido em água

Alto potencial: alacloro (H), ametrina (H), atrazina (H), benomil (F), bromacila (H), carbaril (I, regulador de crescimento planta), carbendazim (F), carbofurano (I, N), ciproconazol (F), ciromazina(I), diazinona (I,A), dissulfotom (I,A), diurom (H), etiona (I, A), fenamifós (N), fenarimol (F), flumetsulam (H), fomesafem (H), glifosato (H), haloxifope-metilico (H), hexazinona (H), imazapir (H), imazaquim-amônia(H), imazetapir (H), iprodiona (F), linurom (H), mancozebe (F), manebee (F), metalaxil (F), metolacloro (H), metribuzim (H), miclobutanil (F), norflurazona (H), paclobutrazol (regulador de crescimento planta), forato (I), picloram (H), pirimicarbe (I), procloraz (F), procimidona (F), prometrina(H), propiconazol (F), simazina (H), sulfometurom-metilico (H), tebuconazol (F), tebutiurom (H), tiabendazol (F), tidiazurom (regulador de crescimento planta), tiodicarbe (I, moluscicida), tiram (F), triadimenol (F), triclopir (H), triforina (F), ziram (F).

Médio potencial: 2,4-D dimetilamina (H), 2,4-DB butoxietil-ester (H), 2,4-D (H), abamectina (I,A), acefato (I), acetocloro (H), acifluorfem (H), aldicarbe(I,A,N), bentazona (H), captana (F), carboxina (F), clorimuirom-etílico (H), clorotalonil (F), clomazona (H), cianazina (H), cihexatina (A), daminozida (regulador de crescimento planta), dicamba (H), diclofope-metilico(H), dimetanamida (H), dimetoato (I,A), endossulfam(I), esfenvarelato (I), etoprofós (N,I), óxido de fenbutatina (A), fenoxapropo-etílico (H), fentiona (I), fenvalerato (I,A, Ixodicida), fluazifope-P-butílico (H), folpete (F), foseetil (F), glufosinato-sal de amônio (H), hexitiazoxi (A), metamidofós (I,A), metidationa (I,A), metomil (I,A), metsulfurom-metilico (H), molinato (H), monocrotofós

(I,A), nalede (I,A), nicossulfurom (H), oxadiazona(H), oxicarboxina (F), parationa-metílica (I), pendimetalina(H), fosmete (I,A), profenofós (I,A), propanil (H), propargito (A), quizalofope-P-etílico (H), setoxidim (H), sulfato de cobre (F,algicida), tebufenozida (I), terbufos (I), tiobencarbe (H), tiofanato-metílico (F), triclorfom (I) triciclazol (F), triflumizol (F), trifluralina (H), trinexapaque-etílico (regulador de crescimento de planta), vinclozolina (F).

Baixo potencial: acrinatrina (I,A), beta-ciflutrina(I), bifentrina (I,A), clorpirifós(I), ciflutrina (I), cipermetrina (I), deltametrina (I), dicofol (A), diflubenzurom (I), dinocape (F,A), diquate (H), ditianona (F), dodina (F), etefom (regulador de crescimento planta), fenitrotiona (I), flumetralina (regulador de crescimento planta), cloridrato de formetanato (I,A), cloreto de mepiquate (regulador de crescimento planta), lactofem (H), lambda-cialotrina (I), lufenurom (I,A), malationa (I,A), paraquate (H), permetrina (I, A), propamocarbe(F), quintozeno (F), zeta-cipermetrina (I).

b) Potencial de lixiviação para água subterrânea

Provável lixiviação: 2,4-D dimetilamina (H), acetocloro (H), alacloro (H), aldicarbe (I,A,N), ametrina (H), atrazina (H), bentazona (H), bromacila (H), carbendazim (F), carbofurano (I,N),ciromazina(I), daminozida (regulador de crescimento planta), dazomet (N,F,H,I), dicamba (H), dimetoato (I,A), etoprofós (N,I), fenamifós (N), fenarimol (F), flumetsulam (H), fomesafem (H), hexazinona (H), imazaquim-amônia(H), imazetapir (H), metalaxil (F), metomil (I,A), metolacloro (H), metribuzim (H), metsulfurom-metílico (H), monocrotofós (I,A), nicossulfurom (H), paclobutrazol (regulador de crescimento planta), picloram (H), pirimicarbe (I), simazina (H), sulfometurom-metílico (H), tebutiurom (H), triadimenol (F), triclorfom (I), triclopir (H), triciclazol (F), triflumizol (F).

Faixa de transição: 2,4-D (H), acifluorfem (H), clorimurom-etílico (H), clomazona (H), cianazina (H), cihexatina (A), dissulfotom (I,A), diurom (H), imazapir (H), linurom (H), lufenurom (I,A), metamidofós (I,A), molinato (H), miclobutanil (F), oxicarboxina (F), procloraz (F), prometrina(H), propiconazol (F), quizalofope-P-etílico (H), tidiazurom (regulador de crescimento planta), triforina (F), vinclozolina (F).

Não sofre lixiviação: 2,4,D-B butoxyethyl ester (H), abamectina (I,A), acefato (I), acrinatrina (I,A), benomil (F), beta-ciflutrina(I), bifentrina (I), captana (F), carbaril (I, regulador de crescimento planta), carboxina (F), cloreto de

mepiquate (regulador de crescimento planta), clorotalonil (F), clorpirifós (I), clethodim (H), sulfato de cobre (F, algicida), ciflutrina (I), cipermetrina (I), ciproconazol (F), deltametrina (I), diazinona (I,A), diclofope-metílico(H), dicofol (A), diflubenzurom (I), dimetanamida (H), dinocape (F,A), diquate (H), ditianona (F), dodina (F), endossulfam (I), esfenvarelato (I), etefom (regulador de crescimento planta), etiona (I,A), óxido de fenbutatina (A), fenitrotiona (I), fenoxapropo-etílico(H), fentiona (I), fenvalerato (I,A, ixodicida), fluazifope-P-butílico (H), flumetralina (regulador de crescimento de planta), folpete (F), cloridrato de formetanato (I,A), fosetil (F), glufosinato-sal de amônio (H), glifosato (H), haloxifope-metílico (H), hexitiazoxi (A), iprodiona (F), lactofem (H), lambda-cialotrina(I), malationa (I,A), mancozebe (F), manebee (F), metidationa (I,A), MSMA (H), nalede (I,A), norflurazona (H), oxadiazona(H), paraquate (H), parationa-metílica (I), pendimetalina (H), permetrina (I,A), forato (I), fosmete (I,A), procimidona (F), profenofós (I,A), propamocarbe (F), propanil (H), propargito (A), quintozeno(F), setoxidim (H), tebuconazol (F), tebufenozida (I), terbufos (I), tiabendazol (F),tiobencarbe (H), tiodicarbe (I,moluscicida), tiofanato-metílico (F), tiram (F), trifluralina (H), trinexapaque-etílico (regulador de crescimento planta), zeta-cipermetrina (I), ziram (F).

c) Produtos não avaliados

Os produtos citados a seguir não puderam ser avaliados por falta de total/parcial informações nas fontes consultadas: acetamiprido, alfa-cipermetrina, azociclotina, azociclotina, benzilato, bitertanol, bromopropilato, bromuconazol, buprofezina, butralina, butroxidim, bispiribaque, carbofurano, cartape, clorfenapir, clorfluazurom, clofentezina, cloransulam-metílico, clorim, hidróxido de cobre, oxicloreto de cobre, cianamida, ciclossulfamurom, cimoxanil, diafentiurom, diclosulam, difenoconazol, dimetomorfe, edifenfós, epoxiconazol, etoxissulfurom, etofenproxi, famoxadona, fenoxapropo-P-etílico, fenpropatrina, fenpiroximato, fentoato, fipronil, flazassulfurom, fluazinam, fludioxonil, flumicloraque-pentílico, flumioxazina, fluquinconazol, fluroxipir, flutriafol, furatiocarbe, ácido giberélico, halossulfurom, imazamoxi, imazapique, imidacloprido, ioxinil, isoxaflutol, casugamicina, ácido clorídrico hidratado, cresoxim-metílico, metopreno, óleo mineral, oxadixila, oxassulfurom, pencicurom, propaquizafope, pxifluorfeno, pirazofós, pirazossulfurom, piridabem, piridafentiona, piridato, pirimetanil, piriproxifem, piritiobaque-sódico, piroquilona, quincloraque, sulfentrazona, sulfluramida, sulfosato, enxofre, teflubenzurom, tetradifona, tiametoxam, tiazopir, tolifluanida, triazofós, acetato de trifenila estanho, hidróxi de trifenila estanho, triflumumurom, triticonazol, vamidotona.

Os parâmetros utilizados nesta avaliação são fortemente influenciados por características físico-químicas dos solos, tais como conteúdo de matéria orgânica, pH, entre outros, bem como por características climáticas, principalmente temperatura. Para minimizar distorções nas avaliações, foram calculados os índices de GUS e as cláusulas de regras de GOSS (intervalos) para os valores dos parâmetros dos princípios ativos registrados para todas as informações obtidas para um mesmo p.a., incluindo nos limites de variação de intervalos quando disponibilizados. Deu-se preferencial atenção aos valores das características dos p.a. registradas no Brasil, sempre que disponíveis, embora os demais valores encontrados também tenham sido calculados para fim de comparação das diferenças obtidas ao final da análise.

Dada a existência de mais de uma regra para o método de GOSS, observou-se que não houve distorções nos resultados estimados para um mesmo princípio ativo avaliado nos valores obtidos de literatura para o mesmo parâmetro. Essa mesma observação não pode ser totalmente evidenciada para o índice de GUS, embora um mesmo princípio ativo classificado algumas vezes como apresentando potencial de contaminação tenham permanecido na faixa de transição para outros valores registrados na literatura disponível. Nesse caso, optou-se por considerar os valores para os dados que mais se repetiam, quando não encontrados dados, em ambiente brasileiro, para o p.a..

O método de análise do índice de GUS e do Método de GOSS por planilha do Microsoft EXCELL mostrou-se satisfatório, com maior agilidade na obtenção dos resultados decorrentes da avaliação desses produtos, além de tratar-se de uma opção de fácil inserção dos dados, inclusive de novos dados a medida que informações forem sendo disponibilizadas na literatura. Acrescenta-se ainda o fato de que, pela facilidade de aquisição desse programa para uso na maioria dos computadores pessoais, o usuário não necessitará adquirir programas específicos para a avaliação pretendida, incentivando ainda mais esse tipo de análise.

Os resultados obtidos pela presente avaliação orientam a priorização de p.a. 's que devem ser monitorados em escala de campo e indicam a matriz onde os mesmos apresentam maior potencial de estarem presentes, subsidiando assim, a escolha de produtos para monitoramento em campo e de métodos de análise de resíduos dos mesmos.

Esse trabalho não foi realizado para fins de desaconselhar o uso de princípios ativos, uma vez que a avaliação realizada possibilita somente indicar, em caráter exploratório preliminar, o potencial de transporte e não de contaminação pelos p.a.'s. Esta, demandaria a análise pela determinação de concentrações para, posteriormente, possibilitar o confronto com os respectivos Limites Máximos de Resíduos (LMR) permitidos pela Organização Mundial da Saúde (OMS) ou pelas Legislações Nacional e Estaduais em vigor.

Conclusões

1) Foram levantadas informações para 236 princípios ativos para fins de avaliação do potencial de transporte para águas (associados a sedimentos ou dissolvidos em água) e de lixiviação para água subterrânea, pelos métodos propostos por GOSS e pelo Índice GUS, respectivamente;

2) A avaliação do índice de GUS para 145 p.a. indicou que 41 princípios ativos apresentaram potencial de lixiviação para águas subterrâneas, 82 p.a. não apresentaram potencial para lixiviação, enquanto que 22 p.a. permaneceram na faixa de transição;

3) A avaliação de 142 p.a. pelo Método de GOSS, indicou que para a avaliação do potencial de transporte para água associado a sedimentos, 28 p. a. possuem alto potencial, 49 p.a. apresentam baixo potencial e 65 médio potencial; para a avaliação do potencial de transporte dissolvido em água, 53 p.a. apresentaram alto potencial, 62 p.a. médio potencial e 27 p.a. baixo potencial.

4) 91 princípios ativos não foram avaliados por falta de informações nas fontes disponíveis para consultas;

5) Foi apresentado um método rápido e eficiente de avaliação do índice de GUS e método de GOSS utilizando planilha eletrônica da Microsoft - EXCELL.

Referências

AGENCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Panorama da qualidade das águas superficiais no Brasil**. Brasília: Agencia Nacional de Águas: Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos, 2005. 176p. (Caderno de Recursos Hídricos; 1)

ANDEF. **Banco de dados de pesticidas**. Disponível em: <<http://www.undef.com.br>>. Acesso em: 17 out. 2001.

CERDEIRA, A.L.; PESSOA, M.C.P.Y.; BONATO, P.S.; QUEIROZ, R.H.C.; LANCHOTE, V.L. Resíduos e lixiviação do herbicida picloram em água, em área de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v.3, n.1, p.75-81, 2002a.

CERDEIRA, A.; PESSOA, C.; ROCHA, A.; COSTA, F.; SHUHAMA, I.; LANCHOTE, V.; UETA, J. Soil type and 2,4-D leaching on a sugarcane watershed in Brazil. In: MISSISSIPPI WATER RESOURCES CONFERENCE, 2002, Raymond. **Proceedings...** Raymond: Mississippi Water Research Institute: Mississippi State University, 2002b. Manuscript number 25, 10 p. CD-ROM.

CERDEIRA, A.L.; SANTOS, N.A.G.; PESSOA, M.C.P.Y.; GOMES, M.A.F.; LANCHOTE, V. L. Herbicide leaching on a recharge area of the Guarany Aquifer in Brazil. **Journal of Environmental Science and Health**, v.B40, n.1, p.159-165, 2005.

CHENG, H. H. (Ed.). **Pesticides in the soil environment**: Processes, impact and modeling. Madison: Soil Science Society of America, 1990. 168p.

CLIVE, T. (Ed.). **The pesticide manual**: incorporating the agrochemicals handbook. 10. ed. Croydon: The British Crop Protection Council: The Royal Society of Chemistry Publications, 1994.

COHEN, S.Z.; WAUCHOPE, R.D.; KLEIN, A.W.; EADSFORTH, C.V.; GRANEY, R. Offsite transport of pesticides in water - mathematical models of pesticide leaching and runoff. **Pure and Applied Chemistry**, Oxford, v.67, p.2109-2148, 1995.

CRUZ, F. **Avaliação do potencial de contaminação dos recursos hídricos por pesticidas utilizando o software AGROSCORE**. Belém: UFPA, 2006. 86p. (Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Ambiental, Universidade do Estado do Pará)

EXTOXNET. **Pesticide information profiles**. Disponível em: <<http://ace.orst.edu/info/extoxnet>>. Acesso em: 24 out. 2001.

FERRACINI, V.L.; PESSOA, M.C.P.Y. **Avaliação de risco de contaminação de águas por agrotóxicos aplicados em melão**. In: CONGRESSO DE MEIO AMBIENTE DE PAULÍNIA E REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO, 1., Paulínia, 2004. FERRACINI, V.L.; PESSOA, M.C.P.Y.; SILVA, A. de S.; SPADOTTO, C.A. Análise de risco de contaminações das águas subterrâneas e superficiais da região de Petrolina (PE) e Juazeiro(BA). **Pesticidas**: Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente, Curitiba, v.11, jan./dez. 2001.

FERRACINI, V.L.; PESSOA, M.C.P.Y.; OLIVEIRA, F.C.; SILVA, A. de S. **Potenciais contaminantes ambientais e subsídios para produção com qualidade na citricultura – CITROS**. Campinas: Instituto Agrônomo: Fundag, 2005. p.897-929.

FILIZOLA, H.F.; FERRACINI, V.L.; AGUIAR, M.L.; GOMES, M.A.F.; FERREIRA, C.A.J. Monitoramento e avaliação de risco de contaminação por pesticidas em água superficial e subterrânea na região de Guaíra, São Paulo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, n.5, p.659-667, 2002.

FUNARI, E.; BOTTONI, P.; GIULIANO, G. Groundwater contamination by herbicides. Measured and simulated runoff volumes and peak discharges for all storms used in calibration and verification of the 1990-93 rainfall-runoff model at basin 9, Perris Valley. Processes and evaluation criteria. In: RICHARDSON, M.L. (Ed.). **Chemistry, agriculture and the environment**. Cambridge: The Royal Society of Chemistry, 1991. p.235-254.

GARRIDO, J.M. **Aplicação de modelo matemático de simulação com utilização de SIG à Bacia do Rio Jiquiriçá – Bahia**. 2003. 186p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) – Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília.

GOSS, D.W. Screening procedure for soils and pesticides for potential water quality impacts. **Weed Technology**, Champaign, v.6, n.4, p.701-708, 1992.

GUSTAFSON, D. I. Groundwater ubiquity score: a simple method for assessing pesticide leachability. **Environmental Toxicology and Chemistry**, Elmsford, v.8, n.4, p.339-357, 1989.

LIMA, L. M. **Avaliação do impacto da atividade agrícola nos recursos hídricos em uma microbacia hidrográfica na Amazônia Oriental**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2006. 60p. (CNPq/Relatório Parcial , processo n. 505585-2004/9).

MACHADO, R.; VETORAZZI, C.A. Simulação da produção de sedimentos para a microbacia hidrográfica do ribeirão dos Marins (SP). **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v.27, p.735-741, 2003.

MARCOMIN, F.E. **Análise ambiental da bacia hidrográfica do rio Pinheiros (Municípios de Orleans e São Rudgero, SC) com base na caracterização e diagnóstico dos elementos da paisagem e da perda de solo por erosão laminar**. 2002. 155p. Tese (Doutorado em Ciências – Área de concentração: Ecologia e Recursos Naturais) – Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.

MENDONÇA, R.T.; MARINHO, J. L. Discussão sobre intoxicações por medicamentos e agrotóxicos no Brasil de 1999 a 2002. **Revista Eletrônica de Farmácia**, v.2, n.2, p.45-63, 2005.

MINOTI, R.T. **Abordagens qualitativa e quantitativa das micro-bacias hidrográficas e áreas alagáveis de um compartimento do médio Mogi-Superior/SP**. 2006. 245p. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

MINOTI, R.T.; CRESTANA, S. A perda de solo como indicador de vulnerabilidade de bacias hidrográficas: artigos publicados na Revista Brasileira de Ciência do Solo e em Congressos Brasileiros de Ciência do Solo, Manejo e Conservação. In: ESPÍNDOLA, E.L.G.; SCHALCH, V. (Org.). **Bacia hidrográfica: diversas abordagens em pesquisa**. São Carlos: RIMA, 2004. p.47-54.

NOFZIGER, D.L; HORNSBY, A.G. **CMLS-94- Chemical Movement in Layered Soils**. Oklahoma: University of Florida-Department of Agronomy, 1994. 76p.

PARAÍBA, L.C.; CERDEIRA, A.L.; SILVA, E. F. da; MARTINS, J. S.; COUTINHO, H. L. da C. Evaluation of soil temperature effect on herbicide leaching potential into groundwater in the Brazilian Cerrado, **Chemosphere**, v.53, n.9, p.1087-1095, 2003.

PESSOA, M.C.P.Y.; GOMES, M.A.F.; NICOLELLA, G.; SOUZA, M.D.; CERDEIRA, A.L.; MONTICELLI, A. Simulação do movimento dos herbicidas hexazinone, diuron, atrazina, ametrina e simazina aplicados na cultura da cana-de-açúcar em solos da microbacia do Córrego Espreado, Ribeirão Preto-SP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., 1997, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SBCS/EMBRAPA-CNPS, 1997a. p.479.

PESSOA, M.C.P.Y.; LUCHIARI JR., A.; FERNANDES, E.N.; LIMA M. de. **Principais modelos e simuladores usados em análise de impacto ambiental da agricultura**. Jaguariúna: Embrapa-CNPMA, 1997b. 87p. (Embrapa-CNPMA. Documentos, 8).

PESSOA, M.C.P.Y.; GOMES, M.A.F.; DORNELAS DE SOUZA, M.; CERDEIRA, A.L.; NICOLELLA, G.; MONTICELLI, A. Simulação do movimento de herbicidas utilizados no monocultivo de cana-de-açúcar em areia quartzosa da área de recarga do Aqüífero Guarani (antigo Botucatu) em Ribeirão Preto, SP. **Revista Científica Rural**, Bagé, v.3, n.2, p.11-19, 1998.

PESSOA, M.C.P.Y.; CHAIM, A.; GOMES, M.A.F.; SILVA, A. de S.; SOARES, J. M. Simulação do movimento de aldicarb e tebutiuron em solos sob cultivos de banana e cana-de-açúcar no semi-árido brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental (Agriambi)**, v.7, n.2, p.297-302, 2003a.

PESSOA, M.C.P.Y.; GOMES, M.A.F.; NEVES, M.C.; CERDEIRA, A.L.; SOUZA, M.D. de. Identificação de áreas de exposição ao risco de contaminação de águas subterrâneas pelos herbicidas Atrazina, Diuron e Tebutiuron. **Pesticidas: Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente**, Curitiba, v.13, p.111-122, 2003b.

PESSOA, M.C.P.Y.; FERRACINI, V.L.; CHAIM, A.; SCRAMIN, S. **Software AGROSCRE** - Apoio à avaliação de tendências de transporte de princípios ativos de agrotóxicos. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2004a 24p. (Embrapa meio Ambiente. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 26).

PESSOA, M.C.P.Y.; FERRACINI, V.L.; QUEIROZ, S.C.N.; MATTOS, M.L.T.; GOMES, M.A.F. Priorização de agrotóxicos aplicados em Alegrete, RS, para estudos de dinâmica em solo e água. In.: CONGRESSO DE MEIO AMBIENTE DE PAULÍNIA E REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO, 1., 2004, Paulínia **Resumos Expandidos...** Paulínia: Prefeitura Municipal de Paulínia/ Rede Metropolitana de Campinas, 2004b.

PESSOA, M.C.P.Y.; FILIZOLA, H.F.; GOMES, M.A.F. **Simulação da movimentação vertical de produtos aplicados em milho, milho safrinha e soja em latossolos vermelhos e neossolos quartzarênicos de Mineiros,GO** Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2005. 28p. (Embrapa Meio Ambiente. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 31).

SILVA, C.M.M. de S.; FAY, E.F. **Agrotóxicos e meio ambiente**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 400p.

SPADOTTO, C.A.; GOMES, M.A.F.; FILIZOLA, H.F. Avaliação do potencial de lixiviação de pesticidas em latossolos da região de Guaíra-SP. **Pesticidas**: Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente, v.11, p.127-136, 2001.

SUNTIO, L.R.; SHIU, W.Y.; MACKAY, D.; SEIBER, J.N.; GLOTFELTY, D. Critical review of Henry´s Law constants for pesticides. **Reviews of Environmental Contamination and Toxicology**, New York, v.103, p.1-59, 1988.

WAUCHOPE, R.D.; BUTTLER, T.M.; HORNSBY, A.G.; AUGUSTIJN-BECKERS, P.W.M.; BURT, J. P. The SCS/ARS/CES pesticide properties data base for environmental decision-making. **Reviews of Environmental Contamination and Toxicology**, New York, v.123, p.1-155, 1992.

Embrapa

Meio Ambiente

**Ministério da Agricultura,
Pecuária e Abastecimento**

