**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Análise de diferentes cenários para adequação ambiental da
Microbacia Hidrográfica do Ceveiro**

Pedro Paulo da Silva Barros

**Dissertação apresentada para obtenção do
título de Mestre em Ciências. Área de
concentração: Irrigação e Drenagem**

**Piracicaba
2012**

Pedro Paulo da Silva Barros
Engenheiro Agrônomo

**Análise de diferentes cenários para adequação ambiental da Microbacia
Hidrográfica do Ceveiro**

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:
Prof. Dr. **PETERSON RICARDO FIORIO**

**Dissertação apresentada para obtenção do
título de Mestre em Ciências. Área de
concentração: Irrigação e Drenagem**

Piracicaba
2012

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA - ESALQ/USP**

Barros, Pedro Paulo da Silva

Análise de diferentes cenários para adequação ambiental da Microbacia Hidrográfica do Ceveiro / Pedro Paulo da Silva Barros. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2012.

126 p: il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2012.

1. Bacia hidrográfica 2. Impactos ambientais 3. Perda do solo 4. Sistema de Informação Geográfica I. Título

CDD 551.483
B277a

~~Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte - O autor~~

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus, por não permitir que eu me esmorecesse nas horas difíceis.

À minha família, que acompanhou tudo desde a graduação.

À Universidade de São Paulo e Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” e a todos os professores do curso de Pós-graduação em Irrigação e Drenagem, pelas condições de aprendizagem, oferecidas durante o transcorrer do curso.

Aos professores do Departamento de Engenharia de Biosistemas, Prof. Folegatti, Prof. Jarbas, Prof. Frizzzone, Prof. Rubens, Prof. Sérgio, Prof. Tarlei, Prof. Vetorazzi mas em especial ao meu orientador, Prof. Peterson, pela orientação, confiança, compreensão, amizade, apoio e incentivo.

Não poderia deixar de agradecer aos funcionários do Departamento, em especial à Davilmar, Beatriz, Sandra e Gilmar.

Aos amigos da pós-graduação, Francisco Vilaça, Juliano Araujo Martins, Julio Storion e Ana Carolina Santos Nascimento, sempre disponíveis para ajudar.

A todos os companheiros e colegas da Pós-Graduação em Irrigação e Drenagem da USP/ESALQ.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nivel Superior – Capes pela concessão da bolsa de estudos.

**“Para ganhar
conhecimento, adicione
coisas todos os dias.
Para ganhar sabedoria,
elimine coisas todos os
dias.”**

Lao-Tsé

SUMÁRIO

RESUMO.....	9
ABSTRACT	11
1 INTRODUÇÃO GERAL	13
Referências	20
2 COMPARAÇÃO ENTRE O USO E OCUPAÇÃO E PERDA DE SOLO, NOS ANOS DE 1995 E 2010, NA MICROBACIA HIDROGRÁFICA DO CEVEIRO.....	23
Resumo	23
Abstract	23
2.2 Material e Métodos	26
2.3 Resultados e Discussão	42
2.4 Conclusão	52
Referências	53
3 COMPARAÇÃO ENTRE AS PERDAS DE SOLO DO USO DA TERRA DE 2010 E O USO DA TERRA SEGUNDO A LEI FEDERAL 4.771/65.....	57
Resumo	57
Abstract	57
3.1 Introdução	58
3.2 Material e Métodos	61
3.3 Resultados e Discussão	77
3.4 Conclusão	86
Referências	87
4 COMPARAÇÃO ENTRE AS PERDAS DE SOLO DO USO DA TERRA CONFORME A LEI FEDERAL 4.771/65 E O USO DA TERRA CONFORME A PL 1.876/99	91
Resumo	91
Abstract	91
4.1 Introdução	91
4.2 Material e Métodos	94
4.3 Resultados e Discussão	109
4.4 Conclusão	117
Referências	118
ANEXOS	121

RESUMO

Análise de diferentes cenários para adequação ambiental da Microbacia Hidrográfica do Ceveiro

O presente trabalho avaliou a perda de solo em quatro diferentes cenários da microbacia hidrográfica do ceveiro com o auxílio da USLE: uso de 1995, uso atual (2010), uso conforme a legislação vigente e o uso conforme o PL 1.876/99. Para tanto foi utilizado a carta topográfica 1:10000, imagem HRC do satélite CBERS-2B e demais informações foram incorporadas ao banco de dados do SIG/SPRING. Como requisito para estimar perda estabeleceu-se o uso atual da terra na microbacia hidrográfica do Ceveiro, situada no município de Piracicaba, SP. Foi constatado que no cenário atual a MHC é utilizada em sua maior parte por lavoura de cana-de-açúcar e pastagem. Verificou-se ainda que as áreas de preservação permanente não estão em conformidade com a lei vigente, ocupando atualmente uma área de 205,53 hectares e se fossem restituídas passariam a ocupar 540,70 ha. O cenário conforme a legislação vigente foi o que apresentou menor perda de solo seguido pelo uso conforme o PL 1.876/99 e uso atual.

Palavras-chave: SIG; Perda de solo; USLE

ABSTRACT

Analysis of different scenarios for environmental suitability of the Ceveiro Watershed Basin

This study evaluated soil losses in four different scenarios of the Ceveiro Watershed with the help of USLE: use of 1995, current use (2010), used according to current legislation and use as PL 1.876/99. For this purpose we used a 1:10000 topographic map, HRC image of CBERS-2B and other information were incorporated into the GIS database / SPRING. As a prerequisite to estimate loss established the current land use in the Ceveiro Watershed, located in Piracicaba, SP. It was found that the MHC in the current scenario is used mostly for farming sugar cane and pasture. It was also found that the areas of permanent preservation are not in accordance with applicable law, currently occupying an area of 205,53 ha and would be returned to occupy 540,70 ha. The scenario according to current legislation showed the lowest soil loss followed by use as PL 1.876/99 and current use.

Keywords: GIS; Soil loss prediction; USLE

1 INTRODUÇÃO GERAL

A erosão é considerada um dos problemas mais sérios atualmente nas bacias hidrográficas, influenciando fortemente a produção agrícola, comprometendo também a qualidade dos rios, acentuando processos de assoreamento e enchentes, afetando principalmente a população de baixa renda de países subdesenvolvidos. Desta forma, estudos mais aprofundados com relação aos processos erosivos e processos hidrológicos, têm exigido metodologias mais eficientes que proporcionem maior agilidade e potencial analítico dos dados no âmbito de bacias hidrográficas.

Ribeiro (2002) afirma que a erosão deve ser controlada mediante o uso de ações de caráter preventivo e após sua ocorrência através de ações corretivas, sendo que através do mapa de risco de erosão podem-se obter informações quanto as potencialidades das terras, quanto ao seu uso e ocupação.

É muito difícil entender a magnitude dos problemas gerados pela erosão e as suas consequências para o ambiente e sociedade, sendo o principal fator responsável pela degradação dos solos o uso dado pelo homem. Problemas econômicos, ambientais e sociais gerados pela perda de solos, devido à diminuição da produtividade e qualidade dos produtos agrícolas, qualidade das águas e sua disponibilidade para o uso, são muito difíceis de estimar (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2008).

Um exemplo dos problemas gerados pela erosão foi constatado na Microbacia Hidrográfica do Ceveiro (MHC), onde os processos erosivos acarretaram em deposição de sedimentos na represa do Córrego do Ceveiro e ocasionaram o seu assoreamento. A área da represa foi reduzida pela metade e, atualmente, não fornece mais água para as populações (FIORIO et al., 2000).

Vários fatores estão envolvidos no movimento do solo pela água, como a quantidade, intensidade e duração da chuva, erodibilidade do solo, cobertura vegetal, declividade do terreno e manejo. Sendo que a força erosiva da água é determinada pela interação destes fatores. Essas interações podem ser expressas pela Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS) proposta por Wischmeier e Smith (1978).

A equação universal de perda de solo foi desenvolvida para pequenas áreas, o que acarreta na divergência de resultados quando aplicado em escalas maiores, porém na escala de bacia pode ajudar no planejamento do uso da terra (WEILL et al.,

1999). Devido ao fato que avaliações de campo não permitem constatar as áreas com maior perda de solo, a EUPS torna-se ferramenta muito útil para o estabelecimento de ações conservacionistas (MONTOLAR-SPAROVEK et al., 1999).

A EUPS é um modelo multiplicativo simples, em que todos os fatores entram no modelo com o mesmo peso e grau de importância. No entanto, a amplitude de variação de cada fator na área influencia de forma diferenciada a estimativa de erosão (WEILL, 1999).

A USLE pode ser utilizada também no monitoramento contínuo de sedimentos em reservatórios, podendo também ser utilizada na identificação de riscos de degradação de solos em microbacias, desde que adaptada às condições de estudo. Santos et al. (2000) analisaram a influência da cobertura vegetal sobre a erosão no semi-árido brasileiro usando também uma equação empírica.

Os processos hidrológicos associados ao uso e manejo da terra claramente possuem um papel dominante na produção e transporte de sedimentos (MACHADO; VETTORAZZI, 2003). Weill (1999) comenta que a principal fonte de variação das estimativas de perda para a 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 Assessment Tool), constatarem que as florestas desempenham papel fundamental na preservação dos solos, reduzindo significativamente a produção de sedimentos (MINGOTI, 2009; MACHADO; VETTORAZZI, 2003), garantindo quantidade e qualidade dos recursos hídricos (MACHADO et al., 2003).

Trabalhos realizados na MHC por Fiorio (1998) e Weill (1999) utilizando a EUPS, tiveram como resultado menores taxas estimadas de perda de solo nas áreas com mata ciliar, reflorestamento, vegetação ciliar e pastagens. Estas áreas não se encontravam sob processo de degradação, mostrando a importância da cobertura do solo para o controle da erosão.

Weill (1999) analisou os fatores da EUPS na MHC, mantendo os fatores R, C e P constantes, foram simulados o efeito alternado dos fatores LS e K, fixando o fator LS em sua média e estimada a perda de solo para o K mínimo e máximo encontrado na área, fazendo se também o contrário. A relação da perda mínima em máxima para o fator K foi 1:2 ($39 \text{ Mg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$: $81 \text{ Mg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$) e para o fator LS 1:254 ($0,0342 \text{ Mg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$: $163,71 \text{ Mg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$), chegando a conclusão que o

fator LS foi o segundo fator que mais influenciou a variação de perdas para a MHC. Portanto o cálculo de LS pode se constituir em fonte de imprecisão para um fator muito significativo.

As perdas de solo calculadas por Silva et al. (2009), utilizando o modelo USLE, mostraram que 65% da área da bacia do rio capiá apresenta perda anual de solo entre 0 e 40 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹, e que o restante da área da bacia apresenta perdas de solo com valores em torno entre 40 e 200 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹, mostrando que a bacia possui perda de solo que pode ser considerada como moderada.

Diferentes modelos têm sido elaborados, dada a complexidade do processo que promove a erosão do solo visando encontrar sua adequada descrição. A descrição físico-matemática do processo erosivo evoluiu muito a partir da década de 50, com o surgimento da Equação Universal de Perdas do Solo (USLE). Nas últimas décadas, o progresso da informática permitiu o desenvolvimento de metodologias baseadas em técnicas de simulação, que possibilitam considerar as variações espaciais e temporais dos fatores envolvidos no processo erosivo (CECÍLIO et al., 2009).

Conforme Rosa (1995) as variáveis apresentadas, R, K e LS, são totalmente correlacionadas a aspectos naturais, que agrupadas descreveriam o potencial natural à erosão laminar.

A ação antrópica no processo de erosão laminar é diretamente influenciada pelos fatores C (uso e manejo do solo) e P (práticas conservacionistas). Um solo desprovido de cobertura vegetal apresenta uma susceptibilidade a erosão geralmente maior do que um outro recoberto, sendo que o grau de proteção, depende basicamente do estágio de crescimento e desenvolvimento da vegetação aliada ao manejo (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2008).

Segundo Stein et al. (1987), se na pesquisa pretende-se adequar as formas de produção agrícola de maneira a mitigar os impactos gerados sobre o meio físico, as variáveis antrópicas (C e P) da USLE devem ser tratadas separadamente. Mas se o objetivo é espacializar fenômenos por meio do geoprocessamento, a obtenção dos dados de C e P pode ser analisada de forma integrada em função do uso e ocupação do solo.

O conceito mais utilizado de SIG apresenta-se como uma coleção organizada de software, hardware, dados geográficos e pessoal envolvido no trabalho, projetado

para, capturar, armazenar, atualizar, manipular e apresentar todas as formas de informações geograficamente referenciadas. A definição de Star e Estes (1990) de SIG é: a união entre um sistema de banco de dados projetados para trabalhar com dados georeferenciados e um conjunto de operações que fornecem capacidade analítica para tais dados.

A possibilidade da utilização da informática para auxiliar nos estudos de modelagem de perdas de solo veio com o seu desenvolvimento no século passado e com o desenvolvimento de softwares que permitem a análise espacial de dados. Estes programas são os SIG's (Sistemas de Informação Geográfica) permitindo o processamento de dados inseridos no espaço.

O geoprocessamento se utiliza de artifícios matemáticos e computacionais para o tratamento da informação geográfica, sendo utilizado em diversas áreas na análise de recursos naturais, comunicação, cartografia, transportes, energia e planejamento urbano e regional. Os softwares utilizados permitem, através de análises complexas, integrar dados de diversas fontes ao criar bancos de dados geo-referenciados (CÂMARA; DAVIS, 2001).

A aplicação da tecnologia SIG facilita a maneira de como o uso do solo pode ser monitorado, pois técnicas relativamente simples podem fornecer informações que permitem a avaliação, reparação e reavaliação dos usos, a um custo aceitável. Uma questão importante na adoção das técnicas de SIG para o planejamento do uso do solo é a questão agrícola (PELEGRIN, 2001).

Rodrigues et al. (2001) ressaltam a importância da utilização de Sistemas de Informação Geográfica na confecção de mapas, tal utilização é vantajosa devido à rapidez e pelo conjunto de alternativas de integração dos dados de atributos e dados espaciais no processamento e manipulação da base de dados.

Segundo Brito et al. (1998) o SIG se revelou como uma valiosa ferramenta na integração dos dados referente a perda de solo por erosão laminar e na geração de produtos cartográficos para avaliar e monitorar a sustentabilidade ambiental do sistema agroalimentar dos cerrados.

Um estudo realizado por Baptista (1997) no Distrito Federal sobre o diagnóstico ambiental da perda laminar nos solo identificou e mapeou o potencial erosivo do solo, por meio de integração de fatores da EUPS, utilizando um Sistema de Informação Geográfico (SIG).

A análise dos fatores que ocasionam a erodibilidade do solo, de forma rápida, são essenciais para ações que visam a melhoria do ambiente e planejamento. Os sistemas de informação geográfica (SIG) tornam-se ferramentas necessárias e importantes para a análise da erosão, de forma rápida e consistente, permitindo a análise grande quantidade de dados (MINGOTI, 2009).

Para estudar as regiões com mais probabilidade de erosão, nas últimas décadas estudos utilizando SIG, Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto vem se desenvolvendo. Pois eles constituem como importantes ferramentas para a avaliação da erosão dos solos (SILVA et al., 2007).

Diversas pesquisas foram realizadas recentemente para determinar a degradação do solo e os processos erosivos em bacias hidrográficas, a partir do uso da geotecnologia. Como exemplo de trabalho usando essas técnica, Lima et al. (1992) verificaram a susceptibilidade natural e o risco de erosão por intermédio do uso de um SIG em área teste da Paraíba, desenvolvido especificamente para Sensoriamento Remoto e da Equação Universal da Perda de Solo, e concluíram que a partir de imagens de satélite foi possível estimar o risco de erosão em grandes áreas.

A legislação federal brasileira define dois tipos de área para realizar a manutenção da cobertura vegetal dentro da propriedade rural: Área de Preservação Permanente (APP) e Reserva Legal (RL).

Segundo Sparovek et al. (2010) as Áreas de Preservação Permanente são de uso específico de conservação, devendo estar cobertas por vegetação natural. O objetivo principal é evitar que sedimentos e poluentes cheguem aos corpos d'água superficiais e preservar suas áreas de recarga. A Reserva Legal é uma proporção de cada imóvel rural que deve ser conservado sem a remoção completa da vegetação. Alguns usos produtivos são consentidos como a extração de produtos florestais e a apicultura; mas apenas atividades que não promovam o corte raso da vegetação.

O Novo Código Florestal, Lei Federal 4.771 de 15 de setembro de 1965, chamada assim porque em 1934 já havia sido aprovado o "Código Florestal" (Decreto n.º 23.793) que, no entanto, não deu certo devido às dificuldades para sua implementação, trata das florestas em território brasileiro e demais formas de vegetação, define a Amazônia Legal, os direitos de propriedade e restrições de uso

para algumas regiões que compreendem estas formações vegetais e os critérios para supressão e exploração da vegetação nativa.

Em seu primeiro artigo, o Código Florestal contém a seguinte definição: “As florestas existentes no território nacional e as demais formas de vegetação, (...), são bens de interesse comum a todos os habitantes do País...”, assim explicitando o valor essencial das florestas e vegetações nativas a despeito de seu valor comercial.

No Art. 2º são definidas as APP's (como topos de morros, ao redor de nascentes, ao longo de rios, etc.), nas quais, segundo a Lei, só é permitida a supressão total ou parcial com a autorização prévia do Poder Executivo Federal e quando for para a execução de atividades de utilidade pública ou interesse social (definidas no Art. 1º, § 2º, incisos IV e V).

A fim de regulamentar o Art. 2.º da Lei n.º 4.771/65, publicaram-se a Resolução n.º 303, de março de 2002, onde revoga a Resolução CONAMA 004, de novembro de 1985, que se referia as Áreas de Preservação Permanente quanto ao tamanho das áreas adjacentes a recursos hídricos determinando que:

- a) as Áreas de Preservação Permanentes ao redor de nascente ou olho d'água, localizada em área rural, ainda que intermitente, devem ter raio mínimo de 50 metros de modo que proteja a bacia hidrográfica contribuinte;
- b) em veredas e em faixa marginal, em projeção horizontal, deve apresentar a largura mínima de 50 metros, a partir do limite do espaço brejoso e encharcado;
- c) para cursos d'água, a área situada em faixa marginal, medida a partir do nível mais alto alcançado pela água por ocasião da cheia sazonal do curso d'água perene ou intermitente, em projeção horizontal, deverá ter largura mínima de:
 - I. 30m, para cursos d'água com menos de dez metros de largura;
 - II. 50 m, para cursos d'água com dez a cinquenta metros de largura;
 - III. 100 m, para cursos d'água com cinquenta a duzentos metros de largura;
 - IV. 200 m, para cursos d'água com duzentos a seiscentos metros de largura;
 - V. 500 m, para cursos d'água com mais de seiscentos metros de largura.
- d) No entorno de lagos e lagoas naturais, a faixa deve ter largura mínima de 100 m para os que estejam em áreas rurais, exceto os corpos d'água até 20ha de superfície, cuja faixa marginal será de 50m.
- e) Em encostas com declividade igual ou superior a 45º de declividade.

Existem ainda poucos estudos no Brasil envolvendo o monitoramento de Áreas de Preservação Permanente (APPs), o que contribui para a ocorrência de problemas como a ocupação de áreas impróprias com riscos de erosão e exposição do solo, poluição dos recursos hídricos e invasão de áreas de preservação permanente (MONTESI; BATISTA, 2003). No entanto, o avanço das geotecnologias e a maior disponibilidade de dados sobre a superfície terrestre têm permitido maior facilidade no desenvolvimento de estudos sobre o tema. Através do Sistema de Informação Geográfica (SIG), pode-se quantificar e identificar os conflitos de uso da terra em APPs, auxiliando o monitoramento, controle e suporte para o estudo de impactos que poderão ocorrer. Estes resultados são obtidos mediante a sobreposição de diversas informações espaciais da bacia hidrográfica em estudo.

Vários trabalhos têm sido conduzidos, envolvendo a delimitação de bacias hidrográficas e, mais recentemente, de suas áreas de preservação permanente. A maioria dos sistemas de informações geográficas (SIG) hoje disponíveis no mercado traz ferramentas que possibilitam executar automaticamente essas tarefas com rapidez e confiabilidade. Dentre os trabalhos realizados, pode-se citar o de Costa et al. (1996), que realizaram um estudo com o objetivo de delimitar e caracterizar áreas de preservação permanente de uma região de 185,31 ha, localizada no noroeste do município de Viçosa-MG. Eles identificaram quatro categorias de APPs e elaboraram um diagnóstico quali-quantitativo do uso da terra. Os resultados indicaram que 50,54% das áreas de preservação permanente encontravam-se sob uso indevido, ocupados por pastagens e culturas agrícolas. A maior parte dessas áreas concentrava-se às margens dos cursos d'água e ao redor de nascentes, totalizando 72,59% de uso indevido para essas duas classes de APP.

Soares et al. (2002) estudaram, ao longo de um período de 30 anos, a evolução do conflito de uso da terra em áreas de preservação permanente, em três épocas distintas, em uma microbacia de 207 ha, localizada no município de Viçosa-MG. Para composição da base de dados, eles utilizaram mapas de uso da terra, de relevo e de hidrografia, obtidos de restituição de fotografias aéreas, tomadas em 1963, 1978 e 1994. As classes de uso da terra compreenderam pastagem, cafezal, cultura anual (milho, feijão, arroz), capineira, eucaliptal, pomar, área em regeneração (capoeira) e floresta, dentre outras. Os resultados indicaram que 39,02% da área da microbacia deveriam ser área de preservação permanente. Análises do uso da terra

para 1963, 1978 e 1994 indicaram, respectivamente, que 14,78%, 21,12% e 24,56% encontravam-se com uso indevido nessas três ocasiões. A principal conclusão foi o aumento significativo na área ocupada com uso indevido do solo, ao longo do tempo, a despeito da existência de legislações ambientais.

Objetivo geral

O presente trabalho tem como objetivo principal comparar diferentes cenários de uso e ocupação do solo para verificar qual cenário apresenta a menor perda de solo na Microbacia Hidrográfica do Cerveiro.

Referências

- BAPTISTA, G.M.M. **Diagnóstico ambiental da perda laminar de solos, no Distrito Federal, por meio do geoprocessamento**. 1997. 112 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 1997.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 6. ed. São Paulo: Ícone, 2008. 355 p.
- BRITO, J.L.S.; LIMA, S.C.; SHIKI, S.; MOREIRA, M.R. Uso do geoprocessamento na estimativa de perda de solo por erosão laminar em Írai de Minas – MG. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 9., 1998, Santos. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 1998. p. 501-512.
- CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A.M.V. **Introdução à ciência da geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2001. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/>>. Acesso em: 24 abr. 2010.
- CECÍLIO, R.A.; RODRIGUEZ, R. G.; BAENA, L. G. N.; OLIVEIRA, F. G.; PRUSKI, F. F. Aplicação dos modelos RUSLE e WEPP para a estimativa da erosão hídrica em microbacia hidrográfica de Viçosa (MG). **Revista Verde**, Mossoró, v. 4, n. 2, p. 39-45, 2009.
- COSTA, T.C.C.; SOUZA, M.G.; BRITES, R.S. Delimitação e caracterização de áreas de preservação permanente, por meio de um sistema de informações geográficas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 8., 1996, Salvador. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 1996. p. 121-127.
- FIORIO, P.R.; DEMATTÊ, J.A.M.; SPAROVEK, G. Cronologia do uso da terra: seu impacto ambiental na microbacia hidrográfica do Córrego do Cerveiro, Piracicaba (SP). **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 4, p. 671-679, 2000.
- LIMA, E.R.V.; KUX, H.J.H.; SAUSEN, T.M. Sistema de informações geográficas e técnicas de sensoriamento remoto na elaboração de mapa de riscos de erosão no

sertão da Paraíba. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 16, n. 2, p. 257-263, 1992.

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, SP. 2009.

MONTESI, E.C.; BATISTA, G.T. Avaliação de dados do Satélite CBERS para o mapeamento de produção agrícola ao nível municipal. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11., 2003, Belo Horizonte. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2003. p. 181-188.

MONTOLAR-SPAROVEK, R.B.; VIDAL-TORRADO, P.; SPAROVEK, G. Erosão em sulcos, entressulcos em uma microbacia de Piracicaba (SP) intensivamente cultivada. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 56, n. 4, p. 859-865, 1999.

RIBEIRO, F.L. **Mapa de vulnerabilidade à erosão da região do Alto Rio Pardo – Pardinho (SP)**. 2002. 119 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Botucatu, 2002.

RODRIGUES, J.B.T.; ZIMBACK, C.R.L.; PIROLI, E.L. Utilização de Sistemas de Informação Geográfica na avaliação do uso da Terra em Botucatu. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Piracicaba, v. 25, p. 675-681, 2001.

ROSA, R. **Introdução ao sensoriamento remoto**. Uberlândia: EDUFU, 1995. 117p.

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, R.M.; PAIVA, F.M.L.; SANTOS, C.A.G. Análise do grau de erodibilidade e perdas de solo na bacia do rio Capiá baseado em SIG e sensoriamento remoto. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 2, n. 1, p. 26-40, jan./abr. 2009.

SILVA, R.M.; SANTOS, C.A.G.; COSTA SILVA, J.F.C.B.; SILVA, L.P. Avaliação espacial e temporal de perdas de solo usando o sistema de informações geográficas (SIG). **OKARA: Geografia em Debate**, João Pessoa, v. 1, n. 2, p. 24-37, 2007.

SOARES, V.P.; MOREIRA, A.A.; RIBEIRO, J.C.; RIBEIRO, C.A.A.S.; SILVA, E. Avaliação das áreas de uso indevido da terra em uma microbacia no município de Viçosa-MG, através de fotografias aéreas e sistema de informação geográfica. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 26, n. 2, p. 243-251, 2002.

SPAROVEK, G.; BARRETO, A.; KLUG, I.; BERNDES, G. **Considerações sobre o código florestal brasileiro**. Disponível em: <http://www.ekosbrasil.org/media/file/OpCF_gs_010610_v4.pdf>. Acesso em: 11 mar. 2011.

STAR, J.; ESTES, J. **Geographic Information Systems: an introduction**. New Jersey: Prentice Hall, 1990. 297 p.

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...** Marília: 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, 1999.

WEILL, M.A.M.; SPAROVEK, G. Estudo da erosão na microbacia do Ceveiro (Piracicaba, SP). I - Estimativa das taxas de perda de solo e estudo de sensibilidade dos fatores do modelo EUPS. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 801-814, 2008.

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

2 COMPARAÇÃO ENTRE O USO E OCUPAÇÃO E PERDA DE SOLO, NOS ANOS DE 1995 E 2010, NA MICROBACIA HIDROGRÁFICA DO CEVEIRO

Resumo

O presente trabalho avaliou a perda de solo entre os cenários de 1995 e 2010 da Microbacia Hidrográfica do Ceuveiro com o auxílio da USLE. Para tanto foi utilizado a carta topográfica 1:10000, imagem HRC do satélite CBERS-2B e demais informações foram incorporadas ao banco de dados do SIG/SPRING. Como requisito para estimar perda estabeleceu-se o uso atual da terra na Microbacia Hidrográfica do Ceuveiro, situada no município de Piracicaba, SP. Observou-se um aumento das áreas de pasto principalmente ao redor da represa assoreada e uma diminuição das áreas de pasto sujo de 136,43 ha. Com relação à cana-de-açúcar, não foi observada grandes alterações em valores de área, mas sim uma reorganização desse uso na MHC. Foi possível notar uma redução das perdas de solo de 1995 para 2010. Sendo para o uso de 2010 observou-se uma diminuição nas perdas de solo de 4,37% para a classe de 50 a 100 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹ e 46% para a classe maior que 100 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹ em relação ao uso de 1995 o que foi confirmado pela exatidão do produtor e exatidão do usuário. Na comparação dos mapas foi utilizado o índice Kappa obtendo-se um valor de 0,70.

Palavras-chave: USLE; SIG; Perda de solo

Abstract

This study evaluated soil losses between 1995 and 2010 scenarios of the Ceuveiro Watershed with the help of USLE. For this purpose we used a 1:10000 topographic map, HRC image of CBERS-2B and other information were incorporated into the GIS database / SPRING. As a prerequisite to estimate loss established the current land use in the Ceuveiro 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.

Keywords: USLE; GIS; Soil loss prediction

2.1 Introdução

A erosão dos solos é definida como uma ação de desprendimento, transporte e deposição das partículas do solo, tendo como principais agentes o vento e a água. Entretanto com a ação antrópica por meio da introdução de práticas que

desequilibram as condições naturais, assim acelerando os processos erosivos. A erosão acelerada, devido à rapidez com que ocorre, é avaliada como um fenômeno de grande importância, pois acarreta grandes prejuízos tanto para a agropecuária quanto ao meio ambiente, promovendo assoreamento, a poluição e a eutrofização das águas superficiais, com prejuízo na quantidade e qualidade dos recursos hídricos.

Os prejuízos sociais e ambientais gerados pela erosão são bastante elevados, pois reduzem a capacidade produtiva das terras, revertendo no aumento dos custos de produção e consequentemente na diminuição do lucro dos produtores, interferindo na permanência da atividade agrícola.

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; CUNHA, 1996; PRUSKI et al., 2006).

A bacia hidrográfica pode ser definida como unidade física, caracterizada como uma área de terra drenada por um determinado curso d'água e limitada, perifericamente, pelo divisor de águas. Moldan e Cerny (1994) definem uma microbacia, do ponto de vista hidrológico, como a menor unidade da paisagem capaz de integrar todos os componentes relacionados com a qualidade e disponibilidade de água como: atmosfera, vegetação natural, plantas cultivadas, solos, rochas subjacentes, corpos d'água e paisagem circundante.

A microbacia hidrográfica deve ser utilizada como unidade básica para o planejamento conservacionista, entretanto os trabalhos de manejo e conservação do solo vêm sendo em grande parte realizados de maneira isolada. Fitz (1999) ressalta a necessidade de investir na preservação e recuperação dos recursos naturais porque as ações, que se tem visto até hoje, são individuais com nenhum ou pequenos resultados. Tendo como possível situação futura gerar o empobrecimento do homem do campo pela baixa produtividade, que pode culminar no abandono das atividades rurais e na busca de melhores condições de vida nas áreas urbanas.

Canil et al. (1998) avaliando a susceptibilidade a erosão das bacias dos córregos do Limoeiro e do Cedro, região de Presidente Prudente, SP, identificaram áreas de risco potencial, provendo informações para a adoção de medidas preventivas que minimizem os impactos da ocupação urbana, orientando a ocupação de futuros loteamentos.

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 USLE, Equação Universal de Perdas de Solo (WISCHMEIER; SMITH, 1978).

Um estudo realizado por Baptista (1997) no Distrito Federal sobre o diagnóstico ambiental da perda laminar nos solo identificou e mapeou o potencial erosivo do solo, por meio de integração de fatores da EUPS, utilizando um Sistema de Informação Geográfico (SIG).

Os processos hidrológicos associados ao uso e manejo da terra claramente possuem um papel dominante na produção e transporte de sedimentos (MACHADO; 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 Assessment Tool), constata que as florestas desempenham papel fundamental na preservação dos solos, reduzindo significativamente a produção de sedimentos (MINGOTI, 2009; MACHADO; VETTORAZZI, 2003), garantindo quantidade e qualidade dos recursos hídricos (MACHADO; VETTORAZZI; XAVIER, 2003).

A análise dos fatores que ocasionam a erodibilidade do solo, de forma rápida, é essencial para ações que visam à melhoria do ambiente e planejamento. Os SIG's tornaram-se ferramentas necessárias e importantes para a análise da erodibilidade, de forma rápida e consistente, permitindo a análise grande quantidade de dados (MINGOTI, 2009). Dessa forma também permitindo a geração de mapas de capacidade de uso da terra de forma rápida e concisa.

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, hoje em dia, vem se tornando muito utilizadas (SANTOS et al., 2000).

Fiorio et al. (1999) observaram as mudanças de uso da terra de 1962 até 1995 na MHC bem como os impactos ambientais causados pelas perdas de solo nesse período utilizando geotecnologias.

A hipótese desse trabalho é verificar se nestes 15 anos, de 1995 a 2010, ocorreram mudanças no uso e ocupação bem como nas perdas de solo nessa microbacia.

O presente trabalho teve por objetivo utilizar geotecnologias para mapear o uso e ocupação da terra e comparar as perdas de solo na MHC para o ano de 1995 e 2010.

2.2 Material e Métodos

2.2.1 Localização da área de estudo

A Microbacia Hidrográfica do Ceveiro (MHC), apresentada na Figura 1, possui área de 1.990,4 ha, está situada entre as coordenadas UTM, Zona 24S, Datum Córrego Alegre. Ela localiza-se entre as coordenadas 7.488.602 – 7.496.324 S e 213.584 – 222.457 E, município de Piracicaba, limitada à montante pela Vila de Santana e Vila Olímpia e à jusante pelo distrito de Ártemis e pelo Rio de Piracicaba, sendo afluente deste rio.

Figura 1 - Representação de parte da área da Microbacia Hidrográfica do Ceveiro (MHC)

2.2.2 Clima

O clima da região é o Cwa segundo Köppen, definido como mesotérmico subtropical com inverno seco e verão chuvoso, temperaturas média do mês mais quente superiores a 22°C e do mês mais frio a média não excede 18°C. As chuvas ocorre principalmente nos meses relacionados ao período de verão e as menores quantidades de precipitações ocorrem nos períodos de inverno, Figura 2, mostra claramente esta situação, onde podemos observar que os meses de abril a setembro são os meses com as menores precipitações. Na Figura 2, estão representadas as precipitações médias acumuladas entre os anos de 1917 e 2010, mês a mês, apresentando uma precipitação média anual de 1.250mm.

Figura 2 - Precipitação média mensal entre os anos de 1917 e 2010

2.2.3 Relevo

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).

2.2.4 Vegetação

A vegetação original é do tipo Floresta mesófila semidecídua, com ocorrência de ripárias nas margens dos cursos d'água. Atualmente essas vegetações são praticamente inexistentes, estando restritas a algumas partes da rede de drenagem que compõe o Córrego do Ceveiro e nas partes mais íngremes do relevo (FIORIO, 2000).

2.2.5 Geologia e Material de Origem

A MHC está inserida na bacia do Paraná e apresenta coluna estratigráfica representada por sedimentos do Grupo São Bento e Grupo Passa Dois (INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS - IPT, 1981). As rochas encontradas são: arenitos da Formação Pirambóia e intrusivas básicas da Formação Serra Geral,

ambas do Grupo São Bento e por siltitos, argilitos e folhelhos da Formação Corumbataí do Grupo Passa Dois.

As rochas da Formação Corumbataí, dão origem a cerca de 67% dos solos da bacia que ocorrem principalmente às margens do Ceveiro e ao lado esquerdo da bacia (sentido de observação montante à jusante). Nos topos, à direita da bacia, encontram-se com mais frequência os solos originados da Formação Pirambóia. A Formação Serra Geral, constituída por intrusões básicas, ocorre com maior intensidade na cabeceira da bacia, recobrando a Formação Pirambóia (FIORIO, 2000).

2.2.6 Solos

Segundo Silva (2000) a MHC possui 8 ordens: ALISSOLOS, ARGISSOLOS, LUVISSOLOS, NITOSSOLOS, CHERNOSSOLOS, CAMBISSOLOS, NEOSSOLOS e GLEISSOLOS. Com a disposição conforme Figura 3.

Na ordem dos Alissolos ocorrem os seguintes subgrupos: ALISSOLOS CRÔMICOS Argilúvicos abrupticos, ALISSOLOS CRÔMICOS Argiluvicos abrupticos arenicos e ALISSOLOS CRÔMICOS Argiluvicos abrupticos lépticos; ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS Alumínicos abrupticos, ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS Aluminícos abrupticos arênicos, ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS Alumínicos abrupticos lépticos, ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS Distróficos abrupticos arênicos, ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS Distróficos abrupticos lépticos, ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS Distróficos abrupticos Ta, ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS Eutróficos abrupticos, ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS Eutróficos abrupticos lépticos; ARGISSOLOS VERMELHOS Eutróficos típicos; LUVISSOLOS CRÔMICOS Pálicos típicos, LUVISSOLOS CRÔMICOS Pálicos arênicos abrupticos e LUVISSOLOS CRÔMICOS Órticos abrupticos; NITOSSOLOS VERMELHOS Eutróficos argissólicos e NITOSSOLO VERMELHO Eutróficos típicos; CHERNOSSOLOS ARGILÚVICOS Órticos típicos; CAMBISSOLOS HÁPLICOS Ta Alumínicos lépticos, CAMBISSOLOS HÁPLICOS Ta Eutróficos lépticos, CAMBISSOLOS HÁPLICOS Ta Eutróficos típicos, CAMBISSOLOS HÁPLICOS Tb eutróficos lépticos e CAMBISSOLOS HÁPLICOS Tb Eutróficos típicos; NEOSSOLO LITÓLICOS álico típicos, NEOSSOLO LITÓLICOS Eutrófico típicos, NEOSSOLO

LITÓLICOS Eutróficos chernossólicos, NEOSSOLO LITÓLICOS Distróficos típicos álicos e NEOSSOLOS LITÓLICOS Eutróficos típicos; NEOSSOLOS FLÚVICOS Tb Eutróficos; GLEISSOLOS HÁPLICOS Indiscriminados e NEOSSOLOS INDIFERENCIADOS os quais surgem devido a degradação acelerada de algumas vertentes da microbacia, por erosão, depósitos coluviais recentes soterrando solos próximos aos rios e várzeas, então o autor sugeriu a criação dessa subordem.

Figura 3 – Representação do mapa detalhado de solos retirado de Silva (2000)

2.2.7 Mapa de solos

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, segundo Embrapa

(2009), utilizando a função *reclass* via linguagem LEGAL conforme Figura 4. Esta etapa do trabalho foi necessária devido a poucos trabalhos desenvolvidos na quantificação do fator de erosividade do solo.

Figura 4 – Representação do mapa de solos reagrupados da MHC

2.2.8 Cartas planialtimétricas 1:10.000

A carta planialtimétrica tem a função de auxiliar na elaboração de mapeamentos de declividade, da rede de drenagem e hipsométrico, e dessa forma se apresenta como um subsídio para a interpretação do relevo nas bacias hidrográficas. Tais mapas contêm importantes informações morfométricas relacionadas ao relevo e para fins de planejamento ambiental, torna-se imprescindível a construção dos mesmos. Foram utilizadas no presente trabalho seis cartas na escala de 1:10.000, conforme Tabela 1, 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.

Tabela 1 – Folhas, cadastro e articulação das cartas planialtimétricas 1:10000 utilizados no trabalho

Número	Folha	Cadastro	Articulação
1	Córrego do Limoeiro	SF-23-Y-A-IV-1-NE-F	069/087
2	Vila Olímpia	SF-23-Y-A-IV-2-NO-E	069/088
3	Estância Lago Azul	SF-23-Y-A-IV-1-SE-B	070/087
4	Córrego das Ondas	SF-23-Y-A-IV-2-SO-A	070/088
5	Ártemis	SF-23-Y-A-IV-1-SE-D	071/087
6	Santa Terezinha do Piracicaba	SF-23-Y-A-IV-2-SO-C	071/088

As cartas foram confeccionadas a partir de levantamentos aerofotogramétricos realizados pela TerraFoto S.A. Atividades de Aerolevantamentos em 1978, com reambulação em campo entre 1978 e 1979. As curvas de nível são equidistantes em 5 metros. A projeção utilizada 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 conforme Figura 5.

Figura 5 – Figura representativa de parte do mapa topográfico 1:10.000 com as curvas de nível digitalizadas em ambiente SIG

2.2.9 Rede de drenagens

O mapa de drenagens, Figura 6, foi feito com o auxílio de fotografias aéreas, Tabela 2, 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.

Tabela 2 – Características das fotos aéreas para composição do par estereoscópico

Foto	Faixa	Escala	Latitude	Longitude
9384	29A	1:30.000	22°39'41"S	47°41'27"W
9385	29A	1:30.000	22°39'39"S	47°43'04"W
9386	29A	1:30.000	22°39'37"S	47°44'40"W
9387	29A	1:30.000	22°39'36"S	47°46'17"W

Figura 6 – Representação do mapa da rede de drenagem da Microbacia do Ceuveiro (MHC)

2.2.10 Mapa de uso atual da terra

O mapa do uso atual da terra 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*”.

2.2.11 Mapa de uso da terra do ano de 1995

O mapa de uso da terra do ano de 1995, conforme Figura 7, 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.

Figura 7 – Representação do mapa uso do solo para o ano de 1995, Fiorio (1999)

2.2.12 Erosão do solo

Para a obtenção dos mapas de perda de solo foi utilizada a Equação Universal de Perda de Solo (USLE), desenvolvida por Wischmeier e Smith (1978) sendo a eq. (1) é expressa da seguinte maneira:

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

Sendo:

A = perda de solo média anual ($\text{Mg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$);

R = fator de erosividade da chuva ($\text{MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1}$);

K = fator de erodibilidade do solo t ha^{-1} ($\text{MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1}$);

L = fator de comprimento de encosta, adimensional;

S = fator de declividade de encosta, adimensional;

C = fator uso e manejo do solo, adimensional e

P = fator de prática conservacionista, adimensional.

a) Fator erosividade (R)

A erosividade da chuva é representada por um índice numérico, que expressa sua capacidade, esperada em dada localidade, de causar erosão em uma área sem proteção. Entre os fatores da equação, apenas o fator R é calculado diretamente a partir de registros pluviográficos.

O fator R foi obtido conforme a eq. (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, os resultados são apresentados na Tabela 3.

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

Sendo:

(EI) = média mensal do índice de erosão em $\text{MJ.mm}/(\text{h.ha})$

Pm = Precipitação média mensal (mm);

P = Precipitação média anual (mm).

Tabela 3 – Dados pluviométricos para a elaboração do fator R

Meses	Precipitação média mensal 1917/2010 (mm)	Média mensal de energia de erosão (MJ.mm/h.ha)
Janeiro	229,76	1.594,53
Fevereiro	182,38	1.076,77
Março	142,66	709,23
Abril	63,31	178,22
Maio	53,64	134,46
Junho	42,28	89,71
Julho	29,47	48,57
Agosto	29,60	48,94
Setembro	62,19	172,89
Outubro	109,81	454,55
Novembro	130,65	610,73
Dezembro	199,98	1.259,43
TOTAL	1.275,71	R=6.378,04

Para determinação do fator R, os resultados dos valores mensais, foram somados, conforme eq. (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.

b) Fator erodibilidade (K)

A erodibilidade do solo é a sua vulnerabilidade a erosão. A erodibilidade de um solo pela água é determinada pelas suas propriedades intrínsecas que afetam a velocidade de infiltração da água do solo, permeabilidade e a capacidade de absorção de água (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2008).

A erodibilidade expressa a resistência do solo à erosão hídrica, sendo dependente, entre outros fatores, dos atributos mineralógicos, químicos, morfológicos e físicos desse.

O fator K é em função das propriedades do solo que influenciam no processo erosivo, tais como a velocidade de infiltração, a permeabilidade, capacidade de absorção, resistência a dispersão, ao salpicamento, à abrasão e às forças de transporte da chuva e enxurrada. (STEIN et al., 1987)

Foram utilizados valores para o fator K de alguns solos do Brasil disponíveis na literatura para unidades pedológicas similares às da área em estudo, tais valores foram obtidos em experimentos por método direto (experimentos em campo). Estes valores encontrados foram associados aos solos da área em estudo em função de suas características físicas.

Foram utilizados dados, já existentes na literatura, como os obtidos por Fiorio (1998) e Bertoni e Lombardi Neto (2008). Com o mapa de solos digitalizado, foram atribuídos valores de erodibilidade, conforme Tabela 4, para todos os solos encontrados na MHC com o sistema SPRING por meio da operação de ponderação, via linguagem LEGAL.

Tabela 4 – Antiga classificação, nova classificação, valores utilizados no trabalho para erodibilidade para cada tipo de solo e o trabalho em que foi proposto

Solo		Fator K	Fonte
ACt1 ACt2 ACt3 ACt4 ACtq ACtl1 ACtl2 PVAa1 PVAa2 PVAa11 PVAa12 PVAdq PVAdl PVAdv PVAe1 PVAe2 PVAe3 PVAeq PVAel1 PVAel2 PVAel3 PVAel4	PVA	0,034	Silva et al. (2009)
PVe	PV	0,044	Lanzanova (2009)
TCp TCpq TCol1 TCol2	TC	0,042	Silva et al. (2009)
NVet NVe	NV	0,020	Denardin (1990)
CXve CXva CXvbe CXvbed	CX	0,037	Denardin (1990)
GX1 GX2 GX3	GX	0,035	Denardin (1990)
RLa RLd1 RLd2 RLe1 RLe3 RLe4 RLe5 RLe6	RL	0,040	Ribeiro e Alves (2008)
RUbe	RY	0,040	Ribeiro e Alves (2008)

c) Fator comprimento e declividade ou Fator topográfico (LS)

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 proposta por Bertoni e Lombardi Neto (2008), eq. (4), mostrada a seguir:

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

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.

d) Fatores uso-manejo do solo (CP)

O fator uso e manejo do solo, Tabela 5, é conceituado como a relação esperada entre as perdas de solo em um terreno cultivado e em um terreno desprotegido. A redução da erosão vai depender do tipo de cultura e manejo adotado, da quantidade de chuvas, da fase do ciclo vegetativo entre outras variáveis, cujas combinações apresentam diferentes efeitos na perda de solo (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2008).

Tabela 5– Valores do fator CP utilizados no trabalho

Uso	Fator CP
Urbano	0,00000
Corpo aquoso	0,00000
Reflorestamento	0,00500
Cana-de-açúcar	0,05000
Mata	0,00004
Pasto	0,12000
Pasto Sujo	0,25000
Culturas anuais	0,25000
Grãos	0,25000

Fonte: Stein et al. (1987)

Os fatores uso e manejo afetam as perdas por erosão devido às diferenças na proteção que os diferentes tipos de cobertura vegetal e estádios de desenvolvimento desses conferem ao solo. Conforme o uso da terra estabelecido pelo mapa de uso preferencial, os valores de CP foram obtidos na literatura para o cálculo da USLE. Então, foi realizada uma ponderação das classes por meio da linguagem LEGAL.

2.2.13 Índice Kappa

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 atual e o uso no ano de 1995, os mapas do modelo temático foram comparados entre si através do índice Kappa (Tabela 6).

Tabela 6 - Classes de concordância para o índice Kappa

Valor de Kappa	Concordância
< 0	Sem concordância
0-0,19	Pobre
0,20-0,39	Fraca
0,40-0,59	Moderada
0,60-0,79	Forte
0,80-1.00	Excelente

Fonte: Câmara et al. (1996)

O índice Kappa é uma análise multivariada discreta e segundo Congalton e Green (2008) é calculado da seguinte forma, eq. (5):

$$K = \frac{\theta_1 - \theta_2}{1 - \theta_2} \quad (5)$$

Sendo:

$$\theta_1 = \frac{\sum_{i=1}^r x_{ij}}{N} \quad (6)$$

$$\theta_2 = \frac{\sum_{i=1}^r x_{i+ \rightarrow x_{+j}}}{N^2} \quad (7)$$

x = número de observações na linha i e coluna j da diagonal principal;
 $i+ x$ e $j x+$ = os totais marginais da linha i e da coluna j , respectivamente;
 N = número total de observações da matriz de erros.

2.3 Resultados e Discussão

Para verificar a estimativa de perda de solo entre o uso em 1995, realizado por Fiorio et al. (1999) e o uso em 2010, considerado o uso atual neste trabalho, foi realizada a interpretação visual e digitalização em tela de imagens do satélite CBERS 2B, sensor HRC, do ano de 2010. Após a confecção do mapa inicial foram realizadas visitas de campo, com auxílio de GPS de navegação, para verificação das dúvidas sobre interpretação. Depois de realizadas as devidas correções, gerou-se o mapa final do uso atual que pode ser observado na Figura 8.

Figura 8 - Representação do mapa de uso do solo para o ano de 2010

Na MHC 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 12,1%, reflorestamento com 0,8% e corpo aquoso com 0,2% (Tabela 7).

Tabela 7 - 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 atual e o de 1995, na Tabela 7, os valores das diferenças de áreas quando positivos indicam um aumento de área desse uso e quando negativos uma diminuição de área desse uso. Assim, podemos observar que as áreas de cana-de-açúcar aumentaram em 8,12 ha, quando comparadas, o que não é tão evidente quanto o aumento das áreas de pastagem, que passaram de 92,3 ha para 217,7 ha. Outro fator que chama atenção se deve ao fato que, na classificação do mapa de uso de 2010, não foi observado no campo e nas imagens a classe culturas anuais que no ano de 1995 representava 2,9 ha da área total da microbacia.

Nas Figuras 9 (A) e (B) podemos observar que as áreas de pasto aumentaram principalmente na área ao redor da represa assoreada (FIORIO et al., 2000). Tal fato pode gerar problemas ambientais devido à proximidade da pecuária junto ao córrego do Ceveiro. Barros et al. (2007) afirmam que o manejo incorreto da pastagem podem acarretar passivos ambientais.

Figura 9 - Distribuição das áreas de cana-de-açúcar e pastagem em 1995 (A) e 2010 (B)

Para observarmos quais classes de uso em 1995 deram lugar para o aumento da cana-de-açúcar em 2010 foi realizada uma tabulação cruzada, que gerou os dados da Tabela 8. Dessa forma, do total da área de cana-de açúcar, 1.340,4 ha

para o uso de 2010, 1095,0 ha estão plantados sobre a mesma área de 1995. Podemos observar que para as áreas de mata em 1995, 109,6 ha foram ocupados em 2010 por cana-de-açúcar sendo que para a pastagem e pasto sujo com 45,8 ha e 68,3 ha respectivamente foram ocupadas pela mesma cultura. As áreas de reflorestamento em 1995 perderam 19,2 ha para a cultura de cana-de-açúcar (Tabela 8). 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 verificamos um aumento de apenas 8,2 ha, porém uma redistribuição significativa das áreas de cana.

Tabela 8 - Tabela cruzada de áreas (em ha) em destaque a classe cana-de-açúcar

		Atual
1995	Classe (ha)	Cana-de-açúcar
	Culturas anuais	0,9
	Cana-de-açúcar	1.095,0
	Corpo aquoso	0,2
	Mata	109,6
	Pastagem	45,8
	Pasto sujo	68,3
	Reflorestamento	19,2
	Urbano	1,1

Na área de pastagem podemos observar na Tabela 9 que 37,6 ha do uso atual mantiveram-se na mesma área de 1995. Sendo observada uma expansão principalmente para as áreas de cana-de-açúcar com 88,1 ha. Tal fato pode ser observado no mapa das Figuras 9 (A) e (B) onde, na área associada da represa em 2010, grande parte das áreas de cana-de-açúcar foram ocupadas por pasto. Fiorio et. al. (1999) verificaram que a expansão desordenada da cultura da cana-de açúcar favoreceu o assoreamento da represa na MHC entre os anos de 1978 e 1995. Outros 50,9 ha se encontram onde antes era área ocupada por pasto sujo. Completando a ocupação atual, 1,9 ha em culturas anuais, 3,5 ha em corpo aquoso, 37,6 ha em pastagem, 0,9 ha em áreas urbanas e 2,1 ha em reflorestamento. O aumento da área de pastagem sugere o crescimento de atividades econômicas relacionada com a pecuária e ou a impossibilidade da manutenção dessas áreas com cana-de-açúcar uma vez que as maiores áreas englobadas pela pastagem

eram ocupadas por essa cultura com 88,1 ha (Tabela 9). Considerando somente a área de cana-de-açúcar e de pastagem, pode-se dizer que a microbacia apresenta uma matriz predominantemente agrícola, ocupando atualmente cerca de 78,9% da área total o que antes, em 1995, era cerca de 72,2%, conforme pode ser observado em algumas áreas de expansão na Figura 9.

Tabela 9 - Tabela cruzada de áreas (em ha) em destaque a classe pastagem

	Classe (ha)	Atual
		Pastagem
1995	Culturas anuais	1,9
	Cana-de-açúcar	88,1
	Corpo aquoso	3,5
	Mata	32,5
	Pastagem	37,6
	Pasto sujo	50,9
	Reflorestamento	2,1
	Urbano	0,9

Apesar da diminuição da área de pasto sujo, 14,2 ha do uso atual estão localizados no mesmo lugar de 1995, Tabela 10. O pasto sujo é responsável pela ocupação de 10,6 ha do que em 1995 era cana-de-açúcar, 9,7 ha foram ocupados por mata e o restante de 20,29 ha distribuídos nas demais classes.

Tabela 10 - Tabela cruzada de áreas (em ha) em destaque a classe pasto sujo

	Classe (ha)	Atual
		Pasto sujo
1995	Culturas anuais	0,0
	Cana-de-açúcar	10,6
	Corpo aquoso	0,8
	Mata	9,7
	Pastagem	3,1
	Pasto sujo	14,2
	Reflorestamento	2,1
	Urbano	0,0

Para este trabalho foi gerado o mapa de perda de solo tanto para o uso de 1995, Figura 10, como para o uso atual, Figura 11. 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 $\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ como pode ser observado na Tabela 11. As diferenças em porcentagem com valores positivos indicam aumento da área das classes de perda de solo e valores negativos indicam diminuição na área das classes de perda de solo. Observa-se ainda na Tabela 11 que as áreas de perda de solo de 1995, tinham 962,68 ha na classe 0 a 20 $\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$, 678,99 hectares para a classe 20 a 50 $\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$, 212,85 ha para a classe 50 a 100 $\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ e 118,63 ha para a classe perdas maiores do que 100 $\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$.

Figura 10 – Representação do mapa da estimativa de perda de solo para uso do ano de 1995

Figura 11 – Representação do mapa da estimativa de perda de solo para uso atual

Tabela 11 - 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 11 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 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 de 203,55 ha e 64,07 ha.

Confrontando o uso do solo em 2010 com o uso em 1995 (Tabela 12), pode-se perceber que houve redução de área (987,90ha para 865,03ha) para a classe 0 a 20 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹. Esta diferença foi redistribuída entre as outras classes que apresentam maiores perdas de solo, da seguinte maneira: 70,35 ha para a classe 20

a 50, 36,97 ha para a classe 50 a 100 e 15,55 para a classe de perda maior que 100 $\text{Mg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$.

Para a classe 20 a 50 a redistribuição para as outras classes deu-se da seguinte forma: 94,61 ha passaram para a classe 0 a 20, 21,97 ha para a classe 50 a 100 e 37,95 ha para a classe de perda maior que 100 $\text{Mg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$.

Tabela 12 - Tabela cruzada de áreas (em ha) da perda de solo entre os anos de 1995 e 2010

		2010				
1995	Classes ($\text{Mg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$)	0 - 20	20 - 50	50 - 100	>100	TOTAL
	0 - 20	865,03	94,61	22,68	7,32	962,68
	20 - 50	70,35	561,40	18,26	7,27	678,99
	50 - 100	36,97	21,97	138,14	9,92	212,85
	> 100	15,55	37,95	24,47	39,58	118,63
	TOTAL	987,90	715,94	203,55	64,07	

Para a classe de 50 a 100 $\text{Mg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, 138,14 ha da área atual estão localizados no mesmo lugar de 1995, Tabela 12. A classe 50 a 100 $\text{Mg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ é responsável pela ocupação de 22,68 ha do que em 1995 era 0 a 20 $\text{Mg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, 18,26 ha ocupada por 20 a 50 $\text{Mg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ e 24,47 ha ocupada na classe maior que 100 $\text{Mg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$. A classe maior que 100 $\text{Mg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ teve uma maior perda de área, mas manteve 39,58 ha de sua área onde pertencia a mesma classe em 1995, o restante migrou 7,32 ha para 0 a 20 $\text{Mg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, 7,27 ha para 20 a 50 $\text{Mg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ e 9,92 ha para 50 a 100 $\text{Mg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$. Observa-se ainda na Tabela 12 que as classes de perdas de solos de 50 a 100 $\text{Mg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ e maior que 100 $\text{Mg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ para o uso de 2010 tiveram uma diminuição quando comparadas com 1995.

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 com valor CP maior (0,25) e um aumento de área para valores de CP menores, 0,00004 e 0,00, para mata e área urbana respectivamente (Tabela 5).

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 que verifica quanto de uma classe de perda de solo, exemplo de 0 a 20 $\text{Mg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, do mapa de uso atual identifica, ou seja ocupa a mesma área, em relação ao que foi encontrado pela referência que é o mapa de 1995.

A exatidão global é indicativo simples da concordância entre os mapas, ele representa a divisão da somatória da diagonal principal (número de pixel em concordância nos dois mapas) pelo número total de amostras, entre o mapa de uso atual e o de referência que foi o mapa de uso de 1995 sendo que o resultado foi de 0,813 ou 81,3%. Este valor não está dentro do patamar estabelecido por Congalton e Green (2008), que estabelecem como aceitável 85%.

Para os mesmo autores, para uma análise mais detalhada deve-se proceder para o cálculo de exatidão do produtor e do usuário. Ao observar a Tabela13 notamos que o valor para a classe de perda de solo entre 0 e 20 $\text{Mg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ na coluna de exatidão do produtor é de 88,38%. Agora quando se observa a exatidão do usuário na coluna ao lado, pode-se afirmar que em apenas 87,09% das vezes em que o mapa de uso de 1995 (mapa de referência) indica que uma área pertence à categoria de perda de solo 0 a 20 $\text{Mg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, ela realmente corresponderá a verdade posicional no mapa de uso atual 2010 (mapa validado).

Tabela 13 – Exatidão do produtor e exatidão do usuário

Classes ($\text{Mg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$)	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

O valor mais baixo de exatidão do produtor foi para a classe maior que 100 $\text{Mg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, com 33,97%, indicando que há uma diferença acentuada entre os dois mapas nessa classe apesar de 62,58% das vezes os pixels estarem na mesma posição como indica a exatidão do usuário. O que corroboram a redução da perda de solo em 2010 para as classes de 50 a 100 $\text{Mg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ e maior que 100 $\text{Mg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ quando comparadas com 1995.

Ainda na Tabela 13 pode-se notar que o mapa de uso de 1995 identificou apenas 85,20% das áreas da classe 20 a 50 $\text{Mg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$; 67,52% das áreas de 50 a 100 $\text{Mg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$. Para as classes de 20 a 50 $\text{Mg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ a exatidão do usuário

foi de 79,80%; para 50 a 100 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹ foi de 69,51%, e maior que 100 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹ foi de 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.

2.4 Conclusão

As áreas de cana-de-açúcar não apresentaram aumento expressivo nesses 15 anos (1995-2010), porém foi observada uma redistribuição das áreas para esta cultura.

As maiores diferenças no uso da terra da MHC foram relacionadas ao expressivo aumento da área de pastagem e com a diminuição de área de pasto sujo e culturas anuais.

As áreas com pastagens aumentaram principalmente ao redor da represa assoreada em áreas anteriormente ocupadas por cana-de-açúcar.

O mapa de uso atual obteve perda de solo menor que o mapa de uso de 1995 apesar da expansão agrícola, com o aumento de 8,12 ha da cultura de cana-de-açúcar e 125,40 ha de pasto.

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 atual em comparação a 1995.

Referências

BAPTISTA, G.M.M. **Diagnostico ambiental da perda laminar de solos, no Distrito Federal, por meio do geoprocessamento**. 1997. 112 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 1997.

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.

CANIL, K.; MADUREIRA, S.R.D.I.; RIDENTE, J.L.J.; IWASA, O.Y. Áreas de risco potencial de erosão das bacias dos córregos do limoeiro e do cedro (Municípios de Presidente Prudente e Álvares Machado, SP). In: SIMPÓSIO DE CONTROLE DE EROÇÃO, 1998, Presidente Prudente. **Anais...** Presidente Prudente: ABGE, 1998. p. 76-77.

CONGALTON, R.G. GREEN, K. **Assessing the accuracy of remote sensing data: principles and practice**. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press; Francis and Taylor Group, 2008. 210 p.

EMBRAPA. **Centro Nacional de Pesquisa de Solos**. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Rio de Janeiro, 2009. 412p.

FELGUEIRAS, C. A. A tecnologia SPRING, breve histórico, status atual e evolução. In: SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIAS NO PANTANAL, 1., 2006, Campo Grande. **Anais...** Campo Grande: Embrapa Informática Agropecuária; INPE, 2006. p.811-824.

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.

FITZ, P.R. Manejo de microbacias hidrográficas a partir da utilização das técnicas de geoprocessamento: um estudo de caso: a área piloto do programa pró-guaíba. In: CONFERENCIA IBEROAMERICANA SOBRE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA, 7., 1999, Mérida. Disponível em:

<http://www.unilasalle.edu.br/canoas/assets/upload/manejo_mbh.pdf>. Acesso em: 30 mar. 2011.

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.

MOLDAN, B.; CERNY, J. Small catchment research. In: _____. **Biogeochemistry of small catchment: a tool for environmental research**. Chicester: John Wiley, 1994. p. 1-29.

PRUSKI, F.F. (Ed.). **Conservação do solo e água: práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica**. Viçosa: Ed. UFV, 2006. 240p.

RENARD, K.G.; FOSTER, G.R.; WEESIES, G.A.; MCCOOL, D.K.; YODER, D.C.. **Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE)**. Washington: USDA, 1997. 384 p. (Handbook, 703).

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.

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...** Marília: 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. 58 p. (USDA. Agriculture Handbook, 537).

3 COMPARAÇÃO ENTRE AS PERDAS DE SOLO DO USO DA TERRA DE 2010 E O USO DA TERRA SEGUNDO A LEI FEDERAL 4.771/65

Resumo

O presente trabalho comparou a perda de solo entre os cenários de uso do solo em 2010 e conforme a Lei 4.771/65 para a Microbacia Hidrográfica do Ceveiro com o auxílio da USLE. Para tanto foi utilizado a carta topográfica 1:10000, imagem HRC do satélite CBERS-2B e demais informações que foram incorporadas ao banco de dados do SIG/SPRING. Como requisito para estimar a perda estabeleceu-se o uso atual da terra na microbacia, situada no município de Piracicaba, SP. Constatou-se que no cenário atual, ano de 2010, a microbacia não está em conformidade com a Lei 4.771/65, que estabelece as APP's. Do total de 540,70 ha que deveriam ser destinadas às APP's foi observado a presença principalmente de cana-de-açúcar com 206,87 ha e pastagem 89,49ha. O cenário conforme a legislação vigente foi o que apresentou menor perda de solo em comparação ao uso de 2010. Na comparação entre os mapas de perda de solo as classes, do uso conforme a legislação vigente, de 20 a 50 $\text{Mg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, 50 a 100 $\text{Mg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ e maior que 100 $\text{Mg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ apresentaria um decréscimo 12,54%, 9,21% e 10,24%, respectivamente, de área enquanto que a classe de 0 a 20 $\text{Mg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ obtiveria um aumento de 11,83%. O índice Kappa foi de 0,90. Entretanto quando analisado pela exatidão do produtor e exatidão do usuário pode-se afirmar que houve um deslocamento dos pixels das classes 20 a 50 $\text{Mg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, 50 a 100 $\text{Mg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ e maior que 100 $\text{Mg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ para a classe 0 a 20 $\text{Mg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ no mapa de validação.

Palavras-chave: USLE; SIG; Perda de solo; APP

Abstract

This study compared the loss of soil between the scenarios of land use in 2010 and according to Law 4.771/65 for the Ceveiro Watershed Basin with the help of USLE. For this purpose we used a 1:10000 topographic map, HRC image of CBERS-2B and other information that have been incorporated into the GIS database / SPRING. As a prerequisite to estimate the loss established the current land use in the watershed, located in Piracicaba, SP. It was found that in the current scenario, year 2010, the watershed is not in accordance with the Law 4.771/65, which establishes the APP. Of the total 540,70 ha which should be aimed at APP's noted especially the presence of cane sugar with 206,87 ha and 89,49 ha of pasture. The scenario according to current legislation showed the lowest soil loss compared to the use of 2010. In comparing the maps of soil loss classes, the use according to current legislation, 20 - 50 $\text{Mg.ha}^{-1}.\text{year}^{-1}$, 50 - 100 $\text{Mg.ha}^{-1}.\text{year}^{-1}$ and greater than 100 $\text{Mg.ha}^{-1}.\text{year}^{-1}$ present a decrease 12,54%, 9,21% and 10,24% respectively, while class area 0 - 20 $\text{Mg.ha}^{-1}.\text{year}^{-1}$ obtained increased 11.83%. The Kappa index was 0.90. However when analyzing the accuracy of the producer and user accuracy can be said that there was a displacement of the pixels of classes 20 - 50 $\text{Mg.ha}^{-1}.\text{year}^{-1}$,

50 - 100 Mg.ha⁻¹.year⁻¹ and higher than 100 Mg.ha⁻¹.year⁻¹ to the class 0 - 20 Mg.ha⁻¹.year⁻¹ map validation.

Keywords: USLE; GIS; Soil loss prediction; APP

3.1 Introdução

Segundo Galetti (1982), a erosão é um processo que pode ser definido como a desagregação, o transporte e a deposição do solo, subsolo e rochas em decomposição, pelas águas ventos ou geleiras. Entretanto, Bertoni e Lombardi Neto (2008) abordam o conceito de erosão de forma mais objetiva, definindo o processo erosivo como o processo de desagregação, transporte e deposição de partículas componentes do solo causados pela ação da água ou pelo vento, que tem início na remoção da cobertura vegetal pelo homem para cultivar o solo.

Machado et al. (2009) afirmam que além do fator ambiental, o processo de perda de solo traz prejuízo financeiro ao produtor visto que junto ao solo removido há também a perda de nutrientes o que afeta a produção e a qualidade visto que as plantas podem ter carência de alguns nutrientes. Com a remoção da camada superficial ocorrem problemas de infiltração e retenção de umidade no solo, visto que o subsolo que fica exposto apresenta uma menor impermeabilidade e menor teor de matéria orgânica. Assim, a água não infiltrando, promoverá maior arraste de solo e consequentemente menor quantidade de água armazenada para as plantas.

A erosão quando sucede de forma natural é classificada como gradual e lenta, tendendo o solo a uma condição relativamente mais estável. Entretanto, quando o homem atua como agente acelerador do processo erosivo, devido a não adoção de técnicas apropriadas de diagnóstico e conservação do solo, os danos ambientais podem ser severos.

Os modelos de simulação, como os modelos matemáticos de predição de erosão, são ferramentas importantes na pesquisa e nas práticas agrícolas, pois, aplicados em campo, esses modelos auxiliam na determinação das práticas conservacionistas e de manejos mais indicados para os diferentes cenários de aplicação (CHAVES, 1996).

A Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS) tem por objetivo prever a erosão em Mg.ha⁻¹.ano⁻¹, que poderá ocorrer em determinada área, visando à adoção de medidas preventivas e/ou mitigadoras para que a magnitude das perdas

de solo fique situada dentro de limites toleráveis (CASTRO; VALÉRIO FILHO, 1997; COLODRO et al., 2002).

A EUPS é um modelo multiplicativo simples em que todos os fatores entram no modelo com o mesmo peso e grau de importância. Os fatores R, K, L e S são dependentes das condições naturais, já os fatores C e P são relacionados às formas de ocupação e uso dos solos. No entanto a amplitude de variação de cada fator na área influencia de forma diferenciada a estimativa de erosão (WEILL, 1999).

Segundo Silva et al. (2009) o uso da EUPS associada a técnicas de espacialização da geoestatística revelou-se uma ferramenta de boa qualidade e aplicabilidade para simulação e mapeamento da erosão hídrica em escala de bacias hidrográficas, podendo ser promissora para estudos associados à conservação de água e solo, com identificação de setores da sub-bacia com maior potencial erosivo e, por consequência, de técnicas conservacionistas mais adequadas.

Segundo Calijuri e Röhm (1994), os SIG's são uma excelente ferramenta para investigação de fenômenos diversos, relacionados à engenharia urbana, meio ambiente, pedologia, vegetação e bacias hidrográficas. Além disso, na área ambiental, a tomada de decisões requer um conhecimento multidisciplinar. Desta forma, o computador veio resolver grande parte dos problemas de tempo, mão-de-obra e da pouca precisão quando o volume de informações é grande (PEREIRA et al., 1995).

Estudos têm mostrado que o SIG (Sistema de Informações Geográficas) pode ser efetivamente usado para investigar regiões susceptíveis quanto à erosão e estimar a produção de sedimentos de acordo com o uso do solo (IRVEN et al., 2007; PANDEY et al., 2007). Entretanto, resultados positivos e aplicáveis somente serão alcançados se dados básicos, como pedológicos, de uso do solo, relevo e topografia, entre outros, forem adequadamente mapeados para posterior aplicação.

Para Tricart (1977) as modificações na cobertura vegetal, mesmo que esta, seja totalmente ou parcialmente removida, provocam modificações no equilíbrio do ambiente, visto que estas modificações aceleram os processos de erosão, assoreamento dos rios, aumento da temperatura local, redução da recarga d'água de rios e aquíferos, aumento de incêndios, entre outros eventos, justificando-se a manutenção da cobertura vegetal para o equilíbrio ambiental.

Os estudos de bacias hidrográficas têm sido facilitados pela utilização de produtos e técnicas de sensoriamento remoto, processamento digital de imagens e geoprocessamento, facilidade esta adquirida pela possibilidade de uma visão sinóptica de toda a bacia e pela capacidade de integração e cruzamento de dados de diferentes fontes, tarefa executada pelos Sistemas de Informações Geográficas (GOMES, 2011).

O instrumento legal mais importante para disciplinar o uso e ocupação do solo é o Código Florestal, instituído pela Lei Federal nº 4.771, de 15 de setembro de 1965, que, nos artigos 2º e 3º, trata das APP's. Estas áreas foram criadas com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica, a biodiversidade, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas. Segundo Araújo (2002), o regime de proteção das APP's é bastante rígido: a regra é a intocabilidade, admitida excepcionalmente a retirada da cobertura vegetal original apenas nos casos de utilidade pública ou interesse social legalmente previsto.

A APP é composta basicamente, por mata ciliar ou ripária, e ocorre nas margens de cursos e corpos d'água, funcionam como filtro, regulando o fluxo d'água, sedimentos e nutrientes, atuam como estabilizadoras de solos da margem dos rios contribuem para a estabilidade térmica de pequenos cursos d'água, através das copas das árvores que interceptam e absorvem a radiação solar, servem como refúgio para animais silvestres, permitem a ligação de fragmentos florestais, facilitando o deslocamento dos animais e etc..

Ares (2006) afirma que atualmente as APP's estão reprimidas a grandes expansões de degradação devido à intensificação das ações antrópicas sobre o ambiente, desta forma observa-se um processo de substituição das paisagens naturais por outros usos e ocupações do solo e a conversão das áreas com cobertura florestal em fragmentos florestais, causando problemas ambientais e, em muitos casos, afetando a disponibilidade de recursos naturais importantes à vida.

Diversos trabalhos sobre mapeamento e quantificação das áreas de preservação permanentes e dos conflitos de uso terra, tendo como referência legal o Código Florestal e a Resolução nº 303, do CONAMA têm sido desenvolvidos nos últimos anos (NASCIMENTO et al., 2005; OLIVEIRA, 2005; SERIGATO, 2006; GRIPP JUNIOR, 2009).

A hipótese desse trabalho tem como premissa verificar se as áreas de APP's na Microbacia Hidrográfica do Ceveiro (MHC) estão em conformidade com a Lei 4.771/65 e em caso contrário analisar as diferenças de perdas de solo entre o cenário atual e o obedecendo a Lei 4.771/65.

Assim sendo, o objetivo desse trabalho foi o de comparar o uso atual e da MHC com o cenário adequado a Lei 4.771/65, para as APP's. Comparando as perdas de solo entre esses cenários utilizando ferramentas de geotecnologias.

3.2 Material e Métodos

3.2.1 Localização da área de estudo

A Microbacia Hidrográfica do Ceveiro, Figura 1, possui área de 1.990,4 ha, está situada entre as coordenadas UTM, Zona 24S, Datum Córrego Alegre. Ela localiza-se entre as coordenadas 7.488.602 – 7.496.324 S e 213.584 – 222.457 E, município de Piracicaba, limitada à montante pela Vila de Santana e Vila Olímpia e à jusante pelo distrito de Ártemis e pelo Rio de Piracicaba, sendo afluente deste rio.

Figura 1 - Representação de parte da área da Microbacia Hidrográfica do Ceveiro (MHC)

3.2.2 Clima

O clima da região é o Cwa segundo Köppen, definido como mesotérmico subtropical com inverno seco e verão chuvoso, temperaturas média do mês mais quente superiores a 22°C e do mês mais frio a média não excede 18°C. As chuvas ocorre principalmente nos meses relacionados ao período de verão e as menores quantidades de precipitações ocorrem nos períodos de inverno, Figura 2, mostra claramente esta situação, onde podemos observar que os meses de abril a setembro são os meses com as menores precipitações. Na Figura 2, estão representadas as precipitações médias acumuladas entre os anos de 1917 e 2010, mês a mês, apresentando uma precipitação média anual de 1.250mm.

Figura 2 - Precipitação média mensal entre os anos de 1917 e 2010

3.2.3 Relevo

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).

3.2.4 Vegetação

A vegetação original é do tipo Floresta mesófila semidecídua, com ocorrência de ripárias nas margens dos cursos d'água. Atualmente essas vegetações são praticamente inexistentes, estando restritas a algumas partes da rede de drenagem que compõe o Córrego do Ceveiro e nas partes mais íngremes do relevo (FIORIO, 2000).

3.2.5 Geologia e Material de Origem

A MHC está inserida na bacia do Paraná e apresenta coluna estratigráfica representada por sedimentos do Grupo São Bento e Grupo Passa Dois (IPT, 1981). As rochas encontradas são: arenitos da Formação Pirambóia e intrusivas básicas da Formação Serra Geral, ambas do Grupo São Bento e por siltitos, argilitos e folhelhos da Formação Corumbataí do Grupo Passa Dois.

As rochas da Formação Corumbataí, dão origem a cerca de 67% dos solos da bacia que ocorrem principalmente às margens do Ceveiro e ao lado esquerdo da bacia (sentido de observação montante à jusante). Nos topos, à direita da bacia, encontram-se com mais frequência os solos originados da Formação Pirambóia. A Formação Serra Geral, constituída por intrusões básicas, ocorre com maior intensidade na cabeceira da bacia, recobrando a Formação Pirambóia (FIORIO, 2000).

3.2.6 Solos

Segundo Silva (2000) a MHC possui 8 ordens: ALISSOLOS, ARGISSOLOS, LUVISSOLOS, NITOSSOLOS, CHERNOSSOLOS, CAMBISSOLOS, NEOSSOLOS e GLEISSOLOS. Com a disposição conforme Figura 3.

Na ordem dos Alissolos ocorrem os seguintes subgrupos: ALISSOLOS CRÔMICOS Argilúvicos abrupticos, ALISSOLOS CRÔMICOS Argiluvicos abrupticos arenicos e ALISSOLOS CRÔMICOS Argiluvicos abrupticos lépticos; ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS Alumínicos abrupticos, ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS Alumínicos abrupticos arênicos, ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS Alumínicos abrupticos lépticos, ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS Distróficos abrupticos arênicos, ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS Distróficos abrupticos lépticos, ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS Distróficos abrupticos Ta, ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS Eutróficos abrupticos, ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS Eutróficos abrupticos lépticos; ARGISSOLOS VERMELHOS Eutróficos típicos; LUVISSOLOS CRÔMICOS Pálicos típicos, LUVISSOLOS CRÔMICOS Pálicos arênicos abrupticos e LUVISSOLOS CRÔMICOS Órticos abrupticos; NITOSSOLOS VERMELHOS Eutróficos argissólicos e NITOSSOLO VERMELHO Eutróficos típicos; CHERNOSSOLOS ARGILÚVICOS Órticos típicos; CAMBISSOLOS HÁPLICOS Ta Alumínicos lépticos, CAMBISSOLOS HÁPLICOS Ta Eutróficos lépticos, CAMBISSOLOS HÁPLICOS Ta Eutróficos típicos, CAMBISSOLOS HÁPLICOS Tb eutróficos lépticos e CAMBISSOLOS HÁPLICOS Tb Eutróficos típicos; NEOSSOLO LITÓLICOS álico típicos, NEOSSOLO LITÓLICOS Eutrófico típicos, NEOSSOLO LITÓLICOS Eutróficos chernossólicos, NEOSSOLO LITÓLICOS Distróficos típicos álicos e NEOSSOLOS LITÓLICOS Eutróficos típicos; NEOSSOLOS FLÚVICOS Tb

Eutróficos; GLEISSOLOS HÁPLICOS Indiscriminados e NEOSSOLOS INDIFERENCIADOS os quais surgem devido a degradação acelerada de algumas vertentes da microbacia, por erosão, depósitos coluviais recentes soterrando solos próximos aos rios e várzeas, então o autor sugeriu a criação dessa subordem.

Figura 3 – Representação do mapa detalhado de solos retirado de Silva (2000)

3.2.7 Mapa de solos

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 feito a reclassificação e reagrupamento de acordo com o novo sistema brasileiro de classificação de solos, segundo Embrapa (2009), utilizando a função *reclass* via linguagem LEGAL conforme Figura 4. Esta etapa do trabalho foi necessária devido a poucos trabalhos desenvolvidos na quantificação do fator de erosividade do solo.

Figura 4 – Representação do mapa de solos reagrupados da MHC

3.2.8 Cartas planialtimétricas 1:10.000

A carta planialtimétrica tem a função de auxiliar na elaboração de mapeamentos de declividade, rede de drenagem e hipsométrico, e dessa forma se apresenta como subsídio para a interpretação do relevo nas bacias hidrográficas. Tais mapas contêm importantes informações morfométricas relacionadas ao relevo e para fins de planejamento ambiental, torna-se imprescindível a construção dos mesmos.

Foram utilizadas no presente trabalho seis cartas na escala de 1:10.000, conforme Tabela 1, 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.

As cartas foram confeccionadas a partir de levantamentos aerofotogramétricos realizados pela TerraFoto S.A. Atividades de Aerolevantamentos em 1978, com reambulação em campo entre 1978 e 1979. As curvas de nível são equidistantes em 5 metros. A projeção utilizada é a Universal

Transversa Mercator (UTM), referência horizontal é a de Córrego Alegre, MG e referência vertical do Marégrafo de Imbituba, SC.

Tabela 1 – Folhas, cadastro e articulação das cartas planialtimétricas 1:10000 utilizados no trabalho

Número	Folha	Cadastro	Articulação
1	Córrego do Limoeiro	SF-23-Y-A-IV-1-NE-F	069/087
2	Vila Olímpia	SF-23-Y-A-IV-2-NO-E	069/088
3	Estância Lago Azul	SF-23-Y-A-IV-1-SE-B	070/087
4	Córrego das Ondas	SF-23-Y-A-IV-2-SO-A	070/088
5	Ártemis	SF-23-Y-A-IV-1-SE-D	071/087
6	Santa Terezinha do Piracicaba	SF-23-Y-A-IV-2-SO-C	071/088

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 conforme Figura 5.

Figura 5 – Figura representativa de parte do mapa topográfico 1:10.000 com as curvas de nível digitalizadas em ambiente SIG

3.2.9 Rede de drenagens

O mapa de drenagens, Figura 6, foi feito com o auxílio de fotografias aéreas, Tabela 2, 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 de drenagens 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.

Tabela 2 – Características das fotos aéreas para composição do par estereoscópico

Foto	Faixa	Escala	Latitude	Longitude
9384	29A	1:30.000	22°39'41"S	47°41'27"W
9385	29A	1:30.000	22°39'39"S	47°43'04"W
9386	29A	1:30.000	22°39'37"S	47°44'40"W
9387	29A	1:30.000	22°39'36"S	47°46'17"W

Figura 6 – Representação do mapa da rede de drenagem da MHC

3.2.10 Mapa de uso da terra

O mapa do uso atual da terra foi feito através da imagem mais atual fornecida pelo satélite CBERS 2b sensor HRC (High Resolution Camera) o qual possui uma 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 via edição matricial. Como a área em estudo é relativamente pequena a metodologia apresentada mostrou resultados confiáveis que foram verificados nas visitas *"in loco"*.

3.2.11 Mapa de uso da terra conforme a Lei 4.771/65

Para a confecção do mapa de uso da terra segundo a Lei 4.771/65 foi utilizada a rede de drenagem na função mapa de distância, assim obtendo-se as APP's adjacentes aos cursos d'água perenes e intermitentes.

Para o mapeamento das áreas de preservação permanente (APP's), seguiram-se as disposições do artigo 2º da Resolução CONAMA nº 303 de 2002. Assim, foram mapeadas as margens dos cursos d'água, com uma faixa de 30 metros, pois os cursos d'água da bacia possuem menos de 10 metros de largura.

Para as APP's de nascentes seguiu-se o mesmo procedimento, considerou-se uma faixa de raio de 50 metros para essas entidades devido ao fato de nenhum espelho d'água possuir mais de 20 hectares.

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.

3.2.12 Erosão do solo

Para a obtenção dos mapas de perda de solo foi utilizada a Equação Universal de Perda de Solo (USLE), desenvolvida por Wischmeier e Smith (1978) expressa da seguinte maneira eq. (1):

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

Sendo:

A = perda de solo média anual ($\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$);

R = fator de erosividade da chuva ($\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$);

K = fator de erodibilidade do solo t ha^{-1} ($\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$);

L = fator de comprimento de encosta, adimensional;

S = fator de declividade de encosta, adimensional;

C = fator uso e manejo do solo, adimensional e

P = fator de prática conservacionista, adimensional.

a) Fator Chuva (R)

A erosividade da chuva é representada por um índice numérico, que expressa sua capacidade, esperada em dada localidade, de causar erosão em uma área sem proteção. Entre os fatores da equação, apenas o fator R é calculado diretamente a partir de registros pluviográficos.

O fator R foi obtido conforme a eq. (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 agrupados e somados os dados de cada mês para o cálculo das médias e aplicação da fórmula, conforme Tabela 3. Foi feito mapa temático com o Fator R constante para toda MHC, como feito por Fiorio (2000) e Weill (1999). Posteriormente utilizando a operação de ponderação via linguagem LEGAL do software SPRING, foi gerada então grade numérica com resolução espacial de 2,5 x 2,5m.

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

Sendo:

(EI) = média mensal do índice de erosão em MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.ano⁻¹;

Pm = Precipitação média mensal (mm) e

P = Precipitação média anual (mm).

Para determinação do fator R, os resultados dos valores mensais obtidos pela eq. (2), apresentados na Tabela 3 foram somados, conforme eq. (3), o resultado do índice de erosividade obtido para a MHC foi 6.378,04 MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.ano⁻¹;

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

Tabela 3 - Dados pluviométricos para a elaboração do fator R

Meses	Precipitação média mensal 1917/2010 (mm)	Média mensal de energia de erosão MJ.mm.ha ⁻¹ .h ⁻¹ .ano ⁻¹ ;
Janeiro	229,76	1.594,53
Fevereiro	182,38	1.076,77
Março	142,66	709,23
Abril	63,31	178,22
Maio	53,64	134,46
Junho	42,28	89,71
Julho	29,47	48,57
Agosto	29,60	48,94
Setembro	62,19	172,89
Outubro	109,81	454,55
Novembro	130,65	610,73
Dezembro	199,98	1.259,43
TOTAL	1.275,71	R=6.378,04

b) Fator erodibilidade (K)

A erodibilidade do solo é a sua vulnerabilidade à erosão. A erodibilidade de um solo pela água é determinada pelas suas propriedades intrínsecas que afetam a velocidade de infiltração da água do solo, permeabilidade e a capacidade de absorção de água (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2008).

A erodibilidade expressa a resistência do solo a erosão hídrica, sendo dependente, entre outros fatores, dos atributos mineralógicos, químicos, morfológicos e físicos desse.

O fator K é em função das propriedades do solo que influenciam no processo erosivo, tais como a velocidade de infiltração, a permeabilidade, capacidade de absorção, resistência a dispersão, ao salpicamento, à abrasão e às forças de transporte da chuva e enxurrada (STEIN et al., 1987).

Foram utilizados valores para o fator K de alguns solos do Brasil disponíveis na literatura para unidades pedológicas similares às da área em estudo, tais valores foram obtidos em experimentos por método direto (experimentos em campo). Estes

valores encontrados foram associados aos solos da área em estudo em função de suas características físicas.

Foram utilizados dados já existentes na literatura, como os obtidos por Fiorio (2000) e Bertoni e Lombardi Neto (2008). Com o mapa de solos digitalizado, foram atribuídos valores de erodibilidade, conforme Tabela 4, para todos os solos encontrados na MHC com o software SPRING por meio da operação de ponderação, via linguagem LEGAL.

Tabela 4 – Antiga classificação, nova classificação, valores utilizados no trabalho para erodibilidade para cada tipo de solo e o trabalho em que foi proposto

<i>Solo</i>		<i>Fator K</i>	<i>Fonte</i>
ACT1 ACT2 ACT3 ACT4 ACTq ACTl1 ACTl2 PVAa1 PVAa2 PVAa1 PVAa2 PVAdq PVAdl PVAdv PVAe1 PVAe2 PVAe3 PVAeq PVAel1 PVAel2 PVAel3 PVAel4	PVA	0,034	Silva et al. (2009)
PVe	PV	0,044	Lanzanova (2009)
TCp TCpq TCol1 TCol2	TC	0,042	Silva et al. (2009)
NVet NVe	NV	0,020	Denardin (1990)
CXve CXva CXvbe CXvbed	CX	0,037	Denardin (1990)
GX1 GX2 GX3	GX	0,035	Denardin (1990)
RLa RLd1 RLd2 RLe1 RLe3 RLe4 RLe5 RLe6	RL	0,040	Ribeiro e Alves (2008)
RUbe	RY	0,040	Ribeiro e Alves (2008)

c) Fator comprimento e declividade ou Fator topográfico (LS)

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 proposta por Bertoni e Lombardi Neto (2008), eq. (4) mostrada a seguir:

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

Sendo:

LS= Fator Topográfico;

C=Comprimento da vertente em m e

D= Declividade em %.

A partir das curvas de nível foi gerada 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.

d) Fatores uso-manejo do solo (CP)

O fator uso e manejo do solo é conceituado como a relação esperada entre as perdas de solo em um terreno cultivado e em um terreno desprotegido. A redução da erosão vai depender do tipo de cultura e manejo adotado, da quantidade de chuvas, da fase do ciclo vegetativo entre outras variáveis, cujas combinações apresentam diferentes efeitos na perda de solo (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2008).

Os fatores uso-manejo afetam a perdas por erosão devido às diferenças na proteção que os diferentes tipos de cobertura vegetal e estádios de desenvolvimento desses conferem ao solo. Para o cálculo da USLE, foram obtidos os valores de CP conforme o uso estabelecido pelo mapa e então realizada ponderação das classes por meio da linguagem LEGAL.

Tabela 5 – Valores do fator CP utilizados no trabalho

Uso	Fator CP
Urbano	0,00000
Corpo aquoso	0,00000
Reflorestamento	0,00500
Cana-de-açúcar	0,05000
Mata	0,00004
APP	0,00004
Pasto	0,12000
Pasto Sujo	0,25000

Fonte: Stein et al. (1987)

3.2.13 Índice Kappa

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 atual e o uso lei, os mapas do modelo temático foram comparados entre si através do índice Kappa (Tabela 6).

Tabela 6 - Classes de concordância para o índice Kappa

Valor de Kappa	Concordância
< 0	Sem concordância
0-0,19	Pobre
0,20-0,39	Fraca
0,40-0,59	Moderada
0,60-0,79	Forte
0,80-1.00	Excelente

Fonte: Câmara et al. (1996)

O índice Kappa é uma análise multivariada discreta e segundo Congalton e Green (2008) é calculado da seguinte forma, eq. (5):

$$K = \frac{\theta_1 - \theta_2}{1 - \theta_2} \quad (5)$$

Sendo:

$$\theta_1 = \frac{\sum_{i=1}^r x_{ij}}{N} \quad (6)$$

$$\theta_2 = \frac{\sum_{i=1}^r x_{i+ \rightarrow x+j}}{N^2} \quad (7)$$

x = número de observações na linha i e coluna j da diagonal principal;

$i+ x$ e $j x+$ = os totais marginais da linha i e da coluna j , respectivamente;

N = número total de observações da matriz de erros.

3.3 Resultados e Discussão

Para verificar a estimativa de perda de solo entre o uso conforme a Lei 4.771/65, denominado de uso Lei, e o uso em 2010, considerado o uso atual neste trabalho, foi realizada a interpretação visual e digitalização em tela de imagens do satélite CBERS 2B, sensor HRC, do ano de 2010. Após a confecção do mapa inicial foram realizadas visitas de campo, com auxílio de GPS de navegação, para verificação das dúvidas sobre interpretação. Depois de realizadas as devidas correções, gerou-se o mapa final do uso atual que pode ser observado na Figura 7.

Figura 7- Representação do mapa de uso do solo para o ano de 2010

A partir do mapa de uso da terra de 2010 foi gerado um mapa obedecendo a Lei 4.771 e resolução CONAMA nº 303. Dessa forma, foram identificadas APP's ao longo do curso do Córrego do Ceuveiro e as APP's de nascentes utilizando a rede de drenagens, Figura 5. Para a confecção do mapa foi utilizada a função mapa de distância, assim obtendo-se as APP's adjacentes aos cursos d'água perenes e intermitentes. Não foi constatada a presença de morros e encostas com declividade superior a 45° (Figura 8).

Figura 8 – Representação do mapa uso do solo conforme a Lei 4.771/65

Como pode ser observado na Tabela 7, o mapa de uso Lei, no qual é respeitado o Art 2º do Código Florestal vigente mostra que a cultura da cana-de-açúcar ocuparia cerca de 1.130,60 ha da área total, as áreas de APP ocupariam 540,70 ha, pastagem 127,56 ha, mata 112,54 ha, área urbana 36,87 ha, pasto sujo 15,02 ha, reflorestamento com 11,05 ha e corpo aquoso com 3,77 ha.

Tabela 7 - Uso do Solo para a MHC para o mapa de uso atual 2010 e conforme a Lei 4.771/65, suas diferenças em hectares

Classes	2010	Lei 4.771/65	Diferença (ha)
Cana-de-açúcar	1.337,47	1.130,60	-206,87
Pastagem	217,05	127,56	-89,49
APP	205,53	540,70	335,17
Mata	112,54	112,54	0,00
Urbano	40,63	36,87	-3,76
Pasto sujo	40,48	15,02	-25,46
Reflorestamento	16,72	11,05	-5,67
Corpo aquoso	3,77	3,77	0,00

Comparando o mapa de uso conforme a lei e o atual, os valores das diferenças de áreas quando positivos indicam um aumento de área desse uso e quando negativos uma redução de área desse uso. Assim, podemos observar na Tabela 7 que a área urbana ocupa 3,76 ha da área prevista por lei como APP. Tal fato é um indicativo de um crescimento urbano que não levou em consideração um planejamento prévio. Fica evidente o aumento das áreas de APP, que passariam de 205,53 ha para 540,70 ha. Nota-se ainda na Tabela 7 que as áreas de pastagem, pasto sujo e cana-de-açúcar apresentariam uma perda de área de 89,49 ha, 25,46 ha e 206,87 respectivamente.

Para observarmos quais classes de uso em 2010 deram lugar para o aumento de APP no uso lei foi realizada uma tabulação cruzada, Tabela 8. Na área de APP podemos observar que 205,53 ha do uso lei se manteria na mesma área do uso atual. Sendo observada expansão principalmente para as áreas de cana-de-açúcar com 206,87 ha. Tal fato pode ser associado à expansão da cultura da cana-de-açúcar no uso atual em áreas irregulares, próximo à rede drenagens. Outros 89,49 ha de APP se encontrariam onde antes era área ocupada por pastagem. Completando a ocupação atual 25,46 ha em pasto sujo, 5,67 ha em reflorestamento e 3,76 ha em área urbana. Corpo aquoso e mata não teriam alterações.

Tabela 8 - Tabela cruzada de áreas (em ha) em destaque a classe mata

		Lei 4.771/65
2010	Classe (ha)	APP
	Cana-de-açúcar	206,87
	APP	205,53
	Pastagem	89,49
	Pasto sujo	25,46
	Reflorestamento	5,67
	Urbano	3,76
	Corpo aquoso	0,0
	Mata	0,0

Com dados apresentados, ao dizer que 540,70 ha de área de APP seria 100% mas que apenas 205,53 ha estão corretas, pode-se afirmar que do total da área destinada às APPs, 61,98 % encontra-se com uso conflitante do solo, sendo, portanto necessário recompor 335,17 ha com vegetação nativa. O maior conflito de uso observado está relacionado com a classe cana-de-açúcar, que ocupa

atualmente cerca de 206,87 ha de área que deveria ser ocupada por APP seguido por pastagem, que ocupa 89,49 ha de área e pasto sujo com 25,46 ha. Esses dados mostram que essas três classes de uso são as que mais ocupam áreas que seriam destinadas as APP's, com um total de 321,82 ha. Pissarra et al. (2000) também recomendam a recomposição das matas ciliares e nascentes.

Estudos similares ao desenvolvido na microbacia resultaram em altos índices de usos conflitantes. Dentre eles estudo realizado por Pinto et al. (2005), na bacia hidrográfica do ribeirão Santa Cruz em Lavras - MG onde foi observada alta porcentagem (58%) de uso indevido das APP's. Dados similares também foram encontrados por Catelani et al. (2003), em trabalho realizado no Município de Santo Antonio do Pinhal - SP onde apenas 51% do total das APP's se encontravam com cobertura florestal. Esses resultados corroboram com os encontrados para a microbacia estudada, indicando que o problema do descumprimento da legislação referente ao uso da terra nas APP indica ser uma questão em escala nacional.

Segundo Sparovek et al. (2010) a não conformidade com o Código Florestal pode ter duas origens. Uma delas em que os produtores voluntariamente decidem não cumprir a lei, por exemplo, quando desmatam áreas adicionais protegidas pelo Código Florestal para ampliar seu negócio. Outra em que não conseguem cumprir a lei, situação que pode ocorrer quando suas terras já são pequenas ou quando herdaram um passivo muito grande e a renda que geram na propriedade não permite implementar as ações de recuperação necessárias.

Entende-se no caso da MHC, onde predomina a cultura da cana-de-açúcar, que ocorre um descumprimento da lei voluntariamente (SPAROVEK et al., 2010). Por outro lado também seria necessário para tal afirmação a malha fundiária dessa microbacia, para verificar se existem pequenos proprietários que arrendam essas terras para a usina. Fiorio et al. (1999), verificaram que além da expansão da cultura da cana de açúcar de 1962 até 1995, principalmente entre 1978 e 1995 ocorreu também um aumento e manutenção das áreas de matas próximas as drenagens, indicando assim um aumento das áreas de APP's.

Para este trabalho foi gerado o mapa de perda de solo tanto para o uso atual como para o uso conforme a legislação vigente, Figuras 9 e 10. As perdas de solo obtidas em ambos os usos predominam nas classes de 0 a 20 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹ e 20 a 50 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹ como observado na Tabela 9 onde, as diferenças positivas indicam

aumento das áreas nas classes de perda de solo e valores negativos indicam redução das mesmas. Observa-se ainda na Tabela 9 que a distribuição das áreas para o mapa de perdas de solo do uso lei seria: 1.080,61 ha para a classe 0 a 20 $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$, 645,68 ha para a classe de 20 a 50 $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$, 186,74 ha para a classe 50 a 100 $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$ e 58,32 ha para a classe de perda maior que 100 $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$.

Figura 9 – Representação do mapa da estimativa de perda de solo para uso atual

Figura 10 – Representação do mapa da estimativa de perda de solo para o uso conforme a Lei 4.771/65

Tabela 9 - Área para cada classe de perda de solo para o mapa de uso atual e o mapa conforme a Lei 4.771/65

Classes de perda de solo ($\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$)	2010 (ha)	Lei 4.771/65 (ha)	Diferença (%)
0 - 20	987,90	1.104,75	11,83
20 - 50	715,94	626,12	-12,54
50 - 100	203,55	184,78	-9,21
> 100	64,07	57,51	-10,24

Ainda na Tabela 9 observa-se que na classe 0 a 20 $\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ para a perda de solo de 2010 possui 987,90 ha, 715,94 ha para a classe 20 a 50 $\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$, 203,55 ha para a classe 50 a 100 $\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ e 64,07 ha para a classe maior que 100 $\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$. As classes 20 a 50 $\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$, 50 a 100 $\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ e maior que 100 $\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ apresentariam perda de 12,54%, 9,21% e 10,24% respectivamente do uso lei quando comparadas ao uso de 2010.

A redução dos valores de perda de solo nas classes 20 a 50 $\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$, 50 a 100 $\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ e maior que 100 $\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ deve estar associado ao forte

aumento da área de APP e a diminuição das áreas de pasto sujo, pastagem e cana-de-açúcar que tem altos valores CP, 0,25, 0,12 e 0,05 respectivamente. Weill e Sparovek (2008) afirmam que os fatores C e P determinaram a ordem de grandeza das perdas de solo na área MHC em unidades, em dezenas ou em centenas de $\text{Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$.

Ainda segundo Weill e Sparovek (2008) a perda de solo para as áreas ocupadas com cana-de-açúcar, que ocupam cerca de dois terços da área da MHC, foi significativamente diferente das perdas para todos os demais usos da terra, sendo superior em relação aos usos menos intensivos, como por exemplo, mata e reflorestamento, e inferior em relação ao uso mais intensivo, representado por cultura anual.

Conforme pode ser observado na Tabela 10, dos 986,94 ha da classe de perda de solo 0 a $20 \text{ Mg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ no mapa de perda de solo do uso atual apenas 0,35 ha estão localizados em outras áreas, em classes de perdas maiores, não pertencente a mesma classe no mapa do uso lei. Sendo que, desta diferença, 0,25 ha estão localizados onde, no cenário conforme a legislação vigente, pertenceriam à classe 20 a $50 \text{ Mg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$. Outros 0,06 ha se encontrariam onde a área é ocupada por 50 a $100 \text{ Mg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ e 0,04 ha onde seria maior que $100 \text{ Mg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$.

Apesar de ter diminuído a área, verifica-se que na classe 20 a $50 \text{ Mg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ apenas 625,86 ha manteve-se na área atual. O restante ocuparia 90,21 ha da classe 0 a $20 \text{ Mg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, 0,00 ha das classes 50 – $100 \text{ Mg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ e maior que $100 \text{ Mg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$.

Tabela 10 - Tabela cruzada de áreas (em ha) da perda de solo entre o mapa de uso atual e o mapa conforme a Lei 4.771/65

		2010			
Lei 4.771/65	Classes (ha)	0 - 20	20 - 50	50 - 100	>100
	0 - 20	986,94	90,21	19,08	6,45
	20 - 50	0,25	625,86	0,00	0,00
	50 - 100	0,06	0,00	184,51	0,00
	> 100	0,04	0,00	0,00	57,60

Ainda na Tabela 10 nota-se que a classe 50 a $100 \text{ Mg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ diminuiria de área. Apesar da diminuição, 184,51 ha da área atual estariam situados no mesmo

lugar do mapa de uso conforme a legislação vigente. A classe é responsável pela ocupação de 19,08 ha do que conforme a legislação seria 0 a 20 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹ e 0,00 ha ocupado por 20 a 50 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹ e maior que 100 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹. A classe maior que 100 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹ também teria perda de área, mas manteria 57,60 ha do total de 64,07 ha de sua área em ambos os mapas, o restante ocuparia 6,45 ha da classe 0 a 20 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹ e 0,00 ha de 20 a 50 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹ e 50 a 100 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹.

O índice Kappa entre o mapas de potencial de perdas de solo para o uso atual e para o mapa de uso o qual se respeita o Art.2º do Código Florestal foi de 0,90, sendo considerado excelente segundo Câmara et al (1996). O índice de acertos foi de 0,94.

A exatidão global é indicativo simples da concordância entre os mapas, ele representa a divisão da somatória da diagonal principal (número de pixel em concordância nos dois mapas) pelo número total de amostras, entre o mapa de uso lei e o de referência, uso atual, que foi de 0,941 ou 94,1% está dentro do patamar estabelecido por Congalton e Green (2008), que estabelecem como aceitável 85%. Para os mesmo autores, para uma análise mais detalhada deve-se proceder para o calculo da exatidão do Produtor o qual verifica quanto de uma classe de perda de solo (exemplo 0 a 20 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹) o mapa de uso lei identifica em relação ao que foi encontrado pela referência, que é o mapa de uso atual, e assim observando-se a Tabela 11 notamos que esse valor é 99,96%. Porém esse valor pode não ser a verdade posicional. Para tanto a Exatidão do Usuário nos permite estabelecer uma relação pixel a pixel da posição desse acerto. Sendo assim, dos 99,96% da classe 0 a 20 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹ encontrada pelo mapa de perda de solo conforme a Lei 4.771/65, apenas 89,50% tem uma verdade posicional, o que é imprescindível nesse caso.

Tabela 11 – Exatidão do produtor e exatidão do usuário.

Classes (Mg.ha ⁻¹ .ano ⁻¹)	Exatidão Produtor (%)	Exatidão do Usuário (%)
0-20	99,96	89,50
20-50	87,40	99,96
50-100	90,55	99,96
>100	90,11	99,93

Portando pode-se perceber ainda na Tabela 11 que o mapa da estimativa de perda de solo conforme a Lei 4.771/65 identificou apenas 87,40% das áreas de 20 a 50 $\text{Mg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$; 90,55% das áreas de 50 a 100 $\text{Mg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ e 90,11% das áreas com perdas maiores que 100 $\text{Mg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$. Para as classes de 20 a 50 $\text{Mg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ a exatidão do usuário foi de 99,96%; para a classe 50 a 100 $\text{Mg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ foi de 99,96% e para a classe maior que 100 $\text{Mg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ foi de 99,93%. Pode-se afirmar que houve um deslocamento dos pixels das classes 20 a 50 $\text{Mg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, 50 a 100 $\text{Mg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ e maior que 100 $\text{Mg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ para a classe 0 a 20 $\text{Mg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ no mapa de validação que é o conforme a Lei 4.771/65.

Ao se observar os resultados obtidos pode-se afirmar que eles comprovam o aumento de área da classe 0 a 20 $\text{Mg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ que apresenta alto valor de exatidão produtor quando comparado com as outras classes que tiveram valores mais baixos. Enquanto que na coluna da exatidão do usuário os valores são inversos mostrando que houve alteração dos pixels da classe 0 a 20 $\text{Mg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ e nas outras classes os pixels restantes não foram alterados de sua posição.

3.4 Conclusão

A cana-de-açúcar é a principal cultura da MHC, sendo também a que mais ocupa áreas que deveriam ser destinadas as APP's com 206,87 ha.

Para adequação das APP's na MHC teríamos que diminuir 321,82 ha de áreas que são ocupadas com cana-de-açúcar, pastagem e pasto sujo.

Das áreas destinadas as APP's, 61,98% estão sendo utilizadas irregularmente com cana-de-açúcar, pastagem, pasto sujo, reflorestamento, solo exposto e área urbana, contrariando os dispositivos legais.

Fica evidente a necessidade de se recuperar as áreas de preservação permanente e de se deter o processo de ocupação desordenada, sendo que a simples recomposição das faixas de preservação de acordo com a legislação produziram uma redução na perda de solo, principalmente nas classes 20 a 50 $\text{Mg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, 50 a 100 $\text{Mg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ e maior que 100 $\text{Mg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$

Referências

ARAÚJO, S.M.V.G. de. **As áreas de preservação permanente e a questão urbana**. Brasília: Consultoria Legislativa da Câmara dos Deputados, 2002. Disponível em: <www2.camara.gov.br/publicacoes/estnottec/tema14/pdf/207730.pdf>. Acesso em: 27 jul. 2011.

ATLAS das áreas com potencial de riscos do Estado do Espírito Santo. Vitória: *Imprensa Estadual*, 2006. 125 p.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 6. ed. São Paulo: Ícone, 2008. 355 p.

CALIJURI, M.L.; RÖHM, S.A. **Sistemas de informações geográficas**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, Imprensa Universitária, 1994. 34 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**, Viçosa, v. 20, n. 3, p. 395-403, May/June 1996.

CASTRO, A.; VALÉRIO FILHO, M. Simulação da expectativa de perdas de solo em microbacia sob diferentes manejos florestais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 21, n. 3, p. 419-26, 1997.

CATELANI, C.S.; BATISTA, G.T.; PEREIRA, W.F. Adequação do uso da terra em função da legislação ambiental. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11., 2003, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: INPE; SELPER, 2003. p. 559-566.

CHAVES, H.M.L. Modelagem matemática da erosão hídrica: passado, presente e futuro. In: ALVAREZ V.H.; FONTES, L.E.; FONTES, M.P.F. (Ed.). **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado**. Viçosa: SBCS; UFV, DPS, 1996. p. 731-750.

COLODRO, G.; CARVALHO, M.P.; ROQUE, C.G.; PRADO, R.M. Erosividade da chuva: distribuição e correlação com a precipitação pluviométrica de Teodoro Sampaio (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 3, p. 809-818, 2002.

CONGALTON, R.G. GREEN, K. **Assessing the accuracy of remote sensing data: principles and practice**. 2. ed. Boca Raton: CRC Press; Francis and Taylor Group, 2008. 210 p.

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.M.; MÉLEM JUNIOR, N.J.; MAZZA, J.A. 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.
- 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, São Paulo, 2002.
- GALETI, P.A. **Conservação do solo**: reflorestamento e clima. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1982. 257 p.
- GOMES, D.D.M. **Geoprocessamento Aplicado a Análise da Vulnerabilidade à Erosão na Bacia Hidrográfica do Rio Jaibaras**. 2011. 138 p. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011.
- GRIPP JUNIOR, J. **A ortorretificação de Imagens de alta resolução para aplicação em estudo do cadastro técnico rural e mapeamento de áreas de preservação permanente e reservas legais**. 2009. 152 p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.
- IRVEN, A.; TOPALOGLU, F.; UYGUR, V. Estimating spatial distribution of soil loss over Seyhan River Basin in Turkey. **Journal of Hydrology**. Completar o título, New Delhi, v. 336, p. 30-37, 2007.
- 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, M.L.; ALVES, J.S.; GOMES, I.; VIEIRA, E.M.; SIMÃO, M.L.R.; NAIME, U.J. Levantamento sistemático dos fatores da Equação Universal de Perda de Solo (USLE) para o delineamento de áreas com potencial erosivo da bacia PN1 – IGAM, Minas Gerais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14., 2009, Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009. p. 7733-7739.
- NASCIMENTO, M.C.; SOARES, V.P.; RIBEIRO, C.A.A.S.; SILVA, E. Uso do geoprocessamento na identificação de conflito de uso da terra em áreas de preservação permanente na bacia do rio Alegre, Espírito Santo. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 15, n. 2, p. 207-220, 2005.
- OLIVEIRA, A.M.M. **Aplicação de geotecnologias e do modelo EUPS como subsídio ao planejamento do uso da terra**: estudo de caso no alto curso da

microbacia hidrográfica do Ribeirão Cachoeirinha, Iracemópolis, S.P. 2005. 114 p. Tese (Doutorado em Análise da Informação Espacial) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Rio Claro, 2005.

PANDEY, A.; CHOWDARY, V.M.; MAL, B.C. Identification of critical erosion prone areas in the small agricultural watershed using USLE, GIS and remote sensing. **Water Resource Management**, New York, v. 21, p. 729-746, 2007.

PEREIRA, R.S.; MADRUGA, P.R.A.; HASENACK, H. **Geoprocessamento aplicado ao planejamento de uso de recursos naturais**: curso. Santa Maria: UFSM, CCR, FATEC, 1995. 40 p.

PINTO, L.V.A.; FERREIRA, E.; BOTELHO, S.A.; DAVIDE, A.C. Caracterização física da bacia hidrográfica do ribeirão Santa Cruz, Lavras, MG e uso conflitante da terra em suas áreas de preservação permanente. **Revista Cerne**, Lavras, v. 11, n. 1, p. 49-60, jan./mar., 2005.

PISSARRA, T.C.T.; POLITANO, W.; NÓBREGA, A.M.F.; VALERI, S.V. Avaliação da cobertura vegetal natural e agrícola da cabeceira da bacia hidrográfica de córrego Rico, município de Monte Alto, SP. In: CONGRESSO DE EXPOSIÇÃO INTERNACIONAL SOBRE FLORESTAS, 6., 2000, Porto Seguro. **Anais...** Rio de Janeiro: Biosfera, 2000. p. 249-250.

SERIGATO, E.M. **Delimitação automática das áreas de preservação permanente e identificação dos conflitos de uso da terra na bacia hidrográfica do rio Sepotuba-MT**. 2006. 188 p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006.

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, p. 26-40, jan./abr. 2009.

SPAROVEK, G.; BARRETO, A.; KLUG, I.; BERNDES, G. **Considerações sobre o código florestal brasileiro**. Disponível em: <http://www.ekosbrasil.org/media/file/OpCF_gs_010610_v4.pdf>. Acesso em: 11 mar. 2011.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: FIBGE, 1977. 97 p.

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 EROSIÃO, 3., 1987, Marília. **Anais...** Marília: 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.

WEILL, M.A.M.; SPAROVEK, G. Estudo da erosão na microbacia do Ceveiro (Piracicaba, SP). I - Estimativa das taxas de perda de solo e estudo de sensibilidade

dos fatores do modelo EUPS. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 801-814, 2008.

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

4 COMPARAÇÃO ENTRE AS PERDAS DE SOLO DO USO DA TERRA CONFORME A LEI FEDERAL 4.771/65 E O USO DA TERRA CONFORME A PL 1.876/99

Resumo

O presente trabalho avaliou a perda de solo entre os cenários conforme a Lei 4.771/65 e o PL 1.876/99 para a microbacia hidrográfica do Ceveiro, situada no município de Piracicaba - SP, com o auxílio da USLE. Para tanto foi utilizado a carta topográfica 1:10000, imagem HRC do satélite CBERS-2B e demais informações foram incorporadas ao banco de dados do SIG/SPRING. Observou-se uma diminuição de 193,45 ha nas APP's, que passariam a ser ocupadas por cana-de-açúcar com 78,53 ha, pastagem 29,87 ha e pasto sujo com 9,12 ha, quando implementado o cenário conforme a PL. Para as perdas de solo o cenário com a PL apresentaria maiores perdas em relação à legislação vigente. Sendo que para a classe de perda de solo de 0 a 20 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹ apresentaria um decréscimo de 54,79% de área enquanto que as classes de 20 a 50 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹, 50 a 100 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹ e maior que 100 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹ obtiveram um aumento de 39,12%, 9,85% e 3,83% respectivamente o que também foi confirmado pela exatidão do produtor e do usuário. O índice Kappa foi de 0,94.

Palavras-chave: USLE; SIG; Perda de solo, APP

Abstract

This study evaluated soil losses between scenarios according to the current and PL 1.876/99 for the Ceveiro Watershed with the help of USLE. For this purpose we used a 1:10000 topographic map, HRC image of CBERS-2B and other information were incorporated into the GIS database / SPRING. As a prerequisite to estimate loss established the current land use in the Ceveiro Watershed, located in Piracicaba, SP. It was found that in the scenario as PL 1.876/99 area was no loss of APP, about 36%, which was repressed by sugar cane, pasture and grazing dirt which added 78,53 ha, 29,87 ha and 9,12 ha. If the PL 1.876/99 is approved there will be a scenario where the soil loss will be larger in relation to current legislation. In comparing the loss of soil maps of the class 0 - 20 Mg.ha⁻¹.year⁻¹ present a decrease of 54,79% area while classes 20 - 50 Mg.ha⁻¹.year⁻¹, 50 - 100 Mg.ha⁻¹.year⁻¹ and greater than 100 Mg.ha⁻¹.year⁻¹ had an increase of 39,12%, 9,85% and 3,83% respectively which also confirmed the accuracy of the producer and user. The Kappa index was 0.94.

Keywords: USLE; GIS; Soil loss prediction; APP

4.1 Introdução

A erosão hídrica é um dos maiores problemas da agricultura em todo mundo, sendo responsável pelo transporte de sedimentos que poluem corpos d'água e

assoreiam reservatórios. A erosão pode causar a perda de grande quantidade de nutrientes, matéria orgânica, defensivos agrícolas e sementes, carregados juntamente com os sedimentos removidos pelo escoamento superficial, causando prejuízos diretos à produção agropecuária. A erosão também causa problemas à qualidade e disponibilidade de água, decorrentes da poluição e do assoreamento dos mananciais, favorecendo a ocorrência de enchentes no período chuvoso e aumentando a escassez de água no período de estiagem (PRUSKI, 1997).

Dada a complexidade do processo que promove a erosão do solo, diversos modelos têm sido elaborados, visando encontrar sua adequada descrição. A descrição físico-matemática do processo erosivo evoluiu muito a partir da década de 50, com o surgimento da Equação Universal de Perdas do Solo (USLE). Nas últimas décadas, o avanço da informática permitiu o desenvolvimento de procedimentos baseados em técnicas de simulação, que possibilitam considerar as variações espaciais e temporais dos fatores condicionantes do processo erosivo (CECÍLIO et al., 2009).

Um estudo realizado por Neves et al. (2010) a perda média de solo por erosão hídrica na Bacia Hidrográfica do Jauquara foi de $13,33 \text{ Mg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, que corresponde a um grau de erosão moderado.

A EUPS utiliza seis fatores independentes para estimar a perda média anual de solo por erosão laminar e em sulcos, sendo: erosividade da chuva; erodibilidade do solo; comprimento da vertente; declividade da vertente; uso e manejo do solo; e práticas conservacionistas. Para integração dos dados verificados nesse modelo vem sendo utilizado com êxito, técnicas de geoprocessamento, conforme observado em diversos trabalhos (BABAN; YUSOF, 2001; LUFAFA et al., 2003; IRVEM et al., 2007; OZCAN et al., 2008).

A legislação brasileira define dois tipos de área para realizar a manutenção da cobertura vegetal dentro da propriedade rural: Área de Preservação Permanente (APP) e Reserva Legal (RL). Segundo Sparovek et al. (2010) as Áreas de Preservação Permanente são de uso específico de conservação, devendo estar cobertas por vegetação natural. O objetivo principal é evitar que sedimentos e poluentes cheguem aos corpos d'água superficiais e preservar suas áreas de recarga. A Reserva Legal é uma proporção de cada imóvel rural que deve ser conservado sem a remoção completa da vegetação. Alguns usos produtivos são

consentidos como a extração de produtos florestais e a apicultura; mas apenas atividades que não promovam o corte raso da vegetação.

O Projeto de Lei no 1.876/99, elaborado pelo deputado federal Aldo Rebelo (PCdoB), tramita há 12 anos na Câmara dos Deputados, em Brasília. O Código Florestal reúne um conjunto de leis que visam à preservação de florestas, como limites para exploração da vegetação nativa e a definição da chamada Amazônia Legal (área que compreende nove Estados brasileiros). O primeiro código data de 1934 e o atual (Lei 4.771), de 1965.

O documento adquiriu maior importância nos últimos anos por conta das questões ambientais. Ao mesmo tempo, precisa ser atualizado para se adequar à realidade socioeconômica do Brasil.

O Código Florestal de 1965 determina duas faixas mínimas de 30 metros de vegetação à margem de rios e córregos de até 10 metros de largura. A reforma estabelece uma faixa menor, de 15 metros, para cursos d'água de até 10 metros de largura.

Para Nascimento et al. (2005), o monitoramento das áreas de preservação permanente tem sido um grande desafio sob o aspecto técnico e econômico, pois os critérios de delimitação com base na topografia exigem o envolvimento de pessoas especializadas e de informações detalhadas da unidade espacial em análise.

Vários trabalhos empregando geotecnologias vêm sendo desenvolvidos com a finalidade de delimitar as APP's e identificar a ocorrência de conflito do uso da terra. Costa et al. (1996) identificaram categorias de APP's e elaboraram um diagnóstico qualitativo e quantitativo de uso da terra em uma área no município de Viçosa, Minas Gerais. Ainda nesse município, Soares et al. (2002) avaliaram as áreas de uso indevido da terra em uma sub-bacia por meio de restituidor fotográfico para determinação de APP's. Oliveira (2002), por meio de geoprocessamento, conseguiu delimitar de maneira automática as APP's situadas nos topos do morro e em linhas de cumeada.

A hipótese do trabalho considera que com a aprovação da PL 1.876/99 as áreas a serem restituídas com as APP's serão menores que com a lei vigente o que poderá ocasionar uma maior perda de solo na MHC.

O presente trabalho tem por objetivo comparar as perdas de solo entre dois cenários de uso e ocupação da terra na MHC. O primeiro cenário considera o uso de

2010 com a adequação das áreas de APP's de acordo com a Lei 4.771/65 e o segundo cenário o uso de 2010 com adequação de APP's de acordo com o PL 1.876/99.

4.2 Material e Métodos

4.2.1 Localização da área de estudo

A Microbacia Hidrográfica do Ceveiro (MHC), conforme Figura 1, possui uma área de 1.990,4 ha, está situada entre as coordenadas UTM, Zona 24S, Datum Córrego Alegre. Ela localiza-se entre as coordenadas 7.488.602 – 7.496.324 S e 213.584 – 222.457 E no município de Piracicaba, limitada a montante pela Vila de Santana e Vila Olímpia e a jusante pelo distrito de Ártemis e pelo Rio de Piracicaba, sendo afluente deste rio.

Figura 1 - Representação de parte da área da Microbacia Hidrográfica do Ceveiro (MHC)

4.2.2 Clima

O clima da região é o Cwa segundo Köppen, definido como mesotérmico subtropical com inverno seco e verão chuvoso, temperaturas média do mês mais quente superiores a 22°C e do mês mais frio a média não excede 18°C. As chuvas ocorre principalmente nos meses relacionados ao período de verão e as menores quantidades de precipitações ocorrem nos períodos de inverno, Figura 2, mostra claramente esta situação, onde podemos observar que os meses de abril a setembro são os meses com as menores precipitações. Na Figura 2, estão representadas as precipitações médias acumuladas entre os anos de 1917 e 2010, mês a mês, apresentando uma precipitação média anual de 1.250mm.

Figura 2 - Precipitação média mensal entre os anos de 1917 e 2010

4.2.3 Relevo

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, 1998).

4.2.4 Vegetação

A vegetação original é do tipo Floresta mesófila semidecídua, com ocorrência de ripárias nas margens dos cursos d'água. Atualmente essas vegetações são praticamente inexistentes, estando restrita a algumas partes da rede de drenagem

que compõe o Córrego do Ceveiro e nas partes mais íngremes do relevo (FIORIO, 1998).

4.2.5 Geologia e Material de Origem

A MHC está inserida na bacia do Paraná e apresenta coluna estratigráfica representada por sedimentos do Grupo São Bento e Grupo Passa Dois (IPT, 1981). As rochas encontradas são: arenitos da Formação Pirambóia e intrusivas básicas da Formação Serra Geral, ambas do Grupo São Bento e por siltitos, argilitos e folhelhos da Formação Corumbataí do Grupo Passa Dois.

As rochas da Formação Corumbataí, dão origem a cerca de 67% dos solos da bacia que ocorrem principalmente as margens do Ceveiro e ao lado esquerdo da bacia (sentido de observação montante à jusante). Nos topos, à direita da bacia, encontram-se com mais frequência os solos originados da Formação Pirambóia. A Formação Serra Geral, constituída por intrusões básicas, ocorre com maior intensidade na cabeceira da bacia, recobrando a Formação Pirambóia (FIORIO, 1998).

4.2.6 Solos

Segundo Silva (2000) a MHC possui 8 ordens: ALISSOLOS, ARGISSOLOS, LUVISSOLOS, NITOSSOLOS, CHERNOSSOLOS, CAMBISSOLOS, NEOSSOLOS e GLEISSOLOS. Com a disposição conforme Figura 3.

Na ordem dos Alissolos ocorrem os seguintes subgrupos: ALISSOLOS CRÔMICOS Argilúvicos abrupticos, ALISSOLOS CRÔMICOS Argiluvicos abrupticos arenicos e ALISSOLOS CRÔMICOS Argiluvicos abrupticos lépticos; ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS Alumínicos abrupticos, ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS Aluminícos abrupticos arênicos, ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS Alumínicos abrupticos lépticos, ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS Distróficos abrupticos arênicos, ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS Distróficos abrupticos lépticos, ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS Distróficos abrupticos Ta, ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS Eutróficos abrupticos, ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS Eutróficos abrupticos lépticos; ARGISSOLOS VERMELHOS Eutróficos típicos; LUVISSOLOS CRÔMICOS Pálicos típicos, LUVISSOLOS CRÔMICOS Pálicos arênicos abrupticos e LUVISSOLOS CRÔMICOS Órticos abrupticos; NITOSSOLOS VERMELHOS

Eutróficos argissólicos e NITOSSOLO VERMELHO Eutróficos típicos; CHERNOSSOLOS ARGILÚVICOS Órticos típicos; CAMBISSOLOS HÁPLICOS Ta Alumínicos lépticos, CAMBISSOLOS HÁPLICOS Ta Eutróficos lépticos, CAMBISSOLOS HÁPLICOS Ta Eutróficos típicos, CAMBISSOLOS HÁPLICOS Tb eutróficos lépticos e CAMBISSOLOS HÁPLICOS Tb Eutróficos típicos; NEOSSOLO LITÓLICOS álico típicos, NEOSSOLO LITÓLICOS Eutrófico típicos, NEOSSOLO LITÓLICOS Eutróficos chernossólicos, NEOSSOLO LITÓLICOS Distróficos típicos álicos e NEOSSOLOS LITÓLICOS Eutróficos típicos; NEOSSOLOS FLÚVICOS Tb Eutróficos; GLEISSOLOS HÁPLICOS Indiscriminados e NEOSSOLOS INDIFERENCIADOS os quais surgem devido a degradação acelerada de algumas vertentes da microbacia, por erosão, depósitos coluviais recentes soterrando solos próximos aos rios e várzeas, então o autor sugeriu a criação dessa subordem.

Figura 3 – Representação do mapa detalhado de solos retirado de Silva (2000)

4.2.7 Mapa de solos

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 feito a reclassificação e reagrupamento de acordo com o novo sistema brasileiro de classificação de solos, segundo Embrapa (2009), utilizando a função *reclass* via linguagem LEGAL conforme Figura 4. Esta etapa do trabalho foi necessária devido a poucos trabalhos desenvolvidos na quantificação do fator de erosividade do solo.

Figura 4 – Representação do mapa de solos reagrupados da MHC

4.2.8 Cartas planialtimétricas 1:10.000

A carta planialtimétrica é auxílio para mapeamentos de declividade e da rede de drenagem e hipsométrico, e dessa forma se apresenta como um subsídio para a interpretação do relevo nas bacias hidrográficas, pois os mesmos contêm

importantes informações morfométricas relacionadas ao relevo. Para fins de planejamento ambiental, torna-se imprescindível a construção desses mapas.

Foram utilizadas no presente trabalho seis cartas na escala de 1:10.000, conforme Tabela 1, 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.

As cartas foram confeccionadas a partir de levantamentos aerofotogramétricos realizados pela TerraFoto S.A. Atividades de Aerolevantamentos em 1978, com reambulação em campo entre 1978 e 1979. As curvas de nível são equidistantes em 5 metros. A projeção utilizada é a Universal Transversa Mercator (UTM), referência horizontal é a de Córrego Alegre, MG e referência vertical do Marégrafo de Imbituba, SC.

Tabela 1 – Folhas, cadastro e articulação das cartas planialtimétricas 1:10000 utilizados no trabalho

Número	Folha	Cadastro	Articulação
1	Córrego do Limoeiro	SF-23-Y-A-IV-1-NE-F	069/087
2	Vila Olímpia	SF-23-Y-A-IV-2-NO-E	069/088
3	Estância Lago Azul	SF-23-Y-A-IV-1-SE-B	070/087
4	Córrego das Ondas	SF-23-Y-A-IV-2-SO-A	070/088
5	Ártemis	SF-23-Y-A-IV-1-SE-D	071/087
6	Santa Terezinha do Piracicaba	SF-23-Y-A-IV-2-SO-C	071/088

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 conforme Figura 5.

Figura 5 – Figura representativa de parte do mapa topográfico 1:10.000 com as curvas de nível digitalizadas em ambiente SIG

4.2.9 Rede de drenagens

O mapa de drenagens, Figura 6, foi feito com o auxílio de fotografias aéreas de 2005, conforme Tabela 2. Com o auxílio do estereoscópio foi feito no papel vegetal os pontos de controle e traçada a rede hidrográfica. O papel vegetal 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.

Tabela 2 – Características das fotos aéreas para composição do par estereoscópico

Foto	Faixa	Escala	Latitude	Longitude
9384	29A	1:30.000	22°39'41"S	47°41'27"W
9385	29A	1:30.000	22°39'39"S	47°43'04"W
9386	29A	1:30.000	22°39'37"S	47°44'40"W
9387	29A	1:30.000	22°39'36"S	47°46'17"W

Figura 6 - Mapa da rede de drenagem da Microbacia do Ceuveiro

4.2.10 Mapa de uso da terra conforme a Lei 4.771/65

Para a confecção do mapa de uso da terra segundo a Lei 4.771/65 foi utilizada a rede de drenagem na função mapa de distância, assim obtendo-se as APP's adjacentes aos cursos d'água perenes e intermitentes.

Para o mapeamento das áreas de preservação permanente (APP's), seguiram-se as disposições do artigo 2º da Resolução CONAMA nº 303 de 2002. Assim, foram mapeadas as margens dos cursos d'água, com uma faixa de 30 metros, pois os cursos d'água da bacia possuem menos de 10 metros de largura.

Para as APP's de nascentes seguiu-se o mesmo procedimento, considerou-se uma faixa de raio de 50 metros para essas entidades devido ao fato de nenhum espelho d'água possuir mais de 20 hectares.

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.

4.2.11 Mapa de uso da terra segundo a PL 1.876/99

Para a confecção do mapa de uso da terra segundo a PL 1.876/99 foi utilizada a rede de drenagens na função mapa de distância, assim obtendo-se as APP's adjacentes aos cursos d'água perenes e intermitentes.

Para o mapeamento das áreas de preservação permanente (APPs), seguiu-se as disposições do artigo 62º do Projeto de Lei. Assim, foram mapeadas as margens dos cursos d'água, com uma faixa mínima de 15 metros, pois os cursos d'água da bacia possuem menos de 10 metros de largura.

Para as APP's de nascentes seguiu-se o mesmo procedimento, considerou-se uma faixa de raio de 50 metros para essas entidades devido ao fato de nenhum espelho d'água possuir mais de 20 hectares.

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.

4.2.12 Erosão do solo

Para a obtenção dos mapas de perda de solo será utilizada a Equação Universal de Perda de Solo (USLE), desenvolvida por Wischmeier e Smith (1978) expressa da seguinte maneira eq. (1):

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

Sendo:

A = perda de solo média anual ($\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$);

R = fator de erosividade da chuva ($\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$);

K = fator de erodibilidade do solo t ha^{-1} ($\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$);

L = fator de comprimento de encosta, adimensional;

S = fator de declividade de encosta, adimensional;

C = fator uso e manejo do solo, adimensional e

P = fator de prática conservacionista, adimensional.

a) Fator Chuva (R)

A erosividade da chuva é representada por um índice numérico, que expressa sua capacidade, esperada em dada localidade, de causar erosão em uma área sem proteção. Entre os fatores da equação, apenas o fator R é calculado diretamente a partir de registros pluviográficos.

O fator R foi obtido conforme a eq. (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 agrupados e somados os dados de cada mês para o cálculo das médias e aplicação da fórmula, conforme Tabela 3. Foi feito 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.

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

Sendo:

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

Pm = Precipitação média mensal (mm) e

P = Precipitação média anual (mm).

Para determinação do fator R, somou-se os resultados dos valores mensais, Tabela 3, do índice de erosividade, conforme eq. (3):

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

Tabela 3 - Dados pluviométricos para a elaboração do fator R

Meses	Precipitação média mensal 1917/2010 (mm)	Média mensal de energia de erosão (MJ.mm/h.ha)
Janeiro	229,76	1.594,53
Fevereiro	182,38	1.076,77
Março	142,66	709,23
Abril	63,31	178,22
Maio	53,64	134,46
Junho	42,28	89,71
Julho	29,47	48,57
Agosto	29,60	48,94
Setembro	62,19	172,89
Outubro	109,81	454,55
Novembro	130,65	610,73
Dezembro	199,98	1.259,43
TOTAL	1.275,71	R=6.378,04

b) Fator erodibilidade (K)

A erodibilidade do solo é a sua vulnerabilidade a erosão. A erodibilidade de um solo pela água é determinada pelas suas propriedades intrínsecas que afetam a velocidade de infiltração da água do solo, permeabilidade e a capacidade de absorção de água (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2008).

A erodibilidade expressa a resistência do solo a erosão hídrica, sendo dependente, entre outros fatores, dos atributos mineralógicos, químicos, morfológicos e físicos desse.

O fator K é em função das propriedades do solo que influenciam no processo erosivo, tais como a velocidade de infiltração, a permeabilidade, capacidade de absorção, resistência a dispersão, ao salpicamento, à abrasão e às forças de transporte da chuva e enxurrada. (STEIN et al., 1987)

Foram utilizados valores para o fator K de alguns solos do Brasil disponíveis na literatura para unidades pedológicas similares às da área em estudo, onde os valores foram adquiridos em experimentos por método direto (experimentos em

campo). Estes valores encontrados foram associados aos solos da área em estudo em função de suas características físicas.

Foram utilizados dados já existentes na literatura, como os obtidos por Fiorio (1998) e Bertoni e Lombardi Neto (2008). Com o mapa de solos digitalizado, foram atribuídos valores de erodibilidade, conforme Tabela 4, para todos os solos encontrados na MHC com o software SPRING por meio da operação de ponderação, via linguagem LEGAL.

Tabela 4 – Antiga classificação, nova classificação, valores utilizados no trabalho para erodibilidade para cada tipo de solo e o trabalho em que foi proposto

<i>Solo</i>	<i>Fator K</i>		<i>Fonte</i>
ACT1 ACT2 ACT3 ACT4 ACTq ACTl1 ACTl2 PVAa1 PVAa2 PVAa1 PVAa2 PVAdq PVAdl PVAdv PVAe1 PVAe2 PVAe3 PVAeq PVAel1 PVAel2 PVAel3 PVAel4	PVA	0,034	Silva et al. (2009)
PVe	PV	0,044	Lanzanova (2009)
TCp TCpq TCol1 TCol2	TC	0,042	Silva et al. (2009)
NVet NVe	NV	0,020	Denardin (1990)
CXve CXva CXvbe CXvbed	CX	0,037	Denardin (1990)
GX1 GX2 GX3	GX	0,035	Denardin (1990)
RLa RLd1 RLd2 RLe1 RLe3 RLe4 RLe5 RLe6	RL	0,040	Ribeiro e Alves (2008)
RUbe	RY	0,040	Ribeiro e Alves (2008)

c) Fator comprimento e declividade ou Fator topográfico (LS)

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 eq. (4) proposta por Bertoni e Lombardi Neto (2008) mostrada a seguir:

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

Sendo:

LS= Fator Topográfico;

C=Comprimento da vertente em m e

D= Declividade em %.

A partir das curvas de níveis 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.

d) Fatores uso-manejo do solo (CP)

O Fator uso e manejo do solo, Tabela 5, é conceituado como a relação esperada entre as perdas de solo em um terreno cultivado e em um terreno desprotegido. A redução da erosão vai depender do tipo de cultura e manejo adotado, da quantidade de chuvas, da fase do ciclo vegetativo entre outras variáveis, cujas combinações apresentam diferentes efeitos na perda de solo (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2008).

Tabela 5 – Valores do fator CP utilizados no trabalho

Uso	Fator CP
Urbano	0,00000
Vinhaça	0,00000
Corpos d'água	0,00000
Reflorestamento	0,00500
Cana-de-açúcar	0,05000
Mata	0,00004
Pasto	0,12000
Pasto Sujo	0,25000

Fonte: Stein et al. (1987)

Os fatores uso-manejo afetam a perdas por erosão devido às diferenças na proteção que os diferentes tipos de cobertura vegetal e estádios de desenvolvimento desses conferem ao solo. Conforme o uso da terra estabelecido pelo mapa de uso preferencial, serão obtidos os valores de CP em literatura para o cálculo da EUPS. Então a partir dos valores obtidos foi realizada uma ponderação das classes por meio da linguagem LEGAL.

4.2.13 Índice Kappa

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 lei e o uso conforme o PL 1.876/99, os mapas do modelo temático foram comparados entre si através do índice Kappa (Tabela 6).

Tabela 6 - Classes de concordância para o índice Kappa

Valor de Kappa	Concordância
< 0	Sem concordância
0-0,19	Pobre
0,20-0,39	Fraca
0,40-0,59	Moderada
0,60-0,79	Forte
0,80-1.00	Excelente

Fonte: Câmara et al. (1996)

O índice Kappa é uma análise multivariada discreta e segundo Congalton e Green (2008) é calculado da seguinte forma, eq. (5):

$$K = \frac{\theta_1 - \theta_2}{1 - \theta_2} \quad (5)$$

Sendo:

$$\theta_1 = \frac{\sum_{i=1}^r x_{ij}}{N} \quad (6)$$

$$\theta_2 = \frac{\sum_{i=1}^r x_{i+} + \sum_{j=1}^r x_{+j}}{N^2} \quad (7)$$

x = número de observações na linha i e coluna j da diagonal principal;

$i+$ e $+j$ = os totais marginais da linha i e da coluna j , respectivamente;

N = número total de observações da matriz de erros.

4.3 Resultados e Discussão

A partir do mapa de uso da terra de 2010 foi gerado um mapa obedecendo a Lei 4.771 e resolução CONAMA nº 303. Dessa forma, foram identificadas APP's do curso do Córrego do Ceveiro e as de nascentes utilizando a rede de drenagens, Figura 5. Para a confecção do mapa foi utilizada a função mapa de distância, assim obtendo-se as APP's adjacentes aos cursos d'água perenes e intermitentes. Não foi constatada a presença de morros e encostas com declividade superior a 45° (Figura 7).

Figura 7 – Representação do mapa uso do solo conforme a Lei 4.771/65

Com as definições do Projeto de Lei 1.876/99 foi produzido o mapa de uso a partir do mapa de uso da terra de 2010, conforme Figura 8, sendo identificadas APP's ao longo do curso do Córrego do Ceuveiro e utilizada à função mapa de distância na obrigatoriedade de recomposição de 15m de mata em rios com largura de até 10m, a partir do leito regular. Para as APP's de nascentes seguiu-se o mesmo procedimento, considerou-se uma faixa de raio de 50 metros para essas entidades devido ao fato de nenhum espelho d'água possuir mais de 20 hectares.

Figura 8 – Representação do mapa uso do solo conforme o PL 1.876/99

Como pode ser observado na Tabela 7, o mapa de uso o qual é respeitado o PL 1.876/99, uso PL, mostra que a cultura da cana-de-açúcar ocuparia cerca de 1.209,12 ha da área total, as áreas de APP ocuparia 347,25 ha, mata ocuparia 183,93 ha, pastagem 157,43 ha, pasto sujo 24,14 ha, área urbana 38,87 ha, reflorestamento com 12,96 ha e corpo aquoso com 3,77 ha.

Tabela 7 - Uso do Solo em hectares para a MHC para o mapa de uso conforme a Lei 4.771/65 e o PL 1.876/99 e suas diferenças em % e hectares

Classes	Lei 4.771/65 (ha)	PL 1.876/99 (ha)	Diferença (ha)
Cana	1.130,60	1.209,12	78,53
Pastagem	127,56	157,43	29,87
Mata	112,54	183,93	72,92
Reflorestamento	11,74	12,96	1,92
Pasto sujo	11,05	24,14	9,12
Urbano	36,87	36,87	0,00
Corpo aquoso	3,77	3,77	0,00
APP	540,70	347,25	-193,45

Comparando o uso conforme o PL 1.876/99, uso PL, e o uso conforme a Lei 4.771/65, uso Lei, os valores das diferenças de áreas quando positivos indicam um aumento de área desse uso e quando negativos uma redução de área desse uso. Assim podemos observar ainda na Tabela 7 que a cana-de-açúcar aumentou em 78,53 ha, quando comparadas, o que não é tão evidente quanto o aumento da área de pasto sujo, que passaria de 11,05 ha para 24,14 ha. Outros valores que merecem destaque são a perda de 193,45 ha de APP e o aumento de 29,87 ha na área de pastagem.

Em comparação ao Código Florestal vigente, o PL 1.876/99 define a recomposição de 15m de mata em rios com largura de até 10m e não mais 30m. Essa mudança apresenta, na comparação com o uso Lei, uma redução de 193,45 ha de APP, cerca de 36%, conforme Figura 9. Essa área foi ocupada principalmente por cana-de-açúcar, pastagem e pasto sujo que acrescentaram 78,53 ha, 29,87 ha e 9,12 ha respectivamente.

Figura 9 – Representatividade das classes de uso do solo para a MHC

Para este trabalho foi gerado o mapa de perda de solo para o uso Lei e o uso PL, Figura 10 e 11. As perdas de solo obtidas em ambos os usos predominam as classes de 0 a 20 $\text{Mg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ e 20 a 50 $\text{Mg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ como observado na Tabela 9 onde para as diferenças em porcentagem valores positivos indicam um aumento das classes de perda de solo e valores negativos uma diminuição das áreas das classes de perda de solo. Observa-se ainda na Tabela 9 as áreas de perda de solo do uso PL, possuindo 1.049,95 ha na classe 0 a 20 $\text{Mg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, 665,24 hectares para a classe 20 a 50 $\text{Mg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, 194,63 ha para a classe 50 a 100 $\text{Mg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ e 61,34 ha para a classe perdas maiores do que 100 $\text{Mg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$.

Figura 10 – Representação do mapa da estimativa de perda de solo para uso conforme a Lei 4.771/65

Figura 11 – Representação do mapa da estimativa de perda de solo para uso conforme o PL 1.876/99

Tabela 9 – Classes de perda de solo para o mapa de uso conforme a Lei 4.771/65 e o PL 1.876/99, suas diferenças em % e hectares

Classes	Lei 4.771/65 (ha)	PL 1.876/99 (ha)	Diferença (%)	Diferença (ha)
0 - 20	1.104,75	1.049,95	-4,95	-54,79
20 - 50	626,12	665,24	6,24	39,12
50 - 100	184,79	194,63	5,32	9,85
> 100	57,51	61,34	6,66	3,83

Pode se observar na Tabela 9 que as alterações na área de APP's e o aumento principalmente da cultura da cana-de-açúcar e pastagem, Figura 9, contribuiria para as alterações nas classes de perda de solo, como por exemplo, a diminuição da área da classe 0 a 20 $\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ em 4,95% e o aumento das classes de 20 a 50 $\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$, 50 a 100 $\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ e maior que 100 $\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ em 6,24%, 5,32% e 6,66% o que indica uma aumento das perdas de solos quando o cenário passa a ser o uso PL.

Observa-se na Tabela 10 que as principais alterações de áreas no uso Lei em relação ao uso PL ocorreram na classe de 0 a 20 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹. Apenas 1.048,90 ha de sua área se manteve na mesma localização no uso PL sendo que o restante foi ocupado pelas classes 20 a 50 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹, 50 a 100 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹ e maior que 100 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹ com 40,04 ha, 9,96 ha e 3,84 ha respectivamente. Essa reorganização de áreas levaram a um aumento nas classes de perdas de solo maiores que 0 a 20 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹, ou seja, o Uso PL tem uma maior perda de solo em relação ao uso Lei.

Tabela 10 - Tabela cruzada de áreas (em ha) das classes de perda de solo entre o mapa do uso Lei e o mapa do uso PL

		Uso Lei			
Uso PL	Classes (ha)	0 - 20	20 - 50	50 - 100	>100
	0 - 20	1.048,90	0,92	0,11	0,01
	20 - 50	40,04	625,20	0,00	0,00
	50 - 100	9,96	0,00	184,67	0,00
	> 100	3,84	0,00	0,00	57,49

Para verificar o grau de correspondência entre os mapas de perdas de solo foi utilizado o índice Kappa. As comparações envolvendo os dois, o mapa de potencial de perdas de solo para o uso Lei e para o uso PL, foi de 0,94, sendo considerado excelente conforme Câmara et al. (1996). O índice de acertos foi de 0,97.

A exatidão global é indicativo simples da concordância entre os mapas, ele representa a divisão da somatória da diagonal principal (número de pixel em concordância nos dois mapas) pelo número total de amostras, entre o mapa do uso PL e o de referência, uso Lei, que foi de 0,967 ou 96,7% sendo considerado aceitável de acordo com Congalton e Green (2008), que estabelecem como aceitável 85%.

Para os mesmo autores, para uma análise mais detalhada deve-se proceder o calculo da exatidão do Produtor o qual verifica quanto de uma classe de perda de solo, exemplo: 0 a 20 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹, o mapa do uso PL identifica em relação ao que foi encontrado pela referência, uso Lei, e assim observando-se a Tabela 11, notamos que esse valor foi de 94,59%. Porém esse valor pode não ser a verdade posicional. Para tanto a Exatidão do Usuário nos permite estabelecer uma relação pixel a pixel da posição desse acerto. Sendo assim, dos 94,59% da classe 0 a 20

Mg.ha⁻¹.ano⁻¹ encontrada pelo mapa do uso PL, 99,90% tem a mesma posição, o que é imprescindível nesse caso.

Tabela 11 – Exatidão do produtor e exatidão do usuário

Classes (Mg.ha ⁻¹ .ano ⁻¹)	Exatidão Produtor (%)	Exatidão do Usuário (%)
0-20	94,59	99,90
20-50	99,85	93,98
50-100	99,94	94,88
>100	99,98	85,23

Ainda na Tabela 11 pode-se notar que o mapa da estimativa de perda de solo para uso PL identificou 99,85% das áreas de 20 a 50 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹; 99,94% das áreas de 50 a 100 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹ e 99,98% das áreas com perdas maiores 100 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹. Para as classes de 20 a 50 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹, 50 a 100 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹ e maior que 100 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹ a exatidão do usuário foi de 93,98%, 94,88% e 85,23% respectivamente.

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

4.4 Conclusão

Caso o PL 1.876/99 seja aprovado ocorreria uma considerável redução na área de APP, cerca de 194 ha, quando comparado a Lei vigente, sendo essa área na MHC ocupadas por cana-de-açúcar e pastagem.

Com o cenário de uso e ocupação do solo conforme o PL 1.876/99 a MHC passaria a ter maiores perdas de solo em comparação ao cenário da lei vigente.

Para a mudança do cenário do uso Lei para uso PL teríamos uma diminuição das áreas com classes de perdas de solo de 0 a 20 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹ e aumento na área

das classes 20 a 50 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹, 50 a 100 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹ e maior que 100 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹, o que está diretamente relacionado as mudanças do valor CP.

Referências

BABAN, S.M.J.; YUSOF, K.W. Modelling soil erosion in tropical environments using remote sensing and geographical information systems. **Hydrological Sciences Journal**, Oxford, v. 46, n. 2, p. 191-198, 2001.

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.

CECÍLIO, R.A.; RODRIGUEZ, R.G.; BAENA, L.G.N.; OLIVEIRA, F.G.; PRUSKI, F.F. Aplicação dos modelos RUSLE e WEPP para a estimativa da erosão hídrica em microbacia hidrográfica de Viçosa (MG). **Revista Verde**, Mossoró, v. 4, n. 2, p. 39-45, 2009.

COSTA, T.C.C.; SOUZA, M.G.; BRITES, R.S. Delimitação e caracterização de áreas de preservação permanente por meio de um Sistema de Informações Geográficas (SIG). **Revista Árvore**, Viçosa, v. 20, n. 1, p. 129-135, 1996.

EMBRAPA. **Centro Nacional de Pesquisa de Solos**. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Rio de Janeiro, 2009. 412p.

IRVEM, A.; TOPALOGLU, F.; UYGUR, V. Estimating spatial distribution of soil loss over Seyhan River Basin in Turkey. **Journal of Hydrology**, New Delhi, v. 336, p. 30-37, 2007.

LUFAFA, A.; TENYWA, M.M.; ISABIRYE, M.; MAJALIWA, M.J.G.; WOOMER, P.L. Prediction of soil erosion in a Lake Victoria basin catchment using a GIS-based Universal Soil Loss model. **Agricultural Systems**, Essex, v. 76, n. 3, p. 883-894, 2003.

NASCIMENTO, M.C.; SOARES, V.P.; RIBEIRO, C.A.Á.S.; SILVA, E. Delimitação automática de áreas de preservação permanente (APP) e identificação de conflito de uso da terra na bacia hidrográfica do rio alegre. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. p. 2289-2296.

NEVES, S.M.A.S.; NEVES, R.J.; SOARES, E.R.C.; CASARIN, R. **Espacialização e análise das perdas de solo por erosão hídrica laminar na Bacia Hidrográfica Paraguai/Jauquara – MT – Brasil**. Disponível em: <<http://www.uc.pt/fluc/cegot/VISLAGF/actas/tema2/sandra>>. Acesso em: 08 abr. 2011.

OLIVEIRA, M.J. **Proposta metodológica para delimitação automática de Áreas de Preservação Permanente em topos de morro e em linha de cumeada**. 2002. 53 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2002.

OZCAN, A.U.; ERPUL, G.; BASARAN, M.; ERDOGAN, H.E. Use of USLE/GIS technology integrated with geostatistics to assess soil erosion risk in different land uses of Indagi Mountain Pass—Cankiri, Turkey. **Environmental Geology**, Berlin, v. 53, n. 8, p. 1731-1741, 2008.

PRUSKI, F.F. Aplicação de modelos físicos-matemáticos para a conservação de água e solo. In: SILVA, D.D.; PRUSKI, F.F. **Recursos hídricos e desenvolvimento sustentável da agricultura**. Brasília: MMA, SRH, ABEAS, 1997. p. 129-171.

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.

SOARES, V.P.; MOREIRA, A.A.; RIBEIRO, J.C.; RIBEIRO, C.A.A.S.; SILVA, E. Avaliação das áreas de uso indevido da terra em uma micro-bacia no município de Viçosa, MG, através de fotografias aéreas e Sistemas de Informação Geográfica. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 26, n. 2, p. 243-251, 2002.

SPAROVEK, G.; BARRETO, A.; KLUG, I.; BERNDDES, G. **Considerações sobre o código florestal brasileiro**. Disponível em: <http://www.ekosbrasil.org/media/file/OpCF_gs_010610_v4.pdf>. Acesso em: 11 mar. 2011.

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...** Marília: ABGE; DAEE, 1987. v. 1, p. 105-135.

ANEXOS

ANEXO A – Precipitação mensal Base convencional ESALQ – Piracicaba – SP

Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"

Total de Precipitacao em milimetros

ano	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	total
1917	295.7	135.8	58.9	116.2	58.5	13.0	13.3	5.4	62.2	58.4	19.8	194.3	1031
1918	291.0	81.3	152.1	25.2	22.9	15.8	55.1	26.9	68.6	130.9	125.9	127.2	1123
1919	262.8	96.2	30.6	78.0	38.9	170.3	0.0	54.6	44.6	68.2	142.0	102.4	1089
1920	209.9	135.3	164.0	50.2	12.3	16.0	42.9	16.8	111.3	82.3	217.6	161.6	1220
1921	265.7	101.5	17.8	31.7	26.5	25.3	3.8	26.5	35.2	59.7	37.7	180.6	812
1922	387.2	176.6	117.2	29.5	17.4	72.6	22.0	76.2	7.7	91.7	109.7	105.6	1213
1923	219.7	144.4	311.4	89.8	82.9	114.7	5.7	31.5	200.5	41.7	60.7	125.5	1429
1924	108.5	154.2	139.5	15.4	53.9	19.0	0.0	13.0	15.5	15.2	128.4	231.8	894
1925	117.9	55.2	84.7	40.4	59.0	73.5	33.0	0.0	42.7	110.7	230.3	159.4	1007
1926	237.0	20.6	214.4	238.5	33.7	32.0	139.2	59.8	69.0	67.6	74.4	360.8	1547
1927	200.6	259.4	189.6	22.5	0.0	31.0	6.0	63.1	257.4	126.1	48.8	109.5	1314
1928	195.5	220.6	155.9	34.2	61.6	66.3	29.3	1.7	0.0	58.8	83.2	272.0	1179
1929	490.9	331.6	32.6	68.2	119.8	4.8	11.8	50.2	33.0	13.4	99.2	303.0	1559
1930	257.0	427.8	23.4	41.0	14.0	22.0	68.5	47.1	52.6	116.4	108.0	328.6	1506
1931	324.2	334.4	184.3	103.0	37.0	16.0	38.9	11.0	138.2	65.8	214.0	149.1	1616
1932	204.2	95.7	124.8	30.4	98.2	44.0	5.6	46.2	48.6	113.4	174.8	336.4	1322
1933	119.6	150.0	41.6	4.0	77.0	53.8	7.0	15.4	50.8	109.2	40.1	302.0	971
1934	220.0	103.4	46.7	21.6	0.0	37.5	0.0	6.0	59.8	70.4	122.9	415.9	1104
1935	91.2	194.4	140.0	68.8	6.8	53.8	16.4	18.4	223.8	211.4	82.0	184.7	1292
1936	84.8	203.4	202.4	37.8	26.6	2.0	20.8	106.4	88.0	51.8	86.8	293.6	1204
1937	139.0	95.8	206.2	203.0	74.4	46.0	0.0	67.0	13.8	155.6	121.8	141.8	1264
1938	158.3	120.6	107.0	66.0	85.5	0.0	13.0	32.5	80.3	171.0	129.6	209.6	1173
1939	275.0	279.9	169.9	49.7	129.8	58.7	20.4	0.0	19.3	41.9	198.9	259.0	1503
1940	220.8	461.7	96.8	18.0	15.1	4.2	1.1	3.2	28.1	95.8	196.1	198.0	1339
1941	215.1	128.7	84.5	56.2	15.2	49.2	15.3	17.6	190.4	115.7	217.0	186.6	1292
1942	136.6	197.2	206.7	84.3	21.8	46.4	57.5	4.0	22.8	24.3	171.3	201.1	1174
1943	325.6	141.4	269.8	37.1	1.2	33.0	0.7	13.5	72.9	215.8	163.3	359.9	1634
1944	118.7	215.2	182.9	23.0	0.9	13.1	2.7	0.0	13.3	183.5	260.1	158.7	1172
1945	322.0	256.7	85.5	120.5	14.3	187.1	29.6	1.6	29.2	126.4	232.9	162.7	1569
1946	202.9	192.6	112.8	18.1	16.9	19.6	88.9	0.3	21.3	96.2	133.4	82.0	985
1947	352.7	338.9	130.7	10.2	39.1	15.0	48.1	68.6	124.0	90.1	114.6	219.6	1552
1948	313.5	247.7	104.3	38.6	52.6	4.1	40.0	15.4	9.1	147.5	147.0	109.0	1229
1949	210.8	206.5	183.3	54.6	49.0	45.0	0.0	5.8	15.8	100.5	45.1	420.5	1337
1950	231.0	321.7	161.1	121.6	8.6	47.9	13.0	0.0	11.1	190.2	179.8	134.0	1420
1951	284.7	215.4	160.4	22.2	8.3	15.5	8.0	33.2	2.3	128.6	222.6	91.0	1192
1952	207.0	218.6	102.4	52.5	0.0	96.9	4.8	7.0	40.7	105.4	117.9	153.6	1107
1953	251.6	107.4	161.8	74.4	27.7	24.3	14.9	23.2	75.6	97.7	82.3	152.4	1093
1954	189.4	204.2	136.6	30.5	99.1	69.7	8.7	0.0	23.2	87.3	39.7	193.0	1081
1955	272.8	63.7	194.5	120.0	57.3	26.5	10.9	86.5	1.0	64.8	127.6	197.3	1223
1956	60.8	136.9	47.1	90.6	114.5	70.2	53.3	74.0	72.7	72.6	23.1	137.0	953
1957	313.6	128.3	185.6	66.9	4.2	20.1	90.6	51.7	123.4	64.2	57.1	197.3	1303
1958	295.6	143.8	167.6	128.2	172.4	70.1	15.2	3.1	96.4	121.2	124.5	151.2	1489
1959	258.4	162.5	196.2	45.2	29.4	19.3	0.1	72.3	23.2	79.6	246.7	191.1	1324
1960	371.9	332.8	74.6	38.4	80.6	63.3	0.0	22.3	8.7	123.1	93.7	314.2	1524
1961	135.5	195.5	129.6	101.7	34.5	14.6	0.1	11.9	2.2	43.4	138.3	157.9	965
1962	132.3	246.0	329.0	17.2	30.8	51.7	20.5	42.0	32.2	198.9	97.3	201.6	1400
1963	308.4	110.6	56.0	5.0	4.2	0.0	0.0	7.6	3.6	148.7	163.4	148.4	956
1964	69.4	202.6	11.8	10.7	44.0	15.0	77.0	18.2	61.3	161.8	52.7	268.4	993
1965	326.6	278.4	147.5	55.3	78.3	27.8	50.9	3.8	51.3	112.1	99.1	292.0	1523
1966	252.1	198.8	55.6	18.2	43.7	0.0	12.1	27.8	128.7	130.4	85.2	225.4	1178
1967	272.2	196.6	152.1	3.6	4.2	81.5	13.4	0.0	88.7	210.5	77.5	154.9	1255
1968	322.5	91.5	45.5	32.7	14.0	27.1	17.6	36.9	16.3	121.4	62.8	235.5	1024
1969	126.1	40.9	173.8	53.1	36.6	30.0	15.5	31.1	59.3	83.4	212.7	198.9	1061
1970	263.8	293.4	96.5	83.2	75.1	40.2	10.5	98.7	90.6	83.7	83.9	138.8	1358
1971	180.6	81.3	173.5	28.3	91.4	109.3	35.6	3.3	35.9	151.4	34.2	178.7	1104
1972	255.1	238.7	92.1	101.5	64.0	5.3	145.1	51.6	38.8	181.6	122.8	91.8	1388
1973	121.1	115.2	83.5	88.0	36.0	35.7	59.6	19.4	55.5	174.6	121.7	328.6	1239

Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"

Total de Precipitacao em milímetros (Continuação)

ano	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	total
1974	147,1	60,1	301,3	21,4	6,6	115,8	0,0	5,0	24,0	126,6	168,4	247,7	1224
1975	168,1	357,3	32,9	37,3	11,3	0,0	39,6	32,0	55,1	98,0	236,8	315,1	1383
1976	295,2	287,0	140,9	19,2	46,4	61,8	77,7	61,4	124,8	168,3	127,4	191,4	1602
1977	322,7	37,3	199,8	107,7	0,9	46,8	6,7	19,7	91,4	66,7	134,8	238,1	1273
1978	112,6	111,6	85,1	15,5	74,0	40,6	78,9	4,6	57,2	58,2	138,9	96,6	874
1979	122,4	114,4	84,7	63,9	96,9	0,0	28,0	81,4	98,6	101,4	102,8	105,7	1000
1980	147,6	163,3	42,3	165,3	13,4	36,3	0,0	22,6	62,5	52,5	145,2	185,1	1036
1981	290,1	71,2	65,5	74,5	44,9	68,5	1,6	3,6	5,9	231,2	167,2	211,2	1235
1982	260,0	221,8	132,3	125,7	62,7	162,7	24,5	44,7	8,1	254,5	210,2	215,0	1722
1983	207,5	283,9	225,6	189,5	334,7	174,0	24,0	2,2	197,4	129,1	88,4	161,4	2018
1984	91,5	18,7	47,1	51,5	45,9	0,0	8,9	112,1	90,4	27,0	201,1	196,0	890
1985	131,8	118,6	203,1	134,5	42,6	22,5	1,5	21,8	76,4	11,3	134,3	71,7	970
1986	143,0	96,2	320,8	47,5	88,6	0,0	10,5	133,2	36,7	52,9	110,4	282,3	1322
1987	342,9	203,1	105,6	70,6	199,9	122,7	10,7	5,9	72,9	67,0	113,3	190,5	1505
1988	185,3	328,3	194,3	140,0	104,3	26,8	0,0	0,0	4,1	196,9	86,0	200,4	1466
1989	370,8	298,3	99,0	103,9	33,0	47,0	85,2	32,0	36,1	46,3	99,9	195,1	1447
1990	271,4	145,9	240,2	37,2	47,1	12,7	134,6	40,9	61,0	125,4	124,4	61,1	1302
1991	266,6	217,6	431,9	129,6	42,1	35,1	15,2	4,7	68,9	70,5	56,8	194,5	1534
1992	99,2	72,4	232,7	79,9	73,8	0,6	36,6	11,1	87,5	242,1	232,3	142,2	1310
1993	179,9	232,1	155,9	57,7	119,7	47,0	13,7	51,8	154,4	73,4	91,6	146,4	1324
1994	134,8	154,4	222,7	114,9	56,2	36,7	24,7	0,0	0,5	126,8	249,2	260,8	1382
1995	197,3	415,6	194,6	85,7	64,2	23,5	59,1	1,2	37,6	190,2	156,3	222,2	1648
1996	314,8	258,3	146,5	12,0	36,3	23,3	2,3	23,7	135,2	238,5	212,0	188,3	1591
1997	352,2	87,1	73,1	22,0	55,0	124,5	15,4	15,9	95,0	62,8	264,8	186,7	1355
1998	121,2	362,2	127,8	66,7	97,6	26,6	21,8	21,8	89,3	183,1	26,6	292,6	1437
1999	382,8	198,3	210,8	89,0	51,3	68,6	2,7	0,0	85,9	28,5	52,1	269,9	1440
2000	235,9	124,0	185,3	0,8	5,3	5,2	60,4	84,4	91,2	114,2	239,2	196,2	1342
2001	229,6	92,7	164,2	24,1	60,6	19,9	27,2	44,2	48,4	173,3	152,4	204,2	1241
2002	320,2	187,9	272,4	27,2	112,4	0,0	23,4	79,6	45,6	49,4	176,4	164,7	1459
2003	302,4	58,6	180,9	55,2	54,7	9,2	16,4	17,8	12,1	89,2	168,0	139,9	1104
2004	196,4	194,0	79,1	92,3	105,9	49,7	78,4	0,0	7,1	156,9	105,9	99,8	1166
2005	238,7	67,8	111,6	30,7	164,3	42,5	8,1	24,1	38,4	120,4	117,8	127,1	1092
2006	240,5	176,2	154,0	33,7	2,0	18,6	32,4	17,4	54,7	80,3	200,2	251,7	1262
2007	267,0	241,9	80,5	36,8	58,4	22,6	169,3	0,0	1,9	92,6	120,3	188,6	1280
2008	418,5	153,7	132,4	174,6	72,4	43,5	0,0	68,7	46,1	108,7	24,3	153,0	1396
2009	162,0	143,5	125,1	21,8	10,6	55,1	61,6	61,4	143,8	56,7	196,5	274,3	1312
2010	250,2	158,6	99,0	76,4	24,4	16,7							
Media	230,3	176,1	159,5	71,3	68,1	43,4	33,4	32,0	65,2	113,1	145,3	190,8	1331,7
Total	8520,2	6513,9	5901,0	2636,3	2520,4	1607,1	1201,1	1150,9	2346,2	4070,9	5232,2	6867,5	47942,3

ANEXO B – Linguagem Legal utilizada para geração dos mapas de estimativa de perda de solo

Reclassificação do mapa de solos da MHC em grandes grupos.

```
{
Tematico solo ("Solo");
Tematico solorecl ("Soloreclass");
Tabela tabrecl (Reclassificacao);
tabrecl = Novo (Categoricalni = "Solo)",
CategoriaFim = "Soloreclass";
ACt1 : PV,
ACt2 : PV,
ACt3: PV,
ACt4 : PV,
ACtq : PV,
ACtl1 : PV,
ACtl2 : PV,
PVAa1: PVA,
PVAa2 : PVA,
PVAa1 : PVA,
PVAa2 PVA,
PVAdq : PVA,
PVAdl : PVA,
PVAdv : PVA,
PVAe1 : PVA,
PVAe2 : PVA,
PVAe3 : PVA,
PVAeq : PVA,
PVAel1 : PVA,
PVAel2 : PVA,
PVAel3 : PVA,
PVAel4 : PVA,
PVe : PV,
TCp : TC,
TCpq : TC,
TCol1 : TC,
TCol2 : TC,
NVet : NV,
NVe : NV,
CXve : CX,
CXva : CX,
CXvbe : CX,
CXvbed : CX,
GX1 : GX,
GX2 : GX,
GX3 : GX,
RLa : RL,
RLd1 : RL,
RLd2 : RL,
RLe1 : RL,
```

```

RLe2 : RL,
RLe3 : RL,
RLe4 : RL,
RLe5 : RL,
RLe6 : RL,
RUbe : RY,

```

```

solo = Recuperar (Nome = "Solo");
soloreclass = Novo (Nome = "Solosrec", ResX= 2.5, ResY=2.5, Escala = 10000);
soloreclass = Reclassifique (Solo, tabrecl);
}

```

Integração dos Fatores L e S

```

{
Numerico decliv ("Declividade");
Numerico rampa ("mapadistancia");
Numerico LS ("LS");
decliv = Recuperar (Nome = "declividade");
rampa = Recuperar (Nome = "mapadistancia");
LS = Novo (Nome = "FatorLS", ResX=2.5, ResY=2.5, Escala=10000);
LS = 0.00984.rampa^0.63. decliv^1.18;
}

```

Ponderação das classes de solos (erodibilidade)

```

Tematico entrada1 ("RECLSOLO");
Numerico saida1 ("FatorK");
Tabela tab (Ponderacao);
entrada1= Recuperar (Nome="solosegundaordem");
saida1= Novo (Nome="K", ResX=2.5, ResY=2.5, Escala=10000);
tab = Novo (Categoricalni = "RECLSOLO" ,
"PVA" : 0.034,
"PV" : 0.044,
"TC" : 0.042,
"NV" : 0.02,
"CX" : 0.037,
"GX" : 0.035,
"RL" : 0.040,
"RY" : 0.040,
"represa" : 0,
"urbano" : 0);
saida1=Pondere(entrada1,tab);
}

```

Ponderação das classes de uso e ocupação do solo

```

{
Tematico uso ("Uso");

```

```

Tabela cpu (Ponderacao);
Numerico cp ("FatorCP");
uso = Recupere (Nome = "Usoatual");
cpu = Novo (Categorialni = "Uso",
"Urbano"           0,00000
"Corpos aquoso":   0,00000
"Reflorestamento": 0,05000
"Cana":            0,05000
"Mata":            0,00004
"Pastagem":        0,12000
"Pasto sujo":      0,25000;
cp = Novo (Nome = "Fatorcp", ResX=2.5, ResY=2.5, Escala = 10000);
cp = Pondere (uso,cpu);
}

```

Integração dos fatores da EUPS

```

{
Numerico R ("FatorR");
Numerico K ("FatorK");
Numerico LS ("FatorLS");
Numerico CP ("FatorCP");
Numerico EUPS ("EUPS");
R = Recupere (Nome = "erosividade");
K = Recupere (Nome = "FatorK");
LS = Recupere (Nome = "FatorLS");
CP = Recupere (Nome = "CP");
EUPS = Novo (Nome = "EUPS", ResX=2.5, ResY=2.5, Escala=10000);
EUPS = R.K.LS.CP;
}

```