

Capítulo 9

Análise espacial do potencial de lixiviação de herbicidas em áreas de afloramento do Aqüífero Guarani na Alta Bacia do Rio Taquari, MS

Heitor Luiz da Costa Coutinho

Álvaro A. Souza Leite

Lourival Costa Paraíba

Antonio Luiz Cerdeira

Heloisa Ferreira Filizola

Ênio Fraga da Silva

Marco Antonio Ferreira Gomes

Introdução

A Bacia do Rio Taquari é uma das principais formadoras do Pantanal, ocupando uma área aproximada de 80.000 ha. Antes de adentrar a planície pantaneira, a jusante da cidade de Coxim, MS, a parte alta da bacia (Alta Bacia do Rio Taquari, BAT) ocupa uma área de 28 mil hectares, aproximadamente, envolvendo territórios de 11 municípios de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul. Dominada pelo bioma Cerrado, com representações de todos seus ecossistemas, e com predominância de solos de textura arenosa (Neossolos Quartzarênicos, 59 % da BAT) e/ou com horizonte B textural (Argissolos, 14 % da BAT), suas terras foram inicialmente ocupadas pela atividade de criação de gado, utilizando para isto as pastagens nativas, e posteriormente o cultivo de gramíneas exóticas, com destaque para espécies do gênero *Brachiaria* (OLIVEIRA et al., 1998).

Nos últimos 25 anos, o cultivo de grãos para exportação e para o abastecimento interno, soja e milho, respectivamente, tomou vulto na região, ocupando inicialmente as terras com aptidão para este tipo de sistema de produção, com solos mais intemperizados, de textura argilosa ou média, profundos e bem drenados (Latosolos, 16 % da BAT), localizados principalmente nas chapadas dos municípios de São Gabriel do Oeste, em sua porção Sudoeste, e Costa Rica e Alto Taquari, no nordeste da bacia (OLIVEIRA et al., 1998).

Mais recentemente, ao longo dos últimos dez anos, o cultivo de grãos tem ampliado suas fronteiras, ocupando áreas tradicionais de pecuária, com solos arenosos, classificados pelo Sistema de Aptidão Agrícola das Terras como inaptos para lavouras.

Essa expansão é movida por vários fatores: econômicos, com a valorização da soja no mercado internacional; infra-estrutura, principalmente de transporte para o escoamento da produção (ferrovia Norte-Sul, hidrovia, asfaltamento de estradas, etc.) (MENDES; JOHNSTON, 2002); crescente degradação das pastagens cultivadas, devido ao manejo inadequado dessas terras, sem a adoção de práticas de conservação de solo e água; desenvolvimento tecnológico que permite o cultivo de lavouras nessas áreas com razoável retorno econômico, como o sistema de plantio direto (LANDERS, 2001). A preocupação com os impactos ambientais decorrentes deste avanço da fronteira agrícola na região é devida, sobretudo, ao fato da mesma ser, além de contribuinte para o Pantanal, em grande parte,

área de recarga do Aquífero Guarani. Este é o maior aquífero da América do Sul, ocupando uma área de 1.150.000 km² e abastecendo com suas águas, através de poços artesianos, uma população de 15 milhões de pessoas que vivem em sua área de ocorrência, que abrange o Centro-Sul brasileiro, o Uruguai, a Argentina e o Paraguai (ROCHA, 1996; ROSA FILHO et al., 1998). Como os sistemas de produção de grãos na região são predominantemente dependentes da aplicação de agrotóxicos dos mais variados tipos, a possibilidade de lixiviação de moléculas tóxicas e persistentes, e a conseqüente contaminação do aquífero deve ser considerada pelos tomadores de decisão e órgãos de gestão e fiscalização ambiental. Considerando que a lixiviação através de solos arenosos é favorecida pelos baixos teores de matéria orgânica e de minerais de argila, fatores que poderiam reter as moléculas por mais tempo no solo, torna-se essencial uma análise espacial do potencial de risco de contaminação associado ao uso dos principais pesticidas utilizados na região, como subsídios à gestão dessa importante bacia hidrográfica.

Contaminação de aquíferos

Dentre os principais impactos ambientais resultantes da implantação de sistemas intensivos de produção agrícola está a contaminação das águas sub-superficiais. Tal evento se manifesta na medida em que se torna freqüente a utilização de substâncias agrotóxicas utilizadas para o controle de doenças e pragas que comumente atacam as lavouras. Isto se torna um problema no momento em que há a introdução de água no sistema; seja proveniente da chuva ou do próprio sistema de irrigação da propriedade. Esta água, entrando em contato com as plantas e com o solo, dissolve algumas dessas substâncias e as conduz pelo perfil solo por meio do movimento de infiltração baseado na percolação através dos poros do solo, até atingir a zona saturada do mesmo, afetando a qualidade das reservas sub-superficiais de água (lençóis freáticos ou aquíferos profundos), conforme Racke et al. (1997).

As variantes que mais influenciam a infiltração são o tipo de solo pelo qual percolam tais fluidos tóxicos, as próprias características destes, e fatores ambientais como temperatura e umidade (PARAÍBA et al., 2003). Cada classe de solo, dependendo do uso e manejo ao qual está submetido, apresenta características próprias de textura, grau de porosidade, estrutura e

agregabilidade. A taxa de infiltração de um mesmo produto tenderá a variar de acordo com as diferentes combinações de propriedades encontradas em cada tipo de solo (BOESTEN, 2000).

Índices de lixiviação

A identificação e caracterização dos processos biológicos, físicos e químicos predominantes no transporte, persistência e destino de pesticidas no ambiente requerem estudos laboratoriais e de campo intensivos. A análise de risco de contaminação de aquíferos, por agrotóxicos, envolvem avaliação de suas propriedades, das características do solo e das condições climáticas. Laabs et al. (2002) realizaram um estudo piloto de lixiviação e degradação de pesticidas usados nas culturas do milho e da soja em latossolos do Cerrado, e encontraram que, em geral, a meia vida dos produtos testados nas condições do solo e clima estudados difere daquela estimada por modelos desenvolvidos tendo como base dados de regiões de clima temperado, sendo que os estudos de lixiviação mostraram menores taxas de mobilidade nos trópicos. Os resultados foram explicados pelas mais rápidas taxas de degradação dos pesticidas em função das maiores atividades e populações microbianas, ambas associadas a maiores temperaturas no solo. Utilizando dados obtidos para solos coletados de diferentes profundidades de perfis de dois tipos de solo diferentes do Município de São Gabriel do Oeste, Paraíba et al. (2003), adaptaram modelos de análise de risco de lixiviação considerando o efeito da temperatura do solo, e estimaram o risco de 31 herbicidas comumente utilizados por agricultores daquele município. Estes foram classificados, para cada tipo de solo, nas categorias de muito baixo, baixo, moderado, alto, e muito alto risco de lixiviação.

Ocorrência de herbicidas em áreas de recarga do Aqüífero Guarani – exemplos de estudos desenvolvidos pela Embrapa e parceiros

O Aqüífero Guarani está localizado em sua quase totalidade (90 %) sob os basaltos da Formação Serra Geral, armazenado nos arenitos da Formação Botucatu. As áreas de recarga total (154.000 km²) se localizam nas bordas leste e oeste da grande Bacia do Rio da Prata, em faixas alongadas do pacote sedimentar Botucatu/Pirambóia, que afloram à superfície (ROCHA, 1996). O relevo das áreas de recarga é plano a suave

ondulado com declividade média de 5 %. Nas áreas de recarga, os solos predominantes são do tipo Latossolo Vermelho Distrófico psamítico (LVd), Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico psamítico (LVAd) e Neossolo Quartzarênico Órtico (RQo). De uma forma genérica, pode-se dizer que os solos arenosos e sem estabilidade das áreas de recarga, quando submetidos a uso intensivo, sofrem, nos períodos chuvosos, processos erosivos, que além de provocarem uma perda substancial de solo, contribuem para o assoreamento dos cursos d'água. Pelo fato de serem solos extremamente porosos e possuem condutividade hidráulica alta, 200 mm h^{-1} (FILIZOLA et al., 2005) favorecem os processos de lixiviação.

Estudos de simulação dos herbicidas atrazina, diuron e tebutiuron, realizados por Pessoa et al. (1999) com o modelo CMLS-94 em áreas de recarga do Aquífero Guarani na Microbacia do Córrego do Espriado, Ribeirão Preto, SP, mostraram que todos eles se deslocam mais no perfil do Neossolo Quartzarênico Órtico do que no Latossolo Vermelho Psamítico, com destaque para o tebutiuron que atingiu 9,43 m para um período simulado de quatro anos. Mapas de exposição ao risco de contaminação pelos herbicidas atrazina, diuron e tebutiuron, elaborados por Pessoa et al. (2003), mostraram que a faixa de profundidade do lençol freático, entre 5 m e 10 m em áreas de ocorrência do Neossolo Quartzarênico, exibem alto risco de contaminação.

Estudos de avaliação da ocorrência do herbicida tebutiuron realizados por Gomes et al. (2001) evidenciaram que o seu monitoramento, por si só, não subsidia o entendimento dos processos de seu movimento até a água subterrânea, mas dá diretrizes básicas de que o fenômeno realmente está acontecendo, e de forma muito rápida em solos arenosos, necessitando, porém, de investigações mais detalhadas. As características físicas dos solos da área estudada ressaltam a sua expressiva vulnerabilidade natural que, aliada ao alto potencial de lixiviação e outras propriedades físico-químicas do herbicida analisado, refletem uma situação de risco de contaminação da água subterrânea, principalmente em relação ao padrão de potabilidade.

Estudos de simulação de lixiviação de herbicidas, com a conseqüente validação em campo, permitirão a avaliação de riscos mais efetivos ou reais de contaminação da água subterrânea. Esses estudos estão também relatados de forma mais detalhada no capítulo XI, parte 2 deste livro.

Gomes et al. (2002), ao avaliarem a vulnerabilidade natural dos solos das áreas de recarga do Aquífero Guarani, tomando como referência a

Microbacia do Córrego do Espraiado, SP, concluíram que o potencial de infiltração de água no solo, quando classificado como alto, indica uma condição ambiental de vulnerabilidade alta do solo frente a uma carga contaminante, o que pode ser compreendido como uma condição favorável, a priori, à contaminação do lençol freático. Essa condição foi definida para o Neossolo Quartzarênico Órtico. Para o potencial de escoamento superficial alto, o contaminante tende a se escoar superficialmente, seja em suspensão seja adsorvido a pequenos agregados ou torrões, tornando o aqüífero menos exposto a uma condição de contaminação (vulnerabilidade baixa). Nesse caso, os cursos d'água superficiais tendem a ser comprometidos. Essa condição foi definida para o Latossolo Vermelho Psamítico. Informações mais detalhadas e relacionadas a esta abordagem podem ser obtidas no capítulo III, parte 2 deste livro.

Matallo et al. (2003), ao desenvolverem estudos de lixiviação dos herbicidas diuron e tebutiuron em colunas de solo dos tipos Latossolo Vermelho Psamítico e Neossolo Quartzarênico Órtico, representativos das áreas de recarga do Aqüífero Guarani, concluíram que o teor de matéria orgânica do solo teve papel de destaque, principalmente para o tebutiuron. Os mais baixos teores de matéria orgânica no Neossolo favoreceram a lixiviação. Outras informações sobre esta abordagem podem ser obtidas no capítulo VI, parte 2 deste livro.

Objetivo

Analisar, de maneira espacialmente distribuída, o risco potencial de lixiviação de cinco herbicidas utilizados nas culturas da soja e do milho, nas áreas de recarga do Aqüífero Guarani ocupadas por solos do tipo Latossolo e Neossolo Quartzarênico no Município de São Gabriel do Oeste, MS (escala 1:100.000), e na Alta Bacia do Rio Taquari (escala 1:250.000).

Material e métodos

Solos

As análises espaciais do potencial de lixiviação foram realizadas apenas para os tipos de solo representados pelas amostras coletadas no

Município de São Gabriel do Oeste e utilizadas por Paraíba et al. (2003), gerando índices de potencial de lixiviação para 31 herbicidas. As classes de solos analisadas fazem parte de uma parcela significativa das áreas de estudo e são ocupadas, em diferentes proporções, por cultivos de grãos. Uma descrição sucinta das características principais dessas classes de solo, de acordo com Embrapa (1999), encontra-se abaixo:

- Latossolos Vermelhos Distróficos típico textura argilosa – solos constituídos por material mineral, apresentando horizonte B latossólico imediatamente abaixo de qualquer um dos tipos de horizonte diagnóstico superficial, exceto H histórico. São solos em avançado estágio de intemperização, muito evoluídos, como resultado de enérgicas transformações no material constitutivo (salvo minerais pouco alteráveis). Os solos são virtualmente destituídos de minerais primários ou secundários menos resistentes ao intemperismo e têm capacidade de troca de cátions baixa. São normalmente muito profundos, sendo a espessura do *solum* raramente inferior a um metro. Têm seqüência de horizontes A, B, C, com pouca diferenciação de horizontes, e transições usualmente difusas ou graduais. São solos fortemente ácidos, com baixa saturação por bases. São típicos de regiões equatoriais e tropicais, distribuídos, sobretudo, por amplas e antigas superfícies de erosão, pedimentos ou terraços fluviais antigos; tais possuem textura argilosa e muito argilosa, fase cerrado, relevo plano e suave ondulado.
- Latossolos Vermelhos Distróficos típicos textura média – solos idênticos aos descritos anteriormente, diferindo apenas na textura, que é média, e o relevo, normalmente suave ondulado.
- Neossolos Quartzarênicos Órticos – solos constituídos por material mineral ou por material orgânico pouco espesso com pequena expressão e baixa intensidade dos processos pedogenéticos, que não conduziram, ainda, a modificações expressivas do material originário.

O critério utilizado para a seleção dessas classes foi:

- a) Latossolo Vermelho Distrófico textura argilosa – substrato pedológico sobre o qual se desenvolve grande parte dos sistemas de produção agrícola localizados no interior da área de estudo.

- b) Latossolo Vermelho Distrófico textura média – substrato pedológico sobre o qual se desenvolve grande parte dos sistemas de produção agrícola localizados no interior da área de estudo por estarem associados a áreas de recarga.
- c) Neossolo Quartzarênico Órtico – alto grau de permeabilidade devido à sua textura arenosa, o que potencializa a velocidade e o grau de contaminação na área que ocupa.

Os resultados de potencial de lixiviação de herbicidas apresentados são referentes somente às áreas que apresentam as classes de solo acima relacionadas. As demais áreas, caracterizadas por outras classes de solo, Argissolos e Neossolos litólicos, por exemplo, não foram incluídas nas análises e estarão representadas nos mapas com a cor cinza.

Herbicidas utilizados

Dentre os 31 herbicidas analisados por Paraíba (2003), foram selecionados cinco que representam substâncias utilizadas com maior frequência na região, com maiores riscos potenciais de lixiviação nos solos analisados e características de alta persistência no ambiente. Os princípios ativos, nomes comerciais e culturas para as quais os herbicidas são recomendados, encontram-se listados na Tabela 1.

Espacialização das áreas de recarga do Aquífero Guarani

A espacialização das áreas de recarga do Aquífero Guarani foi realizada por meio de uma operação de cruzamento entre os mapas de solos e de geologia do Município de São Gabriel do Oeste (escala 1:100.000) e da Alta Bacia do Rio Taquari (escala 1:250.000). Os dados de solo e geologia do município foram obtidos de Atlas... (2004), enquanto os da Bacia do Rio Taquari, de Brasil (1997). Como critério de definição das áreas de recarga, foram consideradas algumas classes de solo e de geologia específicas, com ocorrência na região. No caso dos solos, levou-se em conta principalmente a textura, sendo escolhidas as classes que apresentaram uma textura média ou arenosa: Latossolo Vermelho Distrófico textura média, Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico textura média, Neossolo Quartzarênico Distrófico, Neossolo Litólico Distrófico, Neossolo Litólico Eutrófico.

Tabela 1. Princípios ativos, formulação, nomes comerciais e principais culturas para as quais os herbicidas analisados são recomendados.

Princípio ativo	Formulação	Nome comercial	Registrante	Principais culturas		
Atrazina (Atrazine)	C ₈ H ₁₄ ClN ₅	Actiomex 500 SC	Action S.A.	Cana-de- açúcar		
		Agimix	Milenia Agro Ciências S.A.			
		Alaclor+Atrazina SC Nortox	Nortox S.A.			
		Alazine 500 SC	Agricur Defensivos Agrícolas Ltda.			
		Alliance WG	Bayer CropScience Ltda.			
		Atralex 500 SC	Agricur Defensivos Agrícolas Ltda.			
		Atrasimex 500 SC	Agricur Defensivos Agrícolas Ltda.			
		Atrazerba FL	Sapex			
		Atrazina Flow	Quimagro			
		Atrazina Nortox 500 SC	Nortox S.A.			
		Atrazina Selectis	Selectis			
		Atrazinax 500				
		Boxer				
		Controller 500 SC	Bayer CropScience Ltda.		Milho	
		Coyote	Monsanto do Brasil Ltda.			
		Extrazin SC	Dow AgroSciences Industrial Ltda.			
		Gesaprim GrDa	Milenia AgroCiências S.A.			
		Gesaprim 500 Ciba-Geigy	Sipcam Agro S.A.			
		Gesaprime 500 FW	Syngenta Proteção de Cultivos Ltda.			
		Guardsman	Syngenta Proteção de Cultivos Ltda.			
		Herbimix SC	Novartis			Sorgo
		Herbini Flow	Basf S.A.			
		Herbitrin 500 BR	Milenia AgroCiências S.A.			
		Herbogex A 500	Agroquisa			
		Laddok	Milenia AgroCiências S.A.			
		Permuzina L	Bayer CropScience Ltda.			
		Posmil	Basf S.A.			
Primagram Gold	Nufarm P					
Primaiz Gold	Milenia AgroCiências S.A.					
Primaiz 500 SC	Syngenta Proteção de Cultivos Ltda.					
Primatop SC	Syngenta Proteção de Cultivos Ltda.					
Primestra Gold	Bayer CropScience Ltda.					
Primleo	Syngenta Proteção de Cultivos Ltda.					
Proof	Syngenta Proteção de Cultivos Ltda.					
Sanson AZ	Bayer CropScience Ltda.					
Siptran 500 SC	Syngenta Proteção de Cultivos Ltda.					
Siptran 800 PM	Syngenta Proteção de Cultivos Ltda.					
Trac 50 SC	Syngenta Proteção de Cultivos Ltda.					
Triamex 500 SC	Syngenta Proteção de Cultivos Ltda.					
Diclosulam	C ₁₁ H ₁₀ Cl ₂ FN ₂ O ₃ S	Snake	Dow AgroScience Industrial Ltda.	Soja		
		Spaider 840 GrDa	Dow AgroScience Industrial Ltda.			
Fomesafen	C ₁₃ H ₁₀ ClF ₃ N ₂ O ₆ S	Flex	Syngenta Proteção de Cultivos Ltda.	Soja		
		Fusilex	Syngenta Proteção de Cultivos Ltda.			
		Robust	Syngenta Proteção de Cultivos Ltda.			
Imazetapir	C ₁₅ H ₁₉ N ₃ O ₃	Dinamaz WG	Basf S.A.	Soja		
		Dinamaz 70 WDG	Cheminova Brasil Ltda.			
		Imazetapir Plus Nortox	Nortox S.A.			
		Pivot	Basf S.A.			
		Standout	Basf S.A.			
		Vezir	Milenia Agro Ciências S.A.			
Vezir GrDa	Milenia Agro Ciências S.A.					
Sulfentrazone	C ₁₁ H ₁₀ Cl ₂ F ₂ N ₄ O ₃ S	Boral 500 SC	FMC Química do Brasil Ltda.	Arroz		

Constatou-se a presença freqüente nas áreas estudadas de duas grandes formações geológicas, que alternam-se na dominância dos perímetros das áreas de recarga já definidas e reconhecidas em outras porções do aquífero (ROCHA, 1996): Formação Botucatu e Formação Pirambóia. Foram considerados para a definição das áreas de recarga todos os perímetros que apresentaram dominância da Formação Botucatu ou Pirambóia, e ainda aqueles com predomínio de cobertura terciário-quaternária quando associada à Formação Pirambóia. O cruzamento dos mapas temáticos foi realizado pelo programa computacional ArcView 3.2 (ESRI), e as áreas de interseção entre as classes de solo e geologia descritas acima foram consideradas como zonas de recarga do Aquífero Guarani.

Modelagem do risco de lixiviação

As classes de lixiviação dos herbicidas analisados foram determinadas a partir do modelo de simulação *Temperature Leaching Potential Index* (TLPI) proposto por Paraíba et al. (2003), que incorporou o fator temperatura ao modelo de avaliação de risco anteriormente preconizado por Meeks e Dean (1990). As características intrínsecas de cada herbicida utilizadas foram: constante de Henry (coeficiente de partição ar-água), taxa de degradação no solo (uma função inversa de sua meia vida), peso molecular, pressão de vapor e solubilidade aquosa. As propriedades de solos mensuradas a partir de amostras coletadas de diferentes profundidades de perfis abertos em áreas representativas das classes de solo analisadas foram: teor volumétrico de umidade do solo a capacidade de campo, densidade, teor volumétrico e coeficiente de partição do carbono orgânico, porosidade a capacidade de campo, superfície específica (estimado através dos dados de granulometria), estimativa das temperaturas médias diárias da superfície do solo (incluindo as 11 médias das temperaturas máximas e mínimas ao longo do ano). A estes dados juntou-se a recarga hídrica líquida estimada por meio de balanço hídrico anual para as áreas estudadas, com o auxílio de pluviômetros e pluviógrafos.

Espacialização do risco potencial de lixiviação

Com a utilização do software ArcView 3.2, foi feita uma associação da classificação dos índices potenciais de lixiviação (TLPI) dos herbicidas

analisados aos polígonos das respectivas classes de solos, gerando mapas de risco para cada substância. Os TLPI foram classificados por Paraíba et al. (2003) em muito baixo, baixo, moderado, alto e muito alto. Este procedimento foi aplicado tanto para a Bacia do Alto Taquari (BAT) (escala 1:250.000) quanto para o Município de São Gabriel do Oeste, MS (escala 1:100.000).

Posteriormente, os mapas foram cruzados com os de áreas de recarga do Aquífero Guarani, resultando na espacialização dos potenciais de lixiviação dos cinco herbicidas avaliados.

Resultados e discussão

Espacialização do risco potencial de lixiviação de herbicidas

Os resultados da associação dos índices potenciais de lixiviação dos cinco herbicidas avaliados possibilitaram a visualização das áreas onde as aplicações destes compostos representam maiores riscos de contaminação de águas subterrâneas (Fig.1). Não apresentamos aqui os mapas de solos, que podem ser obtidos das referências citadas (BRASIL, 1997; ATLAS..., 2004). Os herbicidas imazethapyr e sulfentrazone, utilizados na cultura da soja, foram os que apresentaram os mais altos índices de potencial de lixiviação (muito alto), em todos os solos avaliados. Como a cultura da soja predomina nas áreas de chapadão do município, onde ocorrem em maior extensão territorial os solos da classe Latossolo Vermelho Distrófico, torna-se necessário uma avaliação mais detalhada da movimentação destes compostos pelo perfil do solo e análises de suas presenças nos cursos d'água e poços artesianos e semi-artesianos da região. Por sua vez, o herbicida atrazina, utilizado na cultura do milho, apresentou riscos moderados de lixiviação nas áreas de chapada, onde predominam os solos argilosos. Porém, nos solos de textura média e nos arenosos, os índices de lixiviação foram classificados como altos.

A aplicação da metodologia para a área da Alta Bacia do Rio Taquari, utilizando dados de solos e geologia obtidos na escala de 1:250.000, gerou

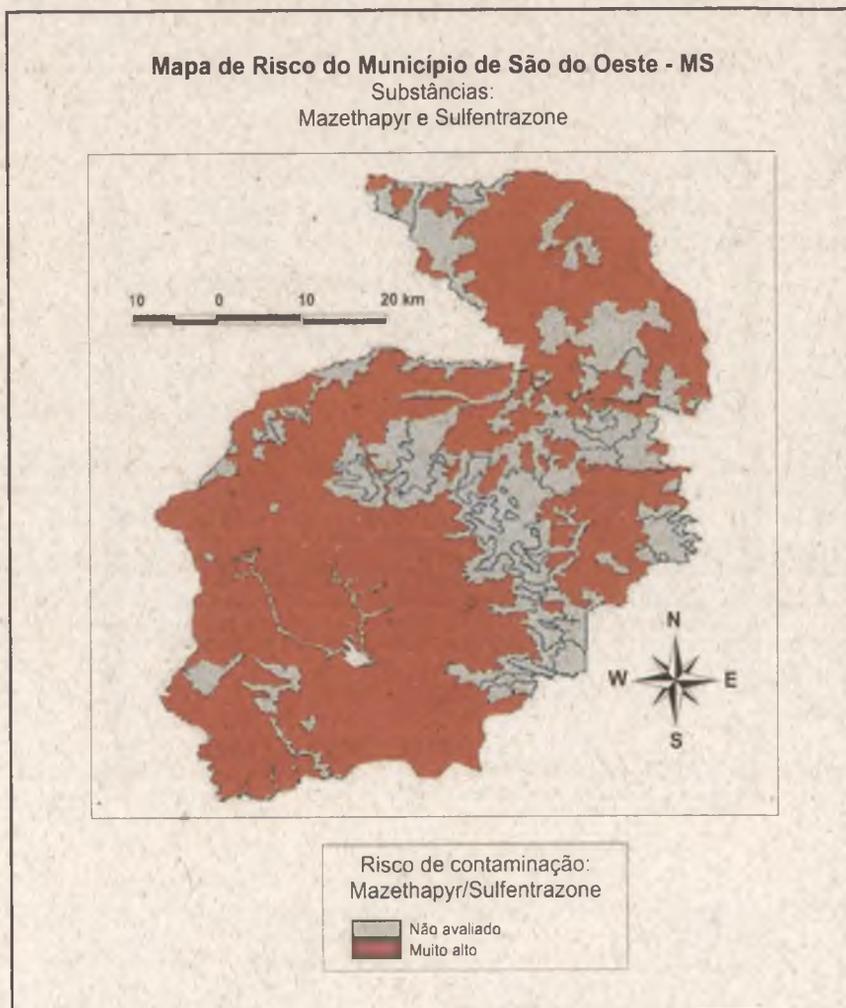
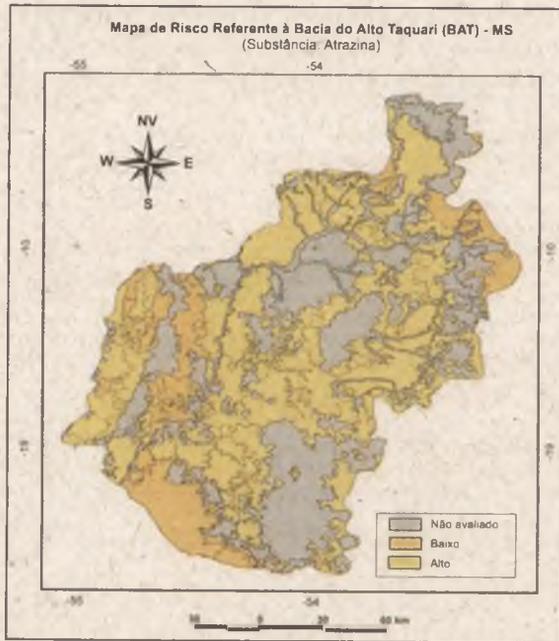


Fig. 1. Espacialização das classes de potencial de lixiviação dos herbicidas atrazina, diclosulam, fomesafen, imazethapyr e sulfentrazone no Município de São Gabriel do Oeste, escala 1:100.000.

mapas que confirmam os altos índices de potencial de lixiviação associados aos herbicidas imazethapyr e sulfentrazone (Fig. 2). Nesta escala de análise, os herbicidas diclosulam e fomesafen também apresentaram índices classificados como muito altos para a maior parte da área coberta pelos solos avaliados (Neossolos Quartzarênicos).



a

b

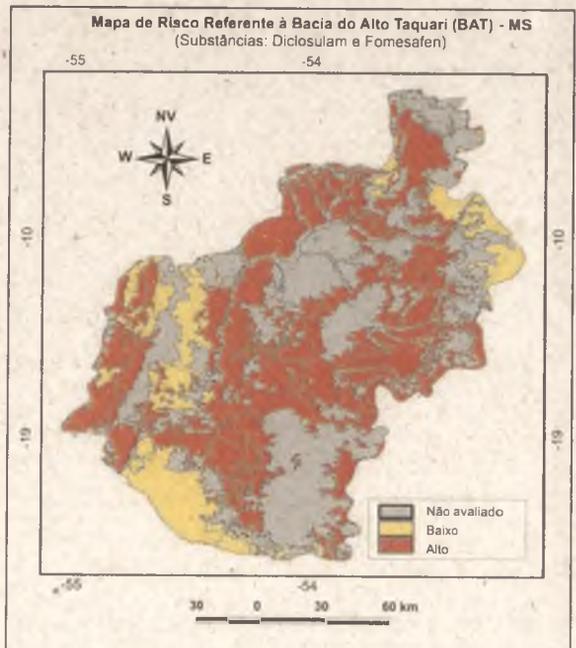
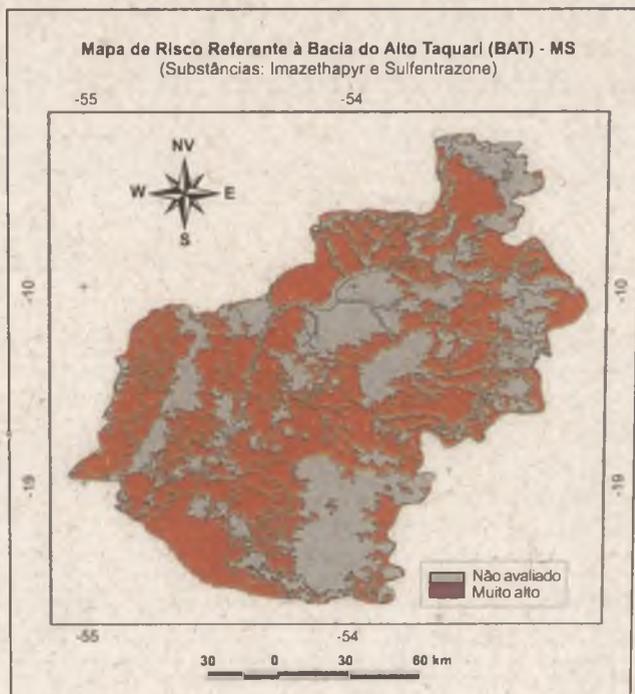


Fig. 2a,b. Espacialização das classes de potencial de lixiviação dos herbicidas (a) atrazina; e (b) diclosulam e fomesafen, na Alta Bacia do Rio Taquari, escala 1:250.000.

Fig. 2c. Espacialização das classes de potencial de lixiviação dos herbicidas imazethapyr e sulfentrazone na Alta Bacia do Rio Taquari, escala 1:250.000.

C



As demais áreas que coincidem com os solos argilosos foram classificadas como de alto risco. O herbicida atrazina apresentou alto potencial de lixiviação na maior parte da área, associada aos solos arenosos, e baixo nas áreas cobertas com os Latossolos das regiões de Chapada.

Áreas de recarga do Aquífero Guarani

O cruzamento das informações espacializadas de solos e geologia gerou os mapas de áreas de recarga do Aquífero Guarani apresentados na Fig. 3. Os mapas de solos e geologia originais não estão apresentados e podem ser acessados nas suas respectivas fontes (BRASIL, 1997; ATLAS..., 2004). Os resultados indicam que no Município de São Gabriel do Oeste as áreas de recarga concentram-se em sua porção nordeste, sobre manchas de solos do tipo Neossolo Quartzarênico. No entanto, convém ressaltar que apesar da pouca representatividade em termos de área, a área de recarga localizada na parte sudoeste do município pode ter importância para os gestores ambientais, uma vez que ocorre junto às áreas de produção intensiva de

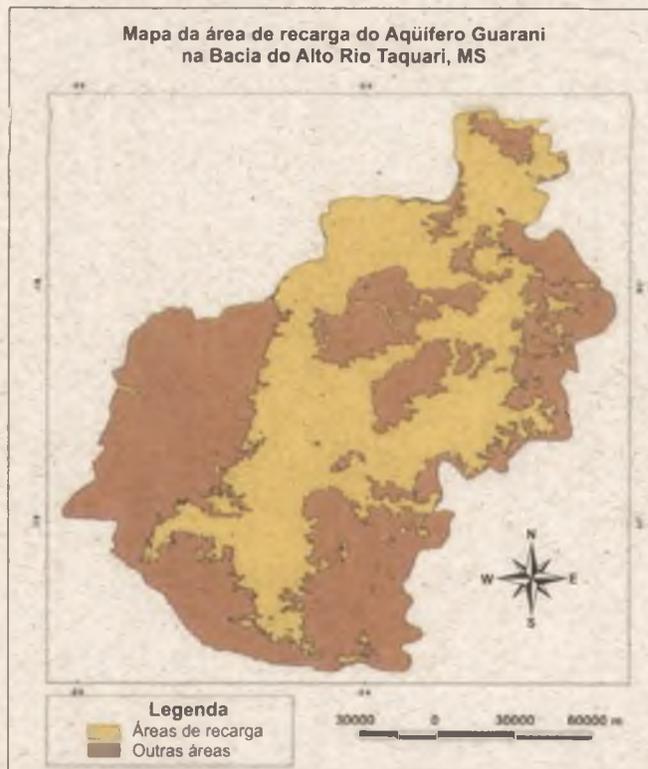
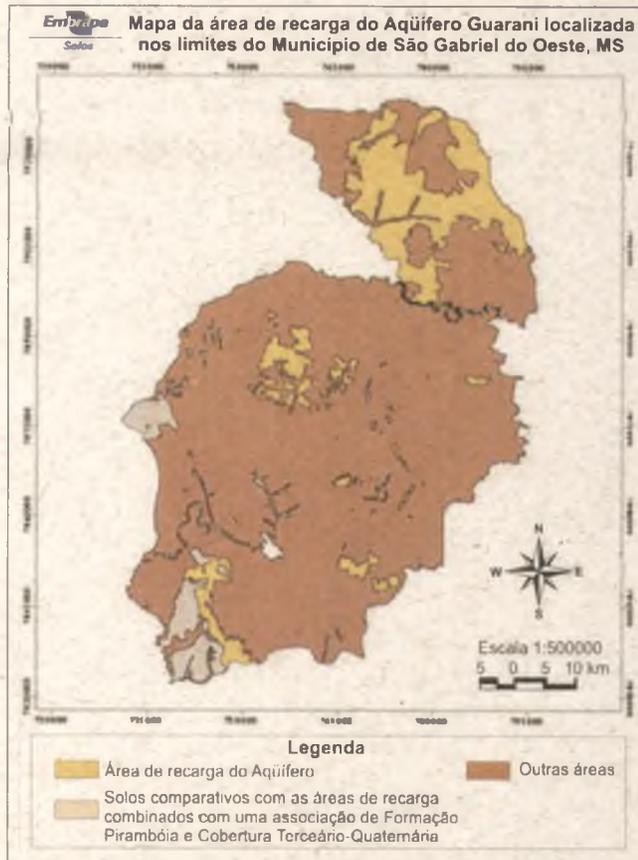


Fig. 3. Mapas de áreas de recarga do Aquífero Guarani para o Município de São Gabriel do Oeste, MS (escala 1:100.000) e para a Alta Bacia do Rio Taquari (escala 1:250.000).

grãos e, portanto, sujeita a contaminações por agroquímicos. A maior escala de análise em São Gabriel do Oeste (1:100.000) permitiu o mapeamento de áreas com cobertura terciário-quadernária associada à Formação Frambóia, contíguas à área de recarga citada, na porção sudoeste do município. Isto demonstra a importância da obtenção de dados espaciais em escalas maiores das que atualmente estão disponíveis, para subsidiar o planejamento de uso da terra de forma mais eficiente. A extensão das áreas de recarga do Aquífero Guarani na Alta Bacia do Rio Taquari (BAT) é fator de grande preocupação para os gestores ambientais. Praticamente toda a área sob solos do tipo Neossolo Quartzarênico está sobre áreas de recarga. Na ausência de dados de maior escala que a utilizada neste trabalho, o princípio da precaução deveria ser adotado, e a aplicação de agroquímicos com potencial de contaminação das águas subterrâneas evitada, uma vez que o consumo de água de poços semi-artesianos é prática comum em toda a região.

Espacialização do risco de lixiviação nas áreas de recarga

Em quase toda a área de recarga do Aquífero Guarani localizada na BAT, os herbicidas imazethapyr, sulfentrazone, diclosulam e fomesafen apresentam potenciais de lixiviação muito alto, sendo alto para atrazina (Fig. 5). Em uma pequena parte das áreas de recarga os potenciais são baixo para atrazina e alto para diclosulam e fomesafen. Comportamento similar ocorre quando analisamos as áreas de recarga do Município de São Gabriel do Oeste, com a sua maior parte apresentando potencial de lixiviação muito alto para todos os herbicidas avaliados, com exceção da atrazina, que apresenta potencial alto (Fig. 4). A maior escala de análise do município permitiu a observação de áreas com potencial de lixiviação moderado para atrazina.

Conclusões

A utilização da ferramenta de álgebra de mapas contida em sistemas de informações geográficas (SIG) associada à modelagem matemática de simulação resulta em uma estratégia de análise que pode ser de grande utilidade para tomadores de decisão e gestores de bacias hidrográficas. Os

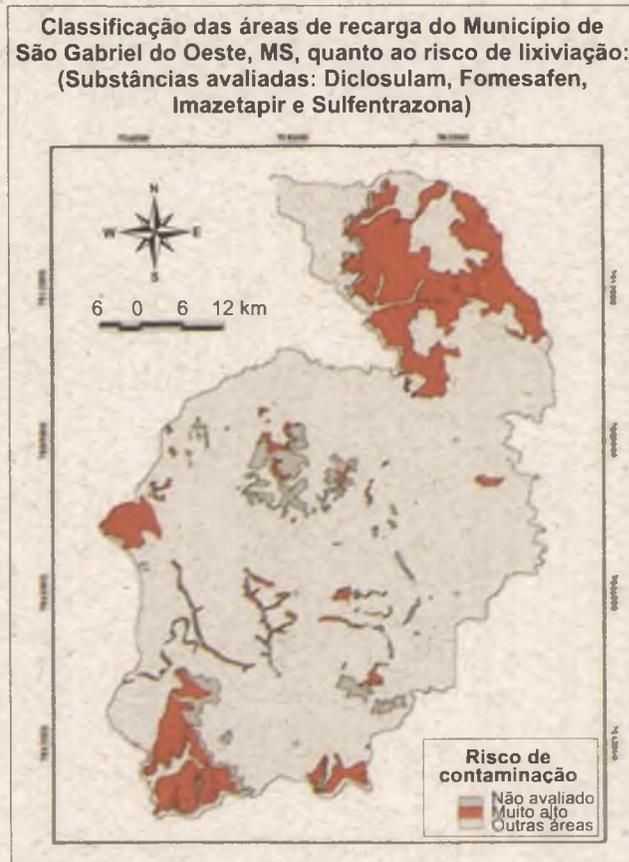
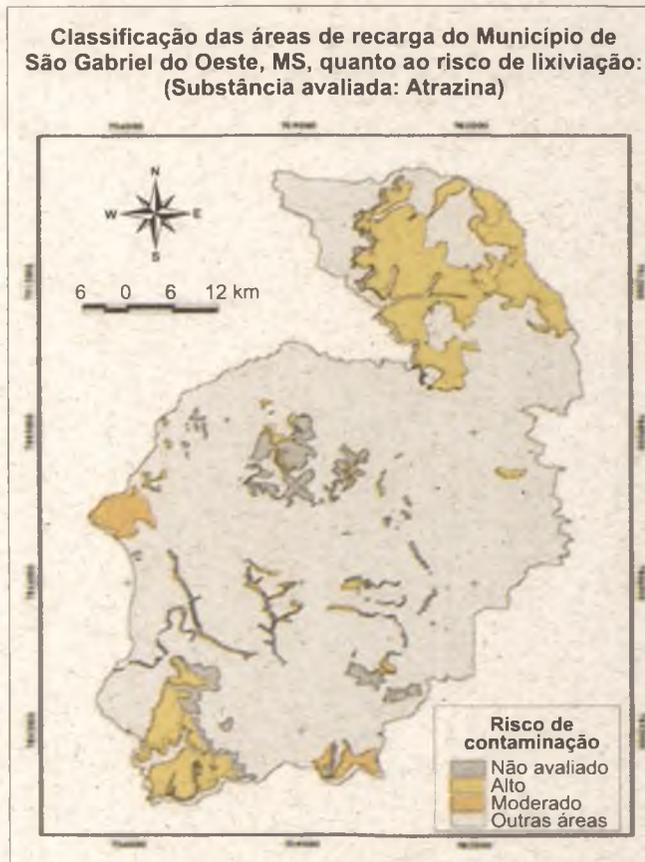


Fig. 4. Espacialização das classes de potencial de lixiviação dos herbicidas atrazina, diclosulam, fomesafen, imazetapir e sulfentrazone nas áreas de recarga do Aquífero Guarani localizadas no Município de São Gabriel do Oeste, MS, escala 1:100.000.

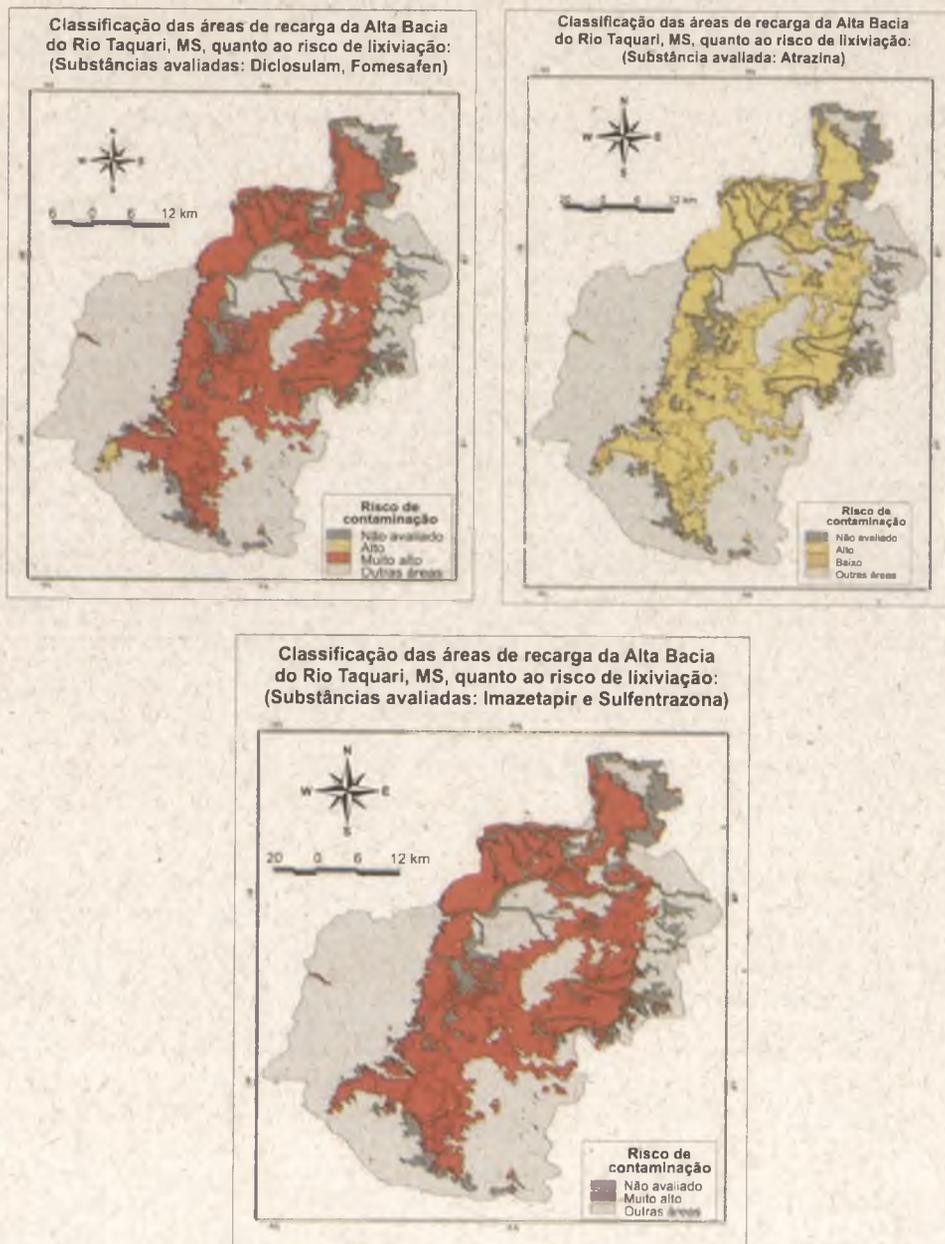


Fig. 5. Espacialização das classes de potencial de lixiviação dos herbicidas atrazina, diclosulam, fomesafen, imazetapyr e sulfentrazona nas áreas de recarga do Aquífero Guarani localizadas na Alta Bacia do Rio Taquari, escala 1:250.000.

resultados encontrados permitiram uma avaliação espacial dos potenciais de lixiviação de cinco herbicidas amplamente utilizados nas culturas de soja e milho na região estudada, a Alta Bacia do Rio Taquari, assim como em grande parte do Cerrado brasileiro.

Os resultados alcançados constituem-se em forte demanda para pesquisas aplicadas à detecção e monitoramento dos herbicidas estudados em situações de campo, de preferência sob sistemas de produção e manejo similares aos adotados na região, e idealmente em lisímetros, onde seria possível monitorar o processo de lixiviação pelo perfil do solo. Torna-se necessário analisar a presença de resíduos desses princípios ativos nas águas subterrâneas e superficiais dos locais onde são mais freqüentes as aplicações. Estudos em laboratório também são necessários, para validar e calibrar o modelo utilizado (TLPI), ajustando-o para as condições de solos tropicais.

Este trabalho necessita ser complementado, utilizando dados referentes aos solos das áreas não analisadas, principalmente da classe Argissolos, que correspondem a aproximadamente 14 % da área da BAT (OLIVEIRA et al., 1998). A equipe envidará esforços para dar continuidade a esta pesquisa e viabilizar a coleta de amostras no campo na área de estudo e análise das propriedades de solo em laboratório. Mesmo que a presença destes compostos não tenha sido ainda verificada, recomenda-se o princípio da precaução e a interrupção imediata da aplicação dos herbicidas que apresentaram índices muito altos de potencial de lixiviação nas culturas de soja cultivadas sobre áreas de recarga do Aquífero Guarani (imazethapyr, sulfentrazone, diclosulam e fomesafen). Esse aquífero é transnacional e atinge interesses de todo o Mercosul, além de representar fonte de água potável para milhões de habitantes. Tendo em vista a crise de abastecimento de água potável que se vislumbra para o futuro, é estratégico para o Brasil adaptar seus sistemas de produção agrícola para que não sejam responsáveis pela deterioração de um dos maiores reservatórios de água de boa qualidade do mundo.

O avanço da fronteira agrícola, sobre áreas antes consideradas como inaptas para o cultivo de grãos, principalmente aquelas sobre solos de textura arenosa, como são a maior parte das áreas de recarga direta do aquífero, fazem dos resultados deste trabalho um importante alerta para as autoridades e gestores ambientais. Os sistemas de plantio direto, excelente arma contra a degradação do solo, estão sendo preconizados por alguns técnicos como tecnologia para permitir o cultivo de grãos em

solos arenosos. Nossos resultados demonstram que o cultivo intensivo de soja e milho sobre áreas de recarga pode ser extremamente arriscado no tocante a qualidade da água subterrânea, mesmo sob plantio direto. A recomendação para as zonas de recarga é que sejam consideradas áreas de proteção permanente ou cultivadas sob sistemas de produção agroecológicos com baixo aporte de insumos, como, por exemplo, sistemas agroflorestais orgânicos com manutenção de cobertura vegetal permanente.

Referências

ATLAS municipal de São Gabriel do Oeste: subsídio ao planejamento, gestão e monitoramento territorial. São Gabriel do Oeste, MS: Prefeitura Municipal de São Gabriel do Oeste; Rio de Janeiro: Embrapa Solos: IBGE, 2004. 1 CD-ROM.

BOESTEN, J. J. T. I. From laboratory to field: uses and limitations of pesticide behaviour models for the soil/plant system. **Weed Research**, Oxford, v. 40, p. 123-138, 2000.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal. **Secretaria de Coordenação dos Assuntos de Meio Ambiente. Programa Nacional do Meio Ambiente. Projeto Pantanal. Plano de Conservação da Bacia do Alto Paraguai (Pantanal) - PCBAP: análise integrada e prognóstico da Bacia do Alto Paraguai.** Brasília, DF: PNMA, 1997. v. 2. 369 p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** Brasília, DF: Embrapa Produção de Informação-SPI; Rio de Janeiro: Embrapa Solos-CNPS, 1999. 412 p.

FILIZOLA, H. F.; GOMES, M. A. F.; MOREIRA, R. A.; BOULET, R. Genesis and evolution of voçorocas on Botucatu Formation rocks (Upper Araguaia river, Goiás and Mato Grosso states, Brazil). In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON GEOMORPHOLOGY, 6., 2005, Zaragoza. **Proceedings...** Zaragoza, 2005. p. 62.

GOMES, M. A. F.; SPADOTTO, C. A.; LANCHOTE, V. Ocorrência do herbicida tebutiuron na água subterrânea da microbacia do Córrego Espreado, Ribeirão Preto-SP. **Pesticidas; Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente**, Curitiba, v. 11, p. 65-76, 2001.

GOMES, M. A. F.; SPADOTTO, C. A.; PESSOA, M. C. P. Y. Avaliação da vulnerabilidade natural do solo em áreas agrícolas: subsídio à avaliação do risco de contaminação do lençol freático por agroquímicos. **Pesticidas; Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente**, Curitiba, v. 12, p. 169-179, 2002.

LAABS, V.; AMELUNG, W.; PINTO, A.; ALTSTAEDT, A.; ZECH, W. Fate of pesticides in tropical soils of Brazil under field conditions. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 31, p. 256-268, 2002.

LANDERS, J. N. How and why the Brazilian zero-tillage explosion occurred? In: STOTT, D. E.; MOHTAR, R. H.; STEINHARDT, G. C. (Ed.). **Sustaining the global farm**. West Lafayette: University of Purdue: USDA-ARS National Soil Erosion Research Laboratory, 2001. p. 29-39.

MATALLO, M. B.; LUCHINI, L. C.; GOMES, M. A. F.; SPADOTTO, C. A.; CERDEIRA, A. L.; MARIN, G. C. Lixiviação dos herbicidas tebutiuron e diuron em colunas de solo. **Pesticidas; Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente**, Curitiba, v. 13, p. 83-90, 2003.

MEEKS, Y. J.; DEAN, J. D. Evaluating groundwater vulnerability to pesticides. **Journal of Water Resources Planning and Management**, New York, v. 116, p. 693-707, 1990.

MENDES, C. A. B.; JOHNSTON, R. A. South American integration and their environmental impact at Pantanal. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON TRANSBOUNDARY WATERS MANAGEMENT, 1., 2002, Monterrey. **Proceedings...** Monterrey: Mexican Association of Hydraulics, 2002.

OLIVEIRA, H. de; OLIVEIRA, F. D. A.; SANO, E. E.; ADAMOLI, J. **Caracterização do meio físico da bacia hidrográfica do Alto Taquari utilizando o sistema de informações geográficas SGI/INPE**. Dourados: Embrapa-CPAO, 1998. 28 p. (Embrapa-CPAO. Documentos, 19).

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

PESSOA, M. C. P. Y.; GOMES, M. A. F.; NEVES, M. C.; SOUSA, M. D.. 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, 2003.

PESSOA, M. C. P. Y.; GOMES, M. A. F.; SOUSA, M. D. de; NICOLELLA, G.; CERDEIRA, A. L.; MONTICELLI, A. Simulação de herbicidas utilizados no monocultivo de cana-de-açúcar em latossolos da área de recarga do Aquífero Botucatu (Guarani) em Ribeirão Preto, SP. **Revista Científica Rural**, Bagé, v. 4, n. 1, p. 15-24, 1999.

RACKE, K. D.; SKIDMORE, M. W.; HAMILTON, D. J.; UNSWORTH, J. B.; MIYAMOTO, J.; COHEN, S. Z. Pesticide fate in tropical soils. **Pure and Applied Chemistry**, London, v. 69, p.1349-1371, 1997.

ROCHA, G. A. **Mega reservatório de água subterrânea do Cone Sul**: bases para uma política de desenvolvimento e gestão. Curitiba: UFPR: IDRC, 1996. 25 p.

ROSA FILHO, E. F.; FORLIN, M.; XAVIER, J. M. Informações básicas sobre a distribuição do Sistema Aquífero Guarani nas regiões sul e sudeste do Brasil. **A Água em Revista**, Belo Horizonte, v. 10, p. 23-26, 1998.