

Análise da influência dos dados de uso e cobertura do solo sobre a estimativa quantitativa da perda de solos – estudo de caso para o município de Brotas (SP).

Clara Carvalho de Lemos
Marcelo Montaña
Marcelo Fidelis Marques Mendes

Programa de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental
Av. Trabalhador São Carlense, 400. Secretaria de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental / Caixa Postal 292. São Carlos – SP. 13560-970
clara@sc.usp.br

Abstract. This study concerns a comparison of two ways of obtaining data on land use for subsequent application for assessing soil loss of the municipality of Brotas (SP), through the Universal Soil Loss Equation (USLE). This is a highly relevant information to determining the anthropic factors of the equation, influencing directly to its results. The classification methods may lead to changes in the final results of the land use maps, and then the information generated from these. Two maps were generated for land use, the first one was obtained through classification of visual orbital image complemented by field surveys and cadastral information (location of cultivated areas from information obtained directly with companies that exploit the territory of the municipality) while the second was drawn up by supervised classification of images CBERS-2. The results show a reasonable similarity between the two procedures (Kappa Index of Agreement of 62.11% overall, considering the classes of cover down), but no longer express some difficulties inherent in the definition of hedges associated with tree size vegetation (in the case, savannah, forest, orange and eucalyptus). In the case of the use of quantitative methods of analysis, as the implementation of USLE, it was found that the methods of classification may result in some variations in outcomes, but they were overcome with some corrections. From these corrections the two methods of drawing up the map of land use produced consistent and similar results.

Palavras-Chave: Universal Soil Loss Equation, remote sensing, environmental analysis, geographical information systems, análise ambiental, Equação Universal de Perda de Solos, sensoriamento remoto, sistemas de informação geográfica, CBERS.

1. Introdução

Vários autores (ARAÚJO, 2006; CAVALIERI, 1996; COSTA, 2005; FUJIHARA, 2002; MANSOR, 2002; RANIERI, 1996; PEDRO e LORANDI, 2004; RUHOF, A. L. et al. 2006; SILVA et al., 2007;) têm utilizado, em diferentes escalas e com propósitos diversos, os sistemas de informação geográfica (SIG) para aplicação da Equação Universal de Perda de Solo (EUPS) em estudos de caracterização de erosão.

O uso inadequado das terras é um relevante fator de intensificação do processo erosivo. Ranieri (1996) lembra que as áreas expostas a grandes movimentações de terra, como é o caso de lavouras com culturas anuais, são mais sujeitas à erosão, pois o solo fica sem proteção da cobertura vegetal por mais tempo.

A Equação Universal de Perda de Solos (*Universal Soil Loss Equation* – USLE) foi desenvolvida na forma de uma multiplicação de fatores para estimativa da erosão. Esta estrutura pode ser aplicada ao planejamento de aspectos manuseáveis da ocupação agrícola, tais como a seleção e a disposição de culturas e o dimensionamento de estruturas de conservação do solo (terraceamento e drenagem, por exemplo) em atendimento a necessidades de conservação do solo (ARAÚJO, 2006).

Além das cartas de risco de erosão de áreas agrícolas, a EUPS também vem sendo utilizada para identificação de feições erosivas em áreas urbanas e periurbanas. Ruhoff (2006) também destaca sua utilidade para projetos de planejamento ambiental e gestão de recursos naturais, como a água. A fórmula ganhou grandes facilidades de aplicações em Sistemas de Informações Geográficas por estes apresentarem possibilidades de operações matemáticas de maneira automatizada.

Sua estrutura, proposta por Wischmeier e Smith (1978), incorpora os fatores de erosividade (fator R), que representa a capacidade da chuva de provocar desprendimento e arrasto de solo; erodibilidade (fator K), que quantifica a susceptibilidade de um solo a ser erodido pela chuva; o fator topográfico (fatores L e S), que considera comprimento da encosta e sua declividade; e, por fim, o fator antrópico (fatores C e P), que expressa a cobertura e uso do solo e as práticas conservacionistas adotadas. O valor final (A) é expresso em t/ha.ano e representa a perda média anual de solo:

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

Os dados referentes ao fator antrópico, em especial aqueles que expressam a cobertura e uso do solo, podem ser obtidos por meio de interpretação de imagens e fotografias aéreas e espaciais; por meio de pesquisa de campo; ou da associação conjunta dos dois métodos. Essas questões vão depender, principalmente, do tempo e recursos disponíveis para a execução do trabalho, da escala e da área de abrangência em que se pretende trabalhar.

É importante destacar também que o levantamento de informações espaciais atualizadas sobre a cobertura do solo teve um progresso definitivo com o *Programa China-Brazil Earth Resources Satellite* (CBERS) concretizado com esforços do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais e da *Chinese Academy of Space and Technology*. A utilização de dados gratuitos e de boa qualidade do satélite tem facilitado a produção de trabalhos técnicos e científicos sobre a atividade erosiva no solo, que, em muitos casos, tem a EUPS como ferramenta de modelagem (MONTESI e BATISTA, 2003).

Dessa forma, além da grande variedade de propósitos e utilidades, os estudos de aplicação da Equação Universal de Perda de Solo em sistemas de informações geográficas variam significativamente no que se refere às formas de obtenção dos dados, às escalas de trabalho e área de abrangência. Por essa razão, este trabalho apresenta os resultados de um estudo comparativo no que refere às formas de obtenção de dados relativos ao uso e ocupação do solo, informação de grande relevância para determinação dos fatores antrópicos da equação.

A área de estudo compreende uma superfície de cerca de 1.102 km², na região central do Estado de São Paulo. Com aproximadamente 23 mil habitantes (IGBE, 2006) o Município de Brotas tem sua economia baseada fortemente no desenvolvimento da atividade turística e do cultivo de cana-de-açúcar, laranja e eucalipto.

A expansão dessas atividades agroindustriais, especialmente ao longo dos últimos dez anos, tem provocado diferentes níveis de conflito relacionados ao planejamento do uso e ocupação de seu território. Enquanto a atividade turística tende a ser associada a uma situação positiva, em grande parte pela sua ligação com a conservação dos atributos naturais, as atividades vinculadas à produção agroindustrial são apontadas como algo a ser controlado pelo Poder Público, sobretudo por haver o entendimento – generalizado – por parte da população de que tais atividades constituem um risco à manutenção da atratividade de seus sítios turísticos e à própria população em si (PREFEITURA MUNICIPAL DE BROTAS, 2007).

O zoneamento ambiental do município, elaborado no ano de 2007, mostra que apesar de estar em uma situação privilegiada em termos de disponibilidade hídrica e com 100% de seus efluentes domiciliares coletados, o município de Brotas apresenta situações críticas associadas à ocorrência de processos erosivos intensos causados, sobretudo, pelo manejo inadequado do solo. As características de exploração intensiva das atividades agrícolas que se desenvolvem no município indicam a necessidade de um nível adequado de atenção para o controle desse tipo de problema (PREFEITURA MUNICIPAL DE BROTAS, 2007).

Dessa forma, este trabalho traz considerações a respeito das formas de classificação de uso e ocupação do solo e de que forma essas diferenças podem influenciar no resultado final do estudo, contribuindo, portanto, para o aprimoramento de usos futuros da EUPS em SIG.

2. Metodologia de trabalho

A aplicação da EUPS em ambiente SIG demanda a definição prévia de seus fatores, conforme estipula a Eq. 1. A Figura 1 a seguir resume os procedimentos utilizados para a obtenção do fator CP (fator antrópico, associado à cobertura do solo e às práticas conservacionistas aplicadas), que no caso seriam os principais responsáveis pela variação no valor estimado para a perda de solo.

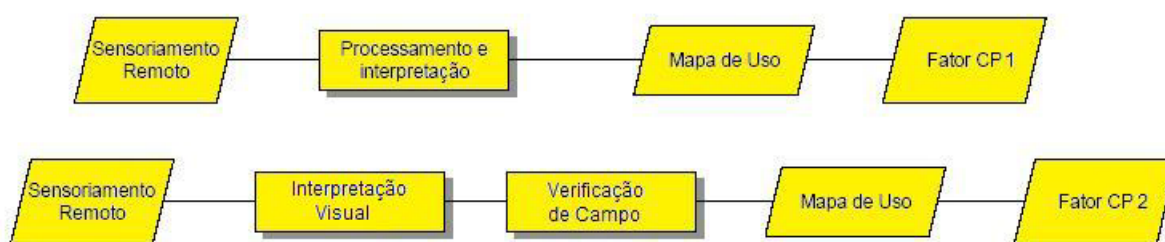


Figura 1: Fluxograma da aquisição dos dados dos fatores CP1 e CP2
Adaptado de: Araújo (2006)

Para possibilitar a comparação objeto desta pesquisa calculou-se em dois mapas distintos cada um dos fatores antrópicos (C1.P1 e C2.P2) por meio da reclassificação de dois mapas de uso e ocupação do solo classificados de maneiras diferentes, substituindo-se as classes de uso pelos seus respectivos valores de manejo e práticas conservacionistas levantados por Costa (2005). Para os demais fatores da equação (erosividade, erodibilidade e fator topográfico) foram considerados os mesmos valores em ambos os casos.

Primeiramente, a partir de imagens multiespectrais fornecidas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, captados pelo instrumento CCD do satélite CBERS 2 – datadas a 08 de setembro de 2007 – obteve-se uma figura que retratava a cobertura do solo naquele momento do ano. Desta gerou-se o primeiro dos mapas de uso e ocupação do solo através de digitalização e classificação supervisionada e, por conseguinte, os fatores C1 e P1.

A segunda representação geográfica de uso e ocupação, também usada para a definição de fatores antrópicos (C2 e P2), é resultado de interpretação visual da mesma imagem associada a um extenso trabalho de verificação de campo e complementada por dados obtidos junto às empresas que operam sobre o território do município. Este plano de informações foi produzido pela equipe de trabalho que elaborou e implementou o Zoneamento Ambiental de Brotas, ao longo do ano de 2007.

O fator topográfico (LS), que considera comprimento de encosta e sua inclinação, foi obtido pelo cálculo da declividade do relevo agregado à orientação das rampas, a partir de dados vetoriais de curvas de nível, obtidos a partir da banco de dados da equipe responsável pelo zoneamento ambiental do município.

A erodibilidade (fator K) foi determinada pela reclassificação das informações pedológicas, por valores resultantes do trabalho técnico realizado por Lombardi Neto e Bertoni (1975) *apud* Bertoni e Lombardi Neto (2005). Esses valores são estimativas obtidas a partir de estudo de 66 perfis de solo que ocorrem no Estado de São Paulo.

Dada a escassez de informações pluviométricas atualizadas e mais detalhadas para o município em questão, o valor de erosividade (fator R) das chuvas anual adotado, índice

numérico que expressa a capacidade da chuva de causar erosão, foi de 7.000 MJ.mm/ha.L para todo o território estudado (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2005).

Reunidos todos os fatores necessários, foi feita a sobreposição dos mapas para o cálculo da EUPS a fim de se determinar os valores de erosão. Todos os mapas resultantes avaliados nesta pesquisa foram compostos com o auxílio do *software* IDRISI 32.

Ao final, procedeu-se a uma análise de similaridade pelo Índice de Concordância de Kappa a fim de verificar o nível de concordância entre os planos de informação de uso e cobertura. A partir da identificação dos principais pontos de concordância, as imagens de uso e cobertura foram ajustadas entre si a partir da delimitação de hipóteses explicativas, e os valores de perda de solos estimados foram novamente comparados.

3. Resultados e Discussão

Observa-se algumas diferenças nos resultados dos mapas de uso e ocupação dos solos gerados pela classificação supervisionada (Figura 2) e por classificação visual associada à verificação de campo (Figura 3).

O primeiro mapa de uso e ocupação do solo foi elaborado por métodos estatísticos automatizados presentes no IDRISI 32. Assim, algumas categorias foram classificadas pelo *software* diferentemente do mapa constante no zoneamento de Brotas. Entende-se que, por exemplo, enquanto os reservatórios foram enquadrados com bastante semelhança, as categorias “laranja”, “eucalipto” e “mata nativa” podem ter sido enquadradas equivocadamente devido às suas semelhanças de cores e texturas. Trata-se, conforme sugere o trabalho de Ponzoni e Shimabukuro (2007), de um problema já considerado clássico na classificação de imagens orbitais com resolução espacial e espectral similares às imagens utilizadas no presente trabalho.

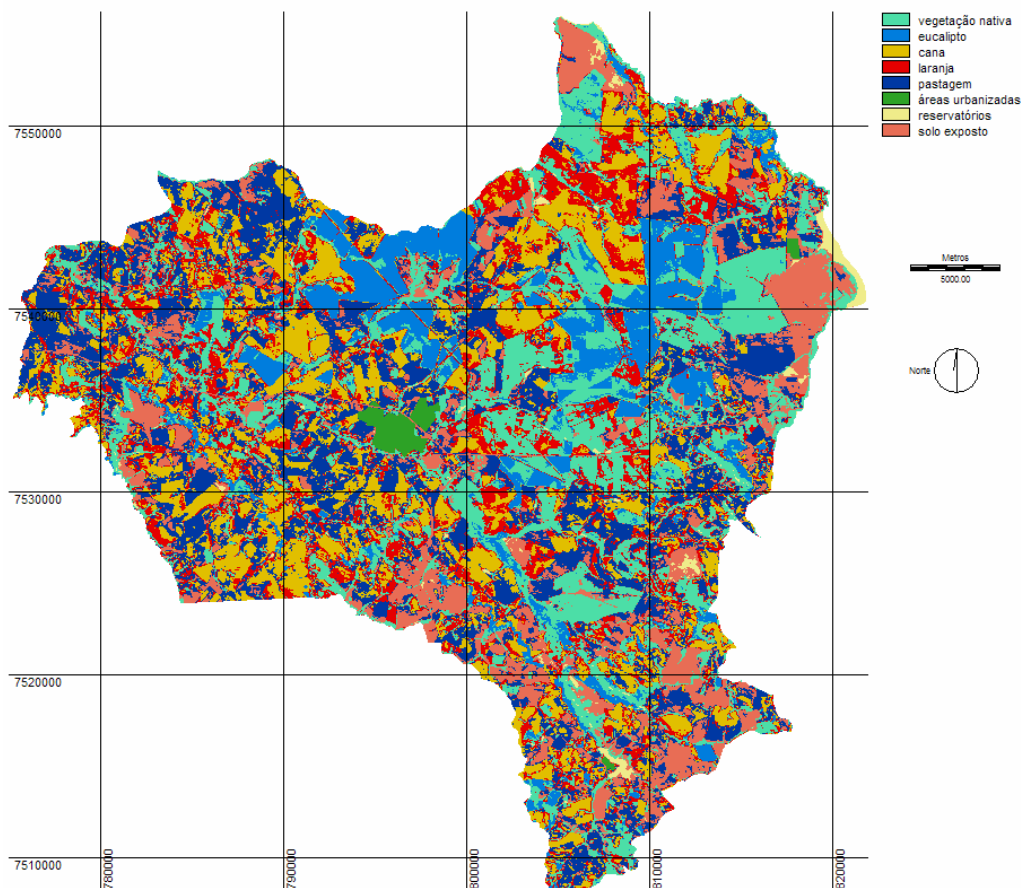


Figura 2: Mapa de uso e ocupação elaborado por classificação supervisionada

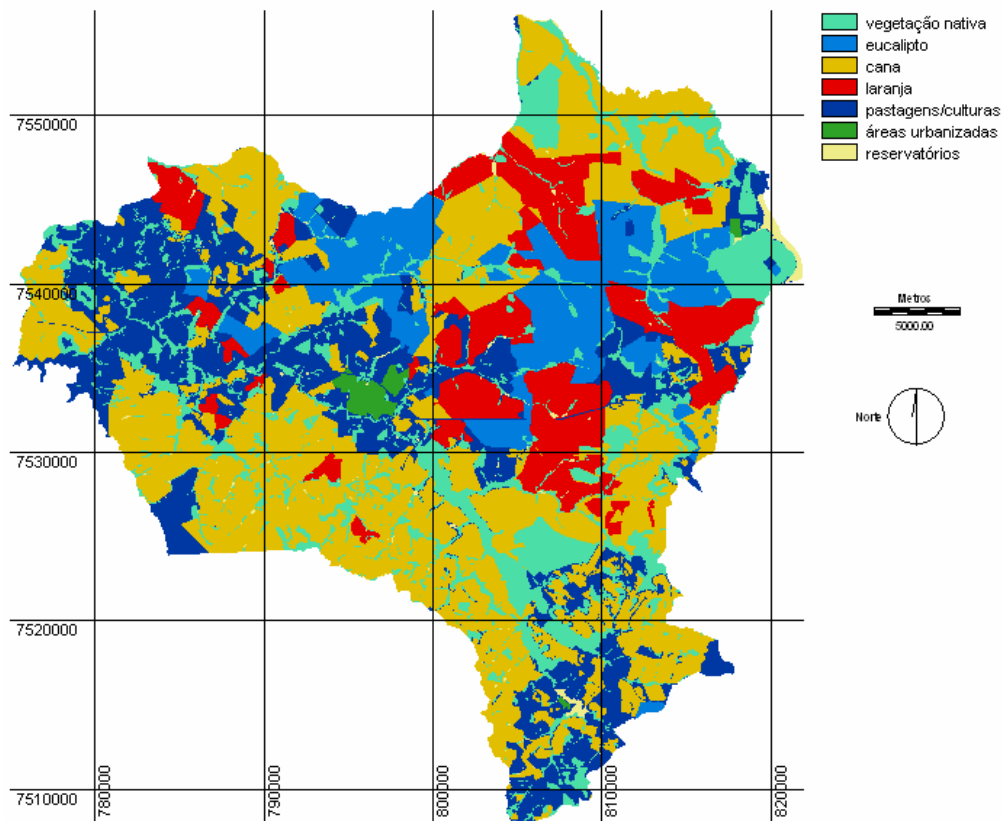


Figura 3: Mapa de uso e ocupação classificado por interpretação visual associada a verificação de campo
 Fonte: Prefeitura Municipal de Brotas (2007)

No entanto, a enorme variação constatada nos valores de áreas das categorias de classificação identificadas em ambos os casos (ver Tabela 3), é resultado da inclusão do critério “solo exposto” (Figura 2), presente apenas na classificação supervisionada. Esta categoria foi observada apenas neste caso devido ao fato de o mapa ter sido gerado a partir de uma imagem de um momento específico, na qual várias culturas, principalmente de cana-de-açúcar, estavam em situação de entressafra. Esse mapa expressa a situação de cobertura do solo em um determinado momento, ou seja, é um retrato instantâneo. Em contraponto, a classificação utilizada no zoneamento ambiental, com verificação de campo, foi determinada pelo uso que se faz do solo, ou seja, pela maneira como o solo é ocupado durante todo o ciclo de um ano.

Apesar das significativas diferenças, pode-se afirmar que ambos trazem informações relevantes no que diz respeito ao uso e manejo do solo agrícola no Município de Brotas.

O mapa final elaborado por classificação supervisionada é resultado de um retrato instantâneo das conseqüências que a cultura da cana-de-açúcar pode causar no seu período de entressafra. Esses resultados trazem à tona uma questão bastante preocupante para a região no que diz respeito à qualidade de seus recursos hídricos, pois esse período de alta exposição do solo coincide com a estação de intensificação das chuvas, o que conseqüentemente, acarreta grandes carregamentos de solo para os rios.

Tabela 3: Áreas das categorias classificadas nos mapas de uso e ocupação.

| Uso / Ocupação | Figura 2 (classificação supervisionada IDRISI) | | Figura 3 (interpretação visual + verificação de campo) | |
|-------------------|--|------------|--|------------|
| | Área (há) | % | Área (ha) | % |
| Vegetação nativa | 23.695,88 | 21,5 | 17.980,72 | 16,3 |
| Reservatórios | 892,84 | 0,81 | 712 | 0,65 |
| Cana de açúcar | 19.765,24 | 17,9 | 41.554,36 | 37,7 |
| Pasto | 22.845,84 | 20,7 | 22.450,08 | 20,4 |
| Eucalipto | 11.146,28 | 10,1 | 12.532,24 | 11,4 |
| Laranja | 17.251,16 | 15,7 | 14.158,48 | 12,8 |
| Áreas urbanizadas | 843,16 | 0,76 | 837,32 | 0,76 |
| Solo exposto | 13.784,80 | 12,5 | ----- | ----- |
| ÁREA TOTAL | 11.0225,2 | 100 | 11.0225,2 | 100 |

O mapa final classificado por interpretação visual associada à verificação de campo (figura 3) trata do uso que se faz do solo de uma maneira geral e não de uma forma de ocupação momentânea (cana-de-açúcar x solo exposto). Assim, sua imagem traz valores menores de área cultivada de cana de açúcar, que, somada ao valor da área de solo exposto, se aproxima do valor encontrado na segunda classificação para a área total de cana de açúcar.

Classificação supervisionada:

Cana de Açúcar (19.765,24) + Solo exposto (13.784,80) = 33.550,04 ha

Interpretação Visual + Verificação de Campo:

Cana de açúcar = 41.554,36 ha

Adotando a hipótese de que as áreas de solo exposto são, na verdade, ocupadas com o cultivo de cana-de-açúcar (o que se confirma pela comparação dos dois planos de informação, figuras 2 e 3, a menos de um fragmento de cerrado localizado na região nordeste do município), a análise de similaridade entre os dois planos de informação para uso e cobertura do solo, realizada a partir da obtenção dos Índices de Concordância de Kappa, indica uma razoável concordância entre as imagens (similaridade geral de cerca de 62%), porém deixa explícito as dificuldades inerentes à delimitação das coberturas associadas a formações vegetais de porte arbóreo (no caso, cerrado, mata, laranja e eucalipto).

Trata-se de uma constatação relevante no que diz respeito ao uso de imagens CBERS-2 para fins de classificação de uso do solo, já que, inserindo informações de uso do solo que venham a suprir as informações pontuais no tempo (caso do solo exposto), os dois métodos de elaboração do mapa de uso e ocupação produzem resultados compatíveis e semelhantes. A classificação supervisionada, portanto, gerou um produto bastante interessante para trabalhar o planejamento ambiental nesta escala de município, sobretudo em aplicações de métodos quantitativos de avaliação de fenômenos ambientais dependentes das informações de uso do solo, como é o caso da aplicação da EUPS.

Essa constatação se confirma a partir dos resultados finais de perda de solo, que trazem valores muito próximos quando se considera a categoria “solo exposto” como cultura de cana-de-açúcar. Assim, foram realizados os cálculos de perda de solo utilizando os dados obtidos

dos dois mapas de fatores antrópicos gerados por métodos de classificação diferentes; além de um terceiro mapa, adotando as áreas de solo exposto da classificação supervisionada como áreas de cultivo de cana-de-açúcar (Tabela 2).

Tabela 2. Volume total de perdas de solo no Município de Brotas – SP.

| Método de Classificação (uso e ocupação do solo) | Volume total (Ton/Ano) |
|---|------------------------|
| Classificação supervisionada de imagens CBERS-2 (com categoria “solo exposto”) | 481.465.315,83 |
| Classificação supervisionada de imagens CBERS-2 (sem categoria “solo exposto”) | 36.710.957,03 |
| Interpretação visual e verificação de campo | 42.411.601,29 |

4. Conclusões

Os sistemas de informações geográficas oferecem grandes facilidades de obtenção de mapas de risco de erosão, considerando as informações previamente obtidas de erosividade da chuva, erodibilidade do solo, declividade do terreno e características antrópicas. No entanto, é preciso que se pondere, ao analisar os resultados finais, algumas limitações no que se refere à equação universal de perda de solo.

Acredita-se que, com informações prontamente disponíveis e considerando a facilidade de manipulação dessas informações para geração de mapas em SIG, esses dados quantitativos e espacializados podem trazer importante subsídio e complementaridade às demais análises qualitativas. Afinal, a estimativa numérica de perda de solo é, sem dúvida, uma informação muito relevante para previsão de impacto ambiental nos recursos hídricos.

Em futuros trabalhos de utilização da EUPS em SIG há que se dar especial atenção à escala utilizada para aquisição de dados relativos ao uso e ocupação do solo. Se a classificação supervisionada for a única forma de obtenção dessas informações, a escala utilizada deve ser tal que permita uma melhor fidelidade dos mapas gerados à realidade estudada. De acordo com o exposto nos resultados, a escala de 1.30.000 implicou na ocorrência de alguns equívocos no processo de classificação final.

Verificou-se que os mapas de uso e ocupação do solo, essenciais para determinação do fator CP da equação de perda de solo, podem variar de acordo com as formas de classificação, que podem condicionar uma série de outros fatores e, conseqüentemente, os mapas finais de perda de solo. No caso do Município de Brotas essa dificuldade foi superada pelo fato de que boa parte das variações encontradas nos mapas finais de uso e ocupação deveu-se à inclusão da categoria “solo exposto” na classificação supervisionada, notadamente áreas de cultura de cana-de-açúcar. A partir dessas correções os dois métodos de elaboração do mapa de uso e ocupação produziram resultados compatíveis e semelhantes. A classificação supervisionada, portanto, gerou um produto viável para fins de planejamento ambiental nesta escala municipal, sobretudo em aplicações de métodos quantitativos de avaliação de fenômenos ambientais.

Referências Bibliográficas

- ARAÚJO, E. P. **Aplicação de dados SRTM à modelagem da erosão em microbacias por geoprocessamento**. 88f. Dissertação (Mestrado) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2006.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. São Paulo: Ícone Editora, 5 ed., 2005.
- CAVALIERI, A. et al. Aplicação de Sistema de Informações Geográficas em Estudos de Degradação do Solo. In: VIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 1996, Salvador. **Anais**. Salvador: INPE. p. 91-92, 1996.

COSTA, A. L. C. **Estudo de vulnerabilidade à erosão com a aplicação da equação universal de perda de solo na alta bacia hidrográfica do rio Jacaré Pepira, utilizando SIG/SPRING**. 168f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro, 2005.

FUJIHARA, A. K. **Predição de erosão e capacidade de uso do solo numa microbacia do oeste paulista com suporte de geoprocessamento**. 118f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (2006). Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat>>. Acesso em: 25 jun. 2008.

MANSOR, M.T.C. et al. Parâmetro para avaliação do potencial de risco de erosão. In: I Simpósio Regional de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto, 2002, Aracaju. **Anais**, 2002.

MONTESI, E. C.; BATISTA, G.T. Avaliação de dados do satélite CBERS para o mapeamento de produção agrícola ao nível municipal. In: **XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 2003, Belo Horizonte, Anais. Belo Horizonte: INPE, p. 181-188, 2003.

PEDRO, F. G.; LORANDI, R. Potencial natural de erosão na área periurbana de São Carlos – SP. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, vol. 1, n.56, p. 28-33, 2004.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento Remoto no estudo da vegetação**. Ed. Parêntese. São José dos Campos, 2007. 127 p

PREFEITURA MUNICIPAL DE BROTAS. **Zoneamento ambiental do Município de Brotas (SP)**: subsídios ao planejamento territorial. Disponível em: <<http://www.brotas.sp.gov.br>>. Acesso em: 05 ago. 2007.

RANIERI, S. B. L. **Avaliação de métodos e escalas de trabalho para determinação de risco de erosão em bacia hidrográfica utilizando sistema de informações geográficas (SIG)**. 128f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1996.

RUHOF, A. L. et al. Avaliação dos processos erosivos através da equação universal de perdas de solos, implementada com algoritmos em legal. **Geomática**, Santa Maria, v. 1, n. 1, p. 9-17, 2006.

SILVA, A. M. et al. Soil loss risk and habitat quality in streams of a meso-scale river basin. **Scientia Agricola**, Piracicaba, vol. 65, n.4, p.336-343, Jul/Aug, 2007.

WISCHMEIER, W.H., SMITH, D.D. **Predicting rainfall erosion losses – a guide to conservation planning**. Washington: USDA/ARS, 1978. 58p. (Agricultural Handbook no 573).