

GEOPROCESSAMENTO APLICADO AO ESTUDO DA VULNERABILIDADE À EROÇÃO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DO PÂNTANO NOS MUNICÍPIOS DE SÃO CARLOS, ANALÂNDIA E DESCALVADO (SP)

GEOPROCESSING APPLIED AT THE STUDY OF THE VULNERABILITY TO EROSION IN THE HYDROGRAPHIC BASIN OF THE PÂNTANO BROOK, IN THE CITIES OF SÃO CARLOS, ANALÂNDIA AND DESCALVADO, SÃO PAULO STATE, BRAZIL

Yanayne Benetti Barbosa

Geógrafa. Mestre em Engenharia Urbana pela Universidade Federal de São Carlos (UFSCar).

Reinaldo Lorandi

Geólogo. Doutor em Solos e Nutrição de Plantas pela Universidade de São Paulo (USP). Professor Associado da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar).

RESUMO: O presente trabalho apresenta um estudo de vulnerabilidade à perda de solo na bacia hidrográfica do ribeirão do Pântano, uma sub-bacia do rio Mogi-Guaçu que engloba parte dos municípios de Analândia, Descalvado e São Carlos, localizados na área central do estado de São Paulo. Para alcançar os objetivos da pesquisa foram geradas cartas de vulnerabilidade à erosão com base nos temas: geomorfologia, geologia, solo, vegetação, uso do solo e clima, elaboradas com auxílio de geoprocessamento. Utilizou-se a abordagem metodológica proposta por Crepani *et al.* (2001), fundamentada na concepção da Ecodinâmica de Tricart. O conhecimento das áreas vulneráveis à erosão é de fundamental importância para a implementação de futuras medidas de controle preventivo de uso e ocupação do solo na bacia e para a realização de um planejamento ambiental adequado à realidade da área de estudo.

Palavras-chave: ribeirão do Pântano; vulnerabilidade à erosão; SIG; bacia hidrográfica.

ABSTRACT: *This paper presents a study on the vulnerability in terms of soil loss in the hydrographic basin of the Pântano brook, a sub-basin of the Mogi-Guaçu river, which encompasses parts of the municipalities of Analândia, Descalvado and São Carlos, located in the center of the São Paulo State, Brazil. Its main purpose is to draw up a vulnerability chart to erosion based on the themes of geomorphology, geology, soil, vegetation, land use and climate with the tools of geoprocessing. The methodological approach proposed by Crepani *et al.* 2001, founded on the concept of Tricart's Ecodynamics, was employed to achieve the objectives of this research. The knowledge on the areas vulnerable to erosion is very important in order to implement a proper environmental planning, to control the occupation of the basin soil and to prevent the occurrence of erosion and soil loss in the studied area.*

Keywords: *Pântano brook; vulnerability to erosion; GIS; hydrographic basin.*

INTRODUÇÃO

A erosão é um processo físico que pode ser descrito em três partes: desprendimento, transporte e deposição. Este fenômeno, quando ocorre naturalmente em áreas intocadas pelo homem, é chamado de Erosão Geológica ou Normal. A erosão geológica foi responsável por “esculpir”, durante bilhões de anos, montanhas, vales e planícies. A quantidade de solo erodido em condições naturais é ínfima, sendo naturalmente recomposta (SALOMÃO & IWASA, 1995). Além da erosão natural ou geológica, os processos erosivos podem ser divididos em erosão acelerada natural e erosão acelerada antrópica. O equilíbrio existente entre a erosão geológica e a formação do solo é rompido

quando o homem derruba e queima as florestas e prepara o solo, removendo a camada superficial, para o plantio. Nestes solos, os agentes erosivos (chuva e vento) arrastam uma quantidade maior de sedimentos do que em condições naturais, pois não encontram barreiras que impeçam a erosão (erosão acelerada). Os principais processos naturais e antrópicos que trazem problemas à população são: a erosão, o desmatamento para uso da agricultura, o assoreamento dos cursos d'água e as inundações freqüentes. Para enfrentar esses problemas, deve-se ter uma política clara e um planejamento adequado ao meio ambiente.

O planejamento de bacia hidrográfica fornece diretrizes gerais para compatibilizar o desenvolvimento das atividades econômicas com as necessidades de proteção, recuperação e conservação dos recursos hídricos e outros recursos naturais da bacia. Como apresenta a definição de bacia hidrográfica:

[...] a bacia hidrográfica de um rio, até a seção considerada, ou exutório, corresponde à área drenada por um conjunto de rios de ordem secundária convergindo para o rio principal, sendo delimitada pelo divisor de água que é representado pelos pontos mais elevados do relevo que separam as bacias adjacentes. (CHISTOFOLETTI, 1980, p. 102)

No intuito de sintetizar tantas informações de uma bacia hidrográfica e se aproximar do "mundo real", é necessário contar com tecnologias do geoprocessamento.

A metodologia empregada na bacia hidrográfica do ribeirão do Pântano foi a metodologia proposta por Crepani *et al.* (2001). A metodologia adotada visa elaborar cartas de vulnerabilidade a erosão com auxílio das tecnologias de geoprocessamento.

As tecnologias do geoprocessamento podem ajudar na tomada de decisões para o planejamento ambiental e o gerenciamento de recursos hídricos. O sistema de informação geográfica (SIG) contribui para a análise dos fatores e fenômenos do espaço geográfico com maior rigor e precisão e também para atualização dos dados num intervalo de tempo cada vez menor (COSTA & SILVA, 2004).

ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo desta pesquisa corresponde à bacia hidrográfica do Ribeirão do Pântano, uma sub-bacia do Rio Mogi-Guaçu, na qual inserem-se parte dos municípios de Analândia, Descalvado e São Carlos (SP). A bacia hidrográfica do Ribeirão do Pântano está inserida no contexto da Serra Geral, uma macro-feição geomorfológica de grande destaque na porção sudeste da América do Sul.

De acordo com o sistema de Köppen, o clima da região é do tipo Cwa, isto é, clima de inverno seco e verão chuvoso, com a temperatura média do mês mais frio inferior a 18°C, e a do mês mais quente superior a 22°C. O índice pluviométrico neste tipo climático varia entre 1100 e 1700 milímetros anuais. As variações altimétricas situam-se entre 540 e 1040 metros, com um desnível de 500 metros, com variadas formas de relevos, planícies, colinas, morrotes, morros e áreas cênicas como a cachoeira do Pântano.

Geomorfologia

A bacia hidrográfica em estudo está inserida na Bacia Sedimentar do Paraná, englobada pelas seguintes unidades geomorfológicas (ROSS & MOROZ, 1997): a bacia esta no encontro do Planalto Ocidental Paulista (Planalto Residual de São Carlos e Patamares Estruturais de Ribeirão Preto) e Depressão Periférica Paulista (Depressão Mogi-Guaçu).

O Planalto Residual de São Carlos corresponde ao reverso da cuesta no interflúvio Tietê/Mogi-Guaçu, onde predominam formas de relevo denudacionais e o modelado é composto por colinas de topos convexos e tabulares. Esta unidade morfoescultural apresenta formas de dissecação média com vales entalhados.

Geologia

No sítio da área de estudo pode-se distinguir sete unidades litológicas: Pirambóia, Botucatu, Serra Geral, Itaqueri, Santa Rita do Passa Quatro, Pirassununga e Depósitos Recentes do Quaternário São Paulo (MORAES & LORANDI, 2009).

Pedologia

No ambiente da área de estudo pode-se distinguir sete (7) unidades de mapeamento de solos, atualizadas com base em EMBRAPA (1999): Areias Quartzosas (Neossolo Quartzarênico), Latossolo Vermelho-Amarelo (Latossolo Amarelo), Latossolo Vermelho-Escuro (Latossolo Escuro), Podzólico Vermelho-Amarelo (Argissolo), Solos Litólicos (Neossolos), Terra Roxa Estruturada (Nitossolo Vermelho) e Solos Hidromórficos (Gleissolos).

Uso da terra e Vegetação

Na bacia hidrográfica do Ribeirão do Pântano foi classificado o uso do solo por Moraes & Lorandi (2007), no período de 2006, em: mata ciliar, mata mesófila, cerrado, cana-de-açúcar, laranja, eucalipto, pastagem, solo exposto, represa, pesque-pague, usos diversos.

MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia empregada para obter o mapa de vulnerabilidade à erosão da bacia hidrográfica do Ribeirão do Pântano foi a metodologia proposta por Crepani *et al.* (2001). Essa metodologia, segundo os autores, foi desenvolvida com base no conceito de Ecodinâmica de Tricart (1977) e na utilização de imagens do Landsat-TM, as quais permitem uma visão sinóptica e holística da paisagem.

A metodologia adotada visa elaborar cartas de vulnerabilidade à erosão, através da delimitação das unidades territoriais básicas (U.T.B.). Após a obtenção da carta de (U.T.B.) a mesma é cruzada com os “temas” que são atributos do meio físico. Esta aplicação da metodologia é realizada através do auxílio de softwares utilizados no geoprocessamento. Segundo Crepani *et al.* (2001) os atributos do meio físico são: solo, geologia, geomorfologia, clima, vegetação e uso do solo. Os Sistemas de Informação Geográfica utilizados foram o SPRING® desenvolvido pelo INPE Instituto Nacional de Pesquisa Espacial em Conjunto a EMBRAPA Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária e o ARC GIS.

No estudo foram utilizadas as informações temáticas disponíveis como: mapa geológico e pedológico, uso do solo de 2006 e imagem de satélite Landsat, 2006 do Laboratório de Geociências, da Universidade Federal de São Carlos.

A confecção da delimitação do mapa de Unidades Territoriais Básicas (U.T.B.) se dá através da combinação da imagem de satélite e o mapa de uso do solo, no qual se atribui duas categorias. As categorias são: “unidades de paisagem naturais” e os “polígonos de intervenção antrópica”. Estes últimos são decorrentes da intervenção humana na paisagem.

Seguindo esta proposta metodológica cada tema recebeu uma pontuação de fragilidade variando entre 1 e 3. O modelo foi aplicado a cada tema individualmente: geologia, pedologia, geomorfologia, vegetação e climatologia dentro de cada uma das unidades de paisagem natural. Posteriormente, estes valores individuais foram somados, e então obteve-se a média, resultando em um valor final. Este valor representa a posição desta unidade de paisagem natural dentro da escala de vulnerabilidade à erosão. As

informações que se seguem foram transcritas dos documentos produzidos pelos pesquisadores do INPE, como Crepani *et al.* (2001) e Spörl (2001).

A confecção da carta com a vulnerabilidade para o tema geomorfologia foi obtida através da sobreposição das cartas de dimensão interfluvial média, amplitude altimétrica e declividade do local. Para obtenção da carta de dimensão interfluvial média (G), foi necessário subdividir a bacia em sub-bacias a partir do modelo digital do terreno (MDT). Após as divisões das bacias foi sobreposto à carta topográfica com a carta de sub-bacias para então obter a amplitude dos interflúvios que é a distância entre canais de drenagem sobre uma mesma curva de nível. Com a coleta dos dados é realizado a média dos valores para cada sub-bacia. Então, partindo-se desses valores foi classificada a vulnerabilidade correspondente da bacia de acordo com o **Quadro 1**.

Amplitude do Interflúvio (m)	Vulner./ Estabilidade	Amplitude do Interflúvio (m)	Vulner./ Estabilidade	Amplitude do Interflúvio (m)	Vulner./ Estabilidade
>5000	1,0	3250 - 3500	1,7	1500 - 1750	2,4
4750 - 5000	1,1	3000 - 3250	1,8	1250 - 1500	2,5
4500 - 4750	1,2	2750 - 3000	1,9	1000 - 1250	2,6
4250 - 4500	1,3	2500 - 2750	2,0	750 - 1000	2,7
4000 - 4250	1,4	2250 - 2500	2,1	500 - 750	2,8
3750 - 4000	1,5	2000 - 2250	2,2	250 - 500	2,9
3500 - 3750	1,6	1750 - 2000	2,3	<250	3,0

Quadro 1 - Valores de vulnerabilidade para a intensidade de dissecação do relevo. Fonte: Crepani *et al.* 2001.

Para a carta de amplitude altimétrica (A) foi necessário extrair do MDT as altitudes máximas e mínimas no interior de cada UTB. Após obtenção dos valores de amplitude máxima e mínima no interior de cada UTB foi associado o seu respectivo valor do **Quadro 2** que condiz a vulnerabilidade da amplitude altimétrica do terreno.

A carta de declividade (D) também foi gerada através do M.D.T., por meio de um comando específico no software ArcGis.

Após obter a carta de declividade, esta é sobreposta com a carta U.T.B. e só então após este cruzamento é identificado o valor da vulnerabilidade a declividade dentro de cada polígono de U.T.B. (**Quadro 3**).

Amplitude Altimétrica (m)	Vulner./ Estabilidade	Amplitude Altimétrica (m)	Vulner./ Estabilidade	Amplitude Altimétrica (m)	Vulner./ Estabilidade
<20	1,0	77 - 84,5	1,7	141,5 - 151	2,4
20 - 29,5	1,1	84,5 - 94	1,8	151 - 160,5	2,5
29,5 - 39	1,2	94 - 103,5	1,9	160,5 - 170	2,6
39 - 48,5	1,3	103,5 - 113	2,0	170 - 179,5	2,7
48,5 - 58	1,4	113 - 122,5	2,1	179,5 - 189	2,8
58 - 67,5	1,5	122,5 - 132	2,2	189 - 200	2,9
67,5 - 77	1,6	132 - 141,5	2,3	>200	3,0

Quadro 2 - Valores de vulnerabilidade para a amplitude altimétrica. Fonte: Crepani *et al.* 2001.

Declividade		Vuln./ Estab.	Declividade		Vuln./ Estab.	Declividade		Vuln./ Estab.
Graus	Porcent.		Graus	Porcent.		Graus	Porcent.	
<2	<3,5	1,0	9,9 - 11,2	17,4 - 19,8	1,7	19,1 - 20,4	34,6 - 37,2	2,4
2 - 3,3	3,5 - 5,8	1,1	11,2 - 12,5	19,8 - 22,2	1,8	20,4 - 21,7	37,2 - 39,8	2,5
3,3 - 4,6	5,8 - 8,2	1,2	12,5 - 13,8	22,2 - 24,5	1,9	21,7 - 23,0	39,8 - 42,4	2,6
4,6 - 5,9	8,2 - 10,3	1,3	13,8 - 15,2	24,5 - 27,2	2,0	23,0 - 24,4	42,4 - 45,3	2,7
5,9 - 7,3	10,3 - 12,9	1,4	15,2 - 16,5	27,2 - 29,6	2,1	24,4 - 25,7	45,3 - 48,1	2,8
7,3 - 8,6	12,9 - 15,1	1,5	16,5 - 17,8	29,6 - 32,1	2,2	25,7 - 27	48,1 - 50	2,9
8,6 - 9,9	15,1 - 17,4	1,6	17,8 - 19,1	32,1 - 34,6	2,3	>27	>50	3,0

Quadro 3 - Valores de vulnerabilidade para a declividade das encostas. Fonte: Crepani *et al.* 2001.

Com a classificação da vulnerabilidade, os modelos numéricos de dimensão interfluvial média, amplitude altimétrica e declividade, são substituídos na Equação 1 proposta por Crepani *et al.* (2001). A Equação 1 forneceu a média entre as vulnerabilidades, com as quais foi obtida a carta, com valores numéricos de vulnerabilidade, para o tema geomorfologia (R).

$$R = \frac{G + A + D}{3} \quad (1)$$

Onde:

R = Vulnerabilidade para o tema Geomorfologia

G = Vulnerabilidade atribuída ao Grau de dissecação (Dimensão interfluvial)

A = Vulnerabilidade atribuída à Amplitude Altimétrica

D = Vulnerabilidade atribuída à Declividade

A carta de intensidade pluviométrica, que representa o tema clima, foi confeccionada por meio da divisão do valor da pluviosidade média anual (mm) pela duração do período de chuva (meses) do local. Depois de atribuída à média das pluviosidades das cidades de Analândia, Descalvado e São Carlos foi determinada a vulnerabilidade do clima conforme o **quadro 4**. Desta forma, foi possível criar uma escala de erosividade da chuva representando a influência do clima nos processos morfodinâmicos.

Intensidade Pluviométrica (mm/mês)	Vulner.	Intensidade Pluviométrica (mm/mês)	Vulner.	Intensidade Pluviométrica (mm/mês)	Vulner.
<50	1,0	200 - 225	1,7	375 - 400	2,4
50 - 75	1,1	225 - 250	1,8	400 - 425	2,5
75 - 100	1,2	250 - 275	1,9	425 - 450	2,6
100 - 125	1,3	275 - 300	2,0	450 - 475	2,7
125 - 150	1,4	300 - 325	2,1	475 - 500	2,8
150 - 175	1,5	325 - 350	2,2	500 - 525	2,9
175 - 200	1,6	350 - 375	2,3	>525	3,0

Quadro 4 - Escala de erosividade da chuva e valores de vulnerabilidade à perda de solo. Fonte: Crepani *et al.* 2001.

Tipos de Rochas	Litogias	Grau de vulnerabilidade
Metamórficas	Quartzitos ou metaquartzitos	1,0
Ígneas	Riólito, Granito, Dacito	1,1
Ígneas Intrusivas	Granodiorito, Quartzo Diorito, Granulitos	1,2
Metamórficas	Migmatitos, Gnaisses	1,3
Ígneas Intrusivas	Fonólito, Nefelina Sienito, Traquito, Sienito	1,4
Ígneas	Andesito, Diorito, Basalto	1,5
Ígneas Intrusivas	Anortosito, Gabro, Peridotito	1,6
Metamórficas	Milonitos, Quartzo Muscovita, Biotita, Clorita Xisto	1,7
Ígneas e Metamórficas	Piroxenito, Anfíbolito Kimberlito, Dunito	1,8
Ígneas	Hornblenda, Tremolita, Actinolita Xisto	1,9
Metamórficas	Estaurolita Xisto, Xistos Granatíferos	2,0
Metamórficas	Filito, Metassilito	2,1
Metamórficas	Ardósia, Metargilito	2,2
Metamórficas	Mármore	2,3
Sedimentares	Arenitos Quartzosos ou Ortoquartzitos	2,4
Sedimentares	Conglomerados, Subgrauvacas	2,5
Sedimentares	Grauvacas, Arcózios	2,6
Sedimentares	Siltitos, Argilitos	2,7
Sedimentares	Folhelhos	2,8
Sedimentares	Calcários, Dolomitos, Margas, Evaporitos	2,9
Sedimentares	Sedimentos Incoolidados: Aluviões, Colúvios etc.	3,0

Quadro 5 - Escala de vulnerabilidade das rochas mais comuns. Fonte: Crepani *et al.* 2001.

CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS (Camargo et al., 1987)	CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS (EMBRAPA, 1999)	(V/E)
Latossolos Amarelos	LATOSSOLOS AMARELOS	1,0
Latossolos Vermelho-Amarelos	LATOSSOLOS VERMELHO-AMARELOS	
Latossolos Vermelho-Escuros	LATOSSOLOS VERMELHOS	
Latossolos Roxos	LATOSSOLOS VERMELHOS	
Latossolos Brunos	LATOSSOLOS BRUNOS	
Latossolos Húmicos	LATOSSOLOS (...) HÚMICOS	
Latossolos Húmicos Brunos	LATOSSOLOS BRUNO (...) HÚMICOS	
Podzólicos Amarelos	ARGISSOLOS	2,0
Podzólicos Vermelho-Amarelos	ARGISSOLOS LUVISSOLOS ALISSOLOS	
Podzólicos Vermelho-Escuros	NITOSSOLOS	
Terras Roxas Estruturadas	ARGISSOLOS LUVISSOLOS ALISSOLOS	
Brunos Não-Cálcicos	NITOSSOLOS	
Brunizéns	ARGISSOLOS NITOSSOLOS	
Brunizéns Avermelhados	LUVISSOLOS	
Rendzinas	CHERNOSSOLOS	
Planossolos	CHERNOSSOLOS	
Solos Hidromórficos (abrupticos)	CHERNOSSOLOS	
Podzóis	PLANOSSOLOS	
	PLANOSSOLOS	
	ESPODOSSOLOS	
Cambissolos	CAMBISSOLOS	2,5
Solos Litólicos	NEOSSOLOS LITÓLICOS	3,0
Solos Aluviais	NEOSSOLOS FLÚVICOS	
Regossolos	NEOSSOLOS REGOLÍTICOS	
Areias Quartzosas	NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS	
Vertissolos	VERTISSOLOS	
Solos Orgânicos	ORGANOSSOLOS	
Solos Hidromórficos (não abrupticos)	GLEISSOLOS	
Glei Húmico	GLEISSOLOS	
Glei Pouco Húmico	GLEISSOLOS	
Plintossolo	PLINTOSSOLOS	
Laterita Hidromórfica	PLINTOSSOLOS	
Solos Concrecionários		
Lateríticos	PLINTOSSOLOS	
Afloramento Rochoso	AFLORAMENTO ROCHOSO	

Quadro 6 - Valores de vulnerabilidade/estabilidade dos solos (V/E) dos solos. Modificado de Crepani *et al.* (2001), incluindo a correlação com a nova nomenclatura de solo de Embrapa (1999). Fonte: Crepani *et al.* (2001).

A carta de vulnerabilidade do tema geologia foi confeccionada através do cruzamento da carta de geologia produzida por Moraes & Lorandi (2009) e a carta de U.T.B. Após o cruzamento foi atribuído os valores de vulnerabilidade para cada litologia no interior das UTBs conforme o **quadro 5**.

Uma unidade de paisagem é estável quando favorece o processo de pedogênese, ou seja, o ambiente favorece a formação e o desenvolvido do solo. A carta de

vulnerabilidade a pedologia foi produzida após o cruzamento da carta de pedologia e de UTB. Os valores são atribuídos a cada litologia individualmente com base no **Quadro 6**.

A carta de vulnerabilidade vegetação/uso do solo foi confeccionada através do cruzamento da carta de vegetação/uso do solo e a da carta U.T.B. Após o cruzamento das duas cartas, foram atribuídos valores de vulnerabilidade para este tema no interior das UTBs conforme o **quadro 7**.

Tipo de vegetação e densidade de cobertura (influência da vegetação)		
Valor	Classe	Tipo
ao redor de(1,0)	Não favorece (ao redor de 1,0)	Mata e Reflorestamento;
ao redor de(2,0)	Moderado	Pastagem;
ao redor de(3,0)	Favorece	Agricultura de Ciclo curto, Cana-de-açúcar.

Quadro 7 - Tipo de vegetação e densidade de cobertura. Fonte: modificado de Spörl (2001).

A próxima etapa foi a realização do cruzamento de todos os temas, que tem por finalidade a obtenção da média entre os modelos numéricos (geologia, geomorfologia, solos, vegetação e uso do solo) e desta forma integra-se a contribuição de cada componente do meio físico nas diferentes UTBs - equação 2, Crepani *et al.* (2001). Nesta fase de construção de dados fez-se necessário à aplicação da Equação 2, resultando assim em um único modelo numérico, contendo os valores de vulnerabilidade existentes no intervalo de 1.0 a 3.0, dentro de cada uma das unidades territoriais básicas.

$$V = \frac{G + R + S + VgU + C}{5} \quad (2)$$

Onde:

V= Vulnerabilidade à erosão;

G = Vulnerabilidade para o tema Geologia;

R =Vulnerabilidade para o tema Geomorfologia;

S = Vulnerabilidade par o tema Solo;

VgU = Vulnerabilidade para o tema Vegetação e Uso do Solo;

C = Vulnerabilidade para o tema Clima.

Na etapa final para classificar o resultado dos intervalos numéricos a carta temática de vulnerabilidade à erosão foi ilustrada de acordo com as cores do **quadro 8**.

UNIDADE DE PAISAGEM	MÉDIA		GRAU DE VULNERABILIDADE	GRAU DE SATURAÇÃO			
	VERM	VERDE		AZUL	CORES		
U1	3,0			255	0	0	
U2	2,9			255	51	0	
U3	2,8		VULNERÁVEL	255	102	0	
U4	2,7			255	153	0	
U5	2,6			255	204	0	
U6	2,5		MODERADAM.	255	255	0	
U7	2,4		VULNERÁVEL	204	255	0	
U8	2,3			153	255	0	
U9	2,2			102	255	0	
U10	2,1		MEDIANAM.	51	255	0	
U11	2,0		ESTÁVEL	0	255	0	
U12	1,9		VULNERÁVEL	0	255	51	
U13	1,8			0	255	102	
U14	1,7			0	255	153	
U15	1,6		MODERADAM.	0	200	204	
U16	1,5		ESTÁVEL	0	255	255	
U17	1,4			0	204	255	
U18	1,3			0	153	255	
U19	1,2			0	102	255	
U20	1,1		ESTÁVEL	0	51	255	
U21	1,0			0	0	255	

Quadro 8 - Cores e Intervalos de Vulnerabilidade/Estabilidade usado na Definição das Classes de Vulnerabilidade à Erosão. Fonte: Crepani *et al.* (2001).

RESULTADOS

A análise dos resultados foi realizada a partir da apreciação das tabelas de vulnerabilidade/estabilidade situada na metodologia de Crepani *et al.* (2001), nas quais foram constatadas a vulnerabilidade de cada tema e sub-tema na bacia hidrográfica do Ribeirão do Pântano.

Geologia

A resistência à erosão das rochas que compõem uma unidade de paisagem natural é consequência do grau de coesão das rochas. O grau de coesão das rochas significa a intensidade da ligação entre os minerais ou partículas que as constituem. Sendo assim, foram atribuídos valores próximos à estabilidade (1,0) para as rochas que apresentam maior grau de coesão para as condições as quais estão submetidas à unidade de paisagem natural, valores intermediários (em torno de 2,0) para as rochas que apresentam valores intermediários no seu grau de coesão, e valores próximos à vulnerabilidade (3,0) para as rochas que apresentam os menores valores no seu grau de coesão. O objetivo de se atribuir uma posição dentro de uma escala de vulnerabilidade é empírico.

No mapa de vulnerabilidade ao tema geologia, Barbosa & Lorandi (2009), observa-se um predomínio de áreas classificadas como “vulnerável” ao tema geologia, o que indica a necessidade de especial atenção. Este local que foi classificado como “vulnerável” pode ter influenciada litologia, pois é composta pelo predomínio da formação Santa Rita do Passa Quatro, a qual é constituída de areia sem qualquer tipo de estrutura sedimentar, e uma menor porção de sedimentos Quaternários.

A formação Santa Rita do Passa Quatro tem uma distribuição de até 94% de areia com matriz argilosa de até 19%. Este predomínio de areia na distribuição da área pode ser um dos fatores preponderantes para a obtenção do resultado “classe vulnerável” ao tema geologia. Os sedimentos Quaternários na bacia do Ribeirão do Pântano são classificados como “vulnerável”, pois são encontrados ao longo do rio e com maior abrangência em suas cabeceiras.

As áreas classificadas como moderadamente vulneráveis em relação à geologia têm maior ocorrência na foz da bacia. A Formação Itaqueri, a Formação Botucatu e a Formação Pirambóia. Estas formações recebem respectivamente valores de vulnerabilidade 2,5; 2,4 e 2,4 sendo classificadas como um grau intermediário de coesão. A Formação Pirambóia é constituída por arenitos, variando de médio a fino, ocupando a menor área na bacia do Pântano em comparação com as geologias da classe moderadamente vulnerável. A Formação Itaqueri pode ser visualizada nas nascentes da bacia do Pântano, sendo constituída litologicamente por membros alternados de arenito com cimento argiloso folhelhos e conglomerados ferríferos ou não. A Formação Botucatu, dentre as três formações geológicas na classe moderadamente vulnerável, é a que possui maior área de superfície e encontra-se por toda bacia do Pântano. Esta formação é constituída por arenitos eólicos muito finos à médios, regularmente e bem classificados, e a sua alta permeabilidade, porosidade e homogeneidade contribuem para formação do aquífero Guarani.

As áreas classificadas como moderadamente estável estão dispersas ao longo da bacia, sendo compostas por duas formações geológicas: a Formação Serra Geral e as Intrusivas Básicas que recebem os valores respectivamente de 1,5 e 1,4, constituindo um alto grau de coesão. A Formação Serra Geral e as Intrusivas Básicas são constituídas de rochas originárias dos derrames de lavas basálticas e pelos diabásios intrusivos tanto na forma de soleiras (sills) como de diques. As classes de vulnerabilidade encontradas para o tema geologia são: A classe vulnerável que apresenta uma área de 232,47 km², correspondendo à 59,4 % da bacia. A classe moderadamente vulnerável que apresenta uma área de 51,64 Km², sendo 13,2 % da bacia. E a classe moderadamente estável que apresenta uma área de 107,01 km², referente à 27,4% da bacia.

Pedologia

A erodibilidade dos solos varia de acordo com as propriedades do mesmo. Esta erodibilidade é considerada a capacidade de resistir aos processos erosivos. O solo oferece resistência à ação erosiva da água determinada por diversas de suas características ou propriedades físicas e químicas e pela densidade da cobertura vegetal.

Os Latossolos são solos bem desenvolvidos, possuem grande profundidade e porosidade, sendo considerados solos velhos e maduros. Apresentam ainda, os horizontes A, B, e C bem desenvolvidos. Em geral são poucos suscetíveis ao processo erosivo e recebem a classificação de valor 1, ou seja, Classe de vulnerabilidade estável.

Os solos Podzólicos, quando comparados com os Latossolos, apresentam profundidade menor e são solos menos estáveis e menos intemperizados. Nos solos Podzólicos ocorre também um horizonte B, onde existe acumulação de argila, isto é, durante o processo de formação uma boa parte da argila se translocou por eluviação do horizonte A para o horizonte B, acumulando-se. Nestes solos a diferença de textura, entre os horizontes A e B (ocasionada pelo acúmulo de argila no horizonte B), dificulta a infiltração de água no perfil, o que favorece os processos erosivos, assim recebem a classificação 2, sendo considerado de vulnerabilidade intermediária.

O grau de vulnerabilidade à erosão, classificado como estável, foi influenciado quase que em sua totalidade pelo Latossolo Vermelho-Amarelo. A classe vulnerável refere-se em quase toda sua totalidade as áreas de Neossolo Quartzarênico.

As informações quantitativas à distribuição espacial da vulnerabilidade ao tema solo. Para a classe vulnerável apresenta-se uma área de 59,40 km², correspondendo a 15,14% da bacia. À classe moderadamente estável apresenta-se uma área de 18,28 km², representando 4,66 % da bacia. A classe mediantemente vulnerável apresenta-se uma área de 77,65 km², equivalente a 19,78 % da bacia. A área 129,07 km² da bacia que recebe a classificação mediantemente estável vulnerável representa 32,89 % da bacia. A classe estável apresenta-se uma área de 108,08 km², sendo 27,54 % da bacia.

Vegetação e uso do solo

A resistência à erosão das rochas que compõem uma unidade de paisagem natural é conseqüência do grau de coesão das rochas. O grau de coesão das rochas significa a intensidade da ligação entre os minerais ou partículas que as constituem. Sendo assim, foram atribuídos valores próximos à estabilidade (1,0) para as rochas que apresentam maior grau de coesão para as condições as quais estão submetidas à unidade

de paisagem natural, valores intermediários (em torno de 2,0) para as rochas que apresentam valores intermediários no seu grau de coesão, e valores próximos à vulnerabilidade (3,0) para as rochas que apresentam os menores valores no seu grau de coesão. O objetivo de se atribuir uma posição dentro de uma escala de vulnerabilidade é empírico.

As classes de vegetação e uso do solo de Moraes & Lorandi (2007), para bacia hidrográfica do Ribeirão do Pântano no período de 2006, foram:

- Mata Ciliar – nesta classe foram agrupadas as áreas cobertas pela mata ciliar que acompanha os rios;
- Mata Mesófila – nesta classe foram agrupadas as áreas cobertas por remanescentes da Floresta Estacional Semi-decídua;
- Cerrado – referem-se aos remanescentes de cerrado “senso estrito” e cerradão;
- Cana-de-açúcar – refere-se às áreas que se encontravam cultivadas com cana-de-açúcar na época da passagem do satélite;
- Laranja – áreas que apresentam o cultivo de laranja;
- Eucalipto – áreas de cultivo de espécies de reflorestamento, onde predominam variedades de *Eucalyptus*;
- Pastagem – corresponde às áreas de pastagem natural e cultivada;
- Solo exposto – áreas onde o solo aparece desprovido de vegetação ou algum outro tipo de ocupação, incluindo as áreas de preparo do solo para cultivos, principalmente da cana-de-açúcar, e loteamentos sem cobertura vegetal;
- Represa – corresponde às áreas cobertas por represas;
- Pesque-pague – corresponde a um pesque-pague existente na área;
- Usos diversos – áreas que apresentam culturas temporárias de curta ou média duração, incluindo cultivos de milho, sorgo, mandioca, café, algodão, entre outros tipos de cultivo que também ocorrem na bacia, apesar da baixa representatividade.

As informações quantitativas referentes à distribuição espacial da vulnerabilidade ao tema uso do solo e vegetação são: Para a classe vulnerável apresenta-se uma área de 313,03 km², sendo 79,69 % da bacia. A classe moderadamente estável corresponde a 65,05 km² da bacia. À classe mediamente estável vulnerável apresenta-se uma área de 14,14 km², equivalente a 3,6% da bacia. À classificação estável apresenta-se uma área de 0,56 km², sendo 0,14% da bacia.

Clima

O tipo climático da região é o Clima Tropical Úmido-Seco, com 1 a 3 meses de seca. Este macro tipo climático apresenta forte heterogeneidade térmica, expressando médias térmicas anuais que vão de 20°C, na porção sul, a 26°C, na porção centro-norte. A média das máximas pode atingir 36°C em setembro, o mês mais quente na região.

Segundo Bertoni & Lombardi (1999), a chuva é um fator climático de maior importância à erosão do solo. As gotas de chuva, que golpeiam o solo, contribuem para o processo erosivo, em ao menos por três formas:

- Desprendendo as partículas de solo no local que sofre o impacto;
- Transportando, por salpicamento, as partículas desprendidas;
- Imprimindo energia, em forma de turbulência, às águas superficiais.

A bacia hidrográfica do Ribeirão do Pântano está inserida na sua maior totalidade na cidade de Descalvado, e em uma menor área nas cidades de Analândia e São Carlos. Os dados pluviométricos levantados, segundo SIGRH (Sistema de Informações para o Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo), situam-se no período de 1978 a 2004 (**quadro 9**).

Municípios	Intensidade pluviométrica de acordo com a metodologia	Nome do Posto	Coord. dos Postos	
			latitude:	longitude:
Descalvado	131,128	Faz. Santa Rita	21°58'	47°42'
São Carlos	127,427	Faz. Santa Barbara	22°06'	47°59'
Analândia	120,371	Analândia	22°08'	47°40'
média total	126,309	-	-	-

Quadro 9 - Dados pluviométricos dos postos que foram utilizados na Bacia do Pântano do período 1978-2004. Fonte: SIGRH (2009).

Para a representação dos dados pluviométricos da bacia, foi realizada a média aritmética dos dados obtidos para as três cidades. Após obter a média, o grau de vulnerabilidade foi classificado como sendo moderadamente estável.

Geomorfologia

A influência do relevo no processo de erosão é consequência da sua morfologia que se subdivide em morfografia, aspectos descritivos do terreno como a sua aparência, e em morfometria, aspectos quantitativos do relevo como altitude, amplitude altimétrica, declividade e intensidade de dissecação pela drenagem, Spörl (2001). No tema geomorfologia foi confeccionado no mapa da “vulnerabilidade ao tema geomorfologia” que procurou descrever o modelo do terreno, fornecendo informações sobre as suas formas (morfológicas), variação altimétrica (amplitude altimétrica) e intensidade de dissecação (dimensão interfluvial) bem como a declividade que serão detalhas posteriormente através da vulnerabilidade a estes sub-temas.

O resultado foi obtido através do cruzamento das informações de três sub-temas, referentes ao tema geomorfologia. Os sub-temas utilizados no cruzamento foram: i) amplitude altimétrica, ii) declividade e iii) dimensão interfluvial, os quais forneceram as seguintes classes de vulnerabilidade: i) mod. estável, ii) mod. estável e med. estável vulnerável e iii) mod. vulnerável, respectivamente. Por meio dos dados obtidos foi constatado que a vulnerabilidade, na foz da bacia hidrográfica do Ribeirão do Pântano, é classificada como pertencente à classe mediantemente estável vulnerável. Foi constatado que a vulnerabilidade, na nascente da bacia hidrográfica do Ribeirão do Pântano, é classificada como pertencente à classe moderadamente vulnerável e vulnerável.

Foram classificadas as vulnerabilidades ao tema geomorfologia, o qual atribuiu quatro classes sendo que: a mediantemente estável vulnerável apresenta uma área de 170,83 km², a classe moderadamente estável com uma área de 0,60 km², a classe moderadamente vulnerável com uma área de 153,04 km² e a classe vulnerável que apresenta uma área de 68,33 km².

Dimensão Interfluvial

Para obtenção da carta de vulnerabilidade de dimensão interfluvial, a bacia de estudo foi subdividida em menor número de sub-bacias. Para a bacia em estudo este número foi de seis sub-bacias. No interior de cada sub-bacia é medida a distância dos interflúvios em relação à hidrografia sobre as curvas de nível. Após obter a média aritmética de cada uma das seis bacias, foi classificada a vulnerabilidade do sub-tema.

Na carta de vulnerabilidade ao sub-tema dimensão interfluvial predomina a classe vulnerável, contendo uma área de 323,7 Km² correspondente a 83,3% da área total da bacia. Ao norte da bacia foi constatada a classe moderadamente vulnerável, contendo

uma área de 65,08 Km² equivalente a 16,7% da área total da bacia, sendo que a área que comporta a foz do Ribeirão do Pântano contém a menor altitude: 540 m.

Declividade

Na carta de vulnerabilidade ao sub-tema declividade predomina a classe mediamente estável vulnerável, contendo uma área de 208,79 Km² correspondente a 53,34% da área total da bacia. A classe moderadamente estável contém uma área de 38,16 Km² equivalente a 9,75 % da área total da bacia. A classe moderadamente vulnerável contém uma área de 104,65 Km² correspondente a 26,74% da área total da bacia. Contendo uma área de 24,29 Km², a classe vulnerável corresponde a 6,21% da área total da bacia. Já a classe estável contém uma área de 15,51 Km² correspondente a 3,96% da área total da bacia.

Amplitude Altimétrica

À vulnerabilidade ao sub-tema amplitude altimétrica, consta o predomínio da classe mediamente estável vulnerável, contendo uma área de 146,93 Km² correspondente a 37,54 % da área total da bacia. A classe moderadamente estável contém uma área de 87,98 Km² correspondente a 22,48 % da área total da bacia. A classe moderadamente vulnerável contém uma área de 32,09 Km² correspondente a 8,2% da área total da bacia e a classe vulnerável contém uma área de 118,94 Km² correspondente a 30,39% da área total da bacia. Por fim, a classe estável contém uma área de 5,48 Km² correspondente a 1,4 % da área total da bacia. Na carta de vulnerabilidade ao sub-tema amplitude altimétrica, predomina a classe mediamente estável vulnerável na sua porção média até a foz da bacia.

Vulnerabilidade à Erosão

Com a aplicação da média aritmética dos cinco temas envolvidos na metodologia dentro de cada UTB (Unidade Territorial Básica), recebeu-se um valor final resultante, buscando representar a posição desta unidade dentro da escala de vulnerabilidade natural à erosão, conforme mostra a **figura 1**.

O resultado, exposto na, foi obtido através do cruzamento das informações de cinco temas, na bacia hidrográfica do Ribeirão do Pântano. Os temas utilizados no cruzamento foram: i) geologia, ii) geomorfologia, iii) pedologia, iv) vegetação e uso do solo, bem como v) climatologia, os quais forneceram as classes de vulnerabilidade de i) moderadamente estável e vulnerável, ii) mediamente estável vulnerável, iii) mediamente

estável vulnerável, moderadamente vulnerável e estável, iv) vulnerável e estável e v) moderadamente estável, respectivamente. Por meio dos dados obtidos, mostrados na **figura 1** foi constatado que a vulnerabilidade, na foz da bacia hidrográfica do Ribeirão do Pântano, é classificada como pertencente à classe mediamente estável vulnerável.

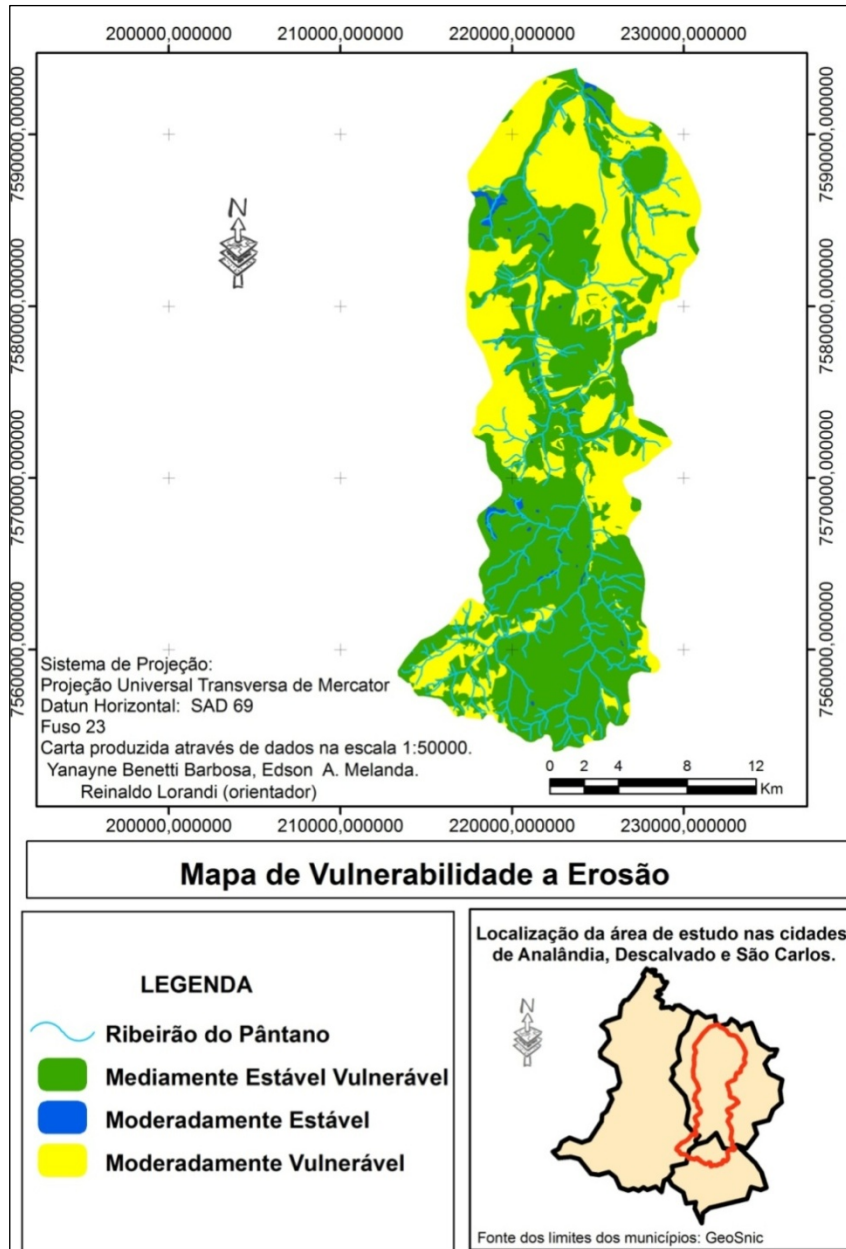


Figura 1 - Vulnerabilidade à erosão.

A distribuição do percentual de vulnerabilidade à erosão predomina a classe mediamente estável vulnerável contendo uma área de 236,85 Km² correspondente a 59,12 % da área total da bacia. A classe moderadamente estável contém uma área de 2,64 Km²

correspondente a 0,66% da área total da bacia. A classe moderadamente vulnerável contém uma área de 161,13Km² correspondente a 40,22 % da área total da bacia.

O resultado observado para a bacia hidrográfica do Ribeirão do Pântano referente as classes de vulnerabilidade são fruto de uma média aritmética, desta maneira cada tema exerce a mesma influência no resultado final. O presente trabalho é caracterizado como sendo um estudo acadêmico da bacia hidrográfica do Ribeirão do Pântano, na escala de 1:50.000, a utilização dos resultados obtidos como forma de uso da bacia hidrográfica, devem ser realizadas com certas restrições, pois um melhor detalhamento em escala apropriada para cada caso deve ser realizado.

CONCLUSÕES

Como observado na bacia hidrográfica do Pântano, ocorre o predomínio da formação geológica Santa Rita do Passa Quatro, sendo constituída de areia sem qualquer tipo de estrutura sedimentar, sendo classificada como pertencente à classe vulnerável.

Para o tema solo, os resultados obtidos mostram que há um predomínio da classe medianamente estável vulnerável, como observado no mapa de vulnerabilidade ao tema solo. As áreas com solos vulneráveis (15,14% da área total) e com solo moderadamente vulnerável (19,78% da área total) estão localizadas ao norte da bacia hidrográfica (fz). Essas regiões requerem especial atenção quando o seu uso for direcionado para atividades agrícolas e pecuárias, pois, como apresentam os menores valores de vulnerabilidade, o uso inadequado dessas regiões pode prejudicar o solo.

As preocupações ambientais referentes ao uso do solo cresceram nas últimas décadas, pois a maioria das interferências antrópicas, quando realizadas de maneira incorreta no manejo do solo, pode acarretar o desequilíbrio ambiental e afetar desta maneira as águas superficiais e subterrâneas, a fauna e a vegetação, ocasionando danos e prejuízos tanto à população local quanto ao ecossistema da região.

Para o tema uso do solo e vegetação, os resultados mostram que os menores valores de vulnerabilidade para esse tema estão localizados nas áreas mais próximas às margens dos rios. As classes encontradas para essas regiões são: a estável (0,14% da área total), a medianamente estável vulnerável (3,6% da área total) e a moderadamente estável (16,56% da área total). A presença da classe vulnerável foi observada na maior parte da bacia (79,69% da área total), localizada, geralmente, em áreas adjacentes às margens dos rios. Realizando uma análise geral do tema uso do solo e vegetação, fica evidente que na bacia do Ribeirão do Pântano ocorre o predomínio de cana-de-açúcar e laranja. A pouca

vegetação nativa encontrada na bacia ocorre principalmente nas regiões próximas às margens dos rios.

Analisando o tema geomorfologia, foi constatado que existe uma divisão da vulnerabilidade a esse tema na bacia hidrográfica, pois a região norte (foz da bacia) é classificada como sendo medianamente estável vulnerável, a região sul (nascente da bacia), como sendo moderadamente vulnerável e vulnerável, e, por fim, a parte central, localizada entre os extremos norte e sul, como sendo moderadamente vulnerável e apresentando algumas regiões medianamente estáveis vulneráveis. Tais fatos estão correlacionados com a topografia de cada região, pois, na nascente da bacia, (região sul) a topografia é mais elevada e apresenta declividade acentuada e relevo com formações de *cuestas*, morros e colinas. Esses fatores favorecem a erosão, sendo assim, valores de vulnerabilidade maiores são encontrados nesta região. A foz da bacia hidrográfica (região norte) é formada por planícies e planícies de inundação, caracterizando, desta maneira, um tipo de topografia que contribui de forma discreta para o aumento da erosão. Os menores valores de vulnerabilidade foram encontrados nessa região, como constatado no mapa de vulnerabilidade ao tema geomorfologia. A região compreendida entre os extremos sul e o norte da bacia apresenta topologia intermediária às encontradas na nascente e na foz da bacia, apresentando, desta maneira, valores intermediários de vulnerabilidade.

Na carta de vulnerabilidade à erosão, foram encontradas três classes de vulnerabilidade: i) moderadamente estável, ii) moderadamente vulnerável e iii) medianamente estável vulnerável. Porém, na bacia do Ribeirão do Pântano, ocorre o predomínio de duas classes, a moderadamente estável vulnerável (59,12% da área total) e a moderadamente vulnerável (40,22% da área total). As maiores classes de erosão (classe moderadamente vulnerável) foram constatadas nas áreas periféricas às margens dos rios que compõem a bacia hidrográfica do presente trabalho. As áreas que fazem parte das margens dos rios apresentam, em sua totalidade, a classe moderadamente estável vulnerável. O solo nas regiões próximas aos rios apresenta um índice menor de erosão quando comparado ao solo das regiões mais distantes das margens dos mesmos. A classe moderadamente estável (0,66% da área total) ocorre, na maioria dos casos, em algumas nascentes dos rios que compõem a bacia hidrográfica.

A utilização dos resultados deste mapeamento traz subsídios para as novas atitudes e suporte à gestão do meio físico, proporcionando o desenvolvimento regional adequado, de modo a evitar a ocorrência de erosão nas áreas propícias a ela. Os resultados alcançados no presente trabalho mostraram que as técnicas de geoprocessamento são muito eficientes no planejamento ambiental.

Este estudo forneceu informações na escala 1:50.000, o qual merece maior detalhamento e verificação em campo, caso o interesse seja utilizá-lo na realização de novos empreendimentos na bacia hidrográfica do Ribeirão do Pântano. O principal resultado deste estudo forneceu, de acordo com a metodologia utilizada, três classes de vulnerabilidade, porém nos mapas intermediários foram encontradas outras classes, como a classe vulnerável, mostrando desta maneira que além dos resultados principais os resultados intermediários também devem ser levados em consideração.

REFERÊNCIAS

- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 4. ed. São Paulo: Ícone, 1999. 335 p.
- BARBOSA, Y. B & LORANDI, L. Estudo da Vulnerabilidade da Bacia do Ribeirão do Pântano: ênfase ao tema geologia. In: VI Congresso de Meio Ambiente da AUGM, 2009. Universidade Federal de São Carlos. **Anais...** São Carlos. 2009. p.1-15.
- CREPANI, E.; *et al.* **Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento Aplicados ao Zoneamento Ecológico-Econômico ao Ordenamento Territorial**. São José dos Campos: INPE, 2001. 113 p. Disponível em: <<http://www.inpe.br/biblioteca>> Acesso em: 10 jun. 2007.
- CREPANI, E. *et al.* **Curso sensoriamento remoto aplicado ao zoneamento ecológico-econômico**: metodologia desenvolvida para subsidiar o zoneamento ecológico econômico da Amazônia Legal. São José dos Campos: INPE, 1996. 19 p. (Convenio SAE/INPE). UD/82). (INPE-6145-PUD/82) Disponível em: <<http://www.inpe.br/biblioteca>> Acesso em: jun 2007.
- CHISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1980, 183 p.
- COSTA, N. M. C & SILVA, J. X. Geoprocessamento Aplicado à Criação de Planos de Manejo: O caso do Parque estadual da Pedra Branca- Rio de Janeiro. In: (Org.) SILVA, X. S & ZAIDAN, R. T. **Geoprocessamento e Análise Ambiental**. Rio de Janeiro: Bertrand, p. 67-114, 2004.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: Embrapa, 1999, 412 p.
- MORAES, M. E & LORANDI, R. Análise do Processo de Ocupação do Solo na Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Pântano, **Estudos Geográficos**: Revista Eletrônica de Geografia, 2007. Disponível em: <<http://cecemca.rc.unesp.br/ojs/index.php/estgeo>>
- MORAES, M. E. B. & LORANDI, R. Análise dos elementos da paisagem na bacia hidrográfica do ribeirão do Pântano (SP) como subsídio ao zoneamento ambiental. **Geografia**, Rio Claro (SP), v. 34, set/dez p. 577-594, 2009
- ROSS, J. L. S. MOROZ, I. C. Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo. São Paulo: FFLCH/USP/IPT/FAPESP, 1997. Mapas e Relatório.
- SALOMÃO, F. X. T & IWASA, O. Y. Erosão e ocupação rural e urbana. In: **Associação Brasileira de Geologia de Engenharia**. Curso de Geologia aplicada ao meio ambiente. São Paulo: IPT, cap. 3, p. 31-57. 1995.
- SIGRH - Sistema de Informações para o Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo. Disponível em: <<http://www.sigrh.sp.gov.br>>. Acesso em: 10 jan 2009.
- SPÖRL, C. **Análise da fragilidade ambiental relevo-solo com aplicação de três**

modelos alternativos nas altas bacias do rio Jaguari Mirim, ribeirão do Quartel e ribeirão da Prata. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, São Paulo, 159 p., 2001.

TRICART, J. **Ecodinâmica.** Rio de Janeiro: IBGE/ SUPREN, 1977.

COMO CITAR ESTE ARTIGO:

BARBOSA, Yanayne Benetti & LORANDI, Reinaldo. Geoprocessamento aplicado ao estudo da vulnerabilidade à erosão na bacia hidrográfica do ribeirão do Pântano nos municípios de São Carlos, Analândia e Descalvado (SP). **Geografia (Londrina)**, Londrina, v. 21, n. 1, p. 103-123, jan./abr. 2012. URL: <<http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/geografia>>

EDITOR DE SEÇÃO:

Edison Archela.

TRAMITAÇÃO DO ARTIGO:

- ✓ Recebido em 29/08/2011.
- ✓ Aceito para publicação em 07/05/2013.

