

FRAGILIDADE POTENCIAL E EMERGENTE NA BACIA DO RIO DAS PEDRAS, GUARAPUAVA, PR - BRASIL

Paulo Eugênio Pachechenik

Prof. Dr. da Pontifícia Universidade Católica do Paraná – PUCPR
p_pache@uol.com.br

Jorge Luiz Moretti de Souza

Prof. Dr. do Departamento de Solos e Engenharia Agrícola / SCA / UFPR
jmoretti@ufpr.br

Daniela Jerszurki

Doutoranda em Ciência do Solo / PPGCS / SCA / UFPR
djerszurki@ufpr.br

Clewerson Frederico Scheraiber

Mestre em Ciência do Solo/ PPGCS / SCA / UFPR
clewerson.fred@gmail.com

Annelissa Gobel Donha

Mestre em Ciência do Solo/ PPGCS / SCA / UFPR
anne@andreoli.eng.br

RESUMO

O presente trabalho teve por objetivo delimitar a potencialidade do uso do solo para auxiliar no planejamento da exploração dos recursos naturais da bacia do rio das Pedras, situada no município de Guarapuava, Paraná, Brasil. Aplicou-se uma metodologia de análise empírica da fragilidade ambiental, digitalizando a área e rede de drenagem da bacia, e gerando-se, posteriormente, um modelo numérico do terreno, empregando programas especializados. A área da bacia apresenta fragilidade ambiental potencial entre as classes “média” e “alta”, com os usos do solo classificando-a na fragilidade ambiental emergente “muito baixa” e “baixa”. Os limites da potencialidade de uso do solo indicam que a bacia está protegida da erosão e os fatores de forma demonstram, para as atuais condições, que há “pequena” possibilidade de ocorrer enchentes.

Palavras-chaves: Hidrografia. Solos. Declividade. Planejamento ambiental.

POTENTIAL AND EMERGENT FRAGILITY IN THE RIO DAS PEDRAS BASIN, PR - BRAZIL

ABSTRACT

The present work had the objective to delimit the different potentialities for the land-use, in the Rio das Pedras watershed, located in the Guarapuava city, Paraná State, Brazil. An empirical methodology to analyze the environmental fragility was used. After the digitalization of the area and drainage network of the watershed, a numerical model of the land was generated with specialized programs. The area of the watershed presents the potential environmental fragility between the “middle” and “high” classes, with the land-uses classified “very low” and “low” in terms of the emergent environmental fragility. The limits of the land-use potentiality indicate that the watershed is protected against the erosion. The values of the form factor demonstrate that there is “very low” possibility of flood occurrence in this watershed.

Keywords: Hydrography. Agricultural suitability. Environmental planning.

Recebido em 23/07/2012

Aprovado para publicação em 25/09/2013

INTRODUÇÃO

Estudos relacionados à decisão da melhor alternativa para o uso dos solos no Brasil são recentes. Na década de 1960, Bennema et al. (1964) apresentaram uma proposta para a avaliação da aptidão agrícola das terras. A proposta foi pioneira em se tratando de planejamento ambiental relacionado com o uso do solo; entretanto, abrangia apenas o ambiente das atividades agrícolas, atendendo às lavouras de ciclo curto e longo, juntamente com sistemas de manejo. A partir da proposta de Bennema et al. (1964), outros trabalhos similares foram desenvolvidos, visando aperfeiçoar o sistema de avaliação, conforme pode ser verificado nas metodologias propostas pela Ramalho et al. (1978), Lepsch et al. (1991), Ross (1994).

Uma visão global relacionando o homem e o ecossistema é fundamental quando se pretende trabalhar com diagnósticos ambientais. Para Ross (1994), entendimentos parciais da realidade podem levar a decisões erradas ou insatisfatórias para efetuar um planejamento ambiental para o uso do solo. Rodríguez (1997) ressalta que o reconhecimento das formas de utilização da terra é fundamental para o planejamento direcionado a uma política de ocupação do espaço com a intenção de manter e melhorar as condições de vida atual e futura. Os dados sobre o uso da terra são imprescindíveis para a metodologia de análise da fragilidade e problemas ambientais.

Para Paredes (1994), o estudo da fragilidade ambiental deve iniciar com a observação da natureza do espaço geográfico e da análise espacial. O espaço geográfico é constituído por toda a superfície terrestre que abrange o meio sólido (litosfera), líquido (hidrosfera), gasoso (atmosfera) e vivo (biosfera), ou seja, engloba um sistema ambiental de equilíbrio complexo que é verificado por meio de rochas, montanhas, vales, rios, florestas, campos, lavouras, entre outros. A análise espacial consiste na descrição, classificação e comparação de mapas. Primeiro é realizado uma descrição e classificação individual de alguns mapas e, posteriormente, realiza-se uma comparação entre dois ou mais mapas, identificando as relações existentes entre eles e incrementando a funcionalidade de um Sistema de Informação Geográfica (SIG).

A bacia do rio das Pedras está em uma Área de Proteção Ambiental (APA) sendo um manancial para a captação de água para o município de Guarapuava. A realização de estudos que permitam caracterizar a fragilidade ambiental da bacia justifica-se, pois a água e o solo da bacia são explorados por moradores do local, seja para moradia, atividades agrícolas ou reflorestamento, interferindo de forma direta ou indireta nas relações de equilíbrio ambiental existente na mesma. Assim, a obtenção dessas informações tem importante papel na identificação de problemas e no planejamento futuro para racionalizar a exploração dos recursos naturais da região (PACHECHENIK e SOUZA, 2005).

Thomaz (2000), Nakashima (2001), Donha et al. (2006), Vashchenko et al. (2007), Gonçalves et al. (2011) e Soares et al. (2011a) adotaram a metodologia da análise empírica da fragilidade ambiental proposta por Ross (1994) e conseguiram gerar boas informações para um planejamento adequado de uso do solo.

Estudando a geomorfologia ambiental no município de Guarapuava, região centro sul do Estado do Paraná, Thomaz (2000) relata que o desenvolvimento sócio-econômico deste local foi ligado à exploração dos recursos naturais (tropeirismo, erva-mate, madeira, sistema faxinal e agropecuária comercial). Como as práticas de manejo agropecuárias foram inadequadas, ocorreu compactação do solo e, conseqüentemente, a diminuição da infiltração e da capacidade de armazenamento de água no solo. Dessa forma, a pluviosidade na região (média 1960 mm ano⁻¹) aliada à compactação resultou em elevado potencial erosivo, agravado pelas características morfoedológicas (relevo-solo).

Na região de Curitiba, no Centro de Estações Experimentais do Canguiri, Universidade Federal do Paraná, que se encontra na APA do Rio Irai, Donha et al. (2006) determinou a fragilidade ambiental por meio do conhecimento do espaço geográfico e das potencialidades dos recursos naturais aplicando a classificação de Ross (1994) com múltiplos critérios. Após a digitalização da carta planialtimétrica, a autora determinou para o local a declividade, a rede de drenagem, o tipo e uso dos solos com o auxílio do *software Idrisi 3.2*. O programa utilizado mostrou-se

eficiente na análise e geração das imagens de fragilidade e possibilitou identificar que a área estudada possui baixa fragilidade potencial e emergente.

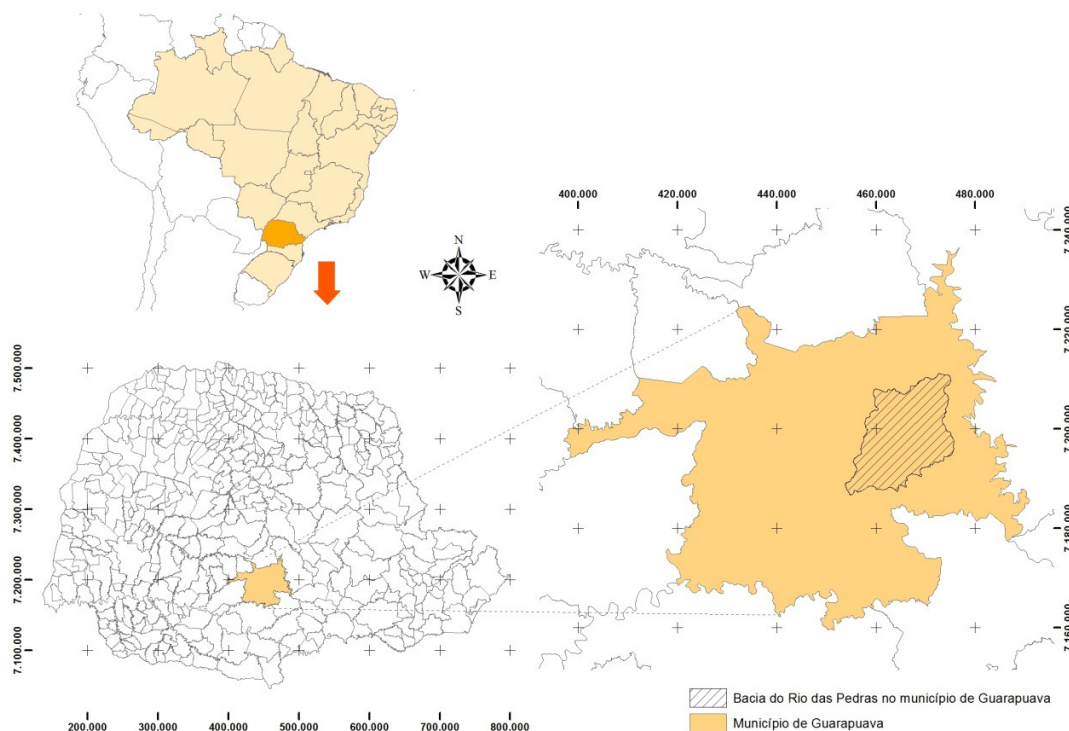
O conhecimento das fragilidades presentes no sistema de uma bacia hidrográfica, com a integração de diversas variáveis que interferem nas potencialidades dos recursos naturais, possibilitou compreender a realidade e obter uma visão mais clara sobre quais são as opções mais adequadas para o uso do solo na mesma (Nakashima, 2001; Donha et al. 2006; Vashchenko et al., 2007; Gonçalves et al., 2011; Soares et al., 2011a).

Diante das considerações dispostas anteriormente, o presente trabalho teve por objetivo delimitar a potencialidade do uso do solo utilizando a metodologia na análise empírica da fragilidade ambiental, proposta por Ross (1994), para auxiliar no planejamento da exploração dos recursos naturais da bacia do rio das Pedras, situada no município de Guarapuava, Paraná, Brasil.

MATERIAL E MÉTODOS

A bacia do rio das Pedras localiza-se no município de Guarapuava, região Centro-Sul do Estado do Paraná. Conforme a Carta Topográfica de Guarapuava, editada pelo Ministério do Exército, a bacia situa-se entre as coordenadas geográficas 25° 12' S e 25° 26' S de latitude, 51° 13' W e 51° 28' W de longitude, com área de 327,88 km². A bacia desenvolve-se no reverso da escarpa basáltica, localmente denominada Serra da Esperança, sendo que para oeste chega-se a limitar com o perímetro urbano de Guarapuava, iniciando a 1280 m de altitude na Serra da Esperança e terminando na sua foz a 950 m de altitude (Figura 1).

Figura 1. Localização da Bacia do rio das Pedras no município de Guarapuava, no Estado do Paraná e Brasil



O clima do município de Guarapuava, segundo Köppen, classifica-se como Cfb, o que significa que o clima é pluvial, sempre úmido, com verões chuvosos e frescos (MAACK, 1981). A vegetação original da bacia é composta basicamente pela floresta subtropical perenifólia, possuindo explorações agropecuárias (milho, feijão e pastagens) e reflorestamento (pinus e bracatinga) (LIMA, 1999). O rio das Pedras une-se ao rio Bananas aproximadamente 2 km ao sul da cidade de Guarapuava, formando o rio Jordão que se prolonga por 140 km até atingir o rio Iguçu em sua margem direita.

A fragilidade ambiental foi determinada conforme a metodologia proposta por Ross (1994). Os mapas planialtimétrico, declividade, solos, uso do solo, fragilidade potencial e fragilidade emergente foram elaborados, utilizando-se:

- Carta Topográfica de Guarapuava, editada pelo Ministério do Exército, Departamento de Engenharia e Comunicações, na escala 1:100.000, no ano 1972, folha SG.22-V-D-III, articulação MI – 2338, para realizar o levantamento do relevo da bacia;
- Mapa do Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Centro-Sul do Paraná (área 9), elaborado pela Embrapa (1979);
- Mesa Digitalizadora *Digigraf*, modelo *Van Gogh A1*, para a digitalização da área da bacia;
- Imagens *Land Sat 7*, órbita 222, pontos 77 e 78, bandas 3, 5 e 8 (para resolução de 15 m);
- *Software CartaLinx*, para a digitalização na mesa;
- *Software Idrisi* e *ArcView* para elaborar o material digitalizado.

O Laboratório de Fotointerpretação do Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, Setor de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná, foi o local utilizado para a realização de todos os mapas.

A fragilidade potencial foi determinada a partir da relação entre as informações de declividade e unidades de solo presentes na Bacia do rio das Pedras, obtidas nas atividades laboratoriais. A fragilidade emergente resultou da relação feita entre as informações originadas na determinação da fragilidade potencial com as informações do uso atual do solo e cobertura vegetal da bacia do rio das Pedras.

O mapa planialtimétrico da rede de drenagem da bacia do rio das Pedras foi obtido com a digitalização da Carta Topográfica de Guarapuava editada pelo Ministério do Exército, após a delimitação manual de toda a bacia hidrográfica pelos pontos mais altos que identificam os divisores de água das chuvas. A digitalização foi feita com o *software CartaLinx* e foram extraídas informações como o perímetro da bacia hidrográfica, rede de drenagem e curvas de nível. As cotas das curvas de nível digitalizadas correspondem às cotas da carta topográfica.

Com o mapa da bacia digitalizado gerou-se um modelo numérico do terreno, que foi elaborado após a importação dos dados do *software CartaLinx* para o *software Idrisi*.

O mapa de declividade foi obtido a partir do modelo numérico do terreno, dentro do *software Idrisi*, utilizando os módulos *Surface* e *Reclass*. O mecanismo do módulo *Surface* para determinar a declividade consiste basicamente em comparar a altitude de uma célula qualquer com a altitude das células vizinhas. A comparação é possível uma vez que as cotas das curvas de nível estão presentes no modelo numérico. As classes de declividade no mapa estão em porcentagem. Os dados de imagem gerados no *Surface* foram re-classificados no módulo *Reclass*, o que permitiu delimitar cinco intervalos de classes de declividade, conforme a metodologia de Ross (1994): sendo: $0 \leq d \leq 6\%$ – relevo plano a suave ondulado, classe “muito baixa” (1); $6\% < d \leq 12\%$ – relevo suave ondulado a moderadamente ondulado, classe “baixa” (2); $12\% < d \leq 20\%$ – relevo moderadamente ondulado a ondulado, classe “média” (3); $20\% < d \leq 30\%$ – relevo ondulado a forte ondulado, classe “forte” (4); e, $d > 30\%$ – relevo forte ondulado, montanhoso e escarpado, classe “muito forte” (5).

O mapa de solos foi gerado com o auxílio do *software CartaLinx*, utilizado para digitalizar a área correspondente à bacia do rio das Pedras no Mapa do Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Centro-Sul do Estado do Paraná (área 9), escala 1:300.000, elaborado pela Embrapa (1979). A delimitação dos diferentes tipos de solos presentes na área da bacia em estudo foi feita apenas na fase de escritório, sem identificação de campo, atualizando-se a nomenclatura por meio da Legenda de Identificação de Mapa de Solos do Paraná.

O mapa de uso atual do solo foi gerado com a classificação automática por máxima verossimilhança supervisionada, no programa *Idrisi*, utilizando-se a imagem do Satélite *Landsat 7*, órbita 222, pontos 77 e 78, bandas 3, 5 e 8 (para resolução de 15 m). Os temas obtidos nas cartas de uso e cobertura do solo foram: mata nativa, reflorestamento, áreas urbanas e agropecuária.

A composição do mapa de fragilidade potencial foi realizada a partir das informações obtidas do cruzamento do mapa de solos com o mapa de declividade, que geraram a Tabela Matriz da fragilidade potencial, que determina as classes de fragilidade ambiental potencial do solo da bacia do rio das Pedras. Adaptado da metodologia de Ross (1994), os solos foram classificados considerando-se a sua fragilidade ou suscetibilidade à erosão. Dessa forma, o Neossolo Litólico (RL) foi enquadrado na classe de fragilidade “muito forte” (5); Cambissolo Húmico (CH) e Cambissolo Háplico (CX) na classe “forte” (4); Nitossolo Háplico (NX) na classe “média” (3); e, Latossolo Bruno (LB) na classe “muito baixa” (1)

A composição do mapa de fragilidade emergente foi realizada a partir das informações obtidas do cruzamento do mapa do uso atual do solo com o mapa da fragilidade potencial da bacia do rio das Pedras, que geraram a Tabela Matriz da fragilidade emergente, que determina as classes de fragilidade ambiental emergente do solo da bacia do rio das Pedras. Seguindo a classificação de Ross (1994) atribuiu-se: para a mata nativa, grau de proteção “muito alto” (1); para o reflorestamento, grau de proteção “alto” (2); e, para ocupação urbana, grau de proteção “muito baixo” (5). Para a agropecuária foram adotados os seguintes procedimentos para sua classificação: grau de produção “médio” (3) para pastagens com pouco pisoteio ou cultivo de ciclo longo; “baixo” (4) para culturas de ciclo longo possuindo baixa densidade ou ciclo curto em nível; e, “muito baixo” (5) para cultivos de ciclo curto sem práticas conservacionistas.

Na caracterização da bacia hidrográfica do rio das Pedras, aplicou-se ainda a metodologia descrita por Villela e Mattos (1975) para determinar o coeficiente de compacidade (K_c), fator de forma (K_f), densidade de drenagem (D_d), sinuosidade do curso de água (Sin) e elevação média da bacia (E).

RESULTADO E DISCUSSÃO

Na determinação das classes de fragilidade, procurou-se compreender as interações dinâmicas que atuam sobre o sistema natural da bacia hidrográfica do rio das Pedras e, assim, reconhecer as limitações presentes para o uso do solo, bem como as alternativas para o uso visando à proteção ambiental, principalmente da rede de drenagem.

Com o mapa planialtimétrico (Figura 2) foi possível determinar e observar que a rede de drenagem é bem ramificada, sendo o rio das Pedras um rio de “ordem 4” (Figura 3). Foi possível também a obtenção do mapa de declividade (Figura 4), que serviu de base para a obtenção da fragilidade potencial da bacia do rio das Pedras. As cotas das curvas de nível foram classificadas em três intervalos e estão compreendidas entre 880 e 1320 m.

Figura 2. Mapa planialtimétrico da bacia do rio das Pedras, com as correspondentes altitudes encontradas na digitalização da bacia

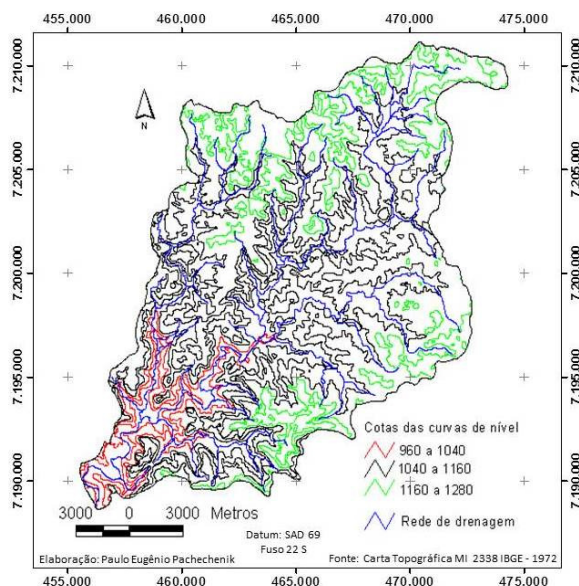


Figura 3. Rede de drenagem da bacia do rio das Pedras e a identificação da ordem dos rios componentes da bacia.

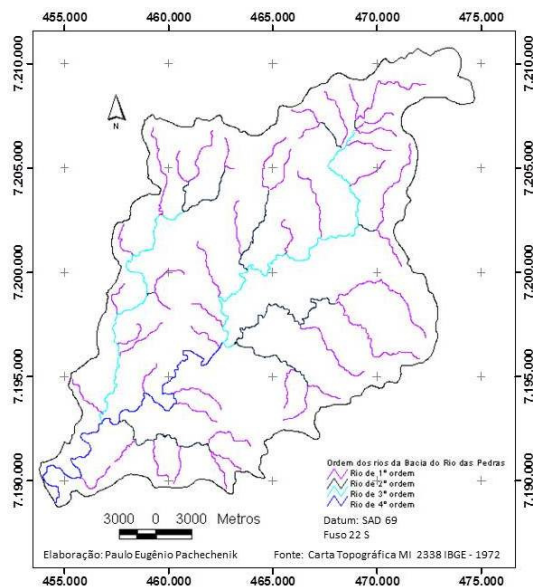
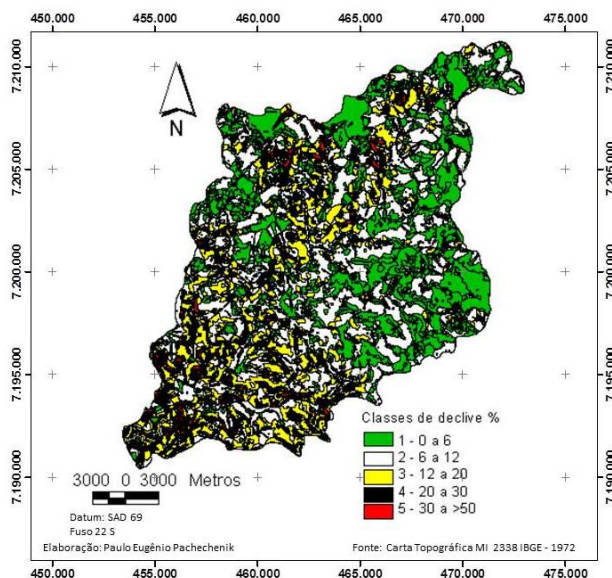


Figura 4. Classes de declive da bacia do rio das Pedras, estabelecidas conforme a metodologia proposta por ROSS (1994), para a determinação da fragilidade ambiental



O mapa de declividade (Figura 4) foi obtido a partir do modelo numérico do terreno, dentro do *software Idrisi*. Na Tabela 1, encontra-se a relação das categorias hierárquicas de fragilidade conforme Ross (1994) e os percentuais de declividades determinados na bacia. Observou-se que 72,87% do total da área da bacia possuíam declividade abaixo de 12%, o que resulta, segundo Ross (1994), em uma categoria de fragilidade “muito fraca” e “fraca”. Para Embrapa (1999), as fases do relevo interferem na ocorrência das diferentes unidades de solo.

Tabela 1. Classes de declividade para determinar a fragilidade ambiental (ROSS, 1994) e as correspondentes áreas de cada classe encontrada no interior da bacia do rio das Pedras

Classe	Percentual de declividade (%)	Área na bacia (ha)	Porcentagem (%)
1 – Muito fraca	0 – 6	12014	36,64
2 – Fraca	6 – 12	11878	36,23
3 – Média	12 – 20	6108	18,63
4 – Alta	20 – 30	2148	6,55
5 – Muito alta	> 30	640	1,95

Baseando-se na Figura 5 e Tabelas 2 e 3 verificou-se para a bacia do rio das Pedras que:

- As classes de solo existentes são NX, CH, LB, CX e RL;
- A textura argilosa está presente em todos os solos encontrados na bacia;
- Entre as classes de declividade entre 0 e 6% e maior que 30%, os solos encontrados apresentaram horizonte A proeminente, exceto o RL, que possui horizonte A moderado. Conforme Embrapa (1999), o horizonte A proeminente apresenta-se relativamente espesso, com estrutura de solo bem desenvolvida em relação à agregação e grau de desenvolvimento. Já o horizonte A moderado consiste em um horizonte mais superficial comparado ao A proeminente, apresentando maior suscetibilidade aos processos erosivos;
- Na declividade acima de 50%, os solos encontrados também apresentam horizonte A proeminente e textura argilosa;

Figura 5. Mapa de solos da bacia do rio das Pedras, com a respectiva identificação dos solos encontrados na mesma.

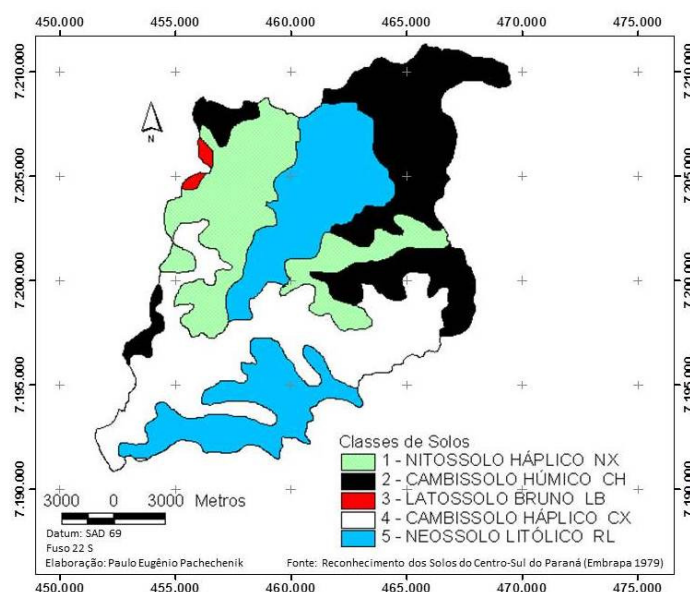


Tabela 2. Classificação dos solos da bacia do rio das Pedras, com as respectivas áreas encontradas na mesma

Sigla	Solo	Área (ha)	Percentual (%)
1 – NX	Nitossolo Háplico	6.800	20,74
2 – CH	Cambissolo Húmico	8.459	25,80
3 – LB	Latossolo Bruno	170	0,52
4 – CX	Cambissolo Háplico	8.709	26,56
5 – RL	Neossolo Litólico	8.650	26,38

Tabela 3. Solos encontrados em cada classe de declividade na bacia do rio das Pedras

Declividade (%)	Classes de Solos
0 – 6	NX, CH, LB, CX, RL
6 – 12	NX, CH, LB, CX, RL
12 – 20	NX, CH, LB, CX, RL
20 – 30	NX, CH, CX, RL
> 30	NX, CH, CX, RL

Segundo Embrapa (1999) os substratos dos solos consistem em: rochas do derrame de Trapp para os solos NX e LB; filitos e sedimentos pleistocênicos para o CH; siltitos, argilitos e folhelhos para o CXbd3; arenitos e gnaisses e anfíbolitos para o RL.

O mapa de uso atual do solo e cobertura vegetal da bacia do rio das Pedras (Figura 6) foi

gerado no programa *Idrisi*, utilizando-se da imagem do Satélite *Landsat 7*. A Tabela 4 contém os diferentes usos do solo e suas respectivas áreas para a bacia.

Figura 6. Mapa de uso atual do solo na bacia do rio das Pedras realizado a partir de imagens do satélite *Landsat 7* e do software *Idrisi*

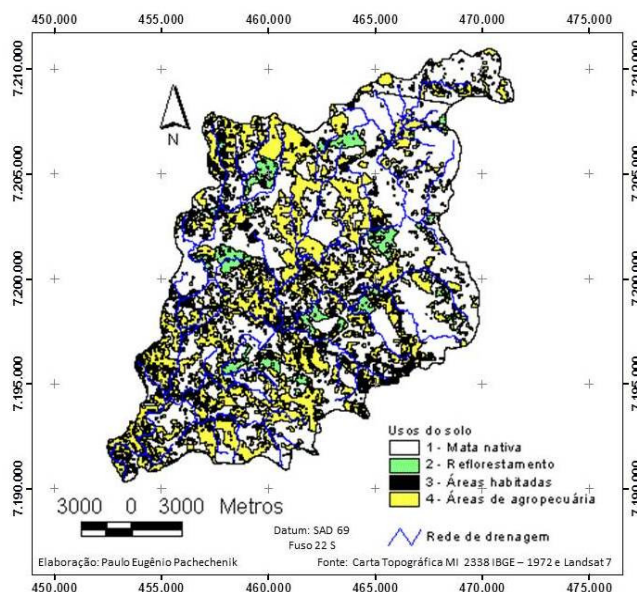


Tabela 4. Uso atual dos solos na bacia do rio das Pedras e suas respectivas áreas, obtidas a partir de imagens do satélite *Landsat 7* e do software *Idrisi*

Uso atual	Área (ha)	Percentual (%)
1 – Mata nativa	19.892	60,67
2 – Reflorestamento	1.427	4,35
3 – Áreas urbanas	1.852	5,65
4 – Agropecuária	9.617	29,33

Analisando-se a Figura 6 e Tabela 4 verificou-se para a bacia do rio das Pedras que:

- Em torno de 60,67% da área total da bacia é coberta com mata nativa, o que é muito bom, pois a bacia é uma Área de Preservação Ambiental (APA). Conforme Ross (1994), a cobertura do solo com mata nativa oferece grau de proteção “muito alto”;
- A nascente do rio principal ainda apresenta-se com elevada cobertura vegetal nativa;
- Segundo os critérios de Ross (1994), o grau de proteção do solo é “muito alto”, visto que ainda existe boa cobertura de mata natural nas nascentes e na bacia (60,67%);
- O reflorestamento representa 4,35% da área total da bacia e este fato também propicia alto grau de proteção do solo (ROSS, 1994);
- As áreas de uso urbano, basicamente constituídas por pequenos vilarejos próximos às estradas (vias principais e secundárias), representam 5,65% da área total. O método de Ross (1994) não apresenta uma classificação para esses casos. Thomaz (2002) considera que as estradas são agentes erosivos que cortam o leito de rios, vertentes e canais escoadouros das águas das chuvas. Como as áreas urbanas são interligadas por muitas estradas, vias e ruas, pode-se esperar que o grau de proteção do solo nestes locais seja “muito baixo”;
- As atividades agropecuárias compreenderam 29,33% da área total da bacia, consistindo basicamente em pastagens e culturas anuais. Para as atividades agropecuárias, Ross (1994) faz as seguintes considerações quanto ao grau de produção: “médio” para pastagens com pouco pisoteio ou cultivo de ciclo longo; “baixo” para culturas de ciclo longo possuindo baixa densidade ou ciclo curto em nível; e, “muito baixo” a “nulo” para áreas desmatadas, queimadas, solo exposto por arado, gradeação e ao longo de estradas, cultivos de ciclo curto sem práticas conservacionistas.

A Figura 7 apresenta as classes de fragilidade ambiental potencial, determinadas a partir do cruzamento das informações de declividade e unidades de solos, definidas na Tabela 5. A Tabela 6 apresenta as classes de fragilidade ambiental potencial do solo da bacia do rio das Pedras e suas respectivas áreas.

Conforme Ross (1994), os solos encontrados na bacia apresentam também a seguinte relação: LB (fragilidade “muito baixa”); NX (fragilidade “média”); CH e CX (fragilidade “forte”); RL (fragilidade “muito forte”) (Figura 7 e Tabelas 5 e 6).

Figura 7. Mapa da fragilidade ambiental potencial da bacia do rio das Pedras, obtido da sobreposição dos mapas de solos e declividade

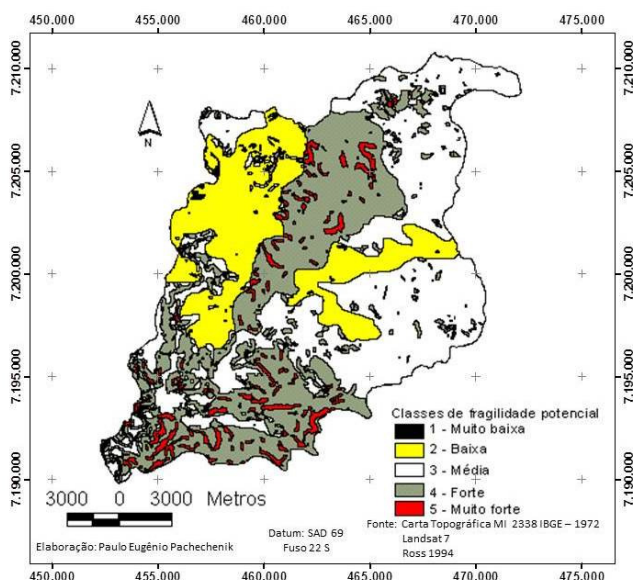


Tabela 5. Tabela matriz para a fragilidade ambiental potencial, obtida do cruzamento entre o mapa de declividade e o mapa de solos da bacia do rio das Pedras, com as classes de fragilidade ambiental potencial encontradas

Declividade	Solos			
	LB (MB)	NX (M)	CH, CX (F)	RL (MF)
0 – 6 (MB)	MB	B	M	F
6 – 12 (B)	MB	B	M	F
12 – 20 (M)	B	M	F	F
20 – 30 (F)	—	F	MF	MF
> 30 (MF)	—	F / MF	MF	MF

Classes de fragilidade: MB – muito baixa; B – baixa; M – média; F – forte; e, MF – muito forte

Tabela 6. Classes de fragilidade ambiental potencial do solo da bacia do rio das Pedras e suas respectivas áreas, obtidas da sobreposição dos mapas de solos e declividade

Classe de Fragilidade	Área (ha)	Percentual (%)
1 – Muito baixa	58	0,20
2 – Baixa	6.592	20,10
3 – Média	13.665	41,67
4 – Forte	10.909	33,27
5 – Muito Forte	1.564	4,76

Considerando-se os critérios metodológicos de Ross (1994), com as informações obtidas na Figura 7 e Tabelas 5 e 6, verificou-se para a bacia do rio das Pedras que:

– Baseando-se apenas da declividade, 72,87% da área total da bacia classificava-se como área de fragilidade “muito baixa” e “baixa”. Após o cruzamento entre os mapas de declividade e solos (análise de fragilidade ambiental potencial), apenas 0,2% e 20,1%, respectivamente, da área total da bacia apresentou a classe de fragilidade “muito baixa” e “baixa”. Desta forma, verificou-se que a classe de solo influenciou e limitou decisivamente a composição da

fragilidade ambiental potencial;

– Os solos Latossolo Bruno (LB) e Nitossolo Háplico (NX) estão presentes nas áreas classificadas como fragilidade ambiental potencial “muito baixa” e “baixa”, apresentando poucas restrições para o seu uso. No entanto, é recomendável a adoção de práticas conservacionistas nas atividades agropecuárias, principalmente nas áreas com o solo NX;

– A maior porcentagem de área da bacia encontra-se na classe “média” de fragilidade ambiental potencial do solo (41,67%), incluindo a área da nascente do rio principal, onde predominam os solos Nitossolo Háplico (NX), Cambissolo Háplico (CX) e Cambissolo Húmico (CH). São áreas que apresentam maiores restrições ao uso por atividades agropecuárias, pois as condições identificadas de solo e relevo exigem a adoção de práticas conservacionistas como culturas em nível, plantio direto, maior área de preservação da floresta;

– 33,27% da bacia ficou classificada como área de fragilidade ambiental potencial “forte” e 4,76% como área de fragilidade ambiental potencial “muito forte”, havendo predomínio da unidade Neossolo Litólico (RL), onde ocorre maiores afloramentos de rochas e alto grau de erodibilidade;

– Como 41,67% da área de fragilidade ambiental potencial do solo da bacia ocorre para a classe “média” e 38,03% para o somatório das classes “forte” e “muito forte”, pode-se considerar para toda a bacia uma fragilidade potencial ambiental “média a forte”, o que geralmente promove maiores restrições para o uso do solo.

A fragilidade ambiental emergente (Tabela 7) foi obtida a partir do cruzamento das informações da fragilidade ambiental potencial e uso atual do solo. A Tabela 8 e a Figura 8 apresentam as classes de fragilidade ambiental emergente do solo da bacia do rio das Pedras e suas respectivas áreas.

Na análise da fragilidade ambiental potencial, determinou-se as restrições para o uso do solo, relacionado com as classes de declive e unidades de solo, obtendo-se uma ideia para alternativas adequadas para a exploração da área da bacia, bem como da necessidade de se adotar práticas de conservação do solo, independente da atividade a ser implementada. A fragilidade ambiental emergente, resultante do cruzamento entre a fragilidade potencial e a atual condição de usos do solo na bacia, oferece uma ideia do grau de proteção do solo da bacia.

Tabela 7. Tabela matriz para a fragilidade ambiental emergente, obtida do cruzamento entre o mapa de fragilidade ambiental potencial e o mapa de uso atual do solo da bacia do rio das Pedras, com as classes de fragilidade ambiental emergente encontradas

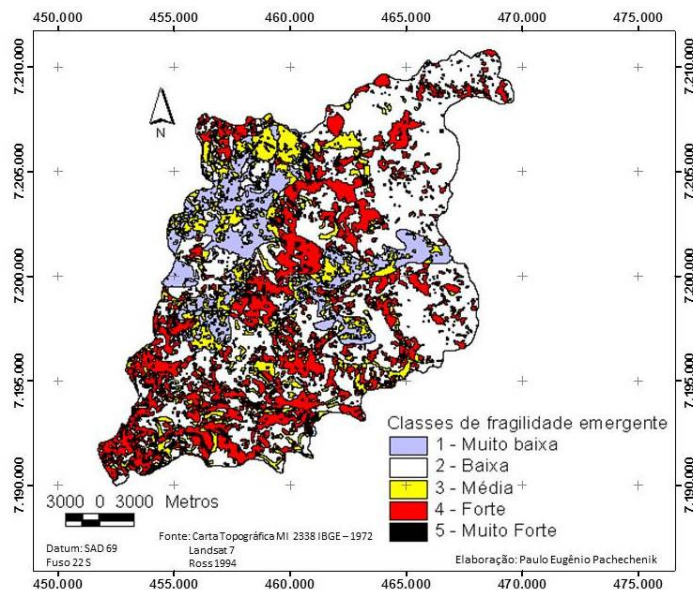
Fragilidade Potencial	----- Usos e cobertura do solo -----			
	Mata Nativa (MB)	Reflorestamento (B)	Área urbana (MF)	Agropecuária (F)
1 – Muito baixa	MB	MB	M	B
2 – Baixa	MB	B	F	M
3 – Média	B	M	F	M
4 – Forte	B	M	MF	F
5 – Muito Forte	F	F	MF	MF

Usos e coberturas do solo: MB – muito baixa; B – baixa; F – forte; e, MF – muito forte

Tabela 8. Classes de fragilidade ambiental emergente do solo da bacia do rio das Pedras e suas respectivas áreas, obtidas da sobreposição dos mapas de fragilidade potencial e uso do solo

Classe de Fragilidade	Área (ha)	Percentual (%)
1 – Muito baixa	3.637	11,10
2 – Baixa	15.954	48,66
3 – Média	4.364	13,31
4 – Forte	8.307	25,33
5 – Muito forte	526	1,60

Figura 8. Mapa da fragilidade emergente da bacia do rio das Pedras, obtido da sobreposição dos mapas de fragilidade potencial e uso do solo



Desta forma, considerando-se os critérios da metodologia de Ross (1994), com as informações obtidas na Tabela 7 e Figura 8, e realizando-se um contraste com as informações discutidas anteriormente, verificou-se para a bacia do rio das Pedras que:

– 11,10% da área total da bacia foram classificadas como fragilidade ambiental emergente “muito baixa”. O uso do solo nestas áreas é exclusivamente de mata nativa e os solos identificados foram Nitossolo Háplico (NX) e Latossolo Bruno (LB). Ross (1994) considera a proteção do solo para esta condição de uso como “muito alta”. As áreas com o solo LB podem ser utilizadas para a agropecuária, de forma mais intensa. Já as áreas do solo NX apresentam maiores problemas para a agropecuária, mas podem ser utilizadas sem restrições para o reflorestamento;

– 48,66% da área total da bacia foram classificadas como fragilidade ambiental emergente “baixa”. O uso do solo nestas áreas consiste em mata nativa e reflorestamento. Como esta classe de fragilidade constitui a maior área da bacia, ela contém todos os tipos de solos identificados. Embora a classificação identificada nos 48,66% da área seja de fragilidade ambiental emergente “baixa”, estas áreas não devem ser utilizadas para a agropecuária, visto que a fragilidade ambiental potencial identificada ficou entre “média” e “forte”;

– 13,31% da área total da bacia foram classificadas como fragilidade ambiental emergente “média”. O uso atual do solo nestas áreas consiste em atividades agropecuárias e ocupação humana (áreas habitadas) e os solos identificados foram o Nitossolo Háplico (NX), Latossolo Bruno (LB), Neossolo Litólico (RL) e Cambissolo Háplico (CX). São áreas consideradas de fragilidade “média” em virtude de se concentrarem em locais com declividade entre 0 a 3%. A atividade agropecuária das áreas requer a adoção de práticas conservacionistas ou a adoção de reflorestamento, o que possibilitaria maior preservação do solo;

– 25,33% da área total da bacia foram classificadas como fragilidade ambiental emergente “forte”. O uso atual do solo nestas áreas é constituído basicamente por atividades agropecuárias. As classes de solos presentes, denominadas Cambissolo Háplico (CX) e Neossolo Litólico (RL), geram grandes restrições às atividades agropecuárias. O ideal seria a implantação do reflorestamento como alternativa de uso do solo, visando a sua conservação;

– 1,60% da área total da bacia foram classificadas como fragilidade ambiental emergente “muito forte”. São áreas que estão em locais de Neossolo Litólico (RL), utilizado basicamente nas atividades agropecuárias. Ross (1994) considera que esta condição é extremamente

limitante para o uso do solo. A melhor alternativa de uso do solo seria destinar estas áreas para a preservação da mata nativa;

– 59,76% da área total da bacia apresentam fragilidade ambiental emergente considerada “baixa” e “muito baixa”, demonstrando que o uso do solo na bacia não atingiu os limites potenciais de fragilidade. Desta forma, a bacia do rio das Pedras encontra-se bem preservada, especialmente quanto à erosão do solo, que por sua vez protege a rede de drenagem contra o assoreamento dos leitos dos rios.

As informações referentes à fragilidade ambiental potencial e emergente do solo são importantes, pois associadas a outros dados ambientais podem servir de base para inúmeros outros estudos (DONHA et al., 2006; VASHCENKO, 2007), além de fornecerem subsídios ao planejamento agrícola e ambiental (THOMAZ, 2000). Soares et al. (2011b) realizou análises do potencial de uso das terras em conjunto com a legislação ambiental na bacia do rio Pequeno-PR. Os autores constituíram um importante instrumento de subsídio ao planejamento ambiental, sendo que as metodologias se complementam na identificação de áreas frágeis e limitantes, bem como de áreas com alto potencial agrícola, auxiliando na elaboração de planos de manejo em áreas naturais ou unidades de conservação.

Os parâmetros de forma da bacia foram calculados conforme metodologia sugerida por Villela e Mattos (1975) e estão dispostos na Tabela 9. A determinação dos parâmetros de forma da bacia visou averiguar as condições propícias para a ocorrência de enchentes.

Tabela 9. Parâmetros de forma encontrados para a bacia do rio das Pedras, conforme as recomendações de Villela e Mattos (1975)

Parâmetro	Valor	Unidade
Coefficiente de compacidade (K_c)	1,56	Adimensional
Fator de forma (K_f)	0,102	Adimensional
Densidade de drenagem (D_d)	0,82	km ⁻¹
Sinuosidade do curso de água (Sin)	1,79	Adimensional
Elevação média da bacia (E)	1.146,98	m

Os resultados dispostos na Tabela 9 permitem verificar para a bacia do rio das Pedras que:

– A área não está propensa a grandes enchentes, pois o coeficiente de compacidade encontrado na bacia (1,56) é superior ao valor de propensão para picos elevados de cheia (1,50);

– O fator de forma (K_f) encontrado para a bacia (0,102) confirma a existência de baixa propensão para picos elevados de cheia, encontrados para o K_c . O valor de K_f encontrado ($\leq 0,50$) significa que a bacia é estreita, longa e a possibilidade de uma chuva intensa atingir simultaneamente toda a área da bacia é pequena;

– O parâmetro densidade de drenagem (D_d) encontrado na bacia (0,82) indicou que o seu relevo é regular, com características de drenagem pobre, pois a densidade de drenagem é baixa e inferior a 5;

– O curso principal da bacia apresentou elevado valor de sinuosidade (1,79) o que pode interferir na ocorrência de enchentes, pois a velocidade dos tributários é maior devido à ausência de trechos sinuosos. Porém, a probabilidade de ocorrência de enchente na bacia é pequena, conforme valores obtidos para os parâmetros K_c e K_f . Além dos valores de K_c e K_f , deve-se acrescentar também que a bacia acha-se com 60,67% de sua área coberta com mata nativa, o que interfere de forma positiva no controle de enchentes;

– O valor determinado para a elevação média (1.146,98 m) caracteriza a bacia como um local de áreas predominantemente elevadas. A localização da bacia encontra-se no reverso da escarpa basáltica, localmente denominada como Serra da Esperança, que divide o 2º do 3º planalto paranaense.

Os parâmetros de forma analisados possibilitaram melhor compreensão da vulnerabilidade natural à enchente da bacia do rio das Pedras, informações importantes na definição do zoneamento e ordenamento territorial de bacias hidrográficas (SOARES, 2012).

CONCLUSÕES

A fragilidade potencial da bacia do rio das Pedras classifica-se entre “média” e “forte”, pois 41,67% da área total da bacia encontram-se na classe de fragilidade “média” e 32,27% encontram-se na classe de fragilidade “forte” para fins agrícolas.

A bacia apresenta 60,67% e 4,35% da sua área total utilizada com mata nativa e reflorestamento, respectivamente. Os usos do solo da bacia classificam-na como fragilidade ambiental emergente “muito baixa” (11,10%) e “baixa” (48,66%). Os limites da potencialidade de uso do solo não foram atingidos e a bacia está protegida da erosão.

Para as condições atuais analisadas, os fatores de forma da bacia demonstram que há baixo risco de ocorrência de enchentes.

REFERÊNCIAS

BENNEMA, J., BEEK, K.J., CAMARGO, M.N. **Um sistema de classificação de capacidade de uso da terra para levantamentos de reconhecimentos de solos**. Rio de Janeiro: DPFS/DPEA/MA/FAO, 1964.

DONHA, A. G.; SOUZA, L. C. P.; SUGAMOSTO, M. L. Determinação da fragilidade ambiental utilizando técnicas de suporte à decisão e SIG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 1, p. 175-181. 2006.

EMBRAPA, IAPAR. **Levantamento de reconhecimento dos solos do centro-sul do Estado do Paraná** (área 9). Brasília: EMBRAPA/IAPAR, 1979.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: EMBRAPA, 1999. 412 p.

GONÇALVES, G.G.G.; DANIEL, O.; COMUNELLO, E.; VITORINO, A.C.T. & ARAI, F.K. Determinação da fragilidade ambiental de bacias hidrográficas. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 41, p. 797-808, 2011.

LEPSCH, I. F.; BELLINAZZI JR, R.; BERTOLINI, D.; ESPÍNDOLA, C. R. **Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras nos sistema de capacidade de uso**. 2. ed. Campinas Sociedade Brasileira de Ciências do Solo, 1991, 175p.

LIMA, A. G. Caracterização geomorfológica preliminar da bacia do Rio das Pedras, Guarapuava-PR. **Geografia**, Rio Claro, v. 24, n. 2, p. 37-51, agosto 1999.

MAACK, R. **Geografia física do estado do Paraná**. 2 ed. Rio de Janeiro: Olympio, 1981. 350 p.

NAKASHIMA, M. S. R. Carta de fragilidade ambiental da bacia do rio Keller, Estado do Paraná: subsídio ao estudo dos processos erosivos. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 23, n. 6, p. 1547-1560, 2001.

PACHECHENIK, P.; SOUZA, J. L. M. Estudo do processo chuvavazão na bacia do rio das Pedras, Guarapuava, Estado do Paraná, com o modelo HYCYMODEL. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 27, n. 4, p. 677-686. 2005.

PAREDES, E. A. **Sistema de informação geográfica: (geoprocessamento) princípios e aplicações**. São Paulo: Érica, 1994. 227 p.

RAMALHO FILHO, A.; PEREIRA, E. G.; BEEK, K. J. **Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras**. Brasília: SUPLAN/EMBRAPA-SNLCS, 1978. 70p.

RODRÍGUEZ. S. R. **O uso da terra e a qualidade das águas superficiais da bacia do rio Sapucaí-guaçu, no município de Campos do Jordão – SP**. 1997. Dissertação (Mestrado) - FFLCH – Universidade de São Paulo, São Paulo.

ROSS, J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. **Revista do departamento de geografia**, São Paulo, n. 08, p. 63-74. 1994.

SOARES, M. R. G. J.; SOUZA, J. L. M. Análise morfométrica da bacia hidrográfica do rio Pequeno em São José dos Pinhais (PR). **Revista Geografia**, Londrina, v. 21, n. 1, p. 19-36, 2012.

SOARES, M. R. G. J.; SOUZA, J. L. M.; JERSZURKI, D. Caracterização do meio físico e

formas de uso e ocupação do solo da bacia do rio Pequeno – Paraná. **RA´EGA**, Curitiba, v. 21, p. 165-184, 2011a.

SOARES, M. R. G. J.; SOUZA, J. L. M.; JERSZURKI, D. Potencial de uso agrícola e legislação ambiental voltados ao planejamento na bacia do Rio das Pedras-PR. **RA´EGA**, Curitiba, v. 21, p. 186-203, 2011b.

THOMAZ, E. L. Geomorfologia ambiental e agricultura familiar na bacia do rio Iratim – Guarapuava-PR. **RA´EGA**, Curitiba, n. 4, p. 37-48, 2000.

THOMAZ, E. L.. **Caracterização hidroclimática da bacia do rio das pedras**: primeira versão. Guarapuava: UNICENTRO, 2002. 22 p. (Relatório de pesquisa)

VASHCENKO, Y; FAVARETTO, N.; BIONDI, D. Fragilidade ambiental nos picos Camacua, Camapuã e Tucum, Campina Grande do Sul, PR. **Floresta**, Curitiba, v. 37, n. 2, p. 201-215, 2007.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975. 245 p.