

ESTUDO DA VULNERABILIDADE À EROSÃO NA ALTA BACIA DO RIO JACARÉ PEPIRA UTILIZANDO MODELO BASEADO NA EQUAÇÃO UNIVERSAL DE PERDA DE SOLO

ASSESSMENT OF EROSION VULNERABILITY IN THE JACARÉ PEPIRA RIVER BASIN BASED ON THE UNIVERSAL SOIL LOSS MODEL

Nóbrega, C.^{1‡} ; Costa, A.L.C.²

¹Docente Departamento de Geologia da UNESP/Rio Claro – in memorian
e-mail: cnobrega@rc.unesp.br

²Mestre em Geociências e Meio Ambiente UNESP/Rio Claro
e-mail: junior@alaya.com.br

RESUMO

Na alta porção da Bacia Hidrográfica do rio Jacaré Pepira, no Estado de São Paulo, a expansão territorial dos agronegócios tem proporcionado a aceleração dos processos erosivos, o que acarreta impactos à preservação dos recursos naturais e paisagísticos da região. No presente trabalho, realizou-se estudo sobre a vulnerabilidade à erosão em área definida por sub-bacias situadas em uma Área de Proteção Ambiental (APA Corumbataí), avaliando-se ainda a adequação das atuais formas de uso e ocupação do solo frente a esta vulnerabilidade. A análise da vulnerabilidade foi feita com base na aplicação do modelo matemático representado pela Equação Universal de Perda de Solo. Os procedimentos operacionais foram feitos com apoio de imagens de satélite e de Sistema de Informação Geográfica/Spring. O Mapa de Vulnerabilidade à erosão foi obtido pela contraposição dos valores do Potencial Antrópico de Erosão (CP), que considera os fatores intervenientes na erosão de origem antrópica, com o Potencial Antrópico de Erosão tolerável (CPT). Este depende da capacidade de perdas de solo tolerável, definidas previamente para diferentes tipos de solo existentes na área, e do Potencial Natural de Erosão (PNE), que considera os fatores naturais intervenientes na erosão. A avaliação da vulnerabilidade foi feita para duas datas (1988 e 2004) com a finalidade de analisar a evolução da ocupação agrícola. Os resultados indicaram que a cana de açúcar apresentou a maior expansão entre os cenários e apresentou 18,8% de sua área com elevado grau de vulnerabilidade à erosão. Assim, considera-se necessário

Recebido em: 13/05/2006	<i>HOLOS Environment</i> , v.8 n.1, 2008 - P. 2
Liberado para Publicação em: 30/06/2008	ISSN:1519-8634 (ON-LINE)

acompanhar a evolução das formas de uso e ocupação do solo, de maneira a compatibilizar as atividades existentes com a preservação dos recursos naturais e da vocação ambiental da área.

Palavras-chave: Erosão. Equação Universal de Perda de Solo. Bacia hidrográfica. Vulnerabilidade. Zoneamento ambiental.

ABSTRACT

In the upper Jacaré Pepira River Basin, in the state of São Paulo, territorial expansion of agrobusiness has caused the acceleration of the erosion process, leading to impacts on natural resources and the landscape in the region. In the present study, an analysis of erosion vulnerability was attempted in an area defined by sub-basins in an Environmental Protection Area (APA Corumbataí). The appropriateness of current land use in light of this vulnerability analysis was also evaluated. The analysis attempted was based on the Universal Soil Loss Equation (USLE) model. Operational procedures were carried out with the aid of satellite images and GIS/*Spring*. The erosion vulnerability map was obtained for the relation of Anthropogenic Erosion Potential, which considers only anthropogenic erosion factors, and Tolerable Anthropogenic Erosion Potential. This depends on tolerable soil loss capacity, pre-defined for different types of soil in the area, and on Natural Erosion Potential, considering natural erosion factors. The vulnerability analysis was done in 1988 and 2004 for land use evolution comparison. The results indicated that sugar cane was the type of land use that had expanded the most, and showed 18.8% of the area with high erosion vulnerability. It is therefore necessary to monitor the evolution of land use evolution and seek ways to make existing activities compatible with the preservation of natural resources and the environmental vocation of the area.

Keywords: Erosion. Universal Soil Loss Equation. Watershed. Vulnerability. Environmental zoning.

1. INTRODUÇÃO

Modelos matemáticos são empregados na previsão do processo erosivo, tanto para planejamento conservacionista (preventivo) como em seu controle, apresentando a possibilidade de estudar vários cenários diferentes, com baixo custo e de forma rápida.

Entre estes modelos, destaca-se o modelo empírico da Equação Universal de Perda de Solo (EUPS). Embora apresentando limitações, os valores numéricos da EUPS podem servir para categorizar qualitativamente as áreas quanto a sua maior ou menor susceptibilidade à erosão laminar em estudos regionais de erosão

(INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO, 1986).

O presente trabalho versa sobre a avaliação da vulnerabilidade à erosão na Alta Bacia Hidrográfica do Rio Jacaré Pepira, de maneira que a EUPS pôde ser aplicada no estudo. Adotou-se o conceito em que a vulnerabilidade expressa a capacidade de resposta aos danos ou resiliência do corpo receptor. Neste caso, vulnerabilidade à erosão é a capacidade de resposta dos solos às conseqüências do processo erosivo (MARANDOLA JÚNIOR; HOGAN, 2004).

A Alta Bacia Hidrográfica do Rio Jacaré Pepira, objeto deste estudo, localiza-se na região central do Estado de São Paulo e integra a bacia Tietê/Jacaré do Estado de São Paulo (Figura 1). Corresponde à Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos 13, e se encontra parcialmente abrangida pela Área de Proteção Ambiental de Corumbataí (APA Corumbataí).

As Áreas de Proteção Ambiental constituem um tipo de Unidades de Conservação Ambiental, onde o uso do território é disciplinado por lei, com o intuito de conciliar as atividades antrópicas com a preservação da qualidade ambiental.

No perímetro da APA Corumbataí, as cuestas basálticas compõem um cenário onde se destacam: a Serra de São Pedro e Itaqueri; os “morros testemunhos”, relacionados com antigos níveis altimétricos da região; os recursos hídricos superficiais; e os remanescentes de Mata Atlântica e de cerrados, característicos da cobertura vegetal primitiva.

Favorecida pelas características naturais, localização, e baixos níveis de poluição, resultado do reduzido desenvolvimento industrial, a região apresenta forte vocação turística relacionada diretamente com as características geomorfológicas da área. Como exemplo, destaca-se o Rio Jacaré Pepira, com corredeiras próprias à prática de esportes de aventura; e o relevo de cuestas, que forma diversas cachoeiras e exibe uma paisagem de beleza cênica.

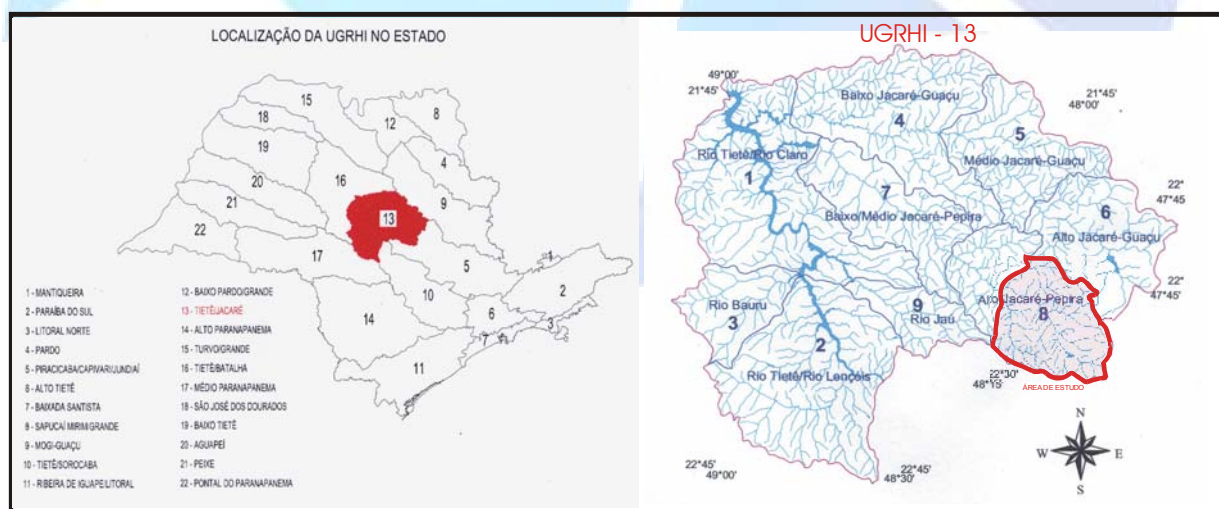


Figura 1. Localização da área de estudo no Estado de São Paulo.

Fonte: (INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2000).

Na atual fase de desenvolvimento da região, em que a expansão agropecuária pressiona a ocupação territorial, a erosão é um processo do meio físico altamente potencializado pelos diferentes tipos de uso e ocupação do solo.

O presente trabalho tem como objetivo estudar a vulnerabilidade à erosão na Alta Bacia Hidrográfica do Rio Jacaré Pepira, aplicando o modelo matemático empírico da Equação Universal de Perda de Solo (EUPS), em ambiente do Sistema de Informação Geográfica (SIG).

2. MÉTODO

2.1 Procedimento Geral

Para avaliação da vulnerabilidade à erosão da área de estudo, foi considerado o seguinte procedimento geral: obtenção de mapas de vulnerabilidade da área para dois cenários (1988 e 2004); comparação entre as avaliações de vulnerabilidade para as duas datas consideradas; obtenção do mapa de adequação do uso do solo aos diferentes tipos de uso e ocupação existentes na área; avaliação do mapa de adequação em relação ao uso atual da área.

O procedimento descrito anteriormente baseou-se na aplicação da EUPS e utilizou recursos de sensoriamento remoto, tratamento digital de imagens e geoprocessamento. O *software SPRING* versão 4.1 Beta, escolhido para integração e armazenamento de dados, é um programa para Sistemas de Informações Geográficas nacional e de domínio público, desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), que utiliza o modelo de campos e objetos de forma unificada.

Conforme o conceito de modelo de dados do *SPRING* criou-se um Banco de dados denominado **EROSÃO**, e as informações utilizadas neste estudo foram armazenadas no Projeto **JACARÉ**, definido com os seguintes parâmetros:

- Projeção UTM/datum Córrego Alegre
- Zona 22 Sul
- Retângulo Envolvente (coordenadas geográficas localizadas nos limites da área de trabalho, nos extremos a sudoeste e nordeste).

X1: 22°10'S e 48°20' W

X2: 22°35'S e 47°50' W

A seguir, apresentam-se os princípios metodológicos e os procedimentos operacionais adotados no trabalho.

2.2 Princípios metodológicos

2.2.1. Equação Universal de Perda de Solo

A Equação Universal de Perda de Solo desenvolvida em 1965, nos EUA, é reconhecida para estudo da erosão laminar, expressa pela relação:

$$\text{EUPS} = \text{R K L S C P} \quad (1)$$

na qual, em unidades do sistema internacional:

EUPS: índice que representa a perda de solo por unidade de área, em ton/ha;

- R:** índice de erosividade da chuva, em MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano;
K: índice de erodibilidade do solo, em ton.h ano ha⁻¹ MJ h⁻¹;
L: índice relativo ao comprimento da encosta, em metros;
S: índice relativo à declividade da encosta, em %;
C: índice relativo ao fator uso e manejo do solo (adimensional); e
P: índice relativo à prática conservacionista adotada (adimensional).

Usualmente, os valores obtidos pela Equação Universal de Perda de Solo são confrontados com o Índice de Tolerância de Perda de Solo. Segundo Bertoni e Lombardi Neto (1985), este índice é definido como a intensidade máxima de erosão do solo que permite a manutenção da produtividade do solo para uso agrícola economicamente viável e a manutenção da capacidade de formação do solo para recompor as perdas por erosão. Os autores estabeleceram padrões de tolerância de perdas para diferentes tipos de solos, considerando principalmente a profundidade favorável ao desenvolvimento do sistema radicular e a relação textural entre horizontes superficiais. Portanto, cada classe de solo possui um limite que estabelece a intensidade máxima de perda por erosão que este solo tem capacidade de recompor.

A Equação Universal de Perda de Solo pode ser subdividida em duas, o que permite avaliar de maneira independente, de um lado os fatores naturais do meio físico, intervenientes no processo de erosão, e de outro lado, as ações antrópicas sobre o meio físico.

Esta subdivisão, já realizada em trabalhos anteriores por Stein et al. (1987), Valério Filho (1994) e Pinto (1995), permite a análise segmentada do processo erosivo, através da Equação do Potencial Natural de Erosão (PNE) e da Equação do Potencial Antrópico de Erosão (CP).

2.2.2. Potencial Natural de Erosão

O Potencial Natural de Erosão é obtido através da seguinte expressão:

$$PNE = R K L S \quad (2)$$

O índice de erosividade da chuva (R) expressa a capacidade da chuva, esperada em uma localidade, de causar erosão pelo efeito integrado do impacto das gotas e turbulência do escoamento superficial. Corresponde à perda de solo por unidade de área de uma superfície desprotegida proporcional ao produto de dois valores característicos das chuvas: a energia cinética total multiplicada pela intensidade máxima em trinta minutos. Esta intensidade é referida como índice de erosividade (**EI₃₀**).

Lombardi e Moldenhauer, (1980) pesquisando sobre o índice de erosividade da chuva, utilizaram 22 anos de registros de precipitação em Campinas (de 1954 a 1975) e encontraram uma alta correlação entre a média mensal do índice de erosividade **EI₃₀** e a média mensal do coeficiente de chuva. A relação obtida é:

$$EI = 67,355 (r^2 / P)^{0,85} \quad (3)$$

na qual,

EI: média mensal do índice de erosividade, em MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano;

r: precipitação média mensal, em milímetros; e

P: precipitação média anual, em milímetros.

Para obtenção do índice de erosividade médio anual, utilizam-se valores mensais e anuais de precipitação em um período mais longo possível.

O fator erodibilidade do solo (**K**) é a relação das perdas de solo por unidade do índice de erosividade da chuva, em solo preparado convencionalmente, no sentido do declive, mantido continuamente descoberto, com 9% de declividade e 25 metros de comprimento de rampa. Lombardi Neto e Bertoni (1975) *apud* Bertoni e Lombardi Neto (1985) estudaram perfis de solos com horizonte B textural e latossólico para determinação indireta da erodibilidade de acordo com o método que se baseia nas propriedades físicas do solo. O índice de erodibilidade foi definido como sendo a razão entre a relação de dispersão (teor de argila natural/teor de argila dispersa) e a relação argila dispersa/umidade equivalente.

O fator topográfico **LS** é definido como a relação esperada de perdas de solo por unidade de área em um declive qualquer em relação às perdas de solos correspondentes de uma parcela unitária para o mesmo solo, de 25 metros de comprimento e 9% de declive. O fator topográfico é obtido pela equação:

$$LS = 0,00984 C^{0,63} D^{1,18} \quad (4)$$

na qual:

C: comprimento de rampa, em metros; e

D: grau de declividade, em porcentagem.

Baseando-se em estudo de Williams e Berndt (1976) *apud* Risso e Chevalier (1992), o comprimento médio da vertente de uma bacia hidrográfica pode ser obtido pela equação:

$$L = 0,5 A / Lt \quad (5)$$

na qual,

A: área de drenagem da bacia em km²; e

Lt: comprimento total dos canais da bacia em km.

2.2.3. Potencial Antrópico de Erosão

A Equação do Potencial Antrópico de Erosão (CP) considera os fatores da Equação Universal de Perda de Solo que dependem do uso e manejo dos solos, podendo ser usada para avaliar níveis de impacto sobre o meio físico em função de diferentes formas de uso do solo. A equação do Potencial Antrópico de Erosão é:

$$\text{Potencial Antrópico de Erosão} = C P \quad (6)$$

na qual,

C: índice relativo ao fator uso e manejo do solo; e

P: índice relativo à prática conservacionista adotada.

O fator de uso e manejo (**C**) expressa a relação entre perdas de solo de um terreno ocupado com determinada cultura, espaçamento e tratos culturais, e as perdas correspondentes de um terreno mantido continuamente descoberto. A proteção da

Recebido em: 13/05/2006	HOLOS Environment, v.8 n.1, 2008 - P. 7
Liberado para Publicação em: 30/06/2008	ISSN:1519-8634 (ON-LINE)

cobertura vegetal depende do tipo de vegetação, do número de plantas por metro quadrado, do seu desenvolvimento e também varia ao longo dos meses ou estações do ano. O fator C mede o efeito combinado de todas as relações das variáveis de cobertura vegetal e manejo agrícola.

O fator da prática conservacionista (**P**) expressa a relação entre as perdas de solo de um terreno cultivado com determinada prática (plantio em nível, terraceamento, etc) e as perdas quando se planta morro abaixo.

2.2.4. Vulnerabilidade à Erosão

Os índices de tolerância de perda de solo estabelecem limites visando orientar as escolhas técnicas quanto ao uso e manejo do solo. A partir deste princípio, definiu-se o Potencial Antrópico de Erosão tolerável ou índice CP tolerável (**CPt**), que consiste no valor do Potencial Antrópico de Erosão que mantém a expectativa de perda de solo dentro dos limites dos índices de tolerância (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1985).

O valor do CP tolerável é obtido através da equação:

$$\mathbf{CPt} = \mathbf{T/PNE} \quad (7)$$

na qual,

T: índice de tolerância de perda de solo, em ton/ha; e

PNE: potencial natural de erosão.

Considerando que o CP tolerável (**CPt**) permite a comparação com o Potencial Antrópico (**CP**), envolvendo a avaliação das ações antrópicas de uso do solo frente às condições do meio físico de susceptibilidade natural expressa pelo Potencial Natural de Erosão do Solo, a razão entre os valores de CP e CPt foi identificada neste estudo como grau de vulnerabilidade à erosão, sendo obtido através da equação:

$$\mathbf{Grau\ de\ vulnerabilidade\ à\ erosão} = \mathbf{CP/CPt} \quad (8)$$

na qual,

CP: Potencial Antrópico de Erosão (adimensional); e

CPt: Potencial Antrópico de Erosão tolerável (adimensional).

Embora esta relação já tenha sido definida anteriormente como risco de erosão por autores como Cavalieri (1998), optou-se neste estudo pelo uso do conceito de vulnerabilidade, por considerar tal conceito mais adequado como medida da capacidade de resposta dos solos ao processo erosivo, não envolvendo a análise das conseqüências do evento, inerentes ao conceito de risco.

2.3. Procedimentos Operacionais

A aplicação do modelo matemático da Equação Universal de Perda de Solo foi realizada em várias etapas, descritas a seguir.

2.3.1. Obtenção do Potencial Natural de Erosão (PNE)

a. Índice de Erosividade (**R**)

O índice de erosividade, em $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1} \text{ano}$, foi obtido para toda a área de estudo conforme aplicação da equação (3), com os valores das precipitações médias mensais e anuais para obtenção da média anual do índice de erosividade (EI). O valor médio anual do índice de erosividade obtido foi de $717 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1} \text{ano}$.

Foram utilizados dados registrados em três postos pluviométricos do DAEE (Departamento de Água e Energia Elétrica do Estado de São Paulo), conforme Figura 2.

Posto D4-098 (Campo Redondo): Série histórica: junho/1970 a junho/1999

Posto D5-069 (Usina Jacaré): Série histórica: março/1946 a fevereiro/1967

Posto D5-078 (Brotas): Série histórica: junho/1972 a fevereiro/1999

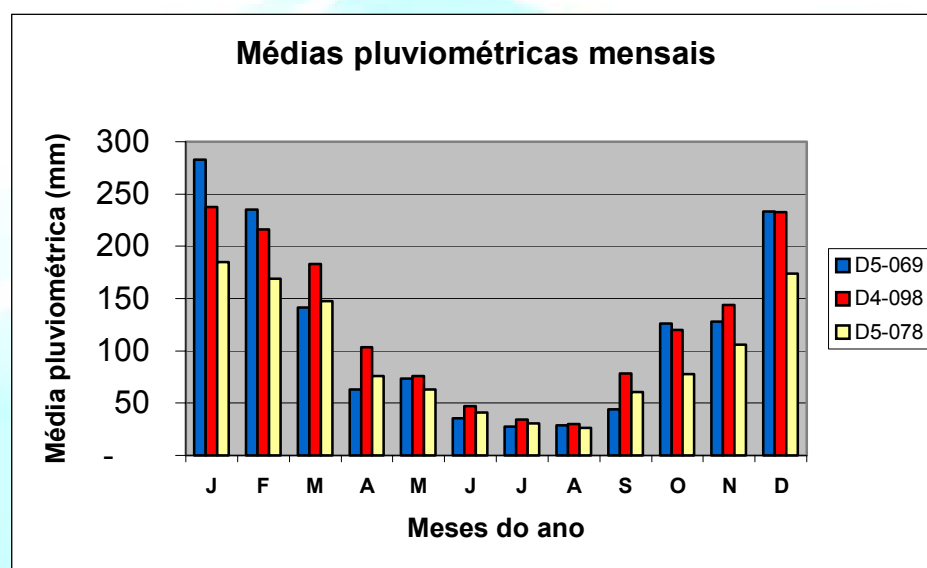


Figura 2. Médias pluviométricas mensais dos postos pluviométricos.

Fonte: Banco de Dados Pluviométricos do Estado de São Paulo. (DEPARTAMENTO ÁGUAS E ENERGIA, 2003)

b. Índice de Erodibilidade (K)

Os valores de erodibilidade foram atribuídos para cada classe de solo que ocorre na área de estudo. A classificação pedológica adotada neste trabalho foi baseada no Levantamento Pedológico do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) elaborado em 1981 na escala 1:100.000, quadrículas Brotas, São Carlos e Piracicaba.

Posteriormente, estes valores foram classificados, originando o mapa de erodibilidade segundo os seguintes critérios (CARVALHO, 1994): classe alta com valores maiores de $0,30 \text{ ton/ha ano tm}^{-1} \text{ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$; classe média, com valores entre $0,3$ e $0,15 \text{ ton/ha ano tm}^{-1} \text{ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$; e classe baixa, com valores menores de $0,15 \text{ ton/ha ano tm}^{-1} \text{ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$.

c. Fator Topográfico (LS)

O fator topográfico foi calculado conforme a equação (4), com os valores do comprimento de rampa, em metros, e da declividade, em porcentagem.

Os valores da declividade foram obtidos no *Spring* a partir da Carta topográfica do IBGE, escala 1:50.000. Os dados de comprimento de rampa foram estimados para cada sub-bacia da área de estudo, conforme Risso e Chevallier (1992).

Os valores obtidos foram também classificados, gerando um mapa temático do fator topográfico com as seguintes classes: classe alta com valores maiores de 8, classe média com valores entre 4 e 8 e classe baixa com valores menores que 4.

d. Potencial Natural de Erosão (PNE)

O Potencial Natural de Erosão foi calculado conforme a equação (2), que associa os valores do índice de erosividade, erodibilidade e do fator topográfico. Na definição das classes do Potencial Natural de Erosão, porém, não foi considerado o índice de erosividade, comum a toda área de estudo. As classes de PNE foram definidas considerando a associação entre a classificação prévia da erodibilidade e do fator topográfico, havendo prioridade para o fator topográfico na conjugação entre as duas classificações, de acordo com o Quadro 1 em seguida. A distribuição das classes do Potencial Natural de Erosão na área de estudo pode ser observada na Figura 3.

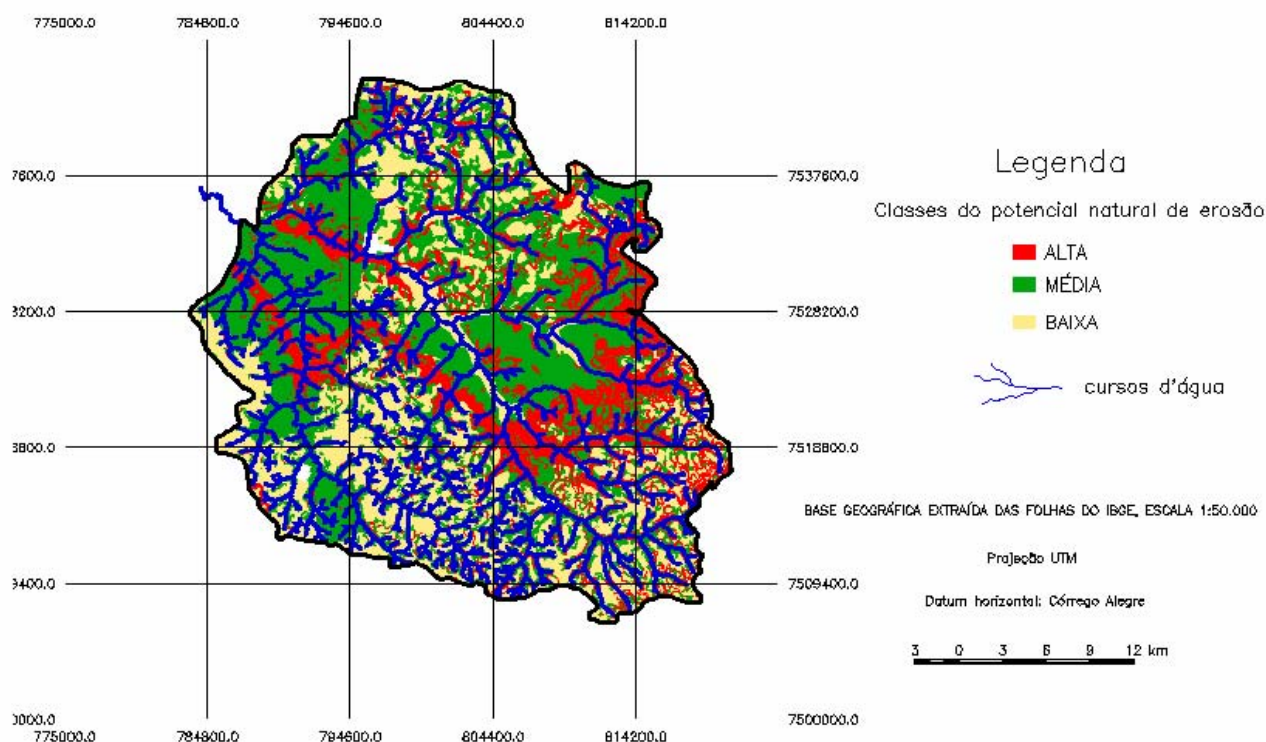


Figura 3. Mapa do Potencial Natural de Erosão

Quadro 1. Classificação do Potencial Natural de Erosão (PNE).

Classe temática do PNE	Classe do Fator topográfico	Classe de erodibilidade
ALTA	ALTA	ALTA
ALTA	ALTA	MÉDIA
ALTA	ALTA	BAIXA
ALTA	MÉDIA	ALTA
MÉDIA	MÉDIA	MÉDIA
MÉDIA	MÉDIA	BAIXA
MÉDIA	BAIXA	ALTA
MÉDIA	BAIXA	MÉDIA
BAIXA	BAIXA	BAIXA

2.3.2. Obtenção do Potencial Antrópico de Erosão (CP)

O CP foi calculado pela equação (6) para as diferentes classes de uso do solo existentes na área, segundo identificação obtida por classificação de imagens de satélite.

a. Classificação das imagens de satélite

As imagens utilizadas foram CBERS-CCD do ano de 2004 (passagem 16/08/2004) e TM LANDSAT-5 do ano de 1988 (passagens 01/07/1988 e 27/09/1988). Para compor o cenário de 1988, foi necessária a totalização da área de estudo através do mosaico de duas imagens LANDSAT.

O método de classificação escolhido foi o da Máxima Verossemelhança (Maxver), por leitura pixel a pixel, recomendado para extração de informações temáticas referentes ao uso e ocupação do solo, quando existe o conhecimento prévio sobre a área (CRÓSTA, 1992). Na imagem CBERS-CCD, a seqüência escolhida das bandas para formar a composição colorida RGB, foram as bandas 4, 2 e 3 e, na imagem TM-LANDSAT a composição RGB foi formada pelas bandas 5, 4 e 3.

b. Fator de uso de manejo do solo (C)

Os valores do fator manejo de solo, atribuídos para cada classe de uso do solo, foram baseados em trabalhos de Bertoni e Lombardi Neto (1985) e Pinto (1995).

c. Fator de práticas conservacionistas (P)

A escolha dos valores deste fator levou em conta os levantamentos de campo realizados para a caracterização do manejo do solo, práticas conservacionistas predominantes em cada uma das classes de uso e a ocupação do solo da área de estudo.

Para as áreas não cultivadas (mata e cerrado) e pastagens, adotou-se o valor máximo de 1,0. Para as áreas com agricultura, adotou-se genericamente o valor 0,5

recomendado por Bertoni e Lombardi Neto (1985) para áreas com algum tipo de conservação. No caso das culturas permanentes, onde predomina o cultivo da laranja, adotou-se o valor 0,4, atribuído à redução de capinas, prática de manejo utilizada com finalidade de conservação de solo.

d. Cálculo do Potencial Antrópico de Erosão (CP)

O Potencial Antrópico foi calculado com os valores do fator uso e manejo de solo (C) e fator de práticas conservacionistas (P), para os dois cenários estudados dos anos de 1988 e 2004. O Quadro 2 apresenta os valores dos fatores C e P utilizados.

Quadro 2 - Valores do Potencial Antrópico de Erosão adotados.

Classes de ocupação do solo	Fator C	Fator P	Valores de CP
Agricultura anual/culturas temporárias	0,1	0,5	0,05
Cana de açúcar	0,05	0,5	0,025
Citrus/culturas perenes	0,02	0,4	0,008
Pastagem	0,01	1	0,01
Reflorestamento	0,0001	0,5	0,00005
Cerrado	0,0007	1	0,0007
Mata/Cerradão	0,00004	1	0,00004
Várzea	0	1	0
Solo exposto	1	1	1

Fonte: Bertoni e Lombardi Neto (1985) e Pinto (1995).

2.3.3. Obtenção do Potencial Antrópico de Erosão tolerável (CPt)

Os valores de Potencial Antrópico de Erosão (CPt) foram obtidos através da equação (7), com o Índice de Tolerância de Perda de Solo, atribuído para cada classe de solo, e o Potencial Natural de Erosão.

2.3.4. Obtenção dos Mapas de Vulnerabilidade à Erosão

Os mapas de vulnerabilidade à erosão dos cenários de 1988 (Figura 4) e 2004 (Figura 5) foram gerados a partir da classificação dos valores do grau de vulnerabilidade à erosão, estes obtidos através da equação (8) para os dois cenários. Os valores foram classificados nos intervalos apresentados no Quadro 3, conforme adaptação de trabalhos anteriores.

Quadro 3- Classificação do grau de vulnerabilidade à erosão.

Grau de vulnerabilidade à erosão	Intervalo de valores
MUITO ALTA	$3.0 < CP/CPt$
ALTA	$1.5 < CP/CPt \leq 3.0$
MÉDIA	$1.0 < CP/CPt \leq 1.5$
BAIXA	$0 < CP/CPt \leq 1.0$

Fonte: Adaptado de Cavalieri (1998).

2.3.5. Obtenção do Mapa de Zoneamento da Adequação das Classes de Uso do Solo

Considerando que o Potencial Antrópico de Erosão tolerável (Cpt) reflete os limites para o uso dos solos que não ultrapassam o Índice de Tolerância de Perda de Solo, realizou-se um zoneamento da área de estudo através de um mapa temático com as classes de ocupação do uso do solo que se enquadram nestes limites.

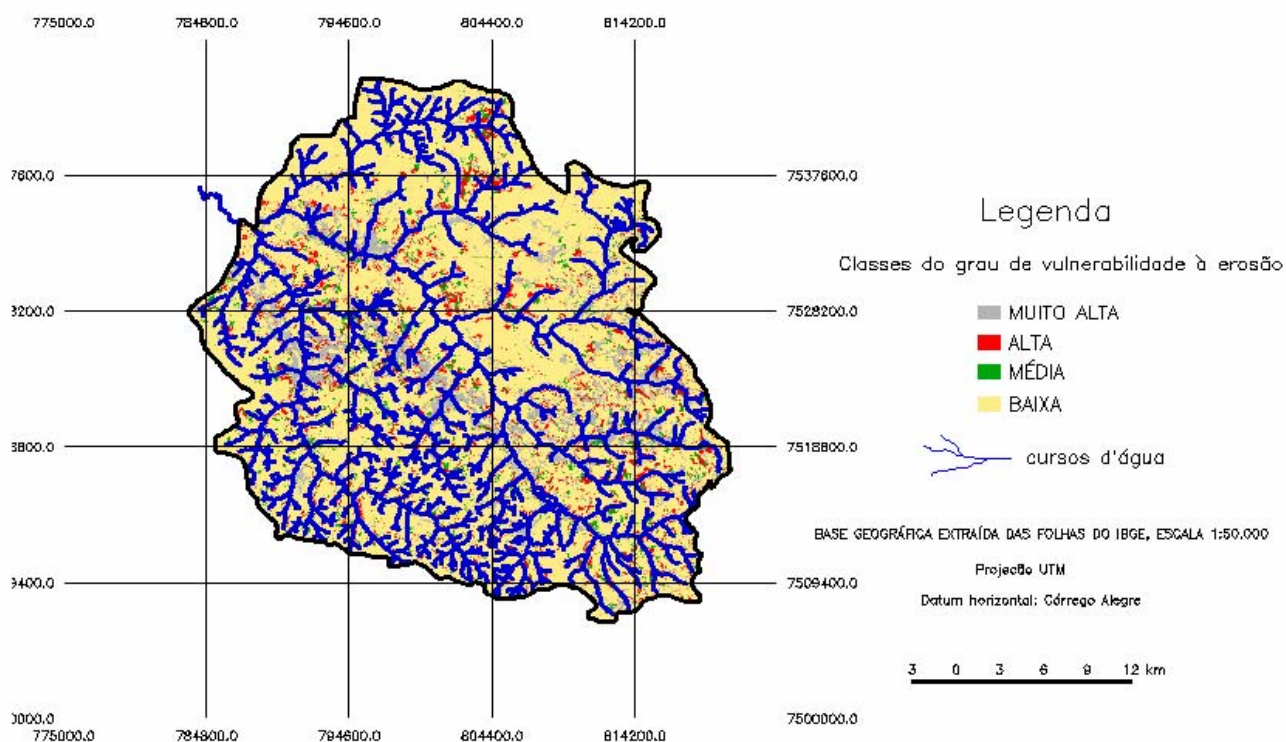


Figura 4. Mapa de vulnerabilidade à erosão em 1988.

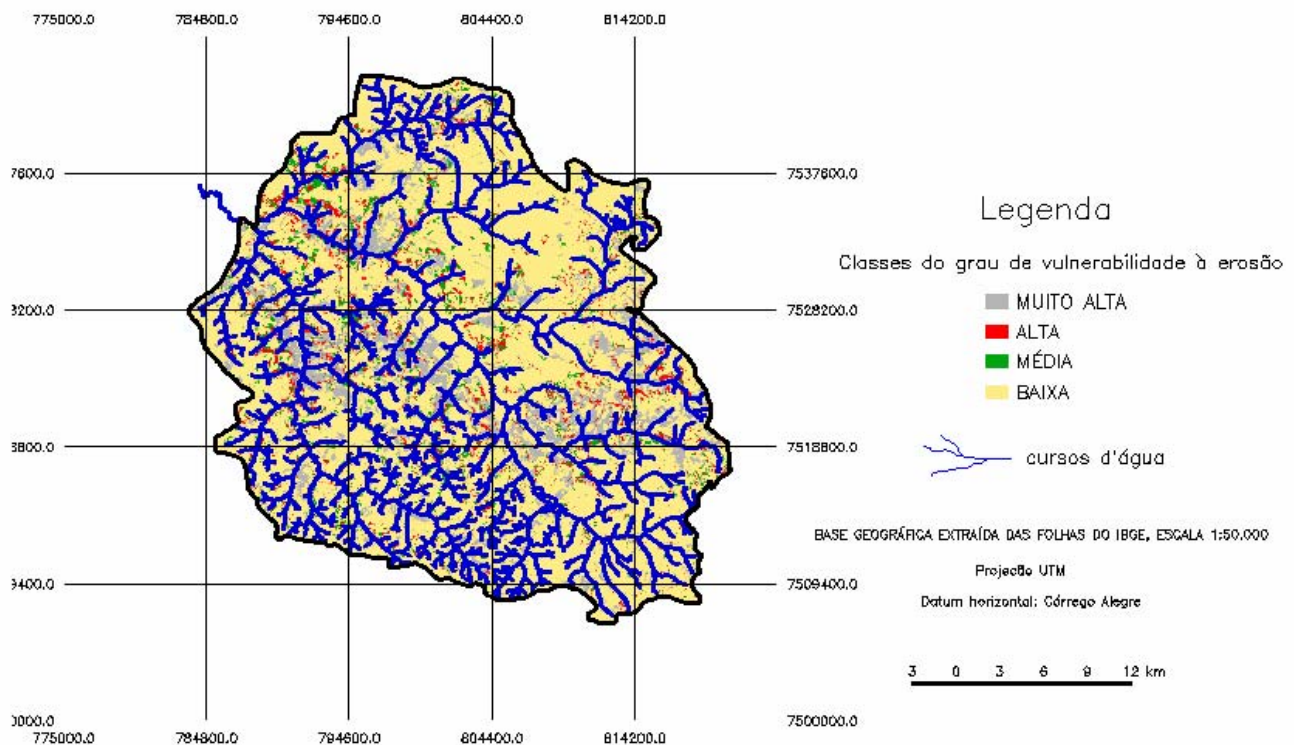


Figura 5. Mapa de vulnerabilidade à erosão em 2004.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Segundo a classificação da imagem de satélite de 2004, os principais usos e ocupações do solo estão associados às culturas de cana de açúcar, de laranja, de reflorestamento, e as pastagens. Esses usos e ocupações já ocorriam no cenário de 1988.

Embora permaneçam os mesmos tipos de ocupação, a participação de cada uma das classes identificadas sofreu modificações importantes entre os dois cenários, como se observa no Quadro 4.

De acordo com os resultados da classificação, as diferenças encontram-se principalmente na expansão da cultura da cana de açúcar e da laranja, e conseqüente queda de algumas explorações agropecuárias, como as pastagens e as culturas temporárias, que cederam espaço às lavouras canavieiras e aos pomares de laranja. A classe das culturas permanentes, na qual se destaca a cultura da laranja, também apresenta expressivo aumento.

Nas Figuras 4 e 5 estão as distribuições das classes de vulnerabilidade à erosão na área de estudo para os dois cenários. Na comparação entre os cenários de 1988 e 2004, verifica-se que a porcentagem de ocorrência de áreas com grau de

vulnerabilidade à erosão alta e muito alta é semelhante, as diferenças estão nas classes de ocupação do solo que conferem esta vulnerabilidade.

A principal mudança identificada nas áreas de vulnerabilidade à erosão alta e muito alta entre os cenários refere-se ao aumento da participação da área ocupada com cana de açúcar e culturas permanentes, em contrapartida à redução das culturas temporárias e pastagens, como apresentado no Quadro 5.

Da área total ocupada com a cultura da cana de açúcar no cenário de 2004, 18,8% apresenta vulnerabilidade à erosão alta a muito alta. No caso das culturas permanentes, a vulnerabilidade elevada atinge 11,2% da área total e 7,4% nas pastagens.

Quadro 4- Quadro comparativo das classes de ocupação de solo nos dois cenários.

Classes de ocupação do solo	1988		2004		Alteração
	Área (ha)	%	Área (ha)	%	
Cana de açúcar	6,33 mil	6,8	17 mil	18,3	+ 168%
Culturas permanentes	10,6 mil	11,4	21,7 mil	23,3	+105%
Pastagens	30 mil	32,2	18,7 mil	20,1	-37%
Reflorestamento	5 mil	5,4	4,44 mil	4,8	-11%
Culturas temporárias	16 mil	17,2	5,13 mil	5,5	-68%
Mata	9 mil	9,7	9,6 mil	10,3	+6,6%
Cerrado	5,6 mil	6	5,72 mil	6,2	+2,1%
Solo exposto	4,8 mil	5,2	8,04 mil	8,6	+ 67%
Área urbana	0,47	0,5	1,07 mil	1,2	+127%
Várzea/água	5,2 mil	5,6	1,6 mil	1,7	-70%

Quadro 5- Classes de ocupação de solo segundo grau de vulnerabilidade à erosão.

Classes de ocupação do solo	Área conforme o grau de vulnerabilidade à erosão (em ha)							
	CENÁRIO DE 2004				CENÁRIO DE 1988			
	Baixa	Média	Alta	Muito alta	Baixa	Média	Alta	Muito alta
Cana de açúcar	11,6 mil	2,1 mil	1,6 mil	1,6 mil	4,1 mil	657	722	825
Culturas permanentes	18,6 mil	750	835	1,6 mil	8,8 mil	326	422	973
Culturas temporárias	2,5 mil	610	974	921	8,4 mil	1,4 mil	3 mil	3 mil
Pastagens	16,9 mil	530	584	812	27 mil	647	870	1,3 mil
Reflorestamento	4,4 mil	-	-	24,5	4,8 mil	25	33	45
Solo exposto	2,8 mil	88	86	5 mil	2,1 mil	73	119	2,4 mil

O zoneamento da adequação das classes de ocupação do solo (Figura 6) demonstra, através de um mapeamento temático, de que forma a ocupação do solo estaria de acordo com os limites estabelecidos pelo Potencial Antrópico de Erosão tolerável (CPT). Neste cenário, a vulnerabilidade à erosão seria baixa em toda a área de estudo.

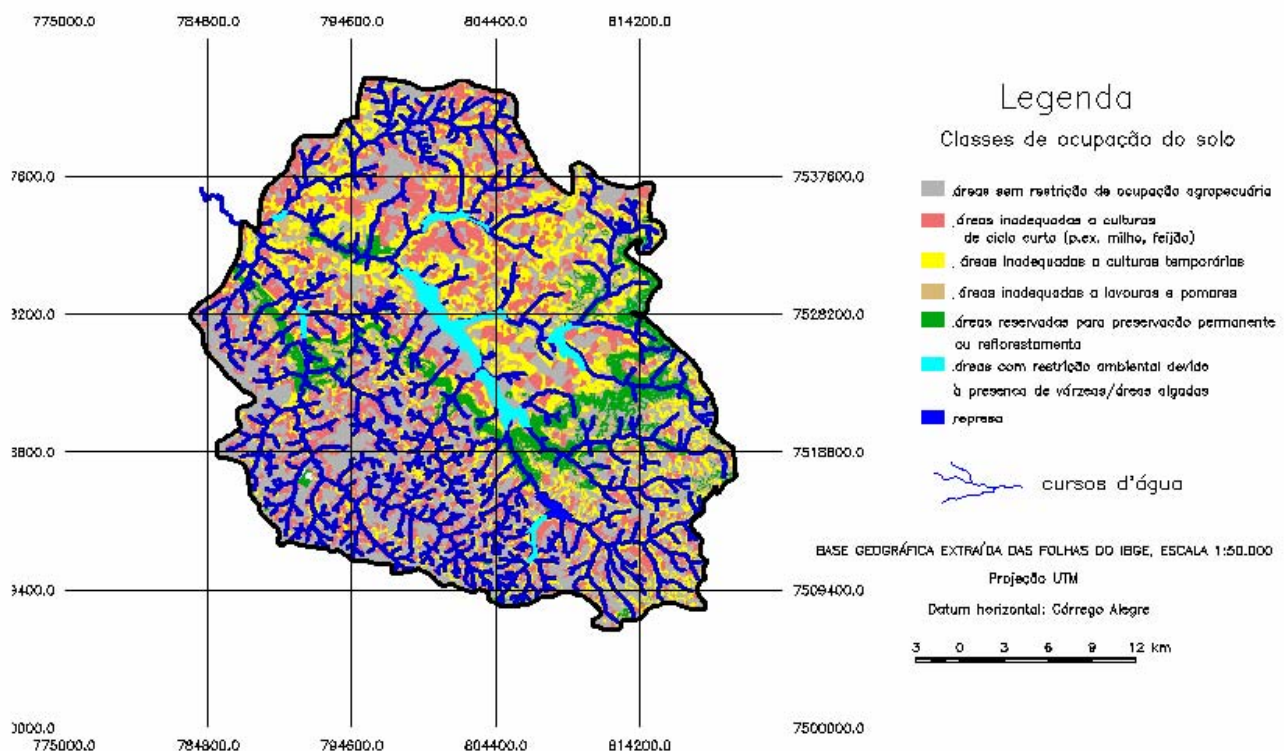


Figura 6. Mapa do zoneamento da adequação das classes de ocupação do solo.

4. CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tendo em vista a importância de preservar o patrimônio ambiental da região frente à necessidade de crescimento econômico, é imprescindível acompanhar a expansão territorial da ocupação agropecuária.

Neste sentido, o zoneamento ambiental baseado na adequação das classes de ocupação do solo a uma baixa vulnerabilidade à erosão, pode servir como um instrumento de acompanhamento e análise desta ocupação, apontando para um cenário em que se impõem limitações na expansão do uso do solo agrícola.

Entre os cenários estudados de 1988 e 2004, a cultura da cana de açúcar apresentou expansão em área de 168%, ocupando espaço cedido pelas culturas temporárias e pastagens.

Recebido em: 13/05/2006	HOLOS Environment, v.8 n.1, 2008 - P. 16
Liberado para Publicação em: 30/06/2008	ISSN:1519-8634 (ON-LINE)

No cenário de 2004, 18,8% da área ocupada com cana de açúcar apresentou grau de vulnerabilidade à erosão de alto a muito alto, sendo a ocupação agrícola que mais ultrapassou os limites do Índice de Tolerância de Perda de Solo.

Ainda que o modelo da Equação Universal de Perda de Solo apresente limitações, por considerar somente aspectos do processo erosivo laminar, sua aplicação permite avaliações qualitativas de cenários reais e hipotéticos, contribuindo para o acompanhamento da alteração de vulnerabilidade à erosão do solo, conforme a ocupação das culturas.

A EUPS pode retratar um quadro mais próximo da realidade se levar em conta a sazonalidade da distribuição das chuvas e do grau de proteção do solo conferido ao longo do ciclo agrícola, ao invés de utilizar valores médios anuais de erosividade e do fator uso-manejo do solo. Para viabilizar tais estudos, seria necessário trabalhar com um volume maior de dados, nem sempre disponíveis. Por outro lado, permitiria uma avaliação mais precisa da vulnerabilidade à erosão, que também varia ao longo do ano.

5. REFERÊNCIAS

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação de solo**. Piracicaba: Livroceres, 1985.

CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia prática**. Rio de Janeiro: Companhia de Pesquisa em Recursos Minerais, 1994.

CAVALIERI, A. **Estimativa da adequação de uso das terras na quadrícula de Mogi Mirim (SP) utilizando diferentes métodos**. 112 f. 1998. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1998. Disponível em: <http://libdigi.unicamp.br/document/?code=vtls000132229> Acesso em: 31 jan. 2007.

CRÓSTA, A. P. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**. Campinas: Instituto de Geociências, Departamento de Metalogênese e Geoquímica, UNICAMP, 1992.

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA. **Banco de dados pluviométricos do estado de São Paulo**. Disponível em: <http://www.dae.com.br> . Acesso em: 15 nov. 2003.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO **Orientações para o combate à erosão no estado de São Paulo, Bacia do Peixe-Paranapanema: Relatório 24**. São Paulo, 1986. v. 6.

Recebido em: 13/05/2006	<i>HOLOS Environment, v.8 n.1, 2008 - P. 17</i>
Liberado para Publicação em: 30/06/2008	ISSN:1519-8634 (ON-LINE)

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO
Diagnóstico atual dos recursos hídricos e estabelecimento de diretrizes técnicas para elaboração do Plano da Bacia Hidrográfica do Tietê/Jacaré: Relatório 40.674, 2000. Disponível em: <http://www.sigrh.sp.gov.br> . Acesso em: 15 mar.2005.

LOMBARDI NETO, F.; MOLDENHAUER, W. C. Erosividade da chuva: sua distribuição e relação com perdas de solo em Campinas, SP. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA DE CONSERVAÇÃO DE SOLO, 3., 1980, Recife. **Anais...** Recife: UFRPE, 1980. 136-147p.

LOMBARDI NETO, F.; BERTONI, J. Erodibilidade de solos paulistas. **Boletim Técnico do Instituto Agrônomo de Campinas**, Campinas, n. 27, 1975.

MARANDOLA JÚNIOR, E.; HOGAN, D. J. Vulnerabilidade: esboço para uma discussão conceitual. In: SEMINÁRIO SOBRE QUESTÃO AMBIENTAL URBANA: EXPERIÊNCIAS E PERSPECTIVAS, 2004, Brasília. **Textos...** Brasília: Núcleo de Estudos Urbanos e Regionais da Universidade de Brasília, 2004.13p.

PINTO, S. A. F. **Contribuição metodológica para análise de indicadores da erosão do solo utilizando técnicas de sensoriamento remoto, geoprocessamento e modelo predictivo.** 136 f. 1995. Tese (Livre-Docência) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1995.

RISSO, A.; CHEVALIER, P. Uso de um modelo numérico do terreno para a obtenção dos parâmetros topográficos da equação universal de perda de solo modificada. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 9., 1991, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: ABRH, 1992.

STEIN, D. P.; DONZELLI, P. L.; GIMENEZ, F. A.; PONÇANO, L.; LOMBARDI NETO, F. Potencial de erosão laminar, natural e antrópica na Bacia do Peixe-Parapanema. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO, 4., 1987, Marília. **Anais...** Marília: ABGE, DAEE, 1987. 105-135p.

VALÉRIO FILHO, M. Técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto aplicadas ao estudo integrado de bacias hidrográficas In: FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P. **Solos altamente suscetíveis à erosão.** Jaboticabal: Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1994. 223-242p.

WILLIAMS, J. R.; BERNDT, H.D. Sediment yeld prediction based on watershed hydrology. **Transactions of the ASAE**, p. 1100-1104, 1976.