



Acta Scientiarum. Technology

ISSN: 1806-2563

eduem@uem.br

Universidade Estadual de Maringá
Brasil

Prudêncio, Erivelto Alves; Silveira, Hélio; Marques, Américo José
Avaliação do risco de contaminação de águas superficiais e subsuperficiais por agroquímicos na bacia
do ribeirão Lajeado, Estado do Paraná
Acta Scientiarum. Technology, vol. 32, núm. 2, 2010, pp. 179-186
Universidade Estadual de Maringá
Maringá, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=303226526014>

- Como citar este artigo
- Número completo
- Mais artigos
- Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica

Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal
Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

Avaliação do risco de contaminação de águas superficiais e subsuperficiais por agroquímicos na bacia do ribeirão Lajeado, Estado do Paraná

Erivelto Alves Prudêncio^{1*}, Hélio Silveira² e Américo José Marques²

¹*Núcleo de Educação a Distância, Universidade Estadual de Maringá, Av. Colombo, 5790, 87020-990, Maringá, Paraná, Brasil.*

²*Departamento de Geografia, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, Paraná, Brasil. *Autor para correspondência.*

E-mail: eaprudencio@uem.br

RESUMO. Este trabalho objetiva elaborar carta de risco de contaminação de águas superficiais e subsuperficiais por agroquímicos na bacia do ribeirão Lajeado, afluente do rio Pirapó. O método adotado refere-se à correlação de atributos do meio físico com fatores socioeconômicos, o qual possibilitou determinar quatro classes de potencial de risco de contaminação por agroquímicos, a saber: classe: I – baixo potencial de risco de contaminação das águas superficiais e alto potencial de risco de contaminação das águas subsuperficiais; classe II – médio a baixo potencial de risco de contaminação das águas superficiais e médio a alto potencial de risco de contaminação das águas subsuperficiais; classe III – médio a alto potencial de risco de contaminação das águas superficiais e médio a baixo potencial de risco de contaminação das águas subsuperficiais; classe IV – alto potencial de risco de contaminação das águas superficiais e baixo potencial de risco contaminação das águas subsuperficiais.

Palavras-chave: carta de risco, contaminação, agroquímico, ribeirão Lajeado.

ABSTRACT. **Evaluation of the contamination risk of surface and sub-surface water by agrochemicals in the Lajeado stream basin, Paraná State.** An agrichemical contamination risk chart is provided of surface and sub-surface waters in the Lajeado Stream basin, an affluent of the Pirapó river, state of Paraná, Brazil. The correlation of attributes of the physical environment coupled with social and economical factors constitutes the methods employed. Consequently, four potential agrichemical contamination risk categories have been determined: Class I: low potential contamination risk of surface waters and high potential contamination risk of sub-surface waters; Class II: medium to low potential risk contamination of surface waters and medium to high potential contamination risk of sub-surface waters; Class III: medium to high potential contamination risk of surface waters and medium to low potential contamination risk of sub-surface waters; Class IV: high potential contamination risk of surface waters and low contamination risks of sub-surface waters.

Key words: risk chart, contamination, agrichemicals, Lajeado stream.

Introdução

O Estado do Paraná, conforme Bousquet (1999), vivenciou um período de ocupação, territorialização e desenvolvimento de sua agricultura historicamente curto, cujas ações promoveram grandes impactos sociais, econômicos e ambientais. O período mais intenso de ocupação e territorialização do Estado ocorreram com as frentes pioneiras que vieram a ocupar o Norte e o Oeste/Sudoeste, entre as décadas de 1930 e 1960, e o modelo de ocupação adotado configurou-se como parceria entre o Governo do Estado e as companhias colonizadoras, denotando o caráter privado da colonização (SERRA, 1992).

Considerando-se somente o Norte do Paraná,

cuja ocupação do espaço foi implantada pela Companhia de Terras Norte do Paraná, onde esse modelo baseou-se numa estrutura fundiária com base na divisão em pequenos lotes e, por esse motivo, caracterizou-se por possuir grande número de propriedades em relação a outras regiões do Estado, o Norte passou a utilizar o maior número de implementos e insumos agrícolas, em especial o Norte Novo (MORO, 1991). Essa utilização promoveu alterações nas propriedades físicas e químicas do solo (GUALBERTO et al., 2003).

O estudo do comportamento dessas propriedades e dos efeitos impactantes desse tipo de manejo tem contribuído para o conhecimento mais preciso dos

potenciais de escoamento e infiltração em bacias hidrográficas, por unidade de solo, para posterior identificação e delimitação de áreas de risco de contaminação, tanto de águas superficiais quanto de águas subsuperficiais (GOMES et al., 2002).

O uso intensivo de diversos produtos agroquímicos, bem como maquinários pesados, contribuiu para a compactação do solo (SEIXAS, 1988) e, conforme Paschoal (1979), para a difusão de agentes nocivos ao lençol freático e rios, pela infiltração destes no solo e/ou escoamento superficial.

Seixas (1988) atenta para o fato de que mais de 50% da superfície do solo pode ser compactada pelas rodas do trator, dependendo dos níveis de umidade do solo, pois quanto maior a umidade, maiores serão os efeitos de compactação do solo.

No caso específico do manejo do solo com plantio convencional, Costa et al. (2003), Alves e Suzuki (2004) e Stone et al. (2002) afirmam que este sistema de cultivo contribui para o aumento da densidade global do solo e de sua resistência à penetração radicular, bem como para a redução do diâmetro médio dos agregados de solo. Esta compactação resulta num maior escoamento superficial, com o consequente carreamento para águas superficiais, partículas que promovem assoreamento e contaminação de rios com metais provenientes de agroquímicos, em decorrência das enxurradas que contêm partículas em solução ou adsorvidos em partículas de solo.

O manejo do solo, conforme Mello et al. (2003), geralmente acarreta diminuição da cobertura e da rugosidade do terreno, fato que, associado aos níveis pluviométricos e outros fatores - como declividade e textura do solo - é um dos principais agentes da erosão hídrica. No caso de práticas conservacionistas como a semeadura direta, Mello et al. (2003) afirmam que este tipo de manejo, por manter resíduos da cultura anterior, contribui para a elevação da rugosidade, o que protege melhor o solo contra a erosão hídrica, diferenciando-se das práticas convencionais.

Deve-se considerar que em bacias hidrográficas em que predomina a utilização agrícola, o manejo do solo, combinado aos fatores climáticos de intensidade e duração das chuvas, à topografia e permeabilidade do solo, pode aumentar a capacidade de infiltração e escoamento superficial (JORGE, 1969).

O objetivo desta pesquisa consiste em elaborar carta de risco de contaminação de águas superficiais e subsuperficiais por agroquímicos na bacia do ribeirão Lajeado, afluente do rio Pirapó, com ênfase nas atividades agrícolas. Sua importância está em que esse ribeirão apresenta características do meio físico

e uso do solo, representativas da bacia do Pirapó, a qual tem grande importância regional, pois suas águas, além de servirem para a dessecação de animais e irrigação agrícola, ainda abastecem a área urbana de Maringá, que possui mais de 300 mil habitantes.

Material e métodos

A área de estudo situa-se no Terceiro Planalto Paranaense, entre os paralelos de 23°20' a 23°26' de latitude Sul e os meridianos de 51°30' a 51°36' de longitude Oeste de Greenwich. Abrange uma superfície aproximada de 47,50 km² e refere-se à bacia do ribeirão Lajeado, que serve de limite entre os municípios de Arapongas e Sabáudia, na alta bacia do rio Pirapó (Figura 1), constituindo uma bacia de segunda ordem de ramificação, conforme a definição de Strahler (1957).

Os atributos básicos considerados para a realização da carta de potencial de risco de contaminação por agroquímicos na bacia do ribeirão Lajeado, Estado do Paraná, foram a textura, a profundidade e a classe dos solos, bem como a drenabilidade e a declividade do terreno, o tipo de rocha, o uso do solo, as precipitações pluviométricas, a condutividade hidráulica, a densidade do solo, a densidade de drenagem, a amplitude altimétrica, o comprimento médio de vertente e declividade.

Por meio das cartas topográficas de base produzidas pelo IBGE, na escala 1:50.000, folhas SF-22-Y-D-II-4 e MI-2757-4 (Sabáudia) e SF-22-Y-D-III-4 e MI-2758-3 (Arapongas), foram elaboradas as cartas temáticas da rede de drenagem, declividade, infraestrutura, hipsometria, seções transversais e perfis longitudinais, utilizando-se os programas AutoCAD 2004 e Spring 4.01.

A carta de declividade foi elaborada de acordo com De Biasi (1970), adotando as declividades preconizadas por Lemos e Santos (1996).

A carta, na escala de 1:50.000, com as classes de solos encontradas na área foi obtida no levantamento semidetalhado dos solos da bacia do ribeirão Lajeado efetuado pela Embrapa (1980).

Pela descrição morfológica apresentada no memorial descritivo do levantamento semidetalhado dos solos realizados pela Embrapa (1980), foi possível obter as informações referentes às classes texturais de cada unidade de solo, drenabilidade e situação na paisagem. Os levantamentos de campo serviram para determinação da profundidade dos tipos de uso dos solos e para a coleta de amostras para determinação da condutividade hidráulica e densidade do solo.

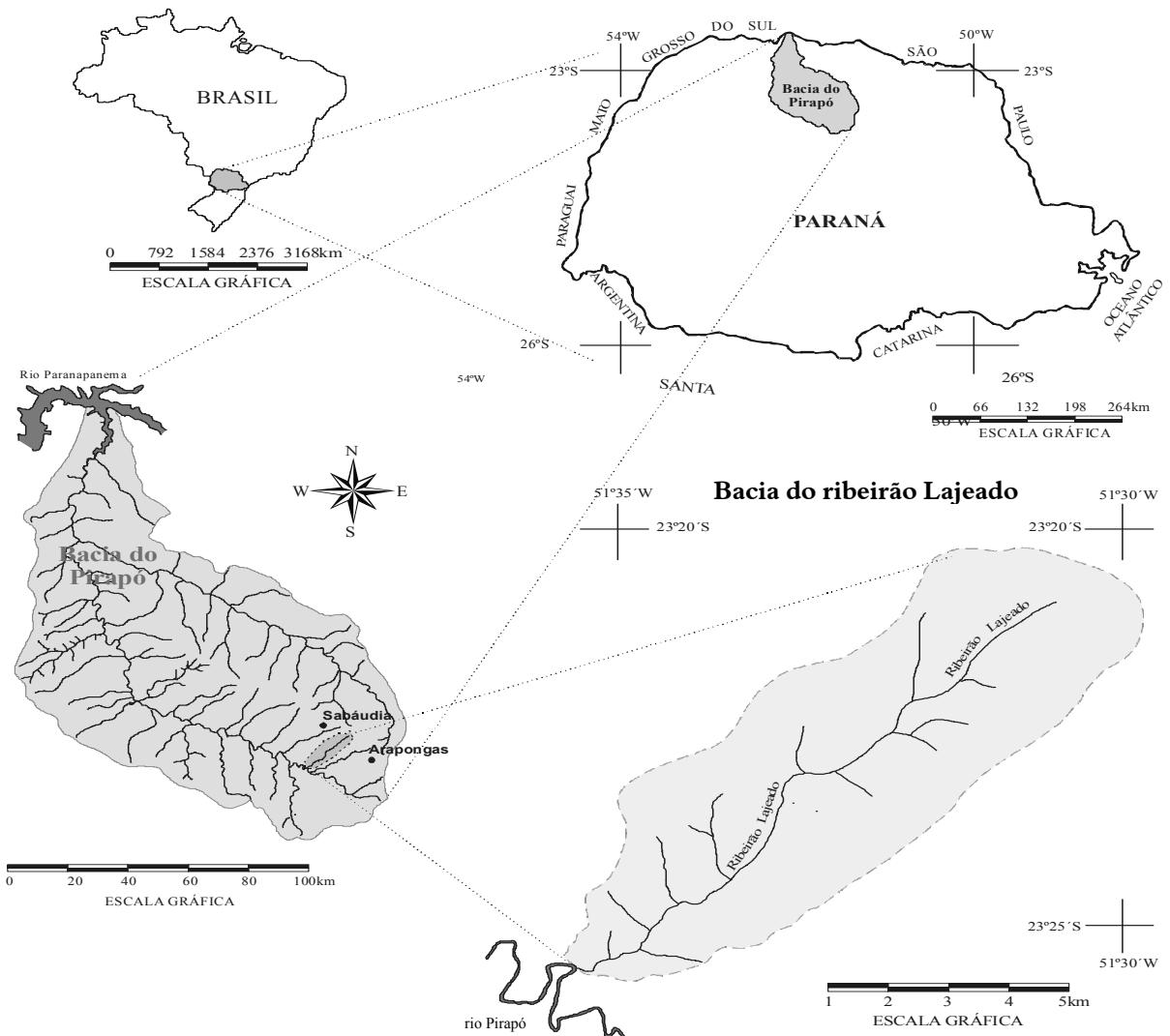


Figura 1. Localização da bacia do ribeirão Lajeado. A classe de drenabilidade de cada solo adotada é aquela proposta por Lemos e Santos (1996). Para determinação dos solos mais susceptíveis ao escoamento superficial, foi observada a literatura de acordo com Lemos e Santos (1997).

A caracterização do regime pluviométrico foi realizada com dados da estação climatológica de Apucarana, que está situada numa altitude de 746 m, entre as coordenadas geográficas de $23^{\circ} 50'$ e $51^{\circ} 54'$. Utilizou-se a escala de análise mensal, sazonal e anual, com dados de precipitação do período de 1968 a 2002. Foi também realizado o balanço hídrico segundo Thorntwaite e Mather (1955), a partir do programa desenvolvido por Sentelhas et al. (1999).

Por meio de imagens de satélite e da verificação de campo, efetuou-se levantamento do uso do solo, importante para a definição do potencial de infiltração e escoamento superficial, o que permitiu diferenciar os usos com plantio direto, plantio convencional, pastagem, floresta nativa e eucalipto.

Quanto à densidade de drenagem, foi utilizado o parâmetro definido por Horton (1945), adaptado por Koffler (1982).

A amplitude altimétrica por unidade de solo foi obtida pela diferença entre as altitudes máxima e mínima.

O comprimento médio de vertente (m) permitiu obter a distância entre os pontos de cotas mais elevados e o canal de drenagem. Foram medidos somente os comprimentos das linhas normais até os canais de drenagem e dividido o comprimento médio da vertente pela amplitude altimétrica. Por esse cálculo, percebeu-se a variação de 1 m de altura com relação ao comprimento do terreno. Sendo assim, essas variações foram divididas em classes, para melhor se compreender a relação entre infiltração e escoamento superficial, como segue:

- queda de 1 m de altura até 5 m de distância – muito forte;
- queda de 1 m de altura de 6 a 13 m de distância – forte;

- queda de 1 m de altura de 14 a 25 m de distância – média;
- queda de 1 m de altura de 26 a 100 m de distância – fraca;
- queda de 1 m de altura acima de 100 m de distância – muito fraca.

A determinação da condutividade hidráulica foi realizada de acordo com o manual de métodos da Embrapa (1997).

Nesta pesquisa foram coletadas 39 amostras de solo para determinação da condutividade hidráulica com carga constante (K_0) e densidade do solo, de acordo com o manual de método de análise de solo (EMBRAPA, 1997). Para a classificação da condutividade hidráulica foram utilizados os critérios estabelecidos por Gomes et al. (2002).

Pelo cruzamento sistematizado e pela interpretação integrada dos principais atributos levantados por meio de correlação das informações obtidas, chegou-se às principais classes do risco de contaminação de águas superficiais e subsuperficiais por agroquímicos, as quais foram divididas em quatro:

- classe I – baixo potencial de risco de contaminação das águas superficiais e alto potencial de risco de contaminação das águas subsuperficiais;
- classe II – médio a baixo potencial de risco de contaminação das águas superficiais e médio a alto potencial de risco de contaminação das águas subsuperficiais;
- classe III – médio a alto potencial de risco de contaminação das águas superficiais e médio a baixo potencial de risco de contaminação das águas subsuperficiais;
- classe IV – alto potencial de risco de contaminação das águas superficiais e baixo potencial de risco contaminação das águas subsuperficiais.

Resultados e discussão

A área de estudo apresenta transição no substrato rochoso dos derrames de lavas básicas, formação Serra Geral, situadas entre as altitudes de 500 a 740 m, para o arenito formação Caiuá, no topo da bacia, entre as altitudes 740 a 820 m. Isto é um dos fatores que confere à bacia maior variabilidade de unidades de solo.

Com base na carta de solos e nos valores de declividade média, amplitude altimétrica, comprimento médio de vertente, densidade de drenagem e profundidade do solo, por unidade e classe de solo para a área de estudo, obtiveram-se os valores constantes da Tabela 1.

Observa-se na Tabela 1 que os menores valores de declividade média e amplitude altimétrica foram registrados para as unidades de solo LE1, LE2, LE3, LR1, LR2 e LR4, cujo relevo caracterizou-se como plano. As unidades LR3, LR5, LR7, LR8 e TR3 apresentaram declividades entre 3 e 8%, caracterizando o relevo como suave-ondulado. Valores entre 12,5 a 19% de declividade foram observados nas unidades de solo LR6, LR9, TR1, TR2 e R1, cujas vertentes caracterizam-se como relevo ondulado; em alguns locais, para unidade R2, foi encontrada a mais forte declividade (20-45%).

Observando os baixos valores apresentados na correlação entre amplitude altimétrica e comprimento médio de vertente (a diferença de altura é grande numa pequena distância), para as unidades de solo LR6, R1 e R2, verificou-se que valores mais altos de declividade atingiram um percentual de declive entre 15 e 25%, ou seja, as classes de relevo variaram entre ondulado e forte ondulado.

As unidades de solo LE2, LE3, LR1, LR2, LR4, LR5 e LR7 apresentaram os maiores valores de comprimento de vertente e menor amplitude altimétrica, ou seja, ocorre a queda de 1 m no terreno a cada 32,7 m de comprimento. Os solos LE1, LR3 e TR3 apresentaram valores classificados como médios na relação entre comprimento de vertente e amplitude, pois houve decréscimo de 1 m a cada 19,97 m.

Os valores mais expressivos na relação entre amplitude altimétrica e comprimento de vertente foram observados para as unidades de solo LR6, TR1, TR2, R1 e R2, onde houve decréscimo de 1 m a cada 3 a 7 m de comprimento, o que situou as declividades dessas vertentes entre forte e muito forte.

Considerando os valores de densidade de drenagem (D_d) relacionados com a declividade média, comprimento médio de vertente e amplitude altimétrica, observa-se que os maiores valores de D_d foram encontrados nos solos com maiores declividades e maiores valores de amplitude altimétrica e baixo comprimento de vertente. Assim, unidades de solo R1 e R2 (solos litólicos) apresentam valores mais elevados - acima de 1 - , ou seja, acima de 1 km de comprimento de rio por 10 km²; este valor está relacionado a declividades entre 20 e 45% e à pequena profundidade dos solos, que favorece o entalhe provocado pela água das chuvas, provocando aumento da densidade de drenagem.

Tabela 1. Valores médios de declividade, amplitude altimétrica, comprimento médio de vertente, densidade de drenagem e profundidade do solo, por unidade e classe de solo para a área de estudo.

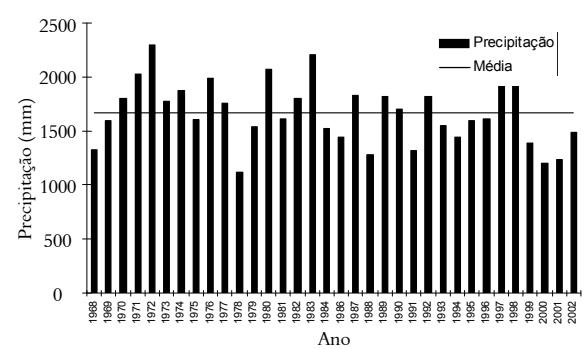
Unidade de Solo	Declividade média (%)	Amplitude Altimétrica (m)	Compr. médio de vertente (m)	Amplitude Vertente (m)	Classificação altimétrica / Compr. Vertente	Val. Med. (Dd) – Por Unidade de Solo (km km ⁻²)	Dens. Dren. Dren. por Classe de solo (Km Km ⁻²)	Val. Med. Dens. Dren. por Classe de solo (Km Km ⁻²)	Profund. Do Solo
LE1 Lat. Verm. Tex. Média	3,14	20	499,4	24,97	Média	0,0	0,0	Muito Profundo	
LE2 Lat. Verm. Tex. Média	3,14	20	1199,78	59,99	Fraca	0,0		Muito Profundo	
LE3 Lat. Verm. Tex. Média	3,14	20	922,37	46,12	Fraca	0,0		Muito Profundo	
LR1 Lat. Verm. Tex. Arg.	3,14	20	888,42	44,42	Fraca	0,0	0,1658	Muito Profundo	
LR2 Lat. Verm. Tex. Arg.	3,14	20	808,55	40,43	Fraca	0,0		Muito Profundo	
LR3 Lat. Verm. Tex. Arg.	6,28	40	610,34	15,26	Média	0,0682		Muito Profundo	
LR4 Lat. Verm. Tex. Arg.	0+	20	811,76	40,59	Fraca	0,0388		Muito Profundo	
LR5 Lat. Verm. Tex. Arg.	6,28	40	1528,37	38,21	Fraca	0,0		Muito Profundo	
LR6 Lat. Verm. Tex. Arg.	18,85	120	411,11	3,43	Muito Forte	0,0		Muito Profundo	
LR7 Lat. Verm. Tex. Arg.	6,28	20	804,39	40,22	Fraca	0,0182		Muito Profundo	
LR8 Lat. Verm. Tex. Arg.	6,28	60	711,53	11,86	Média	0,0456		Muito Profundo	
LR9 Lat. Verm. Tex. Arg.	12,56	40	823,71	20,59	Média	0,0338		Muito Profundo	
TR1 Terra Roxa	12,57	40	274,51	6,86	Forte	0,582	0,8258	Profundo	
TR2 Terra Roxa	12,57	30	153,6	5,12	Muito Forte	0,2438		Profundo	
TR3 Terra Roxa	6,28	30	518,73	17,29	Média	0,0		Profundo	
R1 Neossolo Litólico	15,71	80	201,21	2,52	Muito Forte	0,684	1,0895	Raso	
R2 Neossolo Litólico	25,13	55	193,6	3,52	Muito Forte	0,4055		Raso	

Val. med. dens. dren. = Valores médios de densidade de drenagem. Os menores valores de Dd foram observados em solos com relevos variando de plano a suave-ondulado, principalmente nas unidades de solo LE1, LE2 e LE3 (Latossolo Vermelho-textura média), originados do arenito da Formação Caiuá, e LR1, LR2, LR5, LR6 e LR7, LR8 e LR9 (Latossolo Vermelho textura argilosa ou muito argilosa), formados a partir da intemperização do basalto, onde a declividade varia de plano a suave-ondulado. Embora formadas de materiais distintos, essas classes de solo apresentam características semelhantes, pois são muito profundas e de baixa densidade de drenagem.

Quanto às características pluviométricas da bacia do ribeirão Lajeado, verificou-se que a média anual de precipitação, para o período 1968 a 2002, foi de 1.665 mm. Observou-se também grande variação dos totais anuais, com destaque para os anos de 1968, 1978, 1988, 1991, 2000 e 2003, com valores muito abaixo da média. Os anos de 1971, 1972, 1976, 1980, 1983, 1997 e 1998 apresentaram valores muito superiores à média histórica (Figura 2).

O balanço hídrico realizado para toda a série histórica (Figura 3) indicou que a maior concentração dos excedentes ocorreu nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro. Os valores excedentes para o mês de dezembro foram de 112,8 mm; para o mês de janeiro, de 119,8 mm; para o mês de fevereiro, de 92,9 mm.

Esses excedentes implicam maior potencial de contaminação de águas superficiais e subsuperficiais.

**Figura 2.** Valores de precipitação total anual e média para o período de 1968 a 2002.

Os meses que apresentaram os menores excedentes foram: março – com 48,6 mm; abril – com 26,6 mm; e julho – com 12,3 mm (Figura 3).

O mês de agosto apresentou os menores valores pluviométricos, teve a maior retirada e foi o único mês da série histórica com déficit hídrico (4 mm).

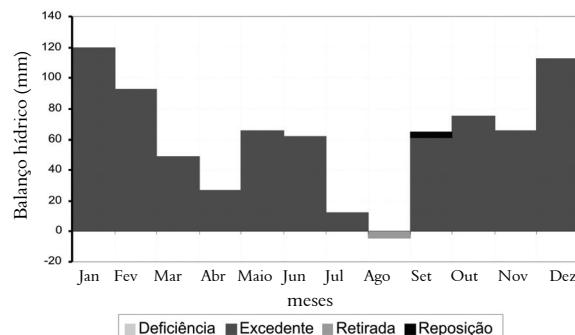


Figura 3. Balanço hídrico climatológico para o período de 1968 a 2002, para a estação Apucarana, Estado do Paraná.

Na análise dos dados de condutividade hidráulica foram correlacionados o uso, o manejo, a densidade e a textura das amostras de solo coletadas na área de estudo.

As informações da Tabela 2 demonstram, para a classe de solo LE, o mais alto valor para densidade do solo, possivelmente pelo uso e manejo que favorecem elevada compactação do uso do solo, provocada pelo peso das máquinas agrícolas.

Para a classe de solo LR foram observados os valores mais elevados de condutividade hidráulica, cuja média é 3,5 vezes maior do que a da classe de solo LE. Isto provavelmente pode ser atribuído à estrutura microagregada e ao manejo do solo que diminui a densidade e favorece a infiltração da água (Tabela 2).

Tabela 2. Valores médios de densidade do solo, condutividade hidráulica e textura relacionados com o uso e manejo predominante para a bacia do ribeirão Lajeado.

Classe de Solo	Uso do Solo Predominante	Densidade Média (g cm ⁻³)	Textura	Condutividade Hidráulica – Valores médios (mm h ⁻¹)	Classe de Condutividade Hidráulica
LE	Lavoura	1,44	Média	43,2	Médio
LR	Lavoura	0,95	Muito Argilosa a Argilosa	157,6	Alto
TR	Lavoura	1,21	Muito Argilosa a Argilosa	34,4	Médio
R	Pastagem	1,33	Média	32	Médio

O valor de condutividade hidráulica classificado como médio para a classe de solo TR pode estar relacionado ao valor de densidade do solo, que foi de 1,21 g cm⁻³. Comparando os valores médios de condutividade hidráulica entre as classes de solo TR

e LR, observa-se diferença de 78,17%, para a TR em relação ao LR (Tabela 2).

Para os solos litólicos, observa-se menor valor de condutividade hidráulica e um dos maiores valores de densidade do solo, de 1,33 g cm⁻³, sendo menor apenas que os dos solos originados do arenito. Esse valor está relacionado, possivelmente, ao elevado número, por hectare, de animais que apresentam grande massa corporéa concentrada em pequena área das patas e, por isso, concorrem para a compactação do solo.

A partir do cruzamento de todas as informações apresentadas e discutidas, foi possível elaborar a carta de correlação (Figura 4) e a carta de potencial de risco de contaminação por agroquímicos das águas superficiais e subsuperficiais (Figura 5), determinando-se quatro classes de potencial de risco.

Conclusão

Concluiu-se que a classe I, de baixo potencial de risco de contaminação das águas superficiais, foi a que apresentou todos os fatores favoráveis à infiltração e ao baixo escoamento superficial. É, por isso, de alto potencial de risco para contaminação das águas subsuperficiais.

A classe II tem médio a baixo potencial de risco de contaminação das águas superficiais, pois se apresenta numa transição, aumentando a capacidade de escoamento e diminuindo a infiltração. Fato contrário acontece quanto ao potencial de risco de contaminação das águas subsuperficiais, que apresenta médio a alto potencial de infiltração.

Na classe III ocorre intensificação do potencial de escoamento superficial e redução da infiltração. Nesta classe considera-se médio a alto o potencial de risco de contaminação das águas superficiais e médio a baixo o das águas subsuperficiais.

A classe IV corresponde às áreas com alto potencial de escoamento superficial e baixo potencial de infiltração. Neste caso a classe foi definida como de alto potencial de risco de contaminação de águas superficiais e baixo potencial de risco das águas subsuperficiais.

Observou-se também, para a área de estudo, que o maior potencial de risco de contaminação por agroquímicos se refere às águas superficiais, por não se encontrarem locais específicos para recarga de aquíferos, apenas para o lençol freático.

Os períodos mais críticos, temporalmente, para a contaminação de águas superficiais e subsuperficiais correspondem à primavera e ao verão, estações em que ocorrem 68% do total de precipitação anual.

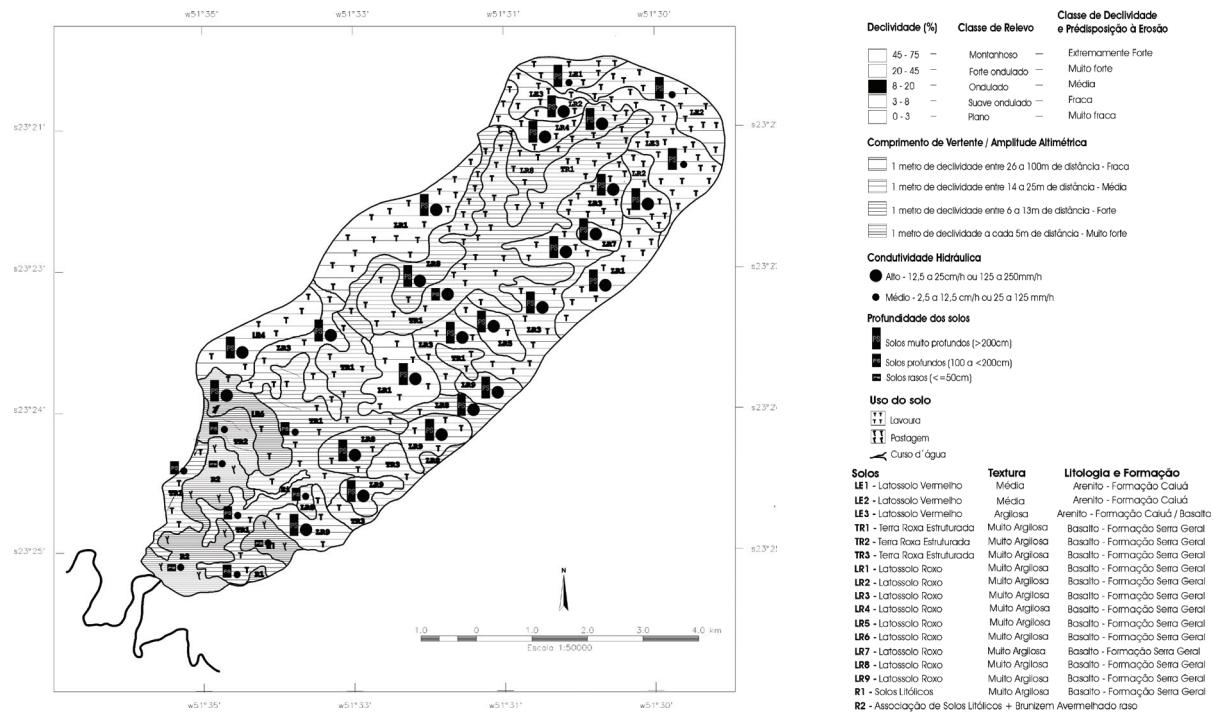


Figura 4. Carta de correlação da bacia do ribeirão Lajeado.

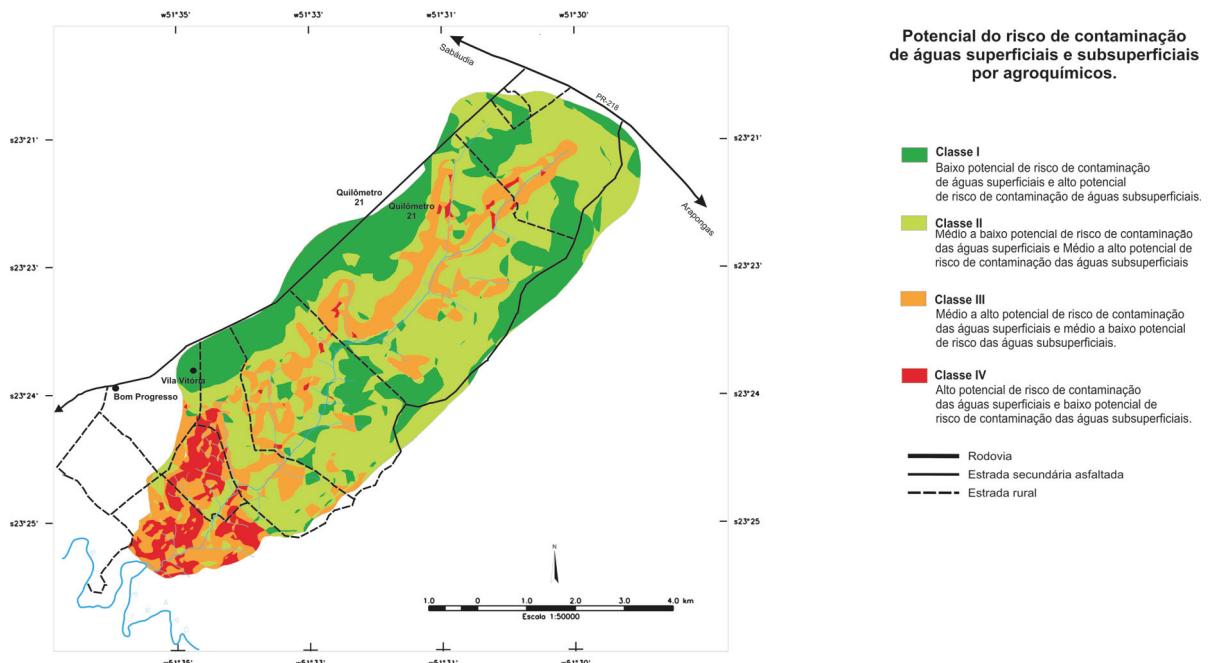


Figura 5. Carta de avaliação do potencial de risco de contaminação de águas superficiais e subsuperficiais na bacia do ribeirão Lajeado.

Deve-se considerar ainda que as classes apresentadas não são estáticas, pois à medida que ocorre a saturação do solo, as classes vão se alterando, ou seja, a classe I pode passar para II e assim sucessivamente. O inverso pode ocorrer nos períodos secos, quando a classe IV pode passar para a classe III.

Referências

- ALVES, M. C.; SUZUKI, L. E. A. S. Influência de diferentes sistemas de manejo do solo na recuperação de suas propriedades físicas. *Acta Scientiarum. Agronomy*, v. 26, n. 1, p. 27-34, 2004.
- BOUSQUET, E. *Interações homem-solo sobre a microbacia do Ribeirão Bandeirantes do Norte (Paraná - Brasil): contribuição ao estudo das relações entre sistemas*

- pedológicos e sistemas agrários em vista de uma gestão durável do recurso natural do solo. Londrina: Eduel, 1999.
- COSTA, F. S.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; FONTOURA, S. M. V.; WOBETO, C. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 3, p. 527-535, 2003.
- DE BIASE, M. Carta de declividade de vertentes: confecção e utilização. **Geomorfologia**, n. 21, p. 8-13, 1970.
- EMBRAPA-Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Levantamento semidetalhado dos solos da bacia do ribeirão Lageado, PR**. Rio de Janeiro: Embrapa/SNLCS, 1980. (Boletim técnico, n. 67).
- EMBRAPA-Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análise do solo**. Rio de Janeiro: Embrapa/CNPS, 1997.
- GOMES, M. A. F.; SPADOTTO, C. A.; PESSOA, M. C. P. Y. Avaliação da vulnerabilidade natural do solo em áreas agrícolas: subsídeo à avaliação do risco de contaminação do lençol freático por agroquímicos. **Pesticidas: Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente**, n. 12, p. 170-178, 2002.
- GUALBERTO, V.; MELLO, C. R.; NÓBREGA, J. C. A. O uso do solo no contexto agroecológico: uma pausa para reflexão. **Informe Agropecuário**, v. 24, n. 220, p. 18-28, 2003.
- JORGE, J. A. **Solo: manejo e adubação**. São Paulo: USP, 1969.
- HORTON, R. E. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. **Bulletin of the Geological Society of America**, v. 56, p. 275-370, 1945.
- KOFFLER, N. F. Análise de relevo a partir de índices de drenagem obtidos com fotografias aéreas. **Boletim de Geografia Teórica**, v. 12, n. 23-24, p. 69-76, 1982.
- LEMOS, R. C.; SANTOS, R. D. **Manual de método de trabalho de campo**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996.
- LEMOS, R. C.; SANTOS, R. D. **Manual de método de trabalho de campo**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997.
- MELLO, E. L.; BERTOL, I.; ZAPAROLLI, A. L. V. Perdas de solo e água em diferentes sistemas de manejo de um nitossolo háplico submetido à chuva simulada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 5, p. 901-909, 2003.
- MORO, D. A. **Substituição de culturas, modernização do espaço rural no Norte do Paraná**. 1991. 353f. Tese (Doutorado em Geografia)-Instituto de Geografia e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1991.
- PASCHOAL, A. D. **Pragas, praguicidas e a crise ambiental**. Rio de Janeiro: FGV, 1979.
- SEIXAS, F. **Compactação do solo devido à mecanização florestal**. São Paulo: Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais, 1988. (Circular técnica, n. 163).
- SENTELHAS, P. C.; PEREIRA, A. R.; MARIN, F. R.; ANGELOCCI, L. R.; ALFONSI, R. R. CARAMORI, P. H.; SWART, S. **Balanços hídricos climatológicos do Brasil**. Piracicaba: Esalq/USP, 1999. 1 CD ROM.
- SERRA, E. Os primeiros processos de ocupação da terra e a organização pioneira do espaço agrário no Paraná. **Boletim de Geografia**, v. 4, n. 1, p. 23-57, 1992.
- STONE, L. F.; GUIMARAES, C. M.; MOREIRA, J. A. A. Compactação do solo na cultura do feijoeiro. I: efeitos nas propriedades físico-hídricas do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, n. 2, p. 207-212, 2002.
- STRAHLER, A. N. Quantitative analysis of watershed geomorphology. **Transactions of the American Geophysical Union**, v. 38, p. 913-920, 1957.
- THORNTWAITE, C. W.; MATHER, J. R. The water balance climatology. **Centerton**, v. 8, n. 1, p. 1-86, 1955.

Received on August 22, 2007.

Accepted on February 2, 2009.

License information: This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.