

ANÁLISE DA SUSCEPTIBILIDADE À EROSÃO NA BACIA DO UNA COM O EMPREGO DE SENSORIAMENTO REMOTO

Íria Vendrame¹; Vinicius Santos Oliveira¹; Cláudia Escobar de Paiva¹& Luigi Carli M. Aulicino²

Resumo - Estima-se o potencial de erosão na bacia do rio UNA no município de Taubaté, São Paulo empregando-se sensoriamento remoto e dados do uso da terra, de pluviometria e o modelo numérico de terreno. As perdas de solo foram estimadas através da equação universal de perdas de solo, que foi modelada em ambiente SIG usando-se o software SPRING (System for Processing Georeferenced Information)-INPE. As informações espaciais sobre uma região permitem o planejamento do uso do solo e também fornecem dados quantitativos e qualitativos sobre os recursos naturais existentes.

Os resultados obtidos mostram que os procedimentos aplicados e os produtos cartográficos geraram uma grande quantidade de informações sobre o meio físico e sobre a susceptibilidade à erosão, apresentando um grande potencial no planejamento integrado de bacias.

Abstract - The potential erosion in the UNA basin river in the municipal district of Taubaté, São Paulo State is estimated using remote sensing system and data sets such as elevation model, rain and land use. The soil losses were estimated by the Universal Soil Loss Equation (USLE), which was modeled in a GIS using the software SPRING(System for Processing Georeferenced Information)-INPE. Space information for a region allows the planning of land use and in addition, it provides quantitative and qualitative data on the existing resources.

The obtained results show that the applied procedures and the cartographic products generated a large amount of information about the physical media and about its soil susceptibility to erosion presenting a huge potential application in the land use control and planning in river basins.

Palavras-chave - erosão, sensoriamento remoto, bacias hidrográficas.

¹ Instituto Tecnológico de Aeronáutica-ITA, Praça Mal. Eduardo Gomes 50, V. das Acácias, S. José dos Campos- SP, Cep:12228-900, tel: 012 39476824, FAX: 01239476803, e.mail: hiria@infra.ita.br.

² INPE-Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos-SP, caixa postal 515,CEP12201-970, e.mail:luigi@dpi.inpe.br.

INTRODUÇÃO

A necessidade de solucionar problemas relacionados ao meio ambiente exige análises que, da melhor forma possível, envolvam as atividades antrópicas básicas e as principais condicionantes do meio físico. Para estudos de natureza geoambiental, faz-se necessário o levantamento, a avaliação e o relacionamento de características geológicas, geomorfológicas, pedológicas, formas de uso e ocupação do solo e hidrologia.

O problema da erosão deve-se não só a existência de solos susceptíveis aos processos de erosão hídrica, somados a períodos de elevada pluviosidade, mas também a uma ocupação desordenada e sem critérios básicos de planejamento ambiental, isto é, práticas de uso e parcelamento do solo inadequadas e deficientes.

Desta forma, constata-se que, parte dos municípios do Brasil apresenta fenômenos de degradação de solos por processos erosivos, causados principalmente pela concentração das águas de escoamento superficial e por uma intervenção antrópica indiscriminada.

Por outro lado, a falta de um levantamento apropriado dos recursos naturais que possibilite o acompanhamento de sua exploração contribui para a ocorrência de problemas como ocupação de áreas impróprias com riscos de erosão e exposição do solo, poluição de recursos hídricos, e invasão de áreas de preservação permanente.

IMPORTÂNCIA DO SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS

A complexidade dos fatores atuantes em uma bacia hidrográfica, tanto a diversidade da natureza quanto a quantidade dos mesmos, exige um instrumento computacional que seja capaz de realizar de maneira eficiente, rápida e fácil todo o serviço relacionado ao manuseio dessas informações. Para suprir tais necessidades faz-se uso de produtos chamados de SIG- Sistemas de Informações Geográficas. Os SIGs operam como ferramentas computacionais criadas especificadamente para manusear informações georreferenciadas, sendo capazes de associar às funções de um Banco de Dados a visualização espacial em forma de mapas. As principais motivações para a realização desse trabalho foram: as perdas de solo estão entre os principais impactos ambientais da atualidade e, a bacia do rio UNA está protegida ambientalmente por vários diplomas federais.

O presente trabalho tem por objetivo estimar a perda laminar de solos, na bacia do rio Una – Taubaté, utilizando o Sistema de Processamento de Imagens Georreferenciadas – SPRING-INPE em conjunto com modelos de predição de processos erosivos como é o caso da Equação Universal de Perda de Solo (EUPS).

ÁREA DE ESTUDO

O vale do Paraíba encontra-se entre duas formações rochosas de destaque na região Sudeste. Próximo à costa encontra-se a Serra do Mar, e, no lado continental, encontra-se a Serra da Mantiqueira. Entre essas serras formou-se o rio Paraíba do Sul e seu vale. De acordo com os domínios morfoclimáticos brasileiros, a região do vale do Paraíba encontra-se classificada como domínio de “Mares de Morros”. A região do Vale do Paraíba é constituída quase inteiramente por rochas cristalinas do Escudo Brasileiro, cujos cumes ultrapassam 1200m. Apesar disso, ela se caracteriza sobre tudo, por possuir uma topografia bastante acidentada o que facilita a turbulência da atmosfera inferior. Esse caráter da topografia favorece a ocorrência de precipitações intensas, uma vez que atua no sentido de aumentar a turbulência do ar pela ascendência orográfica, a qual é ampliada durante a passagem dos sistemas frontais e das linhas de instabilidade. As unidades topográficas: Baixada Litorânea, Serra do Mar, Vale do Paraíba e Serra da Mantiqueira, orientadas paralelamente no sentido WSW-ENE e situadas em níveis altimétricos tão bruscamente diferentes, representam os principais fatores responsáveis pela desigualdade na distribuição das chuvas no vale do Paraíba. Os maiores índices pluviométricos ocorrem próximo das Serras do Mar, Mantiqueira e da Bocaina, constituindo o fator principal para a distribuição das precipitações na região.

A área da bacia do Rio Una é de aproximadamente 442,85 km², dos quais cerca de 84% pertencem ao território de Taubaté.

A bacia do rio Una localiza-se na margem direita do rio Paraíba do Sul, possuindo altitudes que variam entre 500 e 1000 metros, sendo que a Serra do Quebra Cangalha encontra-se a nordeste e a Serra do Jambeiro a sudeste da mesma.

São usos atuais dos recursos hídricos da bacia: abastecimento público, industrial e irrigação, embora este esteja diminuindo com a substituição de culturas irrigadas por criação de gado.

O abastecimento público é de responsabilidade da SABESP (Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo), que opera o sistema UNA-Paraíba, que abastece o município de Taubaté. Para uma população estimada de 26.738 habitantes em 2000, e adotando um consumo médio de 250 l/hab.dia, a demanda estimada atual é de 77,37 l/s ou 0,077 m³ /s. Por outro lado, segundo a SABESP, o consumo médio (vazão medida) da sub-bacia é de 188,08 l/hab.dia, ou seja, demanda de 58 l/s. Assim, atualmente não há problemas de escassez de água nesta bacia, em comparação à disponibilidade hídrica superficial. Ambas as captações são aduzidas para a ETA II, situada na bacia do UNA (capacidade nominal de 860 l/s e vazão efetiva de 530 l/s). Através dessa ETA, distribui-se a água para abastecer 100% da população de Taubaté (inclusive a população das sub-bacias dos ribeirões Judeu e Pinhão) e 50% da população de Tremembé.

As unidades litoestratigráficas presentes na bacia, compiladas de IPT (1981), são: sedimentos aluvionares, predominantes na área de várzea, no contorno das drenagens na cabeceira. Já na porção

do curso médio da bacia, estão presentes formações do grupo Taubaté – Formações Caçapava e Tremembé, além das suítes graníticas pré-cambrianas. Nas adjacências das principais drenagens têm-se os sedimentos recentes.

EQUAÇÃO UNIVERSAL DE PERDAS DE SOLO(EUPS)

Os modelos matemáticos são ferramentas indispensáveis para a simulação, predição e quantificação de erosão hídrica. Dentre os modelos disponíveis para a estimativa da erosão, a Equação Universal de Perda de Solo – EUPS (Universal Soil Loss Equation – Wischmeier & Smith, 1978) vem sendo muito aceita no meio técnico como uma das melhores abordagens sobre a avaliação da erosão dos solos.

No Brasil, segundo Bertoni e Lombardi (1990) vários autores vêm trabalhando com o objetivo de avaliar os fatores da Equação Universal de Perda de Solos para nossas características tropicais.

Parâmetros da Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS)

A Equação Universal de Perdas de Solo (1) traduz a ação conjunta dos fatores naturais: erosividade das chuvas; erodibilidade dos solos; topografia e antrópicos: uso, manejo e práticas conservacionistas, que são os principais fatores de influência no processo erosivo hídrico.

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

Onde:

A é a perda do solo por unidade de área (ton/ha.ano), R é o fator erosividade da chuva (MJ.mm/ha.h.ano), K é o fator erodibilidade do solo (ton.há.h/ha.h.ano), L é o fator comprimento de rampa (adimensional), S é o fator declividade (adimensional), C é o fator uso e manejo (adimensional), e, P é o fator práticas conservacionistas (adimensional).

MATERIAS E MÉTODOS

Para a realização deste trabalho foram utilizados os seguintes materiais: levantamento topográfico na escala de 1:10000 com curvas de nível a cada 25m e pontos cotados (*); rede hidrográfica na escala de 1:10000 contendo rios principais e secundários (*); mapa de uso e ocupação do solo para a bacia do Rio UNA (*); mapa pedológico do estado de São Paulo escala 1:500000; mapa de susceptibilidade à erosão do estado de São Paulo em escala 1:500000 (1995); dados de chuva das estações pluviométricas do DAEE de Taubaté; levantamento de campo de amostras de solo georreferenciadas na bacia do Rio UNA, e, Software SPRING –INPE versão 3.5.1. (*) todos os dados já digitalizados

Inicialmente, foi criado um banco de dados geográficos que corresponde fisicamente a um diretório onde estão armazenados os dados, a seguir, foram definidas categorias e classes temáticas às quais pertencem os dados. Logo após, foi definido um projeto que constitui a área física de trabalho: com nome, projeção e limites geográficos. E, finalmente, a manipulação e integração de dados foram realizadas a partir das funções disponíveis no SIG-SPRING e pelo uso da Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico – LEGAL.

Erosividade da chuva – fator R

Na bacia em estudo foram selecionadas 16 estações (postos pluviométricos), sendo que todas se encontram dentro da área pertencente à mesma.

Visando a obtenção do valor de R para cada estação pluviométrica foi necessário o cálculo das médias totais mensais e médias totais anuais de precipitação em mm de cada estação. Os meses mais chuvosos são os meses entre dezembro e fevereiro com índices pluviométricos superiores a 180mm mensais. O início da estação chuvosa na região começa no mês de outubro e termina em maio. O total médio anual é 1352mm.

Erodibilidade dos solos – fator K

Esse parâmetro foi obtido via linguagem LEGAL, por meio da operação de ponderação. Atribuem-se, os valores de Erodibilidade que correspondem a cada classe de solo levantada em campo, através de amostras georreferenciadas.

Declividade e comprimento de rampa – fator LS

A partir do levantamento topográfico da área que pertence à bacia em estudo, em formato digital dentro do ambiente SPRING (curvas de nível e pontos cotados), gerou-se um Modelo Numérico do Terreno (MNT) que contivesse a declividade do mesmo expressa em porcentagem, retratando o comportamento altimétrico da bacia do Rio Una.

Com a representação (Temática) da drenagem da área da bacia, foi gerado um mapa de distância em modelo numérico (BUFFER). A partir desses dois PI's (Grade Declividade e Grade Distância) foi gerado em LEGAL um único Pi que englobasse essas duas variáveis: operação pontual (matemática), utilizando concepção do comportamento dos dois fatores na determinação final da perda laminar de solo.

Fator CP – uso e manejo e práticas conservacionistas

Para a geração do fator CP que caracteriza a ocupação e uso do solo dentro da bacia, bem como a existência de técnicas de conservação do solo, empregou-se o mapa de uso e ocupação do

solo em formato digital, que foi adequado em classes homogêneas, através da ferramenta de reclassificação dentro do LEGAL. Com a nova classificação, na Linguagem Legal foi gerado um modelo de ponderação desses coeficientes na bacia do Rio Una.

Aplicação da equação universal de perdas de solo

A agregação dos fatores, relacionados anteriormente, em ambiente SPRING, é obtido a partir do implemento de operações pontuais, com o advento da LEGAL (Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico). Portanto, um modelo numérico de valores de erosão laminar foi gerado, o qual permitiu um fatiamento e posterior demonstração de forma temática e qualitativa do comportamento da perda de solo na bacia em estudo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Erosividade da chuva

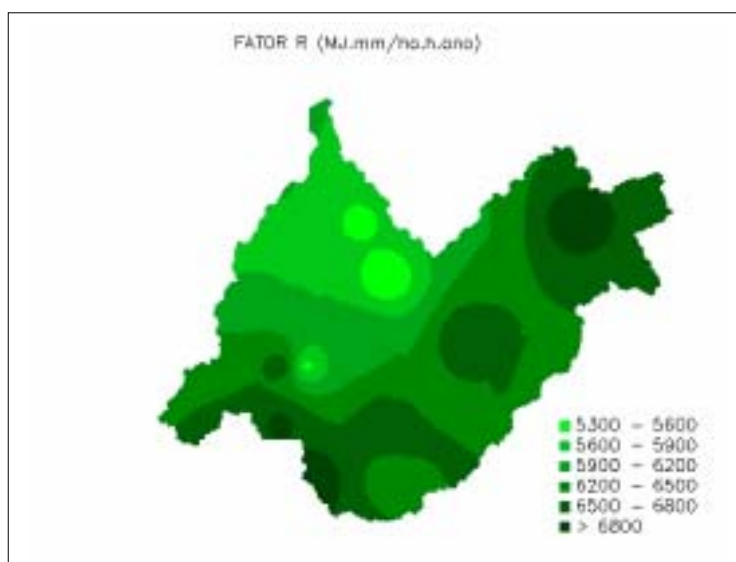


Figura 1 –Erosividade da chuva na bacia do rio UMA.

Pelo resultado apresentado no mapa de erosividade da Figura 1, observa-se que os valores de erosividade mais baixos ocorreram em áreas de relevo suave. Esta relação está associada às características geomorfológicas, já que barreiras naturais do relevo impedem, nas calhas, uma precipitação mais intensa, o oposto ocorre nas áreas mais elevadas do relevo. E ainda, além da existência de um maior impacto das gotas de chuva nessas regiões a velocidade das enxurradas, isto é, dos caudais torrenciais é também mais significativa. Portanto, justificam-se os valores obtidos no mapa de erosividade da bacia. Nota-se que 35.31% da área territorial da bacia possui valores consideráveis de erosividade.

Erodibilidade dos solos

A figura 2 apresenta a erodibilidade dos solos na bacia do rio Una mostrando a importância do fator K, que está ligado ao tipo de solo.

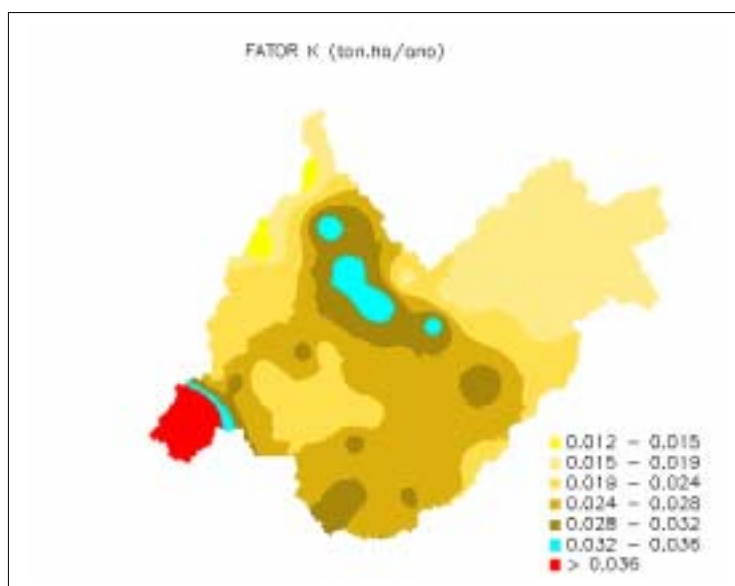


Figura 2- Erodibilidade dos solos-fator K.

As propriedades químicas, biológicas e mineralógicas do solo influem no estado de agregação entre as partículas, aumentando ou diminuindo a resistência do solo à erosão. Portanto, o resultado da espacialização dos valores de K está diretamente relacionado ao mapeamento dos tipos de solos presentes na bacia do Rio Una, pois este parâmetro é uma propriedade intrínseca de cada classe de solo.

Cabe lembrar que o número de amostras coletadas (68 pontos) foi pequeno em vista da dimensão territorial da bacia ($\cong 432 \text{ Km}^2$), portanto, se deve considerar os resultados obtidos como uma extrapolação para a área em estudo.

Fator topográfico – LS

O comprimento de rampa foi gerado a partir do mapa de distâncias o qual considerada o caminho preferencial do fluxo. Foram considerados os cursos d'água principais.

Com relação às características topográficas da bacia, pode-se dizer que, a mesma possui 46% de seu território caracterizado por um relevo de declividades razoavelmente acentuadas relativas às altitudes médias de seu território, que oscilam entre 500 e 1000 m.

Observa-se que em 90.99% do território da bacia o Fator Topográfico encontra-se entre 0-20, valores consideravelmente baixos. Isso é justificado pelo fator distância ser grande em apenas 2%

do território da bacia, sendo que 64% e 34% correspondem às distâncias média e pequena respectivamente.

Fator uso e manejo e práticas conservacionistas

Na figura 3 pode-se observar a classificação atribuída à área da bacia, quanto aos diferentes usos do solo.

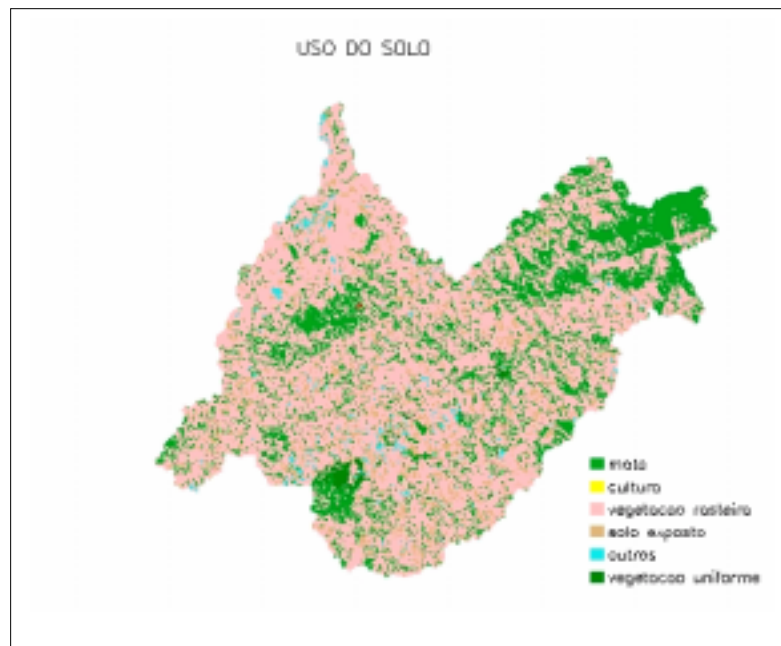


Figura 3- Usos do solo na bacia do rio UNA.

É notável a presença de focos de solo exposto distribuídos por toda a Bacia assim como um grande porcentual da área coberta por vegetação rasteira, já que parte da bacia do Rio Una (área rural) destina-se a pastagens e campo limpo.

Cabe destacar, a proteção natural à erosão fornecida pela cobertura vegetal. Portanto, o critério adotado para o estabelecimento das classes de ocupação deverá ser o porte da cobertura vegetal e a intensidade da ação antrópica no manejo da terra.

Perda de solo por erosão laminar

Os valores de perdas de solo foram hierarquizados em 5 classes de potencial de erosão, conforme é mostrados na Tabela 1, juntamente com a área total para cada classe de perdas de solos.

TABELA 1 – Valores de perdas de Solo

Classes do Potencial de Perdas de Solos	Perdas de Solo (ton/ha.ano)	Área (km²)	% da área Total
Muito Baixo	0 - 1	201.96	46.73
Baixo	1 - 5	24.82	5.74
Médio	5 - 10	39.15	9.06
Alto	10 - 20	75.90	17.56
Muito Alto	> 20	90.34	20.91
Total		432.17	100

A figura 4 apresenta as perdas de solo de acordo com as classes de potencial de erosão.

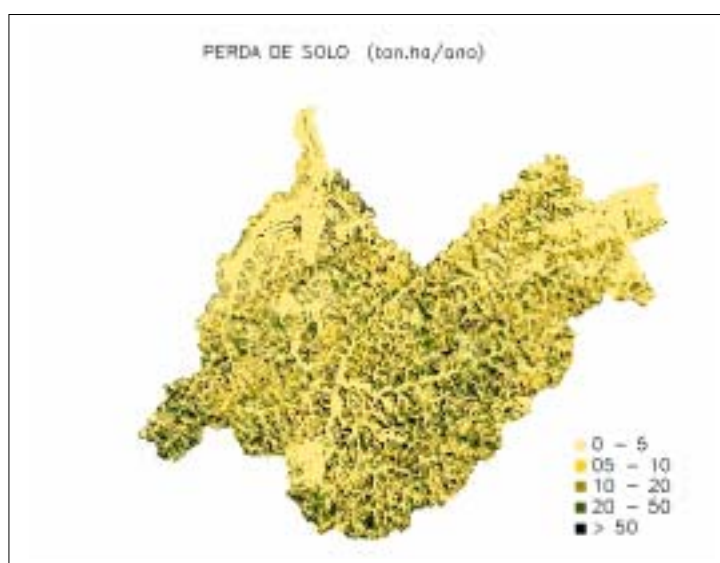


Figura 4 – Classes de potencial de erosão.

De maneira geral a bacia do rio Una, apresenta um potencial de perdas de solo bastante heterogêneo, apresentando regiões de baixa perda e regiões de perda média a muita alta que juntas totalizam em área o equivalente às baixas perdas.

A distribuição espacial da perda de solos, mostrada na figura 4, apresenta uma configuração bastante influenciada por fatores pontuais, isto é, localizados onde em cada caso a associação dos fatores ou a maior influência de um deles pode gerar esta diversidade de perdas distribuídas em toda área da bacia.

A existência de pontos espalhados por toda a bacia com solo exposto devido à ocupação irregular e manejo inadequado do solo pode ser um dos principais fatores que contribuem para tais resultados. Tal fato pode ser observado no mapa gerado para o fator CP apresentado na figura 3.

Sabe-se que a Equação Universal da Perda de Solo permite estimar qualitativamente a erosão esperada em uma determinada área sob as mais variadas condições existentes de uso, manejo e práticas conservacionistas.

Recomenda-se que os resultados obtidos sejam comparados com as taxas máximas aceitáveis consideradas como tolerância de perda de solo.

A tolerância à perda é variável com o tipo de solo. Segundo Bertoni e Lombardi uma perda de solo de até 12 t/há ano está dentro dos limites toleráveis para solos tropicais.

Com isso verifica-se que a Bacia do Una possui aproximadamente 38% de sua área com sérios problemas de perdas de solo por erosão laminar, isto é valores acima do limite tolerável.

A perda efetiva foi determinada como sendo aquela que está acima do tolerável, sendo que o tolerável para esta bacia foi considerado 10t/ha.ano, já que a mesma encontra-se em área protegida ambientalmente, portanto, uma margem de 2% a menos em relação ao sugerido no meio técnico. Assim a perda efetiva foi obtida pela diferença entre a perda de solo calculada e a tolerância à perda apresentada para a bacia

TABELA 2 – Perdas Efetivas de Solo.

Perda Efetiva	Área (km²)	% da área Total
Perdas de solo acima da tolerância	265.93	61.53
Perdas de solo abaixo da tolerância	166.25	38.47
Total	432,18	100

CONCLUSÕES

De acordo com as informações levantadas, pode-se destacar alguns pontos importantes enumerados a seguir:

Destacam-se as facilidades geradas pelo Sistema de Informações Geográficas neste tipo de estudo geoambiental, permitindo a integração e análise de um volume considerável de dados, a espacialização das informações e a facilidade de futura atualização e revisão dos estudos, permitindo a incorporação de novas informações ou mudanças metodológicas. (Santos et al, 1999; Cavalieri et al, 1997; Burin, 1997 Rosa 2000; entre outros)

Cabe lembrar que, o elevado volume de dados tratados em SIG faz com que a digitalização seja o procedimento mais adequado e amplamente usado nos trabalhos atuais, como destacado por Cavalli & Valeriano (2000). No caso de bacias hidrográficas, de porte médio a grande, deve-se pensar na possibilidade de trabalho em áreas subdivididas em parcelas compatíveis com a capacidade operacional do sistema.

Em análises geoambientais, os trabalhos de campo tornam-se de suma importância, na comprovação das evidências dos processos de erosão e assoreamentos dos cursos d'água.

A EUPS necessita de validações experimentais para certas regiões brasileiras, o que compromete o seu uso para fins quantitativos. Vale destacar que a EUPS foi desenvolvida com base em medições realizadas em parcelas experimentais. Portanto, sua aplicação em bacias hidrográficas

de grande porte gera resultados que devem ser analisados como indicativos da situação física e ambiental da bacia, cuja qualidade dependerá diretamente da precisão dos dados básicos utilizados.

O controle da erosão urbana e periurbana deve ser efetuado através de ação efetiva tanto de caráter preventivo quanto corretivo. Permitindo o planejamento da ocupação de tais áreas e o controle nas áreas onde existe o problema já instalado.

Finalmente, o geoprocessamento representa um grande potencial no emprego de modelos distribuídos estabelecendo uma segmentação da área de estudo que favorece a avaliação das áreas que mais contribuem para um determinado processo.

BIBLIOGRAFIA

- Bertoni, J. & Lombardi Neto, F. (1990). *Conservação do Solo*. Ícone editora, Barra Funda, S.P.
- Guerra et al (1999). “Erosão e Conservação do Solo”, Bertrand Brasil. 339p.
- Júnior et al (2001). Confecção do Mapa de Susceptibilidade à Erosão a Partir da EUPS Utilizando para estimar o fator topográfico o programa rampa. VII Simpósio Nacional de Controle de Erosão, Anais. Goiânia, GO.
- IPT. (1981). Zonamento Geoambiental da Bacia do Rio Passa Cinco e Rio da Cabeça – SP. VII Simpósio Nacional de Controle de Erosão, Anais. Goiânia, GO.
- Lombardi Neto, F. & Moldenhauer, W.C. (1982). Erosividade da chuva: sua distribuição e relação com as perdas de solo em Campinas – SP. V.51,n2, p. 189-196.
- Righetto, A. M. e Akabassi, L. (2000). “Erosão distribuída em áreas de encosta”, RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos- Vol. 5 n2. Abril/jun. p.43-57.
- Siviero, M. R. L. & Coiado, e. M. (1999). A Produção de sedimentos a montante de uma seção no Rio Atibaia associada à descarga sólida transportada. XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. p. 1-12.
- VII Simpósio Nacional de Controle de Erosão (2000). Perspectivas metodológicas integradas para controle de erosão. Goiânia, GO.
- Wischmeier, W.H. and Smith, D.D. (1978). Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning. U. S. Department of Agriculture Handbook n. 537, December.