

Comparação das estimativas de perdas de solo nos anos de 1995 e 2010 na Microbacia Hidrográfica do Ceveiro, SP

Pedro Paulo da Silva Barros¹
Peterson Ricardo Fiorio²
Julio Storion de Oliveira³
Juliano Araujo Martins⁴
Raoni Wainer Duarte Bosquilia⁵

^{1,2,3,4,5} Universidade de São Paulo – USP/ESALQ

Av. Pádua Dias, 11 – Departamento de Topografia e Geoprocessamento
13.416-000 - Piracicaba – SP, Brasil

{ pedropaulo, fiorio, jsdeoliveira, julianoaraujo, raoni.bosquilia }@usp.br

Abstract. This study evaluated soil losses between 1995 and 2010 scenarios of the Ceveiro Watershed with the help of RUSLE. For this purpose we used a 1:10.000 topographic map, HRC image of CBERS-2B and other information were incorporated into the GIS database / SPRING. As a pre-requisite to estimate loss established the current land use in the Ceveiro Watershed Basin, located in Piracicaba, SP. There was an increase in pasture areas especially around the dam silted up and a reduction in dirty pasture areas with 136,43 ha. With respect to cane sugar, was not observed major changes in values of area, but a reorganization of this usage in MHC. It was noted a reduction of soil losses from 1995 to 2010. As to the use of 2010 there was a decrease in soil loss of 4,37% for the class 50 - 100 Mg.ha⁻¹.year⁻¹ and 46% to the class greater than 100 Mg.ha⁻¹.year⁻¹ in relation to the use of 1995 which was confirmed the accuracy of the producer and user accuracy. The comparison of the maps is used Kappa index obtaining a value of 0,70.

Palavras-chave: RUSLE; GIS; Soil loss prediction

Introdução

Dentre os principais fatores relacionados com o aumento da degradação ambiental estão as frequentes alterações não planejadas no uso da terra, acima da capacidade de suporte do solo. Nas zonas rurais, o manejo inadequado do solo, sem a observância dos limites e riscos de degradação ambiental, tem provocado o desenvolvimento de processos erosivos acelerados, sendo um dos principais fatores causadores da degradação e deterioração da qualidade ambiental (GUERRA e CUNHA, 1996; PRUSKI et al., 2006).

O uso de geotecnologias, bem como a observação a campo para a classificação do uso da terra, monitoramento de bacias hidrográficas e os impactos tanto nos recursos hídricos como na vegetação nativa, tem sido muito utilizadas nos últimos anos (SANTOS et al., 2000).

O processo de perdas de solo é condicionado, fundamentalmente, pelos fatores chuva, solo, topografia, cobertura, manejo e práticas conservacionistas de suporte. Desde a década de 40, diferentes equações têm sido desenvolvidas para o estudo das perdas de solo por erosão hídrica, e um dos modelos pioneiros utilizados é a Equação Universal de Perdas de Solo Revisada (RUSLE).

Os processos hidrológicos associados ao uso e manejo da terra claramente possuem um papel dominante na produção e transporte de sedimentos (MACHADO e VETTORAZZI, 2003). Weill (1999) comenta que a principal fonte de variação das estimativas de perda para a Microbacia Hidrográfica do Ceveiro (MHC) relaciona-se com os fatores C e P da EUPS. Trabalhos de modelagem de cenários alternativos de uso da terra, utilizando a EUPS e o modelo SWAT (Soil and Water Assesment Tool), constatam que as florestas desempenham papel fundamental na preservação dos solos, reduzindo significativamente a produção de

sedimentos (MINGOTI, 2009; MACHADO e VETTORAZZI, 2003), garantindo quantidade e qualidade dos recursos hídricos (MACHADO et.al., 2003).

Fiorio et al. (1999) utilizando geotecnologias, já observaram mudanças do uso da terra de 1962 até 1995 na Microbacia Hidrográfica do Ceveiro (MHC) onde foi constatado que as principais mudanças ocorridas neste período se deram pela substituição de áreas com culturas anuais e pastagem por áreas de cana-de-açúcar.

Tendo em vista que desde o ano de 1995 até os dias atuais, grandes mudanças podem ter ocorrido no ambiente da MHC, o presente trabalho procurou atualizar estas informações verificando se nos últimos anos (1995 a 2010), ocorreram mudanças no uso e ocupação que podem gerar maiores perdas de solo.

Material e Métodos

A Microbacia Hidrográfica do Ceveiro (MHC) possui área de 1.990,4 ha. Está situada entre as coordenadas 7.488.602 – 7.496.324 S e 213.584 – 222.457 E, no sistema de projeção UTM, Zona 23, Datum Córrego Alegre, município de Piracicaba, SP. É limitada à montante pela Vila de Santana e Vila Olímpia e à jusante pelo distrito de Ártemis e pelo Rio Piracicaba, sendo afluente deste.

O clima da região é o Cwa segundo Köppen, definido como mesotérmico subtropical com inverno seco e verão chuvoso. A temperatura média do mês mais quente é superior a 22°C e no mês mais frio a média não excede a 18°C. O relevo na MHC caracteriza-se por apresentar morros em cotas variando entre 460 e 580 m de altitude, com classes de relevo ondulado. A declividade predominante nas encostas é de 10 a 15% e nos topos de 5%. As áreas com declividades menores que 2% se encontram em pequenas várzeas e topos de alguns morros, constituindo menos de 5% da área total (FIORIO, 2000).

Foram utilizadas no presente trabalho seis cartas na escala de 1:10.000, do Plano Geográfico do Estado de São Paulo elaborados pela Divisão de Geografia da Coordenadoria de Ação Regional da Secretaria de Economia e Planejamento do Governo de São Paulo. A projeção é a Universal Transversa Mercator – UTM, referência horizontal é a de Córrego Alegre, MG e referência vertical do Marégrafo de Imbituba, SC.

As cartas foram convertidas no programa IMPIMA para o formato do SPRING e georreferenciadas via modo teclado. Posteriormente foi realizada a digitalização das curvas de nível e inserção dos valores das respectivas cotas.

O mapa de drenagens foi feito com o auxílio de fotografias aéreas de 2005. Com o auxílio do estereoscópio foram feitos os pontos de controle e traçada a rede hidrográfica em acetato. O acetato com a rede drenagem foi digitalizado, convertido no programa IMPIMA para o formato do spring, registrado via modo tela tendo como referência as cartas 1:10.000 e digitalizado via modo vetorial.

O mapa do uso atual da terra, 2010, foi feito através da imagem mais atual fornecida pelo satélite CBERS 2b sensor HRC (High Resolution Camera) o qual possui resolução espacial de 2,5m e resolução temporal de 130 dias. A cena utilizada foi: CBERS_2B_HRC_20100202_155_A_125_5_L2_BAND1.

Para a obtenção do mapa de uso atual da terra foi feito o registro da imagem via modo tela tendo como referência as cartas planialtimétrica 1:10.000. Posteriormente foi feita a interpretação visual da imagem das diferentes coberturas da MHC com digitalização em tela via edição matricial. Como a área em estudo é relativamente pequena a metodologia apresentada mostrou resultados confiáveis que foram verificados nas visitas “*in loco*”.

O mapa de uso da terra do ano de 1995 utilizado no trabalho foi o apresentado por Fiorio (1999). Este mapa foi digitalizado, convertido no programa IMPIMA para o formato do SPRING, a imagem gerada foi registrada tendo como referência as cartas 1:10.000 e as classes de uso da terra foram digitalizadas via modo matricial. Posteriormente foram

atribuídos os valores de uso e práticas conservacionistas utilizando a operação de ponderação via linguagem LEGAL, gerando uma grade numérica com resolução espacial de 2,5 x 2,5m.

O mapa de solo utilizado para o estudo foi apresentado por Silva (2000). o qual é considerado o mapa de solo mais detalhado para a MHC. Este mapa foi digitalizado, convertido no programa IMPIMA para o formato do SPRING, registrado via modo tela tendo como referência as cartas 1:10.000 e digitalizado via modo matricial no programa SPRING. Foi feita a reclassificação e reagrupamento de acordo com o novo sistema brasileiro de classificação de solos (EMBRAPA, 2009), utilizando a função *reclass* via linguagem LEGAL. Esta etapa do trabalho foi necessária devido a poucos trabalhos desenvolvidos na quantificação do fator de erosividade para as diferentes subclasses do solo.

Para a obtenção dos mapas de perda de solo foi utilizada a Equação Universal de Perda de Solo Revisada (RUSLE), sendo ela desenvolvida inicialmente por Wischmeier e Smith (1978), conforme equação 1:

$$A=R \times K \times LS \times C \times P \quad (1)$$

Sendo:

A = Perda de solo calculada por unidade de área, ($Mg.ha^{-1}.ano^{-1}$);

R = Fator chuva: índice de erosão pela chuva, (MJ/ha.mm/ha);

K = Fator erodibilidade do solo (MJ/ha.mm/ha);

L = Fator comprimento do declive, (m);

S = Fator grau de declive, (%);

C = Fator uso e manejo (adimensional);

P = fator prática conservacionista (adimensional).

O fator R foi obtido conforme a Equação 2 proposta por Lombardi Neto e Moldenhauer (1992), citado por Fujihara (2002). Os dados da precipitação média mensal e anual foram obtidos da estação meteorológica da ESALQ/USP a partir de uma série histórica de 93 anos (1917 a 2010). Os dados pluviométricos foram trabalhados em planilha eletrônica para que pudessem ser processados para o cálculo das médias mensais.

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

Sendo:

(EI) = média mensal do índice de erosão em MJ.mm/(h.ha)

Pm = Precipitação média mensal (mm);

P = Precipitação média anual (mm).

Para determinação do fator R, os resultados dos valores mensais, foram somados, conforme Equação 3, o resultado do índice de erosividade obtido para a MHC foi 6.378,04 MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.ano⁻¹;

$$R = \sum_{j=1}^{12} EI_j \quad (3)$$

Foi elaborado então um mapa temático com o Fator R constante para toda MHC, como feito por Fiorio (1998) e Weill (1999). Posteriormente utilizando a operação de ponderação via linguagem LEGAL do software SPRING foi gerado uma grade numérica com resolução espacial de 2,5 x 2,5m.

Foram utilizados dados para o fator K já existentes na literatura (SILVA et al., 2009; FIORIO,1998). Com o mapa de solos digitalizado, foram atribuídos valores de erodibilidade,

conforme Tabela 1, para todos os solos encontrados na MHC com o sistema SPRING por meio da operação de ponderação, via linguagem LEGAL.

A intensidade da erosão hídrica é afetada tanto pela distância ao longo da qual processa o escoamento superficial quanto pela declividade do terreno, representada na equação pelos fatores L e S respectivamente.

No presente trabalho foi utilizada a equação 4 proposta por Bertoni e Lombardi Neto (2008), mostrada a seguir:

$$LS = 0,00984 \cdot C^{0,63} \cdot D^{1,18} \tag{4}$$

Sendo:

LS= Fator Topográfico;

C=Comprimento da vertente em m e

D= Declividade em %.

A partir das curvas de nível foi gerado uma grade triangular. Desta grade foi obtida a declividade em porcentagem por meio da opção Declividade. O comprimento da vertente foi criado usando as drenagens e a opção de mapa de distância, tendo como resultado uma grade de distância com resolução de 2,5 x 2,5m. Posteriormente integrou-se a declividade com o comprimento da vertente via linguagem LEGAL.

Para o calculo do fator uso e práticas conservacionistas foram utilizados valores da literatura (STEIN, 1987). Então, foi realizada uma ponderação das classes por meio da linguagem LEGAL.

Segundo Landis e Koch (1977) o valor da estatística Kappa permite analisar comparativamente os resultados da análise dos mapas resultantes da utilização de dados de sensoriamento remoto (Fotografias aéreas e imagens de satélite), dentro de certas restrições.

Para maior detalhamento das áreas que tiveram mudanças entre o uso de 2010 e o uso no ano de 1995, os mapas do modelo temático foram comparados entre si através do índice Kappa.

Para a análise mais detalhada dos resultados é apresentada uma matriz de erros com os valores em pixels. Cada matriz de erro é acompanhada dos valores dos erros do produtor e os erros do usuário. As classes de perda de solo apresentadas foram divididas em: 0 a 20 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹, 20 a 50 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹, 50 a 100 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹ e >100 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹.

Resultados e Discussão

O mapa de uso em 2010 (Figura 1 b), considerado o uso atual neste trabalho pode ser observado na Figura 1. Estes dados foram então comparados com os resultados obtidos por Fiorio et al., (1999) para o uso da terra na MHC em 1995 (Figura 1 a).

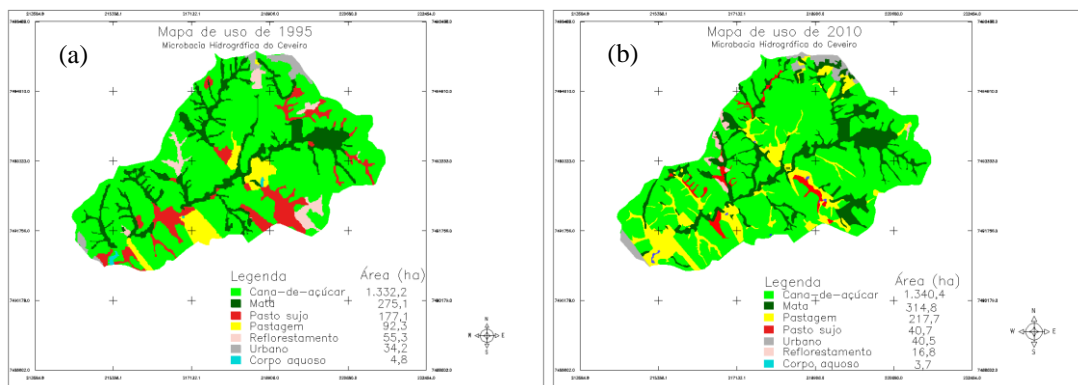


Figura 1. Representação do mapa de uso do solo: para o ano de 1995 (a) e 2010 (b)

Podemos notar que como verificado em 1995, ainda predomina a cultura da cana-de-açúcar ocupando cerca de 67,9% da área total no uso atual. As áreas de mata representam 15,9%, pastagem 11%, pasto sujo e área urbana 2,1%, reflorestamento com 0,8% e corpo aquoso com 0,2% (Tabela 1).

Tabela 1. Uso do Solo para a MHC para o ano de 1995 e 2010

Classes de uso	1995 (ha)	1995 (%)	2010 (ha)	2010 (%)	Diferença (ha)
Cana-de-açúcar	1.332,2	67,5	1.340,4	67,9	8,12
Pastagem	92,3	4,7	217,7	11,0	125,40
Mata	275,1	13,9	314,8	15,9	39,65
Reflorestamento	55,3	2,8	16,8	0,8	-38,57
Pasto sujo	177,1	9,0	40,7	2,1	-136,43
Urbano	34,2	1,7	40,5	2,1	6,29
Culturas anuais	2,9	0,1	0,0	0,0	-2,94
Corpo aquoso	4,8	0,2	3,7	0,2	-0,94
Total	1.974,6	100,0	1.974,6	100,0	

Comparando o uso de 2010 e o de 1995, na Tabela 1, os valores das diferenças de áreas quando positivos indicam um aumento desse uso e quando negativos uma redução do mesmo. Assim, podemos observar um aumento das áreas de pastagem, que passaram de 92,3 ha para 217,7 ha.

Fiorio et al. (2000), trabalhando com a cronologia do uso da terra da MHC verificaram grande aumento da cultura da cana-de-açúcar principalmente entre os anos de 1978, incentivo do Proálcool e 1995. Nesse trabalho após 15 anos foi verificado um aumento de apenas 8,2 ha, porém uma redistribuição significativa das áreas de cana na microbacia

Para este trabalho foi gerado o mapa de perda de solo tanto para o uso de 1995, Figura 2 (a) e para o uso 2010, Figura 2 (b). As perdas de solo obtidas nos mapas em ambos os anos predominam nas classes de 0 a 20 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹ e 20 a 50 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹ como pode ser observado na Tabela 2.

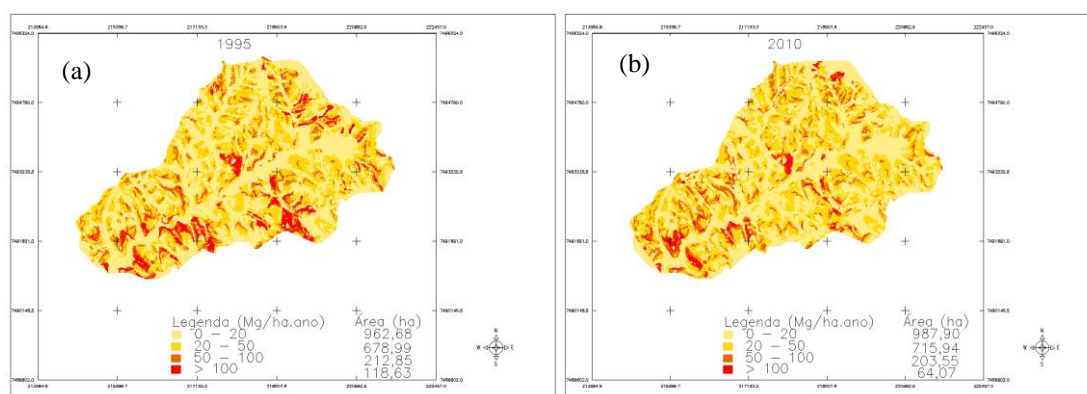


Figura 2. Representação do mapa da estimativa de perda de solo: (a) para uso de 1995 e (b) para uso de 2010

Tabela 2. Área para cada classe de perda de solo para os anos de 1995 e 2010

Classes (Mg.ha ⁻¹ .ano ⁻¹)	1995 (ha)	2010 (ha)	Diferença (%)
0 – 20	962,68	987,90	2,62
20 – 50	678,99	715,94	5,44
50 – 100	212,85	203,55	-4,37
> 100	118,63	64,07	-46,00

Em comparação, ao uso de 1995, observa-se na Tabela 2 que para o uso em 2010 a classe de 0 a 20 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹ aumentou 2,62% e a classe 20 a 50 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹ aumentou 5,44%, tendo como área no ano de 2010 de 987,90 ha e 715,94 ha respectivamente. Enquanto que as classes 50 a 100 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹ e maior que 100 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹ perderam 4,37% e 46,00%, respectivamente, tendo áreas no ano de 2010 de 203,55 ha e 64,07 ha.

A diminuição dos valores de perda de solo para o uso em 2010 em relação a 1995 deve estar associada à diminuição das áreas de pasto sujo que apresentam valor CP alto, de 0,25, e um aumento de área com baixos valores CP, 0,00004 e 0,00, que são mata e área urbana respectivamente.

Para verificar o grau de correspondência entre os mapas de perdas de solo foi utilizado o índice Kappa. As comparações envolvendo os dois, os mapas de potencial de perdas de solo para o uso em 2010 e 1995, o resultado foi de 0,70 sendo considerado forte (CÂMARA et al., 1996). O índice de acertos foi de 0,81 entre os mapas de perda de solo de 2010 e 1995.

Para uma análise mais detalhada foi calculada a exatidão do produtor e do usuário (Tabela 3) que verifica quanto de uma classe de perda de solo do mapa de uso de 2010 identifica, ou seja ocupa a mesma área, em relação ao que foi encontrado pela referência que é o mapa de 1995.

Tabela 3. Exatidão do produtor e do usuário

Classes (Mg.ha ⁻¹ .ano ⁻¹)	Exatidão Produtor (%)	Exatidão do Usuário (%)
0-20	88,38	87,09
20-50	85,20	79,80
50-100	67,52	69,51
>100	33,97	62,58

Ao se observar os resultados obtidos pode-se afirmar que eles comprovam o aumento de área das classes 0 a 20 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹ e 20 a 50 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹ que apresentam alto valor de exatidão produtor quando comparado com a classe 50 a 100 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹ e maior que 100 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹ que tiveram valores mais baixos. Enquanto que na coluna de exatidão do usuário os valores são inversos mostrando que houve grande alteração dos pixels das classes 50 a 100 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹ e maior que 100 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹, e nas classes 0 a 20 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹ e 20 a 50 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹ os pixels foram poucos alterados de sua posição.

Conclusão

As maiores diferenças no uso da terra da MHC foram relacionadas ao expressivo aumento da área de pastagem e com a redução da área de pasto sujo e culturas anuais. A diminuição das perdas de solo pode estar relacionada à reorganização das culturas na área de estudo e ao aumento das áreas de mata e área urbana, que tem valores menores do fator CP e à diminuição da área de pasto sujo, que apresenta um dos maiores valores do fator CP. O maior decréscimo de perda de solo ocorreu para as classes de 50 a 100 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹ e maior que 100 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹ do mapa de uso de 2010 em comparação a 1995.

Referências

- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 6. ed. São Paulo: Ícone, 2008. 355 p.
- CÂMARA, G., SOUZA, R. C. M., FREITAS, U. M., GARRIDO, J. SPRING: integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modeling. **Computers & Graphics**, New York, v. 20, n. 3, p. 395-403, May/June 1996.
- EMBRAPA. **Centro Nacional de Pesquisa de Solos**. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Rio de Janeiro, 2009. 412p.
- FIORIO, P.R. **Cronologia do uso da terra e seu impacto no ambiente da Microbacia hidrográfica do Córrego do Ceveiro da Região de Piracicaba, SP**. 1998.114 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.
- FIORIO, P.R.; DEMATTÊ, J.A.; MELEM JÚNIOR, N.J.; MAZZA, A.M. Potencialidade do uso da terra na microbacia hidrográfica do Córrego do Ceveiro na região de Piracicaba. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 56, n. 4, p. 1273-1280, 1999.
- FIORIO, P.R.; DEMATTÊ, J.A.M.; SPAROVEK, G. Cronologia do uso da terra seu impacto ambiental na microbacia hidrográfica do Córrego do Ceveiro, Piracicaba (SP). **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 4, p. 671-679, 2000.
- FUJIHARA, A.K. **Predição de erosão e capacidade de uso do solo numa microbacia do oeste paulista com suporte de geoprocessamento**. 2002. 118 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.
- GUERRA, A.J.T.; CUNHA, S.B. Degradação ambiental. In: CUNHA, S.B. **Geomorfologia e meio ambiente**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996. p. 337-379.
- LANDIS, J.R.; KOCH, G.G. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, Arlington, v. 33, n. 1, p. 159-174, 1977.
- LOMBARDI NETO, F.; MOLDENHAUER, W.C. Erosividade da chuva: sua distribuição e relação com as perdas de solo em Campinas (SP). **Bragantia**, Campinas, v. 51, n. 2, p. 189-196, 1992. Disponível em:<<http://www.scielo.br/pdf/brag/v51n2/09.pdf>>. Acesso em: 11 ago. 2010.
- MACHADO, R.E.; VETTORAZZI, C.A. Simulação da produção de sedimentos para a microbacia hidrográfica do Ribeirão dos Marins. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 4, p. 735-741, 2003.
- MACHADO, R.E.; VETTORAZZI, C.A.; XAVIER, A.C. Técnicas de modelagem e geoprocessamento. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 727-733, 2003.
- MINGOTI, R. **Produção de sedimentos em microbacias hidrográficas em função do relevo e da cobertura florestal**. 2009. 101 p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.
- PRUSKI, F.F. (Ed.). **Conservação do solo e água: práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica**. Viçosa: Ed. UFV, 2006. 240p.
- SANTOS, C.A.G.; SUZUKI, K.; WATANABE, M.; SRINIVASAN, V. S. Influência do tipo da cobertura vegetal sobre a erosão no semi-árido paraibano. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 1, p. 92-96, 2000.
- SILVA, E.F. da. **Mapas de solos produzidos em escalas e épocas distintas**. 2000. 177 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.
- SILVA, R. M.; PAIVA, F. M. L.; SANTOS, C. A. G. Análise do grau de erodibilidade e perdas de solo na bacia do rio capιά baseado em SIG e sensoriamento remoto. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 2, n. 1, jan/abr, p. 26-40, 2009.

STEIN, D. P., DONZELLI, P. L., GIMENEZ, A. F., PONÇANO, W. L.; LOMBARDI NETO, F. Potencial de erosão laminar, natural e antrópico, na bacia do Peixe – Paranapanema. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO, 3., 1987, Marília. **Anais...ABGE/DAEE**, 1987. v. 1, p. 105-135.

WEILL, M.A.M. **Estimativas da erosão do solo e avaliação do seu impacto na microbacia do Ceveiro (Piracicaba, SP) através do índice de tempo de vida**. 1999. 100 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição Mineral de Plantas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP. 1999.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D.D. **Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning**. Washington: Department of Agriculture, 1978. 58p. (USDA Agriculture Handbook, 537).