

CONTAMINAÇÃO DO AMBIENTE AQUÁTICO POR PESTICIDAS. ESTUDO DE CASO: ÁGUAS USADAS PARA CONSUMO HUMANO EM PRIMAVERA DO LESTE, MATO GROSSO – ANÁLISE PRELIMINAR

Eliana Freire Gaspar de Carvalho Soares

Departamento de Química, Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), Av. Fernando Correa s/n., 78060-900 Cuiabá - MT

Ermelinda Maria De-Lamonica-Freire

Coordenadoria de Mestrado em Ciências da Saúde, Universidade de Cuiabá (UNIC)

Recebido em 18/11/99; aceito em 28/9/00

AQUATIC ENVIRONMENT CONTAMINATION BY PESTICIDES. CASE STUDY: WATER USED FOR HUMAN CONSUMPTION IN PRIMAVERA DO LESTE, MATO GROSSO – PRELIMINARY ANALYSES. A preliminary analyses of the possible contamination of superficial and underground water by the active ingredients of the pesticide products used in the surroundings of the urban area of Primavera do Leste, Mato Grosso, Brazil, was carried out. A description of the study region and of its environmental characteristics, which can favor the contamination of the local aquatic environment, was presented. The EPA screening criteria, the groundwater ubiquity score (GUS) and the criteria proposed by Goss were used to evaluate which pesticides might contaminate the local waters. Among the active ingredients studied, several present risks to the local aquatic environment.

Keywords: pesticides; contamination; water.

INTRODUÇÃO

A preocupação com a contaminação de sistemas aquáticos superficiais e subterrâneos por pesticidas tem crescido no meio científico.

Estudos desenvolvidos em várias regiões do mundo têm mostrado que a porcentagem dos produtos utilizados na agricultura que atingem os ambientes aquáticos é geralmente baixa¹⁻⁶. Entretanto, pesticidas persistentes e com grande mobilidade no ambiente têm sido detectados em águas superficiais e subterrâneas⁷⁻¹⁶.

A concentração da maioria dos pesticidas em água é baixa em parte devido ao fato de serem geralmente pouco solúveis em água e em parte devido ao efeito de diluição¹⁷. Isto, no entanto, não exclui a possibilidade de que concentrações muito altas venham a ocorrer após pesadas chuvas, especialmente quando as áreas ao redor de um pequeno córrego tenham sido recentemente tratadas com altas doses de pesticidas. Mesmo em concentrações baixas, os pesticidas representam riscos para algumas espécies de organismos aquáticos que podem concentrar estes produtos até 1000 vezes. Não existe nível seguro previsível para pesticidas em água quando pode ocorrer biomagnificação¹⁸.

Alguns trabalhos de revisão sintetizam os fatores que influenciam a dinâmica de pesticidas no ambiente^{1, 19-23}, onde mostram que é grande o grau de dificuldade na avaliação de riscos de contaminação de ambientes aquáticos decorrente do uso dessas substâncias, dada a grande quantidade de processos envolvidos nessa dinâmica. Entretanto, existem modelos matemáticos que auxiliam nesta avaliação e modelos de "screening" que permitem uma avaliação preliminar do risco potencial em função das características das substâncias usadas e do ambiente do local em estudo.

A preocupação com a contaminação de ambientes aquáticos aumenta, principalmente, quando a água é usada para o consumo humano. A Comunidade Econômica Européia estabeleceu em 0,1 µg/L a concentração máxima admissível de qualquer pesticida em águas destinadas para consumo humano e em 0,5 µg/L para o total de resíduos, sem deixar claro se deve-se, ou não, considerar também produtos de transformação⁸. Este limite tem sido motivo de questionamento uma vez que não considera a toxicidade de cada produto, e ainda, as metodologias

analíticas disponíveis para alguns compostos não atingem limites de detecção desta ordem de grandeza¹². Por outro lado, a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA)⁸ e a Organização Mundial da Saúde²⁴ estabelecem níveis máximos para pesticidas individuais em água destinada ao consumo humano, baseados em estudos toxicológicos e epidemiológicos.

No Brasil, a portaria nº 020/CONAMA, de 18.06.86, estabelece limites máximos de contaminantes em águas dependendo de seu destino; sendo que, dentre estes, estão alguns pesticidas organoclorados, organofosforados e carbamatos. A Resolução 36/GM de 19.01.90 do Ministério da Saúde (Padrão de Potabilidade de Água Destinada ao Abastecimento de Populações Humanas) estabelece limites de pesticidas em águas destinadas ao consumo humano. No entanto, estas legislações não contemplam a maioria dos pesticidas em uso atualmente, como por exemplo: inseticidas piretróides e a maioria dos herbicidas.

É importante enfatizar que existe, ainda hoje, muita controvérsia com relação aos efeitos tóxicos crônicos dos pesticidas para o ser humano, principalmente quando consumidos em baixas doses ao longo de toda uma vida. Isto indica a necessidade de desenvolver estudos sobre a presença de resíduos no ambiente e seus efeitos sobre a saúde.

A ÁREA DE ESTUDO

Histórico

Desde 1970, o panorama econômico da região Centro Oeste do Brasil tem sofrido rápidas mudanças, devido aos subsídios fornecidos pelo governo para a ocupação da Região Amazônica, principalmente para a agricultura. O modo de ocupação desta região favoreceu a instalação de grandes latifúndios que possuíam condições econômicas para desenvolver a tecnologia necessária para a exploração do cerrado cujas principais características eram a topografia plana, que favorecia a mecanização, e os solos ácidos deficientes em nutrientes, que necessitavam de produtos químicos.

Assim, o rápido crescimento das áreas de agricultura em Mato Grosso introduziu a monocultura com lavouras altamente dependentes de insumos químicos, incluindo pesticidas. Devido

aos processos naturais de movimento das águas superficiais é provável que resíduos destes produtos sejam transportados para compartimentos de acumulação no ambiente, contaminando recursos hídricos importantes²⁵. O transporte de pesticidas no ar atmosférico pode também ser uma das fontes de contaminação de águas superficiais^{26,27}.

A região do presente estudo, o município de Primavera do Leste, é um exemplo típico deste tipo de ocupação, cuja economia baseia-se na agricultura e pecuária. Sua principal lavoura é a soja, sendo que outras como arroz, milho, sorgo e feijão são também economicamente importantes. Em 1995 a área plantada de soja neste município foi 167.445 ha²⁸. Aproximadamente 35% do município é hoje ocupado por áreas de lavoura, além das áreas ocupadas por pastagens.

A origem deste município foi um loteamento à beira da rodovia que liga Cuiabá a Barra do Garças implantado em 1978. A partir dessa época, este núcleo urbano cresceu rapidamente, sendo criado, em 1986, o município de Primavera do Leste, com área de 5664 km². Sua população, em 1996, já era estimada em 20.996 habitantes nas zonas urbana e rural²⁸.

A primeira etapa de um estudo sobre a contaminação aquática por pesticidas deve ser um levantamento sobre o uso de pesticidas na região do estudo, características ambientais e propriedades físico-químicas dos princípios ativos usados que permitam avaliar quais pesticidas apresentam possibilidade de contaminar ambientes aquáticos²³. No presente estudo desenvolveu-se uma análise preliminar dos pesticidas que apresentam risco potencial de contaminação de águas superficiais e subterrâneas usadas para consumo humano em Primavera do Leste, Mato Grosso.

Descrição da área de estudo

O município de Primavera do Leste situa-se na latitude 15°33'45" Sul e longitude 54°17'41,8" Oeste, sobre a Chapada dos Guimarães com altitude média de 636 m. O clima da região é tropical e seu relevo é constituído por um chapadão de planícies, cujo solo é formado por latossolos consorciados com podzólicos e litólicos. Sua vegetação característica é de cerrados apresentando manchas de matas nas cabeceiras dos rios.

Como consequência do espantoso crescimento da cidade de Primavera do Leste, já mencionado anteriormente, surgiram diversos problemas de infraestrutura. Um destes é o abastecimento de água da cidade. O Departamento de Águas e Esgotos (DAE) abastece a cidade através de quatro poços tubulares (com profundidades e vazões de 78 m e 12,90 m³/h; 94 m e 15 m³/h; 65 m e 15 m³/h, 93 m e 10,50 m³/h, respectivamente) e uma estação de captação de água que fornece uma vazão média de 95 m³/h, atendendo a aproximadamente 2.300 domicílios. Esta estação de captação localiza-se em um reservatório de área de 1 ha, abastecido por um pequeno córrego, cuja nascente situa-se a cerca de 1000 m do reservatório. Tanto a água dos poços como a da represa sofrem somente cloração antes de ser enviada aos domicílios. Cerca de um terço da população da cidade não é abastecida pelo DAE, sendo que existe uma quantidade elevada de residências com poços particulares com profundidades entre 5 e 40 m.

Além disso, as fazendas, geralmente, também utilizam poços para obtenção de água para consumo doméstico.

Tendo em vista este panorama, o objetivo deste trabalho foi desenvolver uma análise preliminar do risco potencial de contaminação por pesticidas de águas superficiais e subterrâneas na região.

MATERIAIS E MÉTODOS

Análise do solo local

Para fazer a descrição do perfil do solo da região, foram escavadas quatro trincheiras com 1,80 m de profundidade, 2 m de comprimento e 1,5 m de largura. Foi escolhida uma vertente,

contemplando a área urbanizada de Primavera do Leste e a área de ocupação agrícola. Ao longo dessa vertente, foram definidos três locais para a descrição do solo, sendo um no setor de montante, outro no setor intermediário e o último em posição mais a jusante, próximo ao fundo do vale. Esses locais estavam distantes entre si aproximadamente 1000 m. A quarta trincheira localizou-se em uma das fazendas, próxima à cidade, onde foram coletadas informações sobre o uso de pesticidas.

Descrição dos perfis de solo

Para descrição dos perfis do solo foram verificadas as seguintes características de cada horizonte: cor, textura, estrutura, porosidade e consistência, seguindo o manual da Sociedade Brasileira de Ciências do Solo²⁹ e a classificação pedológica foi realizada baseada em Vieira (1988)³⁰.

Coleta de amostras de solo

Para análise da granulometria do solo, foram coletadas amostras deformadas de cada horizonte das trincheiras (aproximadamente 2 kg), acondicionadas em sacos plásticos, identificadas e transportadas para o laboratório na temperatura ambiente. As informações sobre a granulometria e permeabilidade do solo local têm o objetivo de subsidiar a discussão sobre o risco de contaminação de águas subterrâneas.

Foram coletadas, também, amostras indeformadas de perfis dos horizontes A e B de cada trincheira para estudo de permeabilidade do solo.

A análise granulométrica foi procedida de acordo com o método NBR-7181 da ABNT³¹. A permeabilidade do solo foi determinada usando o método apresentado por Cauduro & Dorman³², que consiste, em resumo, da determinação do coeficiente de permeabilidade (K) através de um permeâmetro, usando carga variável a uma temperatura de 20 °C, de amostras indeformadas de solo saturadas com água por 24 horas.

Dados meteorológicos da região

Os seguintes dados: temperatura média, mínima e máxima diária e mensal, pluviosidade diária e mensal, umidade relativa do ar e incidência luminosa, referentes ao ano de 1997, foram obtidos junto à Estação Meteorológica de Primavera do Leste, que se localiza dentro do perímetro urbano.

Levantamento dos pesticidas usados ao redor da cidade de Primavera do Leste

Foi realizado, em setembro de 1997, um levantamento, com questionários semi-estruturados, dos pesticidas usados ao redor da cidade de Primavera do Leste, através de entrevistas com os proprietários ou responsáveis pela produção agrícola ou pecuária nas proximidades da área urbana correspondendo a aproximadamente 30.000 ha. Foram solicitadas informações sobre área plantada, produto plantado e período, frequência, época e forma de aplicação de pesticidas.

As propriedades físico-químicas dos princípios ativos dos produtos usados na região foram obtidas consultando-se a literatura^{21,22,33,34}.

Crítérios usados para avaliação dos riscos de contaminação de águas superficiais e subterrâneas em Primavera do Leste

Para discutir o risco potencial de contaminação de águas subterrâneas na região de estudo, foram usados os seguintes critérios de "screening":

- Critérios da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos – EPA³⁵;
- GUS – "Groundwater Ubiquity Score"³⁶

Tabela 1. Inseticidas e herbicidas usados nas vizinhanças da cidade de Primavera do Leste ,MT, em 1997

Classe	Nome comercial	Princípio ativo	Classe química	Lavoura	Área Cultivada (ha)	Período de aplicação	Forma de aplicação
inseticida	Lanate	metomil	carbamato	uva, milho, soja, arroz	491	ano inteiro	bomba manual
	Lorsban	clorpirifós etil	organofosforado	soja, arroz, milho	1493	outubro a fevereiro	trator ou avião
	Nuvacron	monocrotofós	organofosforado	soja	280	dezembro a janeiro	trator ou avião
	Karate	lambda cialotrina	piretróide	soja, milho	1433	outubro a março	trator ou avião
	K-otrine	deltametrina	piretróide	tomate	0,5	ano inteiro	bomba manual
	Piredam	permetrina	piretróide	arroz, soja	920	dezembro a fevereiro	trator ou avião
	Tedion	tetradifon	clorodifenil sulfona	uva	2	junho e julho	bomba manual
	Thiodam	endosulfan	organoclorado	soja	3480	outubro a março	trator ou avião
herbicida	Round-up	glifosato	glicina	soja, tomate	2110	ano inteiro	trator
	Cobra	lactofen	difenil éter	soja	3960	outubro e novembro	trator
	Fusiflex	fomesafen + fluazifop-p-butil	difenil éter aril-oxifenoxi propionato	soja	6630	novembro a janeiro	trator ou avião
	Fusilade	fluazifop-p-butil	aril-oxifenoxi propionato	soja	500	novembro	trator
	Verdict	haloxifop metil	aril-oxifenoxi	soja	3200	outubro a dezembro	trator
	Classic	clorimuron etil	sulfonil uréia	soja	11090	novembro a janeiro	trator
	Gesaprim	atrazina	triazina	milho	995	outubro	trator
	Primatop	atrazina + simazina	triazina	milho	535	outubro	trator
	Primestra	atrazina + metolaclor	triazina acetanilida	milho	2100	outubro e novembro	avião ou trator
	Dual	metolaclor	acetanilida	milho	995	outubro	trator
	Corsun	metolaclor + metribuzina	acetanilida triazina	soja	2480	outubro	trator
	Scepter	imazaquin	imidazolinona	soja	280	novembro e dezembro	trator ou avião
	Pivot	imazetapir	imidazolinona	soja	3200	outubro a dezembro	trator
	Trifluralina	trifluralina	dinitroanilina	soja	760	outubro	avião ou trator
	Premerlin	trifluralina	dinitroanilina	arroz	160	dezembro a janeiro	avião ou trator
	Scorpion	flumetsulan	sulfonamida	soja	480	outubro	avião ou trator

Tabela 2. Fungicidas usados nas vizinhanças da cidade de Primavera do Leste, MT, em 1997

Classe	Nome comercial	Princípio ativo	Classe química	Lavoura	Área Cultivada (ha)	Período de aplicação	Forma de aplicação
Fungicida	Sulfato de cobre	sulfato de cobre	inorgânico	tomate	0,5	ano inteiro	trator
	Curzate + Zn	cimoxanil + maneb+ sulfato de zinco	acetamida carbamato inorgânico	uva	2	junho e julho	bomba manual
	Combilan	oxicloreto de cobre + mancozeb	inorgânico carbamato	uva	2	junho e julho	bomba manual
	Manzate	maneb	carbamato	tomate	0,5	ano inteiro	bomba manual
	Bayleton	triadimefon	triazol	uva	2	junho e julho	bomba manual
	Cercobin	tiofanate metil	bezimidazol	uva	2	junho e julho	bomba manual

A umidade relativa do ar média apresenta valores mais elevados nos meses de novembro a março (em torno de 80 a 90%) e a umidade relativa do ar adquire valores mais baixos (em torno de 20%) nos meses de julho a outubro.

As chuvas mais intensas ocorreram nos meses de novembro a abril, período este que coincide com a época de safra das principais lavouras da região, soja, milho e arroz, e por consequência, também com a época de aplicação de pesticidas conforme mostram as Tabelas 1 e 2. Assim, a infiltração no solo e o escoamento superficial das águas são grandes nesse período, facilitando a percolação de pesticidas no perfil do solo ou seu carreamento lateral. Chuvas muito intensas em períodos curtos ocorreram em janeiro e dezembro de 1997, o que favorece o carreamento superficial dos pesticidas quando a quantidade de chuva excede a taxa de infiltração no solo.

O total de chuva no ano de 1997 foi de 1791mm, sendo que a média anual de chuva dos anos de 1981 a 1998 foi de 1660 mm, muito superiores aos 250mm sugeridos pela EPA para caracterizar áreas com alto potencial de contaminação de águas superficiais e subterrâneas.

Soma-se a este fator de risco o fato de que os solos da região de Primavera possuem horizonte B latossólico. Estes tipos de solo são geralmente profundos e bem drenados (na região de estudo, são de permeabilidade média como já mencionado acima), o que favorece o processo de lixiviação de pesticidas até as águas subterrâneas⁴⁰.

A alta radiação solar da região (médias entre 800 a 900 W/m²) favorece a degradação de pesticidas por fotólise, o que pode reduzir a meia-vida dos princípios ativos no solo em relação aos dados encontrados na literatura, pois estes últimos se referem, na sua maioria, a dos obtidos para regiões temperadas²².

Nota-se aqui, que as características de solo e pluviosidade da região favorecem a contaminação de águas subterrâneas e superficiais, enquanto as altas temperaturas e radiação solar favorecem a vaporização e degradação dos pesticidas por fotólise, o que contribui para a redução da meia-vida destas substâncias no solo. Laabs et al.³⁹, em um estudo realizado sobre a dissipação de pesticidas em Latossolos brasileiros, constataram que, em contraste com regiões temperadas, as meias-vidas eram bastante menores, principalmente devido à maior degradação e perdas por volatilização, entretanto observaram também que alguns dos pesticidas estudados percolaram moderadamente no solo.

Deve-se considerar também que, quando pesadas chuvas ocorrem pouco tempo após a aplicação dos pesticidas, a possibilidade de penetração no solo aumenta devido ao menor tempo que as substâncias estiveram expostas a mecanismos de dissipação. Uma vez que, a época de aplicação de pesticidas, em geral, coincide com o período de chuvas mais intensas, esta hipótese torna-se bastante provável.

Pesticidas usados na região

As tabelas 1 e 2 apresentam a relação de pesticidas usados pelos agricultores entrevistados, lavouras, áreas e forma de aplicação. Especificaram-se também o(s) princípio(s) ativo(s) dos produtos comerciais bem como sua classe química.

Pode-se observar que as principais lavouras são soja, milho e arroz, existindo também pequenas áreas de plantio de uva e tomate. A grande maioria dos pesticidas citados foram herbicidas seguindo a tendência nacional em que, dentre os pesticidas, os herbicidas são os mais comercializados. Em seguida, vieram os inseticidas, cujo uso foi mencionado em quase todas as culturas, em geral, com mais de uma aplicação por safra e os fungicidas que só foram utilizados em lavouras de tomate e uva.

Dentre as formas de aplicação, a pulverização por trator e a aplicação direta ao solo também com uso de trator fo-

ram as mais citadas. Os produtores mencionaram utilizar pulverização aérea somente quando se fizesse necessário, ou seja, quando a infestação de alguma praga exigisse aplicação rápida.

O período das safras de soja, arroz e milho é de outubro a março e o tomate é plantado o ano inteiro. Foi também citado o plantio de milheto, sorgo, milho precoce, arroz e painço entre as safras principais de soja, arroz e milho como forma de cobrir o solo e diminuir o desenvolvimento de ervas daninhas enquanto o solo estivesse sem uso.

Propriedades físico-químicas e toxicológicas dos pesticidas usados

As propriedades físico-químicas dos pesticidas usadas nos critérios de avaliação de seu potencial de risco para ambientes aquáticos foram: constante da Lei de Henry (K_H), solubilidade em água, coeficiente de partição octanol-água K_{ow} , coeficiente de adsorção à matéria orgânica do solo K_{OC} , constante de ionização ácida ou básica (pK_a ou pK_b), meia-vida (DT_{50}) no solo e na água.

A Tabela 3 apresenta as propriedades físico-químicas dos princípios ativos dos produtos comerciais listados nas Tabelas 1 e 2.

O comportamento de pesticidas no ambiente deve ser diferente entre condições temperadas e tropicais. Segundo Castillo et al.⁴¹, alguns dados sugerem que as taxas de degradação devem ser mais altas em países tropicais devido a temperaturas mais elevadas e à radiação mais intensa. Por outro lado, alguns estudos mostram que a toxicidade deve aumentar com o aumento da temperatura.

Uma vez que existem muito poucos estudos sobre pesticidas em ambientes tropicais, optou-se por usar os dados publicados na literatura para ambientes temperados, de modo que fosse possível uma comparação entre eles.

As constantes de ionização ácida, pK_a e básica, pK_b dos princípios ativos ionizáveis estão listados abaixo:

pK_a na faixa de pH 5-8 (ambiente normal):

fomesafen = 2,7 (sal de sódio)	atrazina = 1,7
glifosato = 3,8 (sal de isopropilamina)	simazina = 1,7
imazaquin = 3,8 (sal amoniacal)	clorimuron etil = 4,2
imazetapir = 2,2; 3,9 (ácido múltiplo)	

pK_b na faixa de pH 5-8 (ambiente normal):

atrazina = 12,32
metribuzina = 13,00
simazina = 12,35

Quanto à sua toxicidade aguda, a maioria dos princípios ativos, apresentados na Tabela 3, pertence às classes toxicológicas III e IV, ou seja, são considerados de medianamente tóxicos a poucos tóxicos. Somente os inseticidas monocrotofós e endosulfan pertencem à classe toxicológica I, extremamente tóxicos e o clorpirifós etil, deltametrina e permetrina são de classe II, altamente tóxicos.

É importante notar na Tabela 3 que as propriedades físico-químicas diferem grandemente entre os diversos compostos de classes químicas diferentes ou de uma mesma classe química, tornando extremamente difícil a tarefa de fazer generalizações sobre os destinos e impactos de pesticidas no ambiente.

Análise preliminar do risco de contaminação de águas superficiais e subterrâneas de Primavera do Leste

Águas subterrâneas

A Tabela 4 apresenta os resultados da análise do potencial de contaminação de águas subterrâneas usando os critérios de "screening" propostos pela EPA. Foram consideradas as propriedades apresentadas na Tabela 3 e os critérios citados anteriormente para analisar o risco dos pesticidas usados na região atingirem águas subterrâneas.

Apesar da falta de alguns dados para esta análise, não encontrados na literatura consultada, podem-se classificar alguns dos princípios ativos como compostos que apresentam maior probabilidade de atingir as águas subterrâneas, pois apresentam elevada solubilidade em água, baixa adsorção à matéria orgânica do solo, meia-vida no solo relativamente alta. Dados de meia-vida em água e de resistência à fotólise são os menos citados na literatura por dependerem grandemente das características do ambiente e, portanto, não estão descritos para a grande maioria dos princípios ativos pesquisados. A maior parte dos compostos são não-iônicos e, assim sendo, não possuem dados de constante de ionização. Também os valores do índice GUS ("Groundwater Ubiquity Score") não foram encontrados na literatura consultada para a maior parte dos princípios ativos.

Foram considerados contaminantes em potencial aqueles princípios ativos para os quais a maioria das propriedades físico-químicas disponíveis indicava uma possibilidade de contaminação de águas subterrâneas, com as seguintes considerações:

- Embora a meia-vida média do triadimefon no solo não atenda ao critério, as demais propriedades o fazem, colocando-o sob suspeita de contaminação de água subterrânea quando as propriedades do solo não favorecerem a degradação.
- A solubilidade em água da simazina é menor do que 30 mg/L, porém ainda assim é medianamente solúvel em água e suas demais propriedades a colocam sob suspeita de contaminar águas subterrâneas.
- Apesar de adsorver fortemente ao solo, o glifosato poderá contaminar águas subterrâneas quando as características do solo não favorecerem a adsorção.
- Embora a meia-vida do metomil em água seja muito baixa (<2 dias) ainda assim preferiu-se classificá-lo como provável contaminante, pois outras propriedades importantes como solubilidade em água, K_{OC} e meia-vida no solo favorecem sua percolação no solo.

Uma vez que esses critérios são gerais e têm como objetivo fazer uma avaliação preliminar de quais princípios ativos apresentam alguma possibilidade de contaminação de mananciais de água, optou-se por fazer sempre uma opção conservadora, de modo que não se deixasse de considerar um caso limite.

Quando as informações disponíveis foram insuficientes para se concluir sobre o potencial de contaminação do pesticida, o resultado foi apresentado como inconclusivo.

Segundo COHEN et al.³⁵ compostos classificados na faixa de transição e de lixiviação provável de acordo com o índice GUS requerem investigação adicional usando métodos mais detalhados. Compostos classificados como improváveis de sofrerem lixiviação podem, seguramente, ser considerados como não contaminantes de águas subterrâneas.

Considerando esta afirmação e os critérios da EPA (Tabela 4) pode-se dizer que para os seguintes princípios ativos: metomil, maneb, triadimefon, atrazina, metribuzina, simazina, clorimuron etil, flumetsulan, fomesafen, glifosato, imazaquin, imazetapir e metolaclor seriam recomendados estudos futuros de contaminação de águas subterrâneas na região. Dentre estes têm sido detectados em águas subterrâneas com frequência os seguintes: atrazina, metolaclor, simazina, metribuzina e metomil^{12-14, 16, 42-48}. Por outro lado, os princípios ativos: clorpirifós etil, monocrotofós, endosulfan, deltametrina, lambda cialotrina, permetrina, mancozeb, oxicloreto de cobre, fluzifop-p-butil, haloxifop metil, lactofen e trifluralina podem ser considerados como não contaminantes potenciais de águas subterrâneas. Com relação aos demais, por falta de dados sobre diversas de suas propriedades físicas, nada se pode afirmar sobre seu potencial de contaminação.

Tabela 3. Propriedades físico-químicas a 20-25°C dos princípios ativos dos pesticidas usados em Primavera do Leste, MT, em 1997.

Classe	Princípio Ativo	Pressão de Vapor (Pa)	Solubilidade em água (mg/L)	Log K _{ow} ⁽¹⁾	K _{OC} (cm ³ /g) ⁽²⁾	DT ₅₀ ⁽³⁾ no solo (dias)	DT ₅₀ à hidrólise (dias)	K _H ⁽⁴⁾ (Pa.m ³ .mol ⁻¹)	GUS
Inseticidas	Clorpirifós etil	2,7 x 10 ⁻³	1,4	4,7	4981	94	50 (pH 7)	1,75	2,57
	Monocrotofós	2,9 x 10 ⁻⁴	miscível	-0,22	1	30	17 (pH 7)		
	Endosulfan	8,3 x 10 ⁻⁴	0,32	4,74 - 4,79	12.400	50		2,9 x 10 ⁻²	
	Deltametrina	<1,33 x 10 ⁻⁵	< 0,2 x 10 ⁻⁴	4,6	460.000 – 1.630.000	< 23	2,5 (pH 9)	>0,5	
	Lambda cialotrina	1 x 10 ⁻⁶	0,005 (pH6,5)	6,8	180.000	4-12 semanas			
	Permetrina	4,5 x 10 ⁻⁵	0,2	6,1	100.000	30			
	Metomil	6,65 x 10 ⁻³	57.900	1,24	72	30	< 2	6,5 x 10 ⁻⁵	
	Tetradifon	3,2 x 10 ⁻⁸	0,08	4,61					
Fungicidas	Cimoxanil	8 x 10 ⁻⁵	890 (pH5)	4,9		< 2 semanas	(6) (pH=7)	1,6 x 10 ⁻⁵	
	Mancozeb	desprezível	6		>2.000	70	1-2 (pH5-9)		
	Maneb	desprezível	0,5 x 10 ⁻³		479	56			2,31
	Oxicloreto de cobre	desprezível	< 10 ⁻⁵						
	Sulfato de cobre	desprezível	230.500		adsorve fortemente	(3)			
	Tiofanate metil	9,5 x 10 ⁻⁶	3,5	1,50	1830E ⁽⁷⁾	3-4 semanas			
	Triadimefon	2 x 10 ⁻⁵	64	3,11	340	40	> 1 ano (pH 3-9)		2,35
Herbicidas	Atrazin	3,9 x 10 ⁻⁵	33	2,5	124	50	105-200	2,9 x 10 ⁻⁴	3,24
	Metribuzina	5,8 x 10 ⁻⁵	1.050	1,58	60	1-2 meses	7	< 2,4 x 10 ⁻⁴	
	Simazina	2,94 x 10 ⁻⁶	6,2	2,1	115	59		3,4 x 10 ⁻⁴	3,43
	Clorimuron etil	2 x 10 ⁻³	1.200 (pH7)	2,3 (pH 7)	110 (pH 7)	7,5 semanas	17-25 (pH 5)		
	Fluazifop-p-butil	5,5 x 10 ⁻⁵	1	4,5	5.700	< 1 semana	< 1 semana		
	Haloxifop metil	8,0 x 10 ⁻³	8,74	log 11.700		< 24 horas	5 (pH7) e 33 (pH5)		
	Flumetsulan	3,7 x 10 ⁻⁸	49 (pH 2,5)	0,21	5 a 182	1-2 meses			
	Fomesafe	< 1x 10 ⁻⁴	50	2,9 (pH 1)	60 (sal de sódio)	>6 meses			
	Lactofen	1 x 10 ⁻¹¹	< 1	5	10.000E	3	5-10		
	Glifosato ⁽⁵⁾	desprezível	900.000	log 0,17x10 ⁻²	24.000	47			2,81
	Imazaquin	<1,3 x 10 ⁻⁵	60-120	2,2		4-6 meses	5,5 meses (pH 9)		
	Imazetapi	<1,3 x 10 ⁻⁵	1.400	31	10E (pH 7)	1-3 meses			
	Metolacloclor	4,2 x 10 ³	488	2,9	175	101	>200 (pH 2-10)	9 x 10 ⁻⁴	3,52
Trifluralina	9,5 x 10 ⁻³	0,221	5,2	6.417	170		4,02	0,43	

⁽¹⁾K_{ow} = coeficiente de partição octanol/água; ⁽²⁾K_{OC} = coeficiente de adsorção à matéria orgânica; ⁽³⁾DT₅₀ = meia-vida; ⁽⁴⁾K_H = constante da Lei de Henry; ⁽⁵⁾sal de isopropilamina; ⁽⁶⁾degrada rapidamente; ⁽⁷⁾adsorve fortemente à argila e húmus; ⁽⁸⁾E = estimativa

Tabela 4. Resultados da avaliação de risco de contaminação de águas subterrâneas com base nos critérios de “screening” estabelecidos pela EPA e no índice GUS (Primavera do Leste, MT, 1997)

Critérios de “screening”									
Classe	Princípio Ativo	<i>Solub.</i>	<i>K_{OC}</i>	<i>DT₅₀</i> ⁶ solo	<i>DT₅₀</i> hydr.	<i>K_H</i> ⁷	<i>Espec.</i> ⁵	GUS	Result. ³
Inseticidas	Clorpirifós etil	x ¹	x	✓				x	NC
	Monocrotofós	✓ ²	x	x					NC
	Endosulfan	x	x	✓				x	NC
	Deltametrina	x	x	x					NC
	Lambdacialotrina	x	x	✓					NC
	Permetrina	x	x	✓					NC
	Metomil	✓	✓	✓	x	✓			PC
	Tetradifon	x							I
Fungicida	Cimoxanil	✓		x	x	✓			I
	Mancozeb	x	x	x	x				NC
	Maneb	x	x	✓				✓	PC
	Oxicloreto de cobre	x							NC
	Sulfato de cobre	✓	x						I
	Tiofanate metil	x	x	✓					NC
	Triadimefon	✓	✓	x	✓			✓	PC
Herbicida	Atrazina	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	PC
	Metribuzina	✓	✓	✓		✓			PC
	Simazina	x	✓	✓		✓	✓	✓	PC
	Clorimuron etil	✓	✓	✓	✓		x		PC
	Fluazifop-p-butil	x	x	x	x				NC
	Haloxifop metil	x		✓	x				NC
	Flumetsulan	✓	✓	✓					PC
	Fomesafen	✓	✓	✓			✓		PC
	Lactofen	x	x	x	x				NC
	Glifosato	✓	x	✓			✓	✓	PC
	Imazaquin	✓	✓	✓	✓		✓		PC
	Imazetapir	✓	✓	✓			✓		PC
	Metolaclor	✓	✓	✓	✓	✓		✓	PC
	Trifluralina	x	x	✓		x			NC

Obs.: ¹x - não atende ao critério; ²✓ - substância atende ao critério como potencialmente perigoso; ³PC - contaminante em potencial; NC - não contaminante; I - inconclusivo; ⁴em branco - dado não disponível na literatura consultada; ⁵Espec. - especiação; ⁶DT₅₀ - meia-vida; ⁷K_H - constante da Lei de Henri⁵⁸.

Águas superficiais

De acordo com os critérios de Goss³⁷ usados para avaliar se um pesticida pode atingir águas superficiais ao ser usado na agricultura, pode-se dividi-los entre aqueles que podem ser transportados dissolvidos em água e aqueles que são transportados associados ao sedimento em suspensão.

A Tabela 5 apresenta os princípios ativos usados em Primavera do Leste classificados segundo estes critérios. Nessa tabela pode-se observar que um grande número de princípios ativo pode ser transportado dissolvido em água: clorpirifós etil, lambda cialotrina, metomil, mancozeb, triadimefon, atrazina, metribuzina, simazina, flumetsulan, fomesafen, glifosato, imazetapir, imazaquin, metolaclor, clorimuron etil, sendo que destes, somente o clorpirifós etil, a lambda cialotrina e o mancozeb não são também contaminantes potenciais de águas subterrâneas devido à sua alta afinidade pela matéria orgânica do solo e podem ser transportados superficialmente, tanto dissolvidos em água como associados ao sedimento.

Dentre aqueles com alto potencial de transporte associado ao sedimento destaca-se a trifluralina devido à sua elevada meia-vida no solo (170 dias).

Dos pesticidas levantados neste estudo, atrazina, simazina, metribuzina, clorpirifós etil, metolaclor e trifluralina foram detectados em águas superficiais, em diversos países, com elevada frequência^{5-7, 9, 10, 15, 16, 41, 49-58}.

CONCLUSÕES

A análise dos dados apresentados nos mostra que, dentre os pesticidas usados em áreas agrícolas próximas à cidade de Primavera do Leste, Mato Grosso, aqueles que possuem maior mobilidade no ambiente são: metomil, triadimefon, atrazina, metribuzina, simazina, clorimuron etil, imazetapir, flumetsulan, fomesafen, glifosato e metolaclor. Quanto à persistência no solo o clorpirifós etil, endosulfan, lambdacialotrina, tiofanate metil, atrazina, metribuzina, simazina, fomesafen, imazetapir e trifluralina apresentam meia-vida de um mês a mais de seis meses. Dentre estes, atrazina e seus metabólitos desetil atrazina e desipropil atrazina, simazina, metribuzina e metolaclor são os princípios ativos que foram detectados mais frequentemente em águas superficiais e subterrâneas, em diversos países.

Considerando-se as características do clima e do solo da região, e considerando ainda que as chuvas mais intensas co-

Tabela 5. Classificação dos princípios ativos usados em Primavera do Leste, MT, em 1997, de acordo com seu potencial de contaminar águas superficiais

Alto potencial de contaminação de águas superficiais	
Dissolvidos em água	Associados ao sedimento
em suspensão	
- Clorpirifós etil	- Clorpirifós etil
- Lamda cialotrina	- Endosulfan
- Metomil	- Lambda cialotrina
- Mancozeb	- Mancozeb
- Triadimefon	- Trifluralina
- Atrazina	- Glifosato
- Metribuzina	
- Simazina	
- Flumetsulan	
- Fomesafen	
- Glifosato	
- Imazetapir	
- Imazaquin	
- Metolaclor	
- Clorimuron etil	
Potencial médio de contaminação de águas superficiais	
Dissolvidos em água	Associados ao sedimento
em suspensão	
- Monocrotofós	- Permetrina
- Endosulfan	- Deltametrina
- Fluazifop-p-butil	- Maneb
- Trifluralina	- Atrazina
	- Simazina
	- Fluazifop-p-butil
	- Fomesafen
	- Metolaclor
Baixo potencial de contaminação de águas superficiais	
Dissolvidos em água	Associados ao sedimento
em suspensão	
- Deltametrina	- Monocrotofós
- Permetrina	- Metomil
- Tiofanate metil	- Cimoxamil
- Haloxifop metil	- Triadimefon
- Maneb	- Metribuzina
- Triadimefon	- Flumetsulan
	- Haloxifop metil
	- Glifosato
	- Clorimuron etil

incidem com o período em que os pesticidas são aplicados, os riscos de contaminação de águas superficiais e subterrâneas da região não podem ser desprezados.

REFERÊNCIAS

- Jury, W. A.; Winer, A. M.; Spencer, W. F.; Focht, D. D.; *Rev. Environ. Contam. Toxicol.* **1987**, 99, 119.
- Helling, C. S.; Zhuna, G. W.; Gish, T. J.; Coffman, C. B.; Isensee, A. R.; Kearney, P. C.; Hoagland, D. R.; Woodward, M. D.; *Chemosphere* **1988**, 17, 175.
- Huang, L. Q.; Frink, C. R.; *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* **1989**, 43, 159.
- Leonard, R. A.; In: *Environmental Chemistry of Herbicides*, Grover, R., Ed.; v.I; CRC Press Inc.; Boca Raton, FL, 1989; p 45.
- Brown, C. D.; Hadgkinson, R. A.; Rose, D. A.; Syers, J. K.; Wilcockson, S. J.; *Pesticide Science* **1995**; 43, 131.
- Solomon, K. R.; Baker, D. B.; Richards, R. P.; Kenneth, R. D.; Klaine, S. J.; Lapoint, T. W.; Kendall, R.J.; Weisskopf, C. P.; Giddings, J. M.; Giesy, J. P.; Hall Jr, L. W.; Williams, W. M.; *Environ. Toxicol. Chem.* **1996**, 15, 31.
- Buser, H. R.; *Environ. Sci. Technol.* **1990**, 24, 1049.
- Barceló, D.; *J. Chromatogr.* **1993**, 643, 117.
- Pereira, W. E.; Rostettler, F. D.; *Environ. Sci. Technol.* **1993**, 27, 1542.
- Gandraß, J.; Bormann, G.; Wilken, R. D.; *Fresenius J. Anal. Chem.* **1995**, 353, 70.
- Maurer, D.; Robertson, G.; Gerlinger, T.; Gosset, R.; *Water Environ. Res.* **1996**, 68, 1024.
- Walls, D.; Smith, P. G.; Mansell, M. G.; *Intern. J. Environ. Health Research* **1996**, 6, 55.
- Richards, R. P.; Baker, D. B.; Creamer, N. L.; Kramer, J. W.; Ewing, D. E.; Merryfield, B. J.; Wallrabenstein, L. K.; *J. Environ. Qual.* **1996**, 25, 389.
- Kolpin, D. W.; Sneck-Fahrer, D.; Hallberg, G. R.; Libra, R. D.; *J. Environ. Qual.* **1997**, 26, 1007.
- Chong, S. K.; Klubek, B. P.; Weber, J. T.; *J. Am. Water Res. Assoc.* **1998**, 34, 687.
- Balinova, A. M.; Mondesky, M.; *J. Environ. Sci. Health* **1999**, B34, 33.
- Higashi, K. *Relatório do XV Encontro Nacional de Analistas de Resíduos de Pesticidas*, (São Paulo) 1991, 68.
- Eichelberger, J.W.; Lichtenberg, J.J.; *Environ. Sci. Technol.* **1971**, 5, 541.
- Aharonson, N.; Cohen, S. Z.; Drescher, N.; Gish, T. J.; Gorbach, S.; Kearney, P. C.; Otto, S.; Roberts, T. R.; Vonk, J. W.; *Pure Appl. Chem.* **1987**, 59, 1419.
- Prasad, S. S.; *JAOAC Int.* **1992**, 5, 916.
- Wauchope, R. D.; Buttler, T. M.; Hornsby, A. G.; Augustijn-Beckers, P. W. M.; Burt, J. P.; *Rev. Environ. Contam. Toxicol.* **1992**, 123, 1.
- Barceló, D.; Hennion, M. C.; *Trace determination of pesticides and their degradation products in water. Techniques and Instrumentation in Analytical Chemistry v.19*, Elsevier Science B. V.; Amsterdam, 1997; p 1.
- Dores, E. F. G. C.; De-Lamonica-Freire, E. M.; *Pesticidas: R. Ecotoxicol. Meio Ambiente* **1999**, 9, 1.
- OMS – Organização Mundial da Saúde – *Guías para la calidad del agua potable*. V.I Recomendaciones. 2ª ed., Ginebra, 1995.
- Albanis, T. A.; Hela, D. G.; Sakellarides, T. M.; Konstantinou, I. K.; *J. Chromatogr. A* **1998**, 823,59.
- Alegria, H. A.; Shaw, T. J.; *Environ. Sci. Tech.* **1999**, 30, 850.
- Van-den-Berg, F.; Cúbica, R.; Benjey, W. G.; Majewski, M. S.; Yates, S. R.; Reeves, G. L.; Smelt, J. H.; Van-der-Linden, A. M. A.; *Water, Air, Soil Pollution* **1999**, 115, 195.
- Empresa Matogrossense de Pesquisa, Assistência e Extensão Rural S/A – EMPAER – MT – *Anuário Agropecuário e Agroindustrial de Mato Grosso 1978-1996*, 1997, v. 1, 429 p.
- SBCS – Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. *Material de método de trabalho de campo*. Campinas: Comissão de Métodos de Trabalho de Campo, Instituto Agrônomo, 1978. 36 p.
- Vieira, L. S. *Manual de ciência do solo com ênfase aos solos tropicais*, 2ª ed., São Paulo: Ed. Agrônômica Ceres Ltda, 1988, p. 375.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. *Análise granulométrica de solos*. Método NBR 7181, 1982.
- Cauduro, F. A.; Dorman, R. *Manual de Ensaio de Laboratório e de Campo para Irrigação e Drenagem*. PRONIP-IPH UFRGS, 1986, 216.
- Tomlin, C.; Ed.; *The Pesticide Manual*, 10ª ed., Crop Protection Publication and Royal Chemical Society, The Bath Press, 1995, 1150p.
- EXTOXNET – Extension Toxicology Network. *Pesticides*

- active ingredient profiles*. 11.03.1999. Disponível: <http://pmep.cce.cornell.edu/profiles/extoxnet> (capturado em 15.04.1999)
35. Cohen, S. Z.; Wauchope, R. D.; Klein, A. W.; Eadsporth, C. V.; Graney, R.; *Pure Appl. Chem.* **1995**, *67*, 2109.
 36. Funari, E.; Bottoni, P.; Giuliano, G. In: *Chemistry, Agriculture and the Environment*; Richardson, M. L., Ed.; The Royal Society of Chemistry, Cambridge, 1991, p 235.
 37. Goss, D. W.; *Weed Technol.* **1992**, *6*, 701.
 38. Southwick, L. M.; Willis, G. H.; Johnson, D. C.; Selim, H. M.; *J. Environ. Qual.* **1995**, *24*, 684.
 39. Laabs, V.; Amelung, W.; Pinto, A.; Altstaedt, A.; Zech, W. *Chemosphere* **2000**, *41*, 1441.
 40. Spadotto, C. A.; Gomes, M. A. F.; Rodrigues, G. S.; *Pesticidas: Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente* **1998**, *8*, 111.
 41. Castillo, L. E.; De La Cruz, E.; Ruepert, C.; *Environ. Toxicol. Chem.* **1997**, *16*, 41.
 42. Ritter, W. F. *J. Environ. Qual.* **1990**, *B25*, 1.
 43. Burkart, M. R.; Kolpin, D. W.; *J. Environ. Qual.* **1993**, *22*, 646.
 44. Skark, C.; Zullei-Seibert, N.; *Inter. J. Environ. Anal. Chem.* **1995**, *59*, 387.
 45. Kolpin, D. W.; Goolsby, D. A.; Thurman, E. M.; *J. Environ. Qual.* **1995**, *24*, 1125.
 46. Smith, N. J.; Martin, R. C.; Croix, R. G. S.; *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* **1996**, *57*, 759.
 47. Fenelon, J. M.; Moore, R. C.; *J. Environ. Qual.* **1998**, *27*, 884.
 48. Kolpin, D. W.; *J. Environ. Qual.* **1997**, *26*, 1025.
 49. Buttle, J. M.; *J. Environ. Qual.* **1990**, *19*, 531.
 50. Ahel, M.; Evans, K. M.; Fileman, T. W.; Mantoura, R. F. C.; *Anal. Chim. Acta* **1992**, *268*, 195.
 51. Squillace, P. J.; Thurman, E. M.; *Environ. Sci. Technol.* **1992**, *26*, 538.
 52. Moody, J.; Golsby, D. A.; *Environ. Sci. Technol.* **1993**, *27*, 2120.
 53. Albanis, T. A.; Danis, T. G.; Kourgia, M. K.; *Sci. Total Environ.* **1994**, *156*, 11.
 54. Richards, R. P.; Baker, D. B.; Christensen, B. R.; Tierney, D. P.; *Environ. Sci. Technol.* **1995**, *29*, 406.
 55. Dupas, S.; Scribe, P.; Etcheber, H.; Saliot, A.; *Int. J. Environ. Anal. Chem.* **1995**, *58*, 397.
 56. Rawn, D. F. K.; Halldorson, T. H. J.; Woychuk, R.; Muir, D. C. G.; *Water Qual. Res. J. Canada* **1999**, *34*, 183.
 57. Steen, R. J. C. A.; Leonards, P. E. G.; Brinkman, U. A. T.; Barceló, D.; Tronczynski, J.; Albanis, T. A.; Cofino, W. P.; *Environ. Toxicol. Chem.* **1999**, *18*, 1574.
 58. Jaynes, D. B.; Hatfield, J. L.; Meek, D. W.; *J. Environ. Qual.* **1999**, *28*, 45.