

# ESTUDO INTEGRADO DO PROCESSO EROSIVO NUMA MICROBACIA EXPERIMENTAL LOCALIZADA NO MUNICÍPIO DE CUNHA – SP

Alexandre Marco da SILVA <sup>1</sup>, Maurício RANZINI <sup>2</sup>, Manuel Enrique Gamero GUANDIQUE <sup>1</sup>,  
Francisco Carlos Soriano ARCOVA <sup>2</sup>, Valdir de CICCIO <sup>2</sup>

(1) Laboratório de Ecologia Isotópica – Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA), Escola Superior de Agricultura  
Luiz de Queiróz, Universidade de São Paulo. Avenida Centenário, 3003. CEP 13416-000. Piracicaba, SP.  
Endereço eletrônico: amsilva@cena.usp.br. (2) Instituto Florestal, Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo.  
Rua do Horto, 931. CEP 02377-000. São Paulo, SP. Endereço eletrônico: ranzini@ig.com.br.

Introdução  
Localização e Caracterização Ambiental da Área de Estudo  
Material e Métodos  
Resultados e Discussão  
Fatores da EUPS  
PNE e EPS  
Conclusões  
Agradecimentos  
Referências Bibliográficas

**RESUMO** – Este trabalho teve como objetivo organizar um conjunto de informações sobre os fatores envolvidos no processo erosivo para uma microbacia localizada em Cunha e, a partir deste banco de informações, elaborar e interpretar os mapas do Potencial Natural de Erosão (PNE) e Expectativa de Perda de Solo (EPS). O modelo matemático utilizado foi a Equação Universal de Perda de Solo (EUPS) e esta foi aplicada através de recursos de geoprocessamento (*software* Idrisi). Usaram-se dois cenários de cobertura do solo: um real, formado por vegetação natural secundária de Mata Atlântica, e um hipotético, formado exclusivamente por pastagem. Analisando-se os fatores da EUPS e do mapa PNE, constatou-se que a microbacia possui forte propensão ao desencadeamento da erosão, sendo que a EPS para o cenário de vegetação natural evidenciou o importante papel deste tipo de cobertura no sentido de amenizar a erosão. Já o cenário de pastagem indicou altos valores de EPS e mostrou que este tipo de cobertura potencializaria o processo erosivo a níveis críticos se nenhuma medida conservacionista fosse adotada. Estima-se um valor anual médio de perda de solo de 5,1 t.ha<sup>-1</sup> para o cenário de vegetação e de 28.280,0 t.ha<sup>-1</sup> para o cenário de pastagem.

**Palavras-chave:** Erosão hídrica, EUPS, microbacia, Potencial Natural de Erosão, Expectativa de Perda de Solo.

**ABSTRACT** – A.M. da Silva, M. Ranzini, M.E.G. Guandique, F.C.S. Arcova, V. de Cicco – *Integrated study of the erosive process in a experimental watershed located at Cunha (São Paulo State – Brazil)*. The goal of this paper was to organize a database about the parameters of the erosive process for a watershed located at the city of Cunha (eastern portion of the São Paulo State) and to elaborate the maps about Natural Potential for Erosion (NPE) and Soil Loss Expectative (SLE). The Universal Soil Loss Equation (USLE) is the applied mathematical model, and GIS technology (Idrisi software) was used. Two land cover scenarios were used: one corresponding to the actual land cover (natural forest), and one hypothetic scenario corresponding to a uniform pasture land cover. Throughout analysis of the USLE factors and PNE map it was observed that the watershed is highly vulnerable to erosion process. For SLE elaborated considering the natural vegetation, the important role that such land-cover type plays in order to control the erosive process is noted. The SLE map elaborated for the pasture showed that the soil loss would be highly and dangerously increased if none conservationist practice were applied and/or the soil was misused. The estimated annual values of soil loss are: 5.1 t.ha<sup>-1</sup> for the natural vegetation, and 28,280.0 t.ha<sup>-1</sup> for pasture.

**Keywords:** Water erosion, USLE, watershed, Natural Potential for Erosion, Soil Loss Expectative.

## INTRODUÇÃO

O termo erosão originou-se, segundo Zachar (1982), do latim, derivando do verbo *erodere* (escavar). Dentro das ciências ambientais, trata-se do desgaste e/ou arrastamento da superfície da terra pela água corrente, vento, gelo ou outros agentes geológicos, incluindo processos como o arraste gravitacional. A erosão é um dos principais fenômenos geológicos que ocorre na Terra e se processa de várias formas, se for considerado o seu ambiente de ocorrência (Silva et al., 2003).

A erosão hídrica é, em grande parte do nosso planeta, a mais importante forma de erosão (Zachar,

1982). É causada pela chuva e pelo escoamento superficial, sendo afetada por um grande número de agentes naturais e antropogênicos. Pode ser expressa como a relação existente entre a erosividade da chuva (fator ativo), ou seja, o potencial da chuva de causar erosão, e a erodibilidade do solo (fator passivo), que por sua vez é a suscetibilidade do solo à erosão (Bertoni & Lombardi Neto, 1990; Silva et al., 2003).

A elaboração e aplicação de modelos matemáticos em estudos de erosão vêm sendo um recurso amplamente utilizado para melhor compreender este proces-

so, conforme as peculiaridades da área de interesse. Ao mesmo tempo, a aplicação de técnicas de geoprocessamento tem colaborado fortemente no sentido de agilizar a obtenção de resultados e produtos, possibilitando, ainda, investigar o processo considerando-se situações hipotéticas (Silva et al., 2003).

Dentre os modelos mais utilizados para estimar as perdas de solo, encontra-se a Equação Universal de Perda de Solo (EUPS) (Wischmeier & Smith, 1978), a qual exprime a ação dos principais fatores que sabidamente influenciam as perdas de solo pela erosão hídrica, trata o assunto de modo mais dinâmico, por superar parcialmente restrições climáticas e geográficas e ter aplicação generalizada (Silva et al., 2003).

A EUPS é expressa em função de seis variáveis, sendo quatro ligadas às condições naturais (R, K, L, S) e duas ligadas ao manejo da cobertura e do solo (C, P). A equação é:

$$A = R.K.L.S.C.O \quad (1),$$

onde: A = perda de solo por unidade de área ( $t.ha^{-1}.ano^{-1}$ ); R = fator erosividade da chuva (em  $MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}.ano^{-1}$ ); K = fator erodibilidade do solo (em  $t.ha^{-1}.MJ^{-1}.mm^{-1}$ ); L = fator comprimento de rampa; S = fator declividade; C = fator cobertura do solo; P = fator práticas conservacionistas. Os quatro últimos fatores são adimensionais.

Assim, estudos sobre os fatores do processo erosivo bem como a análise do processo de forma espacializada, tornam-se uma ferramenta imprescindível para o desenvolvimento do conhecimento científico

sobre o assunto, bem como uma aplicação prática visando o real aproveitamento racional do recurso natural solo. Esta forma de representação busca expor quais locais são mais críticos e/ou suscetíveis ao processo erosivo, conforme as características naturais locais e de uso do solo.

O Potencial Natural de Erosão (PNE) é um tipo de estimativa onde não se considera a intervenção antrópica nem qualquer tipo de cobertura sobre o solo, isto é, estima-se a suscetibilidade à erosão de uma área especificamente em função de suas condições físicas (Valério Filho, 1994). Já a Expectativa de Perda de Solo (EPS) contempla todos os parâmetros abordados no PNE, mais aqueles que representam a ação antrópica: tipo de cobertura do solo e uso de práticas conservacionistas. Utilizando recursos de geoprocessamento e a Equação Universal de Perda de Solo, é possível realizar estimativas espaciais e/ou temporais sobre os processos erosivos e elaborar mapas destes dois fatores (PNE e EPS) para uma determinada região, segundo Valério Filho (1994).

Considerando o exposto, o presente trabalho teve como objetivo organizar um conjunto de informações sobre os fatores envolvidos no processo erosivo para uma microbacia localizada na região do alto Vale do Paraíba (SP) e, a partir deste banco de informações, elaborar e interpretar os mapas do Potencial Natural de Erosão e Expectativa de Perda de Solo para a área de estudo, a fim de fornecer subsídios para um bom programa de planejamento de uso da terra desta área, bem como de toda a região circunvizinha.

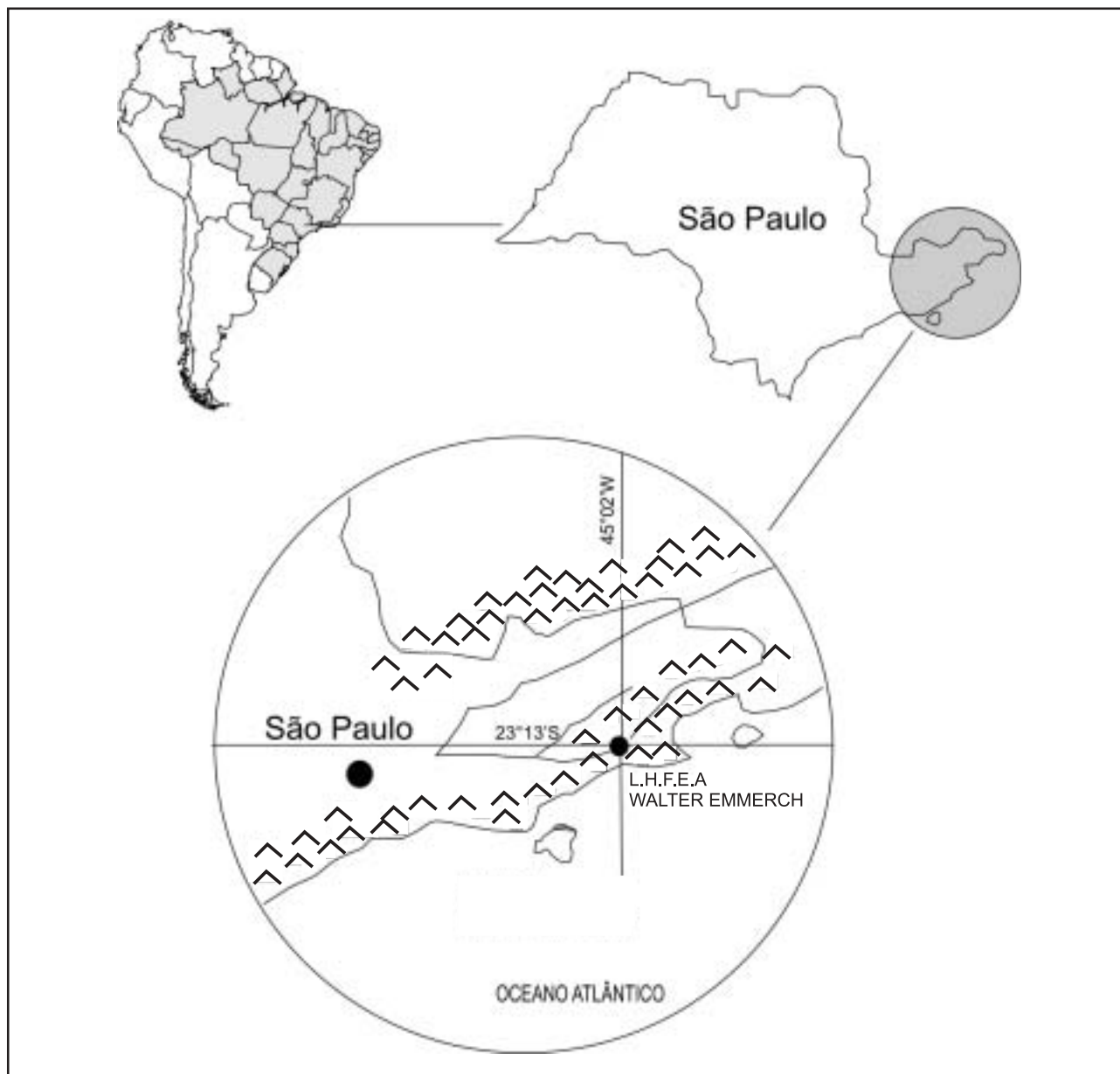
## LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL DA ÁREA DE ESTUDO

Com uma área de 2.854 ha, o Parque Estadual da Serra do Mar – Núcleo Cunha, localiza-se nas cabeceiras do Rio Paraíba e na margem direita do Rio Paraíba do Sul, entre os paralelos  $23^{\circ}13'28''$  e  $23^{\circ}16'10''$  de latitude sul e os meridianos  $45^{\circ}02'53''$  e  $45^{\circ}05'15''$  de longitude oeste de Greenwich. Por sua vez, a microbacia enfocada neste estudo, denominada bacia D (ou bacia do Barracão), localiza-se neste parque e possui uma área de 56,025 ha (Figura 1). Pertence ao laboratório de Hidrologia Florestal Engenheiro Agrônomo Walter Emmerich, sob administração do Instituto Florestal de São Paulo, na qual alguns estudos hidrogeoquímicos já foram efetuados (Ranzini, 2002).

Segundo a classificação de Köppen, o clima local é do tipo Cfb, ou seja, temperado úmido. O período úmido estende-se de outubro a março (estação chuvosa) e o período seco, ou pouco úmido, compreende os meses de abril a setembro. A temperatura média anual do ar é de  $16,5^{\circ}C$  (período de 10 anos), com média de

$10^{\circ}C$  no inverno e de  $22^{\circ}C$  no verão. A precipitação média anual é de 2.276,0 mm (Ranzini, 2002), com forte efeito de neblina, provocando importante influência nos totais pluviométricos da região (Anido, 2002).

A região localiza-se na província geomorfológica Planalto Atlântico, a qual é caracterizada pela presença de terras altas, com grande variedade topográfica, representada tanto por planícies quanto por escarpas das serras. A bacia D é caracterizada por divisores d'água com topos abaulados, isto é, trechos com faces íngremes e exposição de paredes rochosas e trechos com faces pouco íngremes a arredondadas. Destacam-se formas de vertentes retilíneo-côncavas, além da ocorrência de formas convexas em alguns segmentos próximos aos topos abaulados e nos segmentos das baixas vertentes, onde são registrados contatos abruptos com o fundo de vale, definidos preferencialmente pela existência de rochas. Os depósitos de vertente são expressivos nos médios e baixos compar-



**FIGURA 1.** Localização geográfica da área de estudo.

timentos da microbacia. Suavizam os contatos das baixas vertentes com o fundo do vale, caracterizando as vertentes côncavas. Pontos de ressurgência de água subsuperficial são registrados, predominantemente em setores de vertente côncava, próximos aos contatos desses depósitos com a rocha alterada (Domingues et al., 2001). As encostas íngremes, com declividades entre 58 a 97%, estão dispersas espacialmente e, predominantemente, próximas aos divisores d'água (Carvalho et al., 1990).

O embasamento geológico é de natureza cristalina, compreendendo rochas metamórficas e ígneas antigas, pré-cambrianas.

O levantamento de reconhecimento detalhado dos solos da bacia D, conduzido por Carvalho et al. (1990),

mostrou uma predominância de uma mesma classe de solo, isto é, sete tipos e duas associações de Latossolo Vermelho-Amarelo. Este solo é proveniente, segundo Furian & Pfeifer (1986), de rochas duras, orientadas e de difícil decomposição, como os gnaisses, migmatitos e granitos. Em consequência, é quimicamente pobre, ácido e relativamente raso, e tem textura grossa e estrutura fraca, isto é, os grânulos formam uma massa homogênea com muito fraca coerência, que, aliados à elevada porosidade, condiciona-lhe boa permeabilidade.

Conforme mapeamento realizado por Carvalho et al. (1990), na área há um predomínio de Latossolos, porém com alguma ocorrência também de Gleysolos, explicado de forma mais detalhada a seguir.

A cobertura da área é uma vegetação natural secundária, sucessora da vegetação natural primária conhecida como Mata Atlântica (Floresta Ombrófila Densa), resultado da exploração madeireira ocorrida há aproximadamente 45 anos (Leitão Filho, 1982). Cerca de 15 a 20% da bacia D, principalmente nas

porções inferiores, teve campos de pastos até 23 anos atrás, sendo tais áreas invadidas por vegetação pioneira da região. Nas porções mais elevadas e íngremes encontram-se árvores remanescentes da vegetação primitiva, que excepcionalmente podem alcançar 20 m de altura.

## MATERIAL E MÉTODOS

A estimativa da perda anual de solo por erosão laminar para a área de estudo foi realizada usando o método proposto por Wischmeier & Smith (1978), que faz uso da Equação Universal de Perda de Solo. Para o cômputo do valor anual de perda de solo, trabalhou-se cada fator da EUPS separadamente e, após isto, promoveu-se a multiplicação dos valores utilizando recursos de geoprocessamento (*software* Idrisi versão 32.2, Eastman, 2001), conforme explicado a seguir.

- Fator R – Utilizando dados pluviométricos (série de 12 anos) obtidos em instrumentos localizados na própria área de estudo, calculou-se a altura média mensal e com estes dados foram determinados os valores mensais da erosividade da região utilizando a equação 2, apresentada por Lombardi Neto & Moldenhauer (1992), sendo que o valor anual foi determinado pela soma dos doze valores mensais. Devido à pequena dimensão da bacia hidrográfica, adotou-se um único valor de erosividade para toda a área.

$$R = 68,73 \cdot \left( \frac{M_x^2}{A} \right)^{0,841} \quad (2)$$

onde: R = valor da erosividade para o mês x;  $M_x$ : = altura de chuva (mm) para o mês x; A = altura de chuva anual (mm).

- Fatores topográficos (L e S) – A carta topográfica da bacia, na escala 1:2.000 e com curvas de nível de 10 em 10 m, foi digitalizada e georreferenciada, e dela elaborou-se o Modelo Digital de Elevação (MDE) do terreno utilizando o *software* Idrisi, versão 32.2 (Eastman, 2001). Uma vez com o MED finalizado, procedeu-se à elaboração do mapa do fator LS. Esta etapa foi realizada com o uso do *software* USLE-2D (Desmet & Govers, 1996), conforme detalhadamente explicado em Silva & Schulz (2000). Desta forma, gerou-se o plano de informação (PI) denominado “fator LS”.
- Fator erodibilidade (K) – O mapeamento dos solos ocorrentes na região foi realizado por Carvalho et al. (1990). Uma vez conhecendo-se as classes de solo ocorrentes na bacia buscou-se junto na literatura específica o valor do fator K correspondente

para cada classe. Desta forma gerou-se o PI, denominado “erodibilidade”.

- Fator C – Através de levantamento de campo comprovou-se que a área de estudo possui cobertura uniforme de vegetação natural. Para a determinação do valor do fator C consultou-se bibliografia específica (Bertoni & Lombardi Neto, 1990; Silva et al., 2003). Como também foi realizada uma simulação das perdas de solo utilizando um cenário hipotético, cuja cobertura seria uniformemente a pastagem, também se buscou o valor do fator C para esta cobertura junto na literatura.
- Fator P – Para ambas as situações, isto é, cobertura real (vegetação natural) e cobertura hipotética (pastagem), sabe-se que não há o emprego de técnicas conservacionistas de manejo do solo. Assumindo isto, buscou-se junto à literatura específica (Bertoni & Lombardi Neto, 1990; Silva et al., 2003) o valor do fator P para esta condição de manejo do solo (que é a não adoção de práticas conservacionistas, e portanto, valor de P = 1). Esta condição foi comum aos dois tipos de cobertura do solo.

Uma vez com as informações de cada componente da EUPS determinadas, procedeu-se ao cômputo do PNE e da EPS. Nesta etapa do trabalho, utilizou-se o comando “Image Calculator” do Idrisi, onde os PIs “erodibilidade” e “fator LS” foram multiplicados entre si, juntamente com o valor da erosividade (fator R) (Equação 3). O mapa resultante, que corresponde ao mapa do PNE, foi reclassificado considerando-se as quatro classes interpretativas do PNE apresentadas por Silva et al. (2003) e mostradas a seguir.

$$PNE = \text{Valor de R} \cdot (\text{PI “Erodibilidade”}) \cdot (\text{PI “Fator LS”}) \quad (3)$$

Em seguida, partindo do mapa PNE (mapa não reclassificado), calculou-se a EPS, acrescentando os valores dos fatores C (valor de C correspondendo a cobertura vegetação natural) e P.

$$EPS = (PNE) \cdot \text{Valor de C} \cdot \text{Valor de P} \quad (4)$$

O mapa resultante, que corresponde ao mapa da EPS, foi reclassificado considerando as seis classes

interpretativas da EPS apresentadas por Silva et al. (2003) e também mostradas e discutidas a seguir.

Para gerar o mapa considerando a cobertura hipotética de pastagem, procedeu-se da mesma forma, porém alterando o valor de C de vegetação natural para o fator C correspondente a cobertura de pasta-

gem. O mapa resultante, que corresponde ao mapa da EPS para a situação de pastagem, também foi reclassificado considerando as seis classes interpretativas da EPS.

Cálculos de áreas foram todos efetuados utilizando também o *software* Idrisi 32.2 (Eastman, 2001).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Visando proporcionar ao leitor um texto de mais fácil compreensão, optou-se por dividir este item em alguns subitens, os quais possuem uma explicação própria ou resgatam informações de outras partes para integrar a explicação como um todo.

### FATORES DA EUPS

Os dados pluviométricos da região revelam um total médio anual de chuva de 2.276,0 mm. Aplicando-se os dados pluviométricos mensais na equação (2) tem-se os resultados de erosividade mês a mês, apresentados na Tabela 1, cujo valor anual resulta em 9.479,2 MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>. Este valor é interpretado como sendo de forte intensidade, conforme tabela interpretativa mencionada por Silva et al. (2003). Quanto à sazonalidade da erosividade, verificou-se que o período compreendido entre os meses dezembro e março concentra 62,9% de toda a erosividade anual. Portanto, as chuvas da região da bacia D possuem uma distribuição sazonal irregular, com forte concentração no verão.

**TABELA 1.** Dados sobre pluviometria e erodibilidade para a região de estudo.

Mês	Pluviometria (mm)	Erosividade (MJ mm ha <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> )
Janeiro	351,0	1.972,3
Fevereiro	248,0	1.099,6
Março	298,0	1.497,6
Abril	210,0	831,3
Mai	122,0	333,4
Junho	74,0	143,8
Julho	82,0	170,9
Agosto	68,0	124,8
Setembro	178,0	629,5
Outubro	167,0	565,4
Novembro	193,0	721,2
Dezembro	285,0	1.389,4
Anual	2.276,0	9.479,2

O levantamento de solos revelou que a bacia D possui onze classes de solo, sendo dominada pelos Latossolos, ocorrendo em 94,3% da área; os solos Aluviais correspondem a 2,8% da área e os Gleissolos

ocorrem em 2,9% da área (Tabela 2). Conforme a literatura consultada (Bertoni & Lombardi Neto, 1990; Silva & Alvares, 2005), determinou-se os valores do fator K para as classes de solos da bacia, apresentados na Tabela 2. Verifica-se que a erodibilidade variou entre 0,00101 e 0,01750 t.ha.h.ha<sup>-1</sup>.MJ<sup>-1</sup>.mm<sup>-1</sup> e a área de estudo apresentou um valor médio ponderado de 0,01823 t.ha.h.ha<sup>-1</sup>.MJ<sup>-1</sup>.mm<sup>-1</sup>, sendo interpretado como erodibilidade média. Os solos Aluviais apresentaram valores considerados como de baixa erodibilidade, assim como o Gleissolo. Os Latossolos têm valores que variam conforme sua natureza textural, sendo que os solos com maiores valores foram aqueles localizados na borda da área de estudo e em locais cuja declividade tende a ser mais acentuada, o que resulta em solos com partículas pobremente agregadas e pouco profundos (Primavesi, 1987).

O cômputo do fator LS resultou no mapa da Figura 2, que mostra que os valores deste fator chegaram até próximo de 240 (adimensional), revelando a importante participação que a topografia possui em potencializar a erosão. Também evidenciou que a EUPS é um modelo que possui este fator como o de maior sensibilidade (Chaves, 1991).

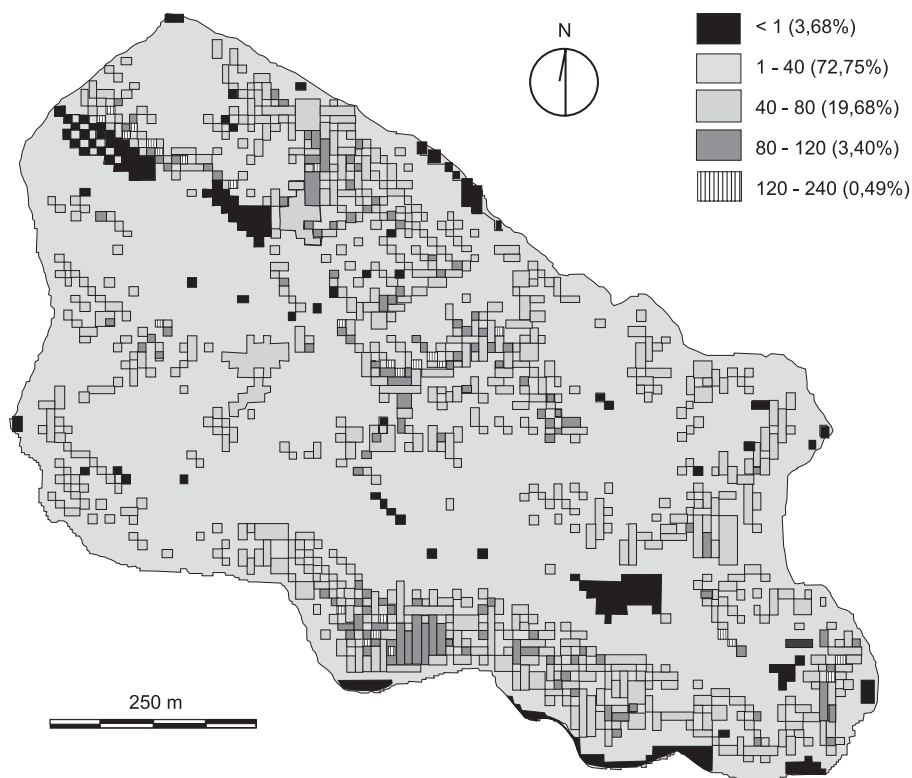
No mapa, optou-se por mostrar separadamente a classe <1 por se tratar de uma classe onde o papel do relevo não é, ao menos matematicamente, acelerador, mas sim amenizador do processo erosivo. Isto porque quando são aplicados valores entre 0 e 0,99 para o fator LS da EUPS os resultados, tanto para o PNE quanto para a EPS, tendem a diminuir. Quando se aplica valor exatamente igual a 1 a participação do fator LS é nula (elemento neutro de multiplicação). Porém, quando valores maiores que 1 são aplicados, verifica-se que o valor resultante é ampliado, mostrando a participação do relevo cada vez maior na aceleração do processo de perda de solo em função do aumento do valor de LS. A classe <1 ocorreu em aproximadamente 3,7% da área e, conforme explicado, indica locais onde provavelmente ocorra uma maior tendência de deposição de parte do solo que foi removido em outras áreas, do que remoção de solo propriamente dito. Não ocorreu nenhum pixel cujo valor de LS fosse exatamente 1. A classe de maior ocorrência foi a 1-40, correspondem a aproximadamente 72,3% da área.

**TABELA 2.** Classes de solos, porcentagem de ocorrência na área de estudo, valor da erodibilidade (fato K) e respectiva interpretação para cada classe.

Solos	% de ocorrência	Valor de K t.ha.h.mm <sup>-1</sup> . ha <sup>-1</sup> .MJ <sup>-1</sup>	Interpretação de K
1 – Latossolo Vermelho Amarelo (LVA) Álico- A moderado textura argilosa	11,579	0,01750	Média
2 – LVA Álico- A moderado textura média	33,144	0,01750	Média
3 – LVA Distrófico Epieutrófico A moderado textura média fase pedregosa	27,302	0,01320	Baixa
4 – LVA Distrófico A moderado textura argilosa	1,452	0,01750	Média
5 – Solos Aluviais Distróficos A moderado textura indiscriminada	0,301	0,00101	Baixa
6 – Solos Aluviais Eutróficos Epidistróficos A moderado textura média	2,532	0,00101	Baixa
7 – LVA Álico Epieutrófico A moderado textura média fase muito pedregosa	0,620	0,03130	Alta
8 – LVA Álico A moderado textura média pouco profundo	2,036	0,03130	Alta
9 – Associação de solos LVA Álico Epieutrófico textura média fase muito pedregosa pouco profundo + LVA textura argilosa ambos Álicos A moderado	10,057	0,03130	Alta
10 – Associação de solos LVA Álico Epieutrófico textura média fase muito pedregosa pouco profundo + solos litólicos distróficos substrato	8,038	0,03130	Alta
11 – Gleí Húmico Indiscriminado	2,939	0,00102	Baixa
Erodibilidade média ponderada considerando a porcentagem de ocorrência de cada classe		0,01823	Média

Fonte das classes de solos: Carvalho et al. (1990).

Interpretado conforme tabela de interpretação citada em Silva et al. (2003).



**FIGURA 2.** Mapa mostrando a distribuição das classes de valores do fator LS da EUPS (adimensional) e das respectivas porcentagens de ocorrência ao longo da área de estudo.

Convém mencionar que, em áreas de ocorrência das classes de maior valor, já houve casos de deslizamento de terras em épocas de chuvas muito intensas, mesmo em situação de vegetação natural. Isto ilustra a periculosidade da combinação dos fatores físicos e o risco ambiental/social que pode proporcionar se terrenos como estes forem erroneamente ocupados e utilizados.

Conforme os trabalhos consultados, estabeleceu-se o valor do fator C para a situação real (vegetação natural) igual a 0,001 e, para a situação hipotética (cenário onde por toda a área ocorreria uma cobertura uniforme de pastagem), valor igual a 0,1 (Bertoni & Lombardi Neto, 1990; Silva et al., 2003). Estes valores ilustram a grande diferença de potencial de frear ou acelerar a erosão conforme o tipo de cobertura do solo, havendo, neste caso, a necessidade de se adotar medidas de compensação para evitar a erosão, isto é, o uso de práticas de conservação do solo.

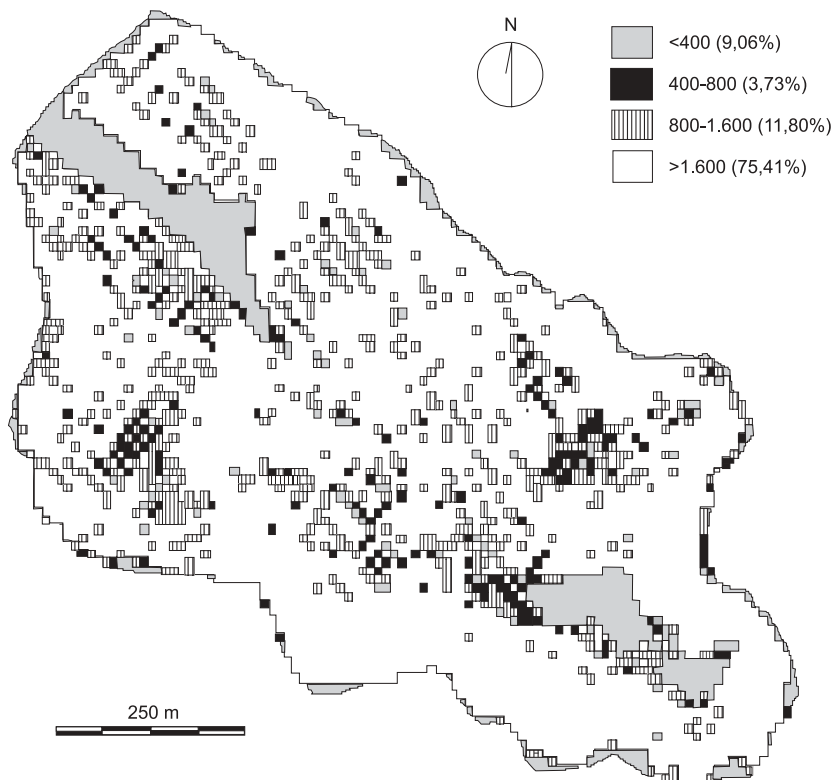
Para o fator P, o valor adotado para ambas as situações de cobertura foi, indubitavelmente, o valor 1. Uma vez que o fator P da EUPS expressa numericamente o esforço humano de conter a erosão através de práticas conservacionistas, o fato de não haver nenhum tipo de obra ou algo parecido na área justifica clara e fielmente a aplicação deste valor. Para o caso

da pastagem, é sabido que, para o Estado de São Paulo, poucos são os locais onde são realizadas práticas de conservação do solo (principalmente o terraceamento ou o enleiramento permanente). Para a bacia D em particular, através de visitas ao entorno da área, verificou-se a ocorrência de pastagem, porém sem o emprego de práticas de conservação do solo; daí a aplicação do valor 1 também para este cenário.

### PNE e EPS

A seguir são apresentados os mapas da espacialização do Potencial Natural de Erosão e da Expectativa de Perda de Solo, este último mostrando duas situações: um mapa cuja cobertura é vegetação natural e um outro mapa mostrando a segunda situação hipotética – a simulação de substituição da cobertura de vegetação natural por pastagem.

O mapa do PNE foi dividido em quatro classes segundo a amplitude de valores e conforme apresentado por Valério Filho (1994) e Silva et al. (2003). As quatro classes são, respectivamente, interpretadas como Fraco, Moderado, Moderado a Forte, e Forte. Conforme mostra o mapa do PNE da Figura 3, verifica-se que há ampla ocorrência da classe Forte ( $\approx 75\%$  da área), seguido da classe Moderado-Forte ( $\approx 12\%$ ), Fraco ( $\approx 9\%$ ) e finalmente a classe Moderado ( $\approx 4\%$ ).

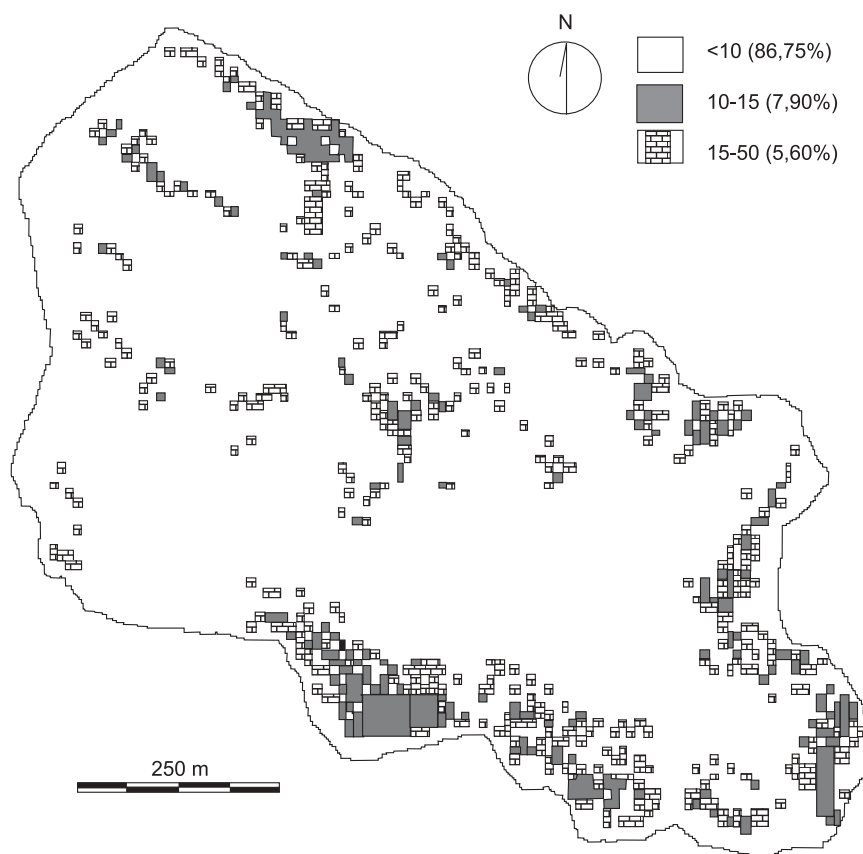


**FIGURA 3.** Mapa mostrando a espacialização do Potencial Natural de Erosão da área de estudo. Valores das classes da legenda em  $t.ha^{-1}.ano^{-1}$ .

A ocorrência majoritária da classe Forte, a qual traduz uma alta sensibilidade da área ao processo erosivo conforme suas características naturais, pode ser explicada pelo fato de que o principal fator ativo que desencadeia o processo erosivo, isto é, a chuva, ocorre na região em grande quantidade e sua erosividade possui magnitude expressiva e de forma concentrada numa época do ano.

A espacialização do PNE mostra principalmente a atuação da variação do relevo. Através do *software* Idrisi, foram calculados os coeficientes de correlação entre os mapas do PNE e o fator LS, e entre os mapas do PNE e o fator K. Os valores encontrados foram, respectivamente,  $r^2 = 0,833$  e  $r^2 = 0,514$ , confirmando, portanto, uma atuação mais pronunciada do relevo do que do tipo de solo e sua respectiva erodibilidade.

O mapa da EPS para o cenário real (Figura 4), isto é, de vegetação natural, mostra o importante papel da floresta no processo de amenização da erosão, uma vez comparados os mapas de PNE e EPS. Para este caso, os dados aqui levantados ilustram uma situação do processo denominado “erosão natural ou geológica”. Para esta situação, Cooke & Doornkamp (1990) mencionam que há um predomínio de erosão química, com pouca remoção do regolito, dada a influência da vegetação e, principalmente, da serapilheira. Assim, amenizam a energia cinética contida nas gotas de chuva e ainda formam um “colchão” e, conseqüentemente, um micro-relevo no piso florestal, o qual constitui uma eficiente barreira natural que minimiza a formação de escoamento superficial e, portanto, proporciona um efetivo controle de erosão.



**FIGURA 4.** Mapa mostrando a espacialização da Expectativa de Perda de Solo para a área de estudo (situação de cobertura real: vegetação natural). Valores das classes da legenda em t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>.

De fato, Anido (2002) observou numa microbacia experimental vizinha à microbacia D, cujas características ambientais são muito similares, que da quantidade de material em suspensão contida na água do deflúvio (valor médio de 22,5 mg.L<sup>-1</sup>), somente 33% correspondia a fração mineral ou inorgânica e 67%

correspondia a fração orgânica, mostrando que a “erosão efetiva”, isto é, a quantidade de solo que é efetivamente perdida é normalmente pequena para áreas com vegetação natural.

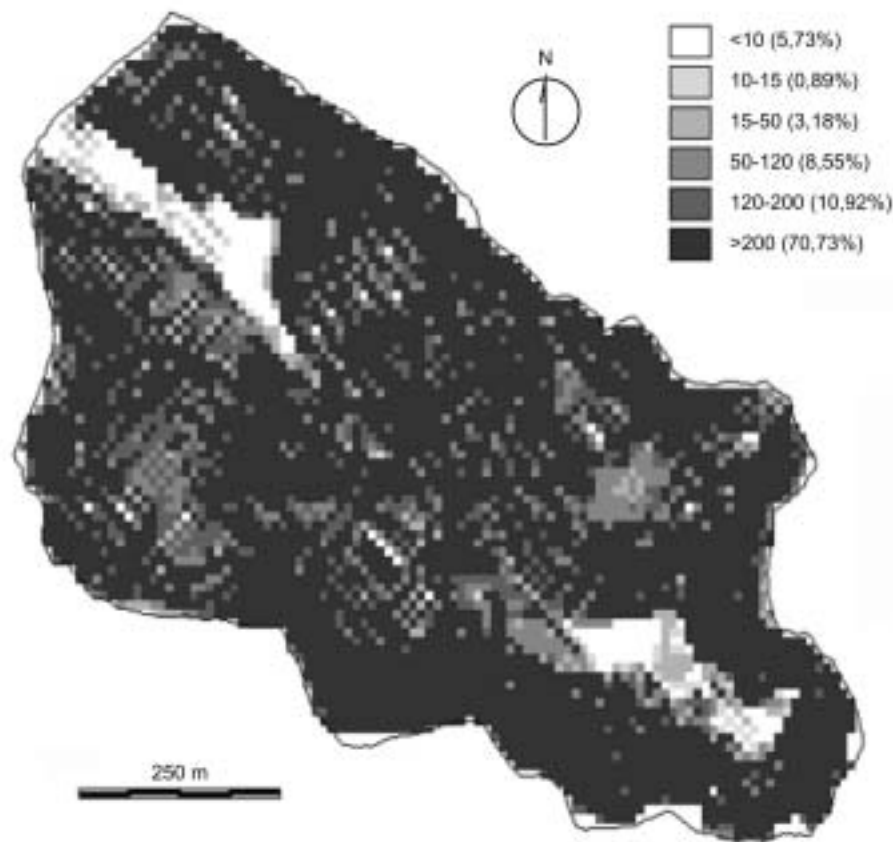
As legendas das Figuras 4 e 5 foram elaboradas conforme tabela de interpretação citada em Carvalho



(1994) e em Silva et al. (2003). Estas classes são assim interpretadas: (1) <math> < 10 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}</math>: nula a pequena; (2) 10-15: moderada; (3) 15-50: média; (4) 50-120: média-forte; (5) 120-200: forte; (6) >200: muito forte. Na Figura 4 verifica-se que ocorreram somente as classes 1 a 3, com ampla ocorrência da classe 1 (86,5%). Por sua vez, a classe 3, de maior magnitude para este cenário, ocorreu em locais onde houve combinação entre um relevo acidentado com solos altamente erodíveis, sugerindo serem estes locais as principais fontes de sedimento, conforme também mencionam Domingues et al. (2001). Neste sentido, estima-se que

a quantidade média anual de solo removido por erosão em toda a área de estudo seja aproximadamente de 285,0 toneladas, com um valor anual médio estimado de  $5,1 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ .

Na Figura 5, que mostra o mapa da EPS para o cenário de pastagem, verifica-se que a perda de solo é expressivamente aumentada e que, além de constar agora todas as classes de interpretação, a classe dominante passa a ser a 6 (muito forte), ocorrendo em *ca.* 71% da área. O montante anual estimado de perda de solo para toda a bacia D é agora de 28.280,0 toneladas, com um valor anual médio de  $505,0 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ .



**FIGURA 5.** Mapa mostrando a espacialização da Expectativa de Perda de Solo para a área de estudo (situação de cobertura hipotética: pastagem). Valores das classes da legenda em  $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$ .

Considerando estes valores de perda de solo e adotando o valor da densidade da partícula de sedimento igual a  $2,65 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$  (Carvalho, 1994; Silva, 1999), estima-se que, para o cenário de vegetação natural, a taxa de denudação (camada uniforme de solo que é anualmente “rebaixada”) é de  $0,191 \text{ mm}\cdot\text{ano}^{-1}$ . Para o cenário de pastagem, há o salto para a alarmante taxa de  $19,0 \text{ mm}\cdot\text{ano}^{-1}$ . Comparativamente, Silva (1999) encontrou para uma microbacia situada em Palmas (Tocantins), com um cenário de uso da terra

contendo várias classes de cobertura de solo e situação de relevo e solo distintas da área do presente estudo, um valor de denudação de  $0,31 \text{ mm}\cdot\text{ano}^{-1}$ . Verifica-se, então, que para a situação de pastagem o valor é extremamente alto, especialmente em casos onde poderia ocorrer uso do solo acima da sua capacidade de uso ou algo similar.

Como se trata de uma área experimental e legalmente pertencente ao governo do Estado de São Paulo, evidentemente as chances de ocorrer desmatamentos

e/ou usos incorretos da área (solo e cobertura deste) são muito pequenas. No entanto, este trabalho mostrou claramente o impacto que a alteração da cobertura do solo acarretaria para as microbacias do entorno do Parque Estadual da Serra do Mar – Núcleo Cunha em termos erosivos, dada a sensibilidade ao processo que a região possui devido a seu relevo e devido também a agressividade das chuvas. Acredita-se que tais informações possam ser efetivamente utilizadas no manejo

de tais áreas, visando a conservação e, em última instância, o uso sustentado do solo e dos recursos hídricos da região.

Logicamente, outros inúmeros cenários poderiam ser criados e deles serem gerados vários mapas e interpretações hipotéticas. Desta forma, seria possível analisar os impactos que o processo erosivo traria para a região conforme as características do manejo adotado.

## CONCLUSÕES

Para a área de estudo, conclui-se que a chuva tem uma participação importante no desencadeamento do processo erosivo, com uma erosividade classificada como forte e com uma distribuição sazonal irregular. O relevo constitui também importante fator e este está mais fortemente correlacionado com a espacialização do PNE e EPS do que à erodibilidade dos solos. Por sua vez, para a erodibilidade obteve-se valor médio ponderado igual a  $0,01823 \text{ t.h.MJ}^{-1}.\text{mm}^{-1}$ , interpretada como média.

O mapa do PNE mostrou a alta propensão ao processo erosivo que a área possui e o mapa de EPS – cenário vegetação natural – mostrou com clareza a capacidade de amenização da erosão proporcionada

por este tipo de cobertura. Por outro lado, quando o cenário de cobertura é alterado para pastagem, os níveis de EPS são brutalmente alterados e os valores distribuídos no mapa evidenciam a franca necessidade da adoção de práticas conservacionistas na região.

A EUPS mostrou uma vez mais ser um eficiente modelo matemático para a estimativa de perda de solo, uma vez que para o Estado de São Paulo já se pode contar com um acervo importante de informações voltadas para a aplicação desta equação.

Ficou também evidenciada a agilidade de trabalho que o geoprocessamento proporciona ao usuário, desde que se tenha um banco de dados compatível com o uso.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a colaboração dos técnicos de campo do Laboratório de Hidrologia Florestal Eng. Agr. Walter Emmerich, Srs. João B. A. dos Santos e Ivail R. de Toledo, sem os quais este trabalho não teria sido possível.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANIDO, N.M.R. **Caracterização hidrológica de uma microbacia experimental visando identificar indicadores de monitoramento ambiental**. Piracicaba, 2002. 69 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queirós, Universidade de São Paulo.
2. BERTONI, J. & LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. São Paulo: Editora Ícone, 1990, 335 p.
3. CARVALHO, N. de O. **Hidrossedimentologia prática**. Rio de Janeiro: Companhia de Pesquisa em Recursos Minerais (CPRM), 1994, 372 p.
4. CARVALHO, W.A.; PANOSO, L.A.; ROSSI, M. Levantamento de reconhecimento detalhado dos solos do Parque Estadual da Serra do Mar – Núcleo Cunha, SP (Bacia “D”). Instituto Florestal, **Revista**, v. 2, n. 2, p. 127-155, 1990.
5. CHAVES, L.H.M. Análise global de sensibilidade dos parâmetros da Equação Universal de Perda de Solo Modificada (MUSLE). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 15, n. 3, p. 345-350, 1991.
6. COOKE, R.U. & DOORNKAMP, J.C. **Geomorphology in environmental management**. Oxford: Clarendon Press, 2<sup>a</sup> ed., 1990, 410 p.
7. DESMET, P.J.J. & GOVERS, G. A GIS procedure for automatically calculating LS factor on topographically complex landscape units. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 51, n. 5, p. 427-433, 1996.
8. DOMINGUES, E.N.; MATTOS, I.F. de A.; FURIAN, S.M. Geomorfologia e cobertura vegetal atual da microbacia do Ribeirão do Barracão no Núcleo Cunha – Parque Estadual da Serra do Mar – SP. **Revista do Instituto Florestal**, v. 13, n. 2, p. 189-200, 2001.
9. EASTMAN, J.R. **Idrisi for Windows version 32.2**. Worcester (Massachusetts, USA): Graduate School of Geography, Clark University, 2001, 245 p.
10. FURIAN, S.M. & PFEIFER, R.M. Levantamento de reconhecimento do meio físico do Núcleo Cunha, SP. Instituto Florestal, **Boletim Técnico**, v. 40, n. 2, p. 183-193, 1986.
11. LEITÃO FILHO, H.F. Aspectos taxonômicos das florestas do Estado de São Paulo. **Silvicultura em São Paulo**, v. 16, n. 1, p. 197-206, 1982.
12. LOMBARDI NETO, F. & MOLDENHAUER, W.C. Erosividade da chuva: sua distribuição e relação com perdas de solo em Campinas, SP. **Bragantia**, v. 51, n. 2, p. 189-196, 1992.

13. PRIMAVESI, A.M. **Manejo ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais**. São Paulo: Editora Nobel, 1987, 9ª. ed., 549 p.
14. RANZINI, M. **Modelagem hidrológica de uma microbacia florestada da Serra do Mar, SP, com o modelo TOPMODEL - simulação do comportamento hidrológico em função do corte raso**. São Carlos, 2002. 132 p. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
15. SILVA, A.M. **Aplicações de técnicas de geoprocessamento no estudo das relações entre os processos erosivos e sedimentológicos de bacia hidrográfica**. São Carlos, 1999. 249 p. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
16. SILVA, A.M. & ALVARES, C.A. Erodibilidade dos solos paulistas: levantamento de informações e estruturação de um banco de dados. **Geociências**, 2005. (neste número).
17. SILVA, A.M. & SCHULZ, H.E. Estimativa e análise do fator topográfico (LS) da Equação Universal de Perda de Solo feito com o uso de aplicativo informatizado compatível com *software* de geoprocessamento. **Revista Fator GIS**, 2000. Disponível em <http://www.fatorgis.com.br>.
18. SILVA, A.M.; SCHULZ, H.E.; CAMARGO, P.B. **Erosão e hidrossedimentologia em bacias hidrográficas**. São Carlos: Editora Rima, 2003, 138 p.
19. VALÉRIO FILHO, M. Técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto aplicadas ao estudo integrado de Bacias Hidrográficas. In: FERREIRA, M.E. & CRUZ, M.C.P. (Coordenadores), **Solos Altamente Suscetíveis à Erosão**. Jaboticabal: Faculdade Ciências Agrárias e Veterinárias/UNESP - Jaboticabal e Sociedade Brasileira de Ciências do Solo, 1994, p. 223-242.
20. WISCHMEIER, W.H. & SMITH, D.D. **Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning**. Science and Education Administration United States Department of Agriculture, Supersedes Agriculture Handbook, 1978, n. 282, 58 p.
21. ZACHAR, D. **Soil Erosion**. Bratislava (Czechoslovakia): Elsevier, Developments in Soil Science, 1982, n. 10, 547 p.

