



ESTIMATIVA DE PERDAS DE SOLO E DO POTENCIAL NATURAL DE EROÇÃO DA BACIA DE CONTRIBUIÇÃO DA MICROCENTRAL HIDRELÉTRICA DO LAGEADO, BOTUCATU - SP

Francienne Gois Oliveira¹, Odivaldo José Seraphim² & Manuel Esteban Lucas Borja³

RESUMO: Sabendo-se que os processos erosivos podem comprometer o volume de água superficial de uma bacia hidrográfica, o presente trabalho estimou o potencial natural de erosão a perda de solos na bacia de contribuição da Microcentral Hidrelétrica Lageado, inserida na bacia do Ribeirão Lavapés, no município de Botucatu/SP. Para tanto se utilizou a Equação Universal de Perdas de Solo modificada – RUSLE aplicada ao sistema de informação geográfica livre gvSIG. O fator erosividade (R) da chuva foi obtido a partir de dados do programa netErosividade SP, a erodibilidade (K) do solo foi determinada por meio do mapa de solos da área, o fator topográfico (LS) foi gerado no gvSIG e os fatores uso e manejo práticas conservacionistas (CP) foram obtidos mediante a elaboração do mapa de uso do solo da área urbanizada da bacia do Ribeirão Lavapés. Os fatores RKLS foram multiplicados e geraram o mapa do Potencial Natural de Erosão. E acrescido do fator CP se obteve o mapa de perda de solo expresso em $t \cdot ha^{-1}$. O sistema de informação geográfica gvSIG mostrou-se viável na determinação dos diversos fatores da Equação Universal de Perda de Solo tornando-se possível zonear as áreas com altas perdas de solo. Na estimativa do potencial natural de erosão, 76,6 % da área foi classificada como “Fraco”, variando entre 0 - 400 $t \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$. Com relação às perdas de solo, predominou a classe “Baixa”, que varia entre 0 - 10 $t \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$, o que representa 76,1% da área total. O fato do Ribeirão Lavapés estar próximo de áreas susceptíveis a erosão e a área ser deficitária de boa cobertura vegetal o deixa a vulnerável ao assoreamento e alargamento e ainda pode comprometer a qualidade e quantidade de água diminuindo o potencial hídrico.

PALAVRAS-CHAVE: GvSIG, equação universal de perda de solo, práticas conservacionistas

ESTIMATED SOIL LOSS AND THE NATURAL EROSION POTENTIAL IN HYDROELECTRIC DAM LAGEADO LOCATED IN BOTUCATU-SP

ABSTRACT: Erosion processes can compromise the volume of surface water of watersheds, thus study estimated the erosion potential and soil loss of HPMS Hydroelectric Dam Lageado located in the Ribeirão Lavapés watershed in the city of Botucatu / SP, Brazil. For this, we used the Universal Soil Loss Modified Equation - RUSLE applied to the free geographic information system gvSIG. The rain erosivity factor (R) was obtained from SP data NetErosividade program soil erodibility (K) was determined by the are land use map, the slope factor (LS) was generated in GVSIG, and the management conservation practices (CP) were obtained through the elaboration of land use of the urbanized area of Ribeirão Lavapés watershed map. The RKLS factors were multiplied and the map of Natural Erosion Potential was generated. Then, the CP factor was added and the map of soil loss expressed in $t \cdot ha^{-1}$, was obtained. The geographic information system gvSIG was viable in determining the various factors of the Universal Soil Loss Modified Equation making it possible to one identify the areas with high soil losses. 76.6% of the area was classified as "weak", ranging from 0-400 $t \cdot ha^{-1} \cdot year^{-1}$ of erosion potential. With respect to soil loss, the predominant "Low" soil loss class, which ranges from 0-10 $t \cdot ha^{-1} \cdot year^{-1}$, represents 76.1% of the total area. The fact of Ribeirão Lavapés be close to areas susceptible to erosion and the area is deficient in good vegetation area. This fact indicates the area vulnerability you to silting and widening and may compromise the quality and quantity of water decreasing water potential.

KEYWORDS: GvSIG, universal equation of soil loss, conservation practices.

1 INTRODUÇÃO

Processos erosivos em bacias hidrográficas são considerados um dos grandes problemas da atualidade que refletem negativamente na produção agrícola, devido ao empobrecimento do solo, no abastecimento de água acarretando a diminuição de sua disponibilidade nos reservatórios devido ao assoreamento dentre outros.

O quadro atual de degradação das terras agrícolas requer o desenvolvimento de modelos de predição e

¹ Doutora do Programa de PG em Agronomia - Energia na Agricultura, FCA/UNESP – Botucatu/SP. E-mail: franciennegois@yahoo.com.br

² Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu. Prof. Dr. Docente do Departamento de Engenharia Rural, FCA/UNESP – Botucatu/SP. E-mail: seraphim@fca.unesp.br

³ Universidad de Castilla La Mancha - Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. E-mail: ManuelEsteban.Lucas@uclm.es

quantificação das perdas de solo por erosão que possibilitem a adoção de sistemas de cultivo e manejo do solo, bem como de práticas conservacionistas adequadas que reduzam este processo em intensidade, aumentem a produtividade agrícola e a renda no campo. Neste sentido, o modelo de avaliação ambiental da Equação Universal das Perdas de Solo apresenta-se como importante ferramenta, principalmente por proporcionar fácil implementação em sistemas de informação geográfica.

O modelo mais conhecido e utilizado na estimativa de erosão é a Equação Universal de Perda de Solo (USLE), desenvolvida no National Runoff and Soil Loss Data Center (Purdue University, Estados Unidos) em 1954 e sistematizada por Wischmeier e Smith (1978), cujas variáveis são: a erosividade da chuva, a erodibilidade do solo, o comprimento de rampa e declividade do terreno, o uso e manejo do solo e as práticas conservacionistas empregadas. Este modelo foi revisado por Renard et al. (1997), que aperfeiçoaram os métodos de determinação de seus fatores, constituindo a Equação Universal de Perda de Solo Revisada (RUSLE).

As técnicas de geoprocessamento, implementadas nos Sistemas de Informações Geográficas, são importantes aliadas do planejamento e avaliação do uso e degradação do solo. Permitem a realização de estimativas de perdas de solos por erosão, a classificação das terras segundo a capacidade de uso, a simulação da degradação do solo por meio de cenários e análises espaciais com rapidez e precisão, através da álgebra de mapas (OLIVEIRA, et al., 2014).

Sabendo-se que a erosão pode comprometer até mesmo o volume de água de uma bacia hidrográfica, o presente trabalho visou estimar a perda de solo e o potencial natural de erosão dos solos da bacia do Ribeirão Lavapés, identificando as áreas críticas quanto à erosão potencial.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Material

2.1.1 Área de estudos

A área estudada envolve parte inicial da bacia do Ribeirão Lavapés, onde a principal nascente deste curso d'água, até a barragem da Microcentral Hidrelétrica da Fazenda Lageado, área de contribuição da Microcentral Hidrelétrica Lageado no município de Botucatu. A extensão é de 44,01 km² e está geograficamente localizada entre as coordenadas 22°43'12" de latitude Sul e 48°29'43" de longitude Oeste de Greenwich, com altitudes variando entre 715 e 920 metros.

O clima da região é definido como clima mesotérmico, identificado como Cwa (clima subtropical de inverno seco e verão quente), segundo Köppen. A vegetação é definida como cerrado e floresta estacional semidecidual, ecossistema pertencente ao bioma Mata

Atlântica, caracterizada por clima sazonal duplo, com verões quentes e invernos úmidos seguidos de seca e frio (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISAS AGROPECUÁRIAS - EMBRAPA, 2006).

De acordo com Piroli (2002) e atualizados segundo normas da Embrapa (2006), a área é composta pelos solos: Latossolo Vermelho Distrófico (LVd), Latossolo Vermelho Distroférico (LVdf), Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico (PVAd), Neossolo Lítico Distrófico (RL), Gleissolo Distrófico (GXbd), Neossolo Flúvico Distrófico (RU) e Neossolo Quartzarênico (RQ).

2.1.2 Equação Universal de Perda de Solo

A Equação Universal de Perda de Solo (USLE) foi desenvolvida no Centro Nacional de Dados de Escoamento e Perda de solos (National Runoff and Soil Loss Data Cente) pelo Serviço de Pesquisa Agrícola juntamente com a Universidade de Purdue, nos Estados Unidos em 1954, por meio de adaptações de equações desenvolvidas na década de 1940 para as condições dos solos do Corn Belt, EUA, (AMORIM et al., 2009).

A Equação Universal de Perda de Solo, apesar de ser uma formulação empírica, ainda é a de maior referência no Brasil para estimativa de perda de solo. A sua aplicação é viável graças a estudos brasileiros para parâmetros determinados em condições locais da RUSLE, como os de BERTONI E LOMBARDI NETO (2012).

A equação de perdas de solo foi desenvolvida inicialmente para uso em terras agrícolas e cultivadas, mas foi adaptada para outros tipos de uso e ocupação de terras, incluindo áreas de construção urbana, locais de recreação, aterros, entre outros. A expressão matemática exprime a relação dos principais fatores que influenciam a erosão causada pela chuva, Equação 1 (WISCHMEIER; SMITH, 1978; RENARD et al., 1997):

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

Onde: A- representa a perda média anual de solo por erosão por unidade de área e de tempo em [t.ha⁻¹.ano⁻¹]; R- fator erosividade da chuva em [MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.ano⁻¹]; K-fator erodibilidade do solo, expresso em [t.h.MJ⁻¹.mm⁻¹]; L - fator comprimento de rampa, adimensional; S - fator declividade, adimensional; C - fator uso e manejo do solo, adimensional e P - fator práticas conservacionistas, adimensional.

Os fatores condicionantes do meio físico intervenientes no processo de erosão laminar (R, K, L e S) constituem o Potencial Natural de Erosão, ou seja, correspondem às perdas de solo em áreas continuamente destituídas de cobertura vegetal e sem qualquer intervenção antrópica (VALÉRIO FILHO, 1994). Os fatores C e P, por sua vez, constituem os componentes antrópicos da RUSLE, podendo ser modificados pelos agricultores de modo a ampliar a proteção do solo contra a erosão hídrica.

2.1.3 Sistema de informações geográficas

O Sistema de Informações Geográficas (SIG) empregado foi gvSIG, programa livre desenvolvido pela Generalitat Valenciana do governo da Espanha em constante desenvolvimento, uma vez que é um sistema de código aberto e, portanto, pode ser alterado conforme a necessidade do usuário. De acordo com Generalitat Valenciana (2013), o SIG denominado gvSIG é uma ferramenta para o processamento de informações geográficas que se caracteriza por uma interface simples, com capacidade de atender os formatos mais usuais de entrada e saídas de dados geográficos.

2.2 Metodologia

2.2.1 Banco de dados

A base de dados da Bacia hidrográfica do Ribeirão Lavapés (limite, curvas de nível, rede de drenagem e outros arquivos no formato shape file) foram obtidos do banco de dados de arquivos georreferenciados do Grupo de Estudos e Pesquisas Georreferenciadas (GEPAG) da Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu.

Todos os mapas têm como sistema de projeção Universal Transversa de Mercator; fuso 22; Datum planimétrico World Geodetic System 1984, equivalente ao Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas. E ainda utilizou-se uma imagem do Satélite SPOT5 com resolução espacial de 10 m de ano de 2010.

2.2.2 Parâmetros

- **Obtenção do Limite da Área de Estudos, Curvas de Nível Declividade e Mapa do Modelo Digital do Terreno (MDE).**

Os dados de área, perímetro, rede de drenagem e curvas de nível foram obtidos no banco de dados do Grupo de Estudos e Pesquisas Agrárias Georreferenciadas da Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu. Foram extraídos da carta planialtimétrica do Instituto de Brasileiro de Geografia e Estatística, Carta do Brasil – Escala 1:50.000, folha SF-22-R-IV-3 do município de Botucatu/SP, digitalizados e convertidos para o formato shapefile (shp) (formato popular de arquivo contendo dados geoespaciais em forma de vetor usado por Sistemas de Informações Geográficas).

- **Obtenção dos Fatores do Modelo RUSLE**

A metodologia de obtenção dos fatores da RUSLE para estimativa das perdas de solo na Bacia do Ribeirão Lavapés é apresentada a seguir e para cada fator foi gerado um mapa.

1 - Erosividade da Chuva – Fator R

O índice de erosividade médio anual da Bacia do Ribeirão Lavapés foi determinado pelo programa netErosividade SP a partir das coordenadas geográficas

centrais Bacia: latitude 22°49'40" S, longitude 48°26'01" W e altitude 706 m.

2 - Mapa de Solos

Para confeccionar o mapa de solos da bacia do Ribeirão Lavapés utilizou-se os um mapa semidetalhado do município de Botucatu/SP obtido dos arquivos do banco de dados do GEPAG. Foi feito um detalhamento na área da Fazenda Lageado utilizando-se de um mapa detalhando de Carvalho et al. (1983). Todos os processos foram realizados no gvSIG.

3 - Determinação da Erodibilidade do Solo

O K foi determinado para cada classe de solo de levando-se em conta os valores encontrados nas pesquisas de Mannigel et al. (2002) e Bertoni e Lombardi Neto (2012) que determinaram o fator erodibilidade e tolerância de perda dos solos do Estado de São Paulo.

4 - Comprimento de Rampa e Declividade – Fator LS

O comprimento de rampa médio das rampas bacia foi obtido, conforme metodologia de Villela e Mattos (1975) expressa pela Equação 2.

$$L = \frac{A}{4I} \quad (2)$$

Onde: L - comprimento de rampa [m]; A - área da bacia [m²]; I - somatório do comprimento de todos os cursos d'água da bacia [m].

Após a confecção dos mapas de comprimento de rampa (Fator L) e declividade utilizando-se o gvSIG em menu SEXTANTE > calculadora de mapas procedeu-se a execução da expressão matemática apresentada na Equação 3 de Bertoni (1959), gerando o mapa do fator topográfico.

$$LS = 0,000984 \cdot L^{0,63} \cdot S^{1,18} \quad (3)$$

Onde: L - comprimento de rampa [m] e S - declividade [%].

5 - Mapeamento do Uso e manejo do Solo e Práticas Conservacionistas - Fator CP

Para aquisição dos fatores de uso e práticas conservacionistas (Fatores C e P), buscando-se agrupar em classe os usos e ocupações do solo, obteve-se o mapa de uso do solo da área urbanizada da bacia Ribeirão Lavapés, que foi gerado a partir da classificação em tela da imagem do satélite SPOT5. De posse do mapa de uso do solo valorou-se cada classe de acordo com os valores de CP propostos por Stein et al. (1987).

6 - Potencial Natural de Erosão – PNE

O Potencial Natural de Erosão considera apenas as variáveis da RUSLE que representam os parâmetros do

meio físico correspondendo às estimativas de perdas de terras em áreas destituídas de cobertura vegetal e sem qualquer intervenção antrópica, foi calculado segundo a Equação 4 de acordo com Donzelli et al. (1992).

O PNE foi calculado a partir da combinação dos planos de informações -Mapas dos fatores R, K e LS. A multiplicação destes fatores da RUSLE foi efetuada pelo gvSIG.

$$PNE = R \cdot K \cdot L \cdot S \quad (4)$$

Onde: PNE – potencial natural de erosão, [t.ha⁻¹.h⁻¹.ano⁻¹]; R - fator erosividade da chuva, [MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.ano⁻¹]; K - fator erodibilidade do solo, expresso em [t.h.MJ⁻¹.mm⁻¹]; L - fator comprimento de rampa, adimensional; e S - fator declividade, adimensional.

O mapa de Potencial Natural de Erosão foi classificado qualitativamente de acordo com a classificação proposta por Silva (2008) que varia de Fraco (0 a 400 t.ha⁻¹.ano⁻¹) a Muito forte (maior que 1600 t.ha⁻¹.ano⁻¹)

7 - Estimativa das Perdas de Solo

A perda de solo anual da área urbanizada da bacia hidrográfica do Ribeirão Lavapés foi determinada no gvSIG através do produto entre o PNE e os fatores CP da RUSLE.

O mapa resultante foi classificado qualitativamente de acordo com a classificação proposta pela Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION - FAO, 1967), que varia de Baixa (0 a 10) a Moderada (maior que 200) com valores expressos em t.ha⁻¹.ano⁻¹.

3 RESULTADOS

3.1 Fator Erosividade da Chuva

O fator erosividade da chuva, foi obtido por meio do programa netErosividade/SP, que utiliza a metodologia proposta por Lombardi Neto e Moldenhauer (1992) e apresentou como resultado o valor de 7.797 MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.ano⁻¹.

3.2 Fator Erodibilidade do Solo

As classes de solo encontradas no levantamento de solos da área urbanizada da bacia do Ribeirão Lavapés, realizado em conformidade com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006), e a espacialização do Fator K são apresentadas na Figura 1. As classes de solo, áreas e porcentagem em relação à área total podem ser observadas na Tabela 1 juntamente com o fator K que está diretamente relacionado com as classes de solo.

Tabela 1 - Unidades de solo presentes na área urbanizada na área de estudos e fator erodibilidade do solo, expresso em [t.h.MJ⁻¹.mm⁻¹] adaptadas segundo normas da Embrapa (2006).

Classe de solos	Sigla	Área (km ²)	%	Fator K
Latossolos Vermelho-Amarelos Distróficos	LVAd	23,56	53,5	0,008
Latossolos Vermelhos Distróficos	LVd	11,79	26,8	0,004
Latossolos Vermelhos Distroférricos	LVdf	0,66	1,5	0,005
Neossolos Flúvicos	RU	0,07	0,2	0,035
Neossolos Litólicos Distróficos	NLd	0,03	0,1	0,036
Neossolos Litólicos Eutróficos	RLe	0,18	0,4	0,24
Nitossolos Vermelhos Distróficos	NVd	1,39	3,2	0,018
Nitossolos Vermelhos Distroférricos	NVdf	6,33	14,4	0,006
Total		44,01	100	

Fonte: Mannigel et al. (2002) e Bertoni e Lombardi Neto (2012).

A classe de solo - Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico é a que mais se encontra na área estudada (53,5%) e está localizado na área da nascente do Ribeirão Lavapés de alguns afluentes.

Os LVAd são solos profundos ou muito profundos de textura muito argilosa a argilosa. Apresentam normalmente relevo plano e suave ondulado, ocorrendo também como relevo ondulado, forte ondulado e montanhoso. A baixa fertilidade natural inibe o uso deste tipo de solo para a agricultura. Apresentam teor de silte inferior a 20% e argila variando entre 15% e 80%. São solos com alta permeabilidade à água, podendo ser trabalhados em grande amplitude de umidade. São profundos, porosos, bem drenados, bem permeáveis mesmo quando muito argilosos friáveis e de fácil preparo. Apesar do alto potencial para agropecuária, parte de sua área deve ser mantida com reserva para proteção da biodiversidade desses ambientes (EMBRAPA, 2013).

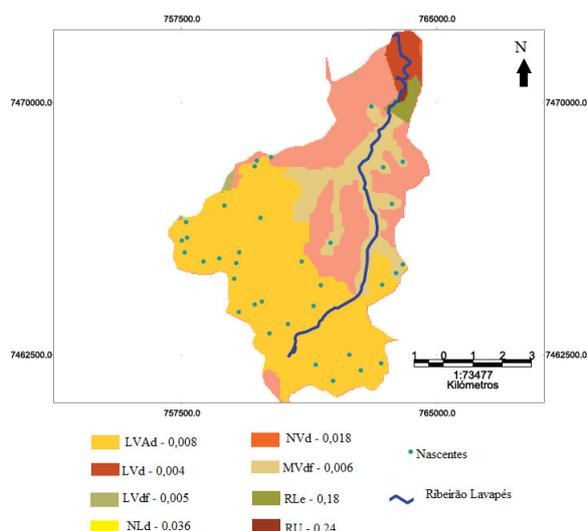


Figura 1 - Mapa de solos e do fator K (valores expressos em $t.h.MJ^{-1}.mm^{-1}$) encontrados na área urbanizada da bacia do Ribeirão Lavapés com rede de drenagem.

3.3 Fator Comprimento de Rampa e Declividade

Para gerar o mapa do fator LS foram elaborados os mapas de MDE e declividade. As altitudes variaram de 715 a 920 metros. Nas altitudes de 750 a 850 metros, concentra-se a maior área 34,9 km² (79,3 %) da área total.

Quanto à declividade, o mapa de classes de declividade elaborado a partir do modelo digital de elevação do terreno, é apresentado na Figura 2.

O relevo predominante na área é o ondulado (declividade de 6 – 12 %), que ocupa 36,9 % da sua área, seguido do relevo suave ondulado, representando 32,4 % da área e a área plana 21,3%. As classes que variam de 12% a maior que 40% representam uma pequena área de 4,15 km².

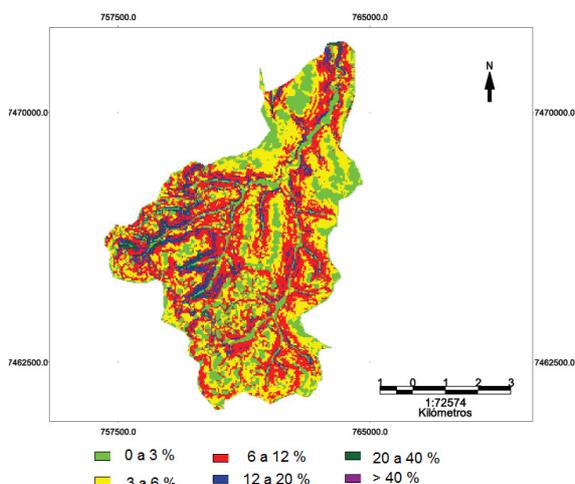


Figura 2 - Mapa de classes de declividade da área urbanizada da bacia do Ribeirão Lavapés

O fator LS da RUSLE, calculado para a área urbanizada da bacia do Ribeirão Lavapés pelo SIG gvSIG utilizando a metodologia de Villela e Mattos (1975) e Bertoni (1959) é apresentado na Figura 3. Valle Junior (2008) aplicou esta metodologia e obteve resultados satisfatórios. O mapa apresenta os valores agrupados em classes de modo a facilitar sua visualização.

A variação do fator LS foi de 0 a 27,57 que correspondem diretamente com as classes de declividade. A maior parte da área, 96,7% apresentou fator LS na faixa de 0 – 10. Nos intervalos entre 10 e 27,57 encontra-se aproximadamente 1,5 km² de área.

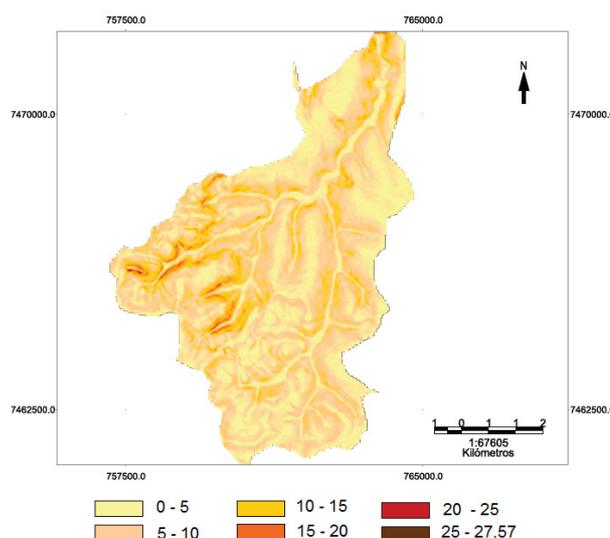


Figura 3 - Classes do fator LS da área urbanizada da bacia do Ribeirão Lavapés.

3.4 Mapeamento Uso e Manejo do Solo e Práticas Conservacionistas - Fator CP

Os fatores CP estão diretamente relacionados com o uso e cobertura do solo. Na área urbanizada da bacia foram determinadas 4 classes de uso: área construída 71,5%, campo/pasto 18,2%, mata/reflorestamento 8,8 % e água 1,5%. A classe que mais expõe o solo à erosão abrange a área de campo/pasto. Na Figura 4 pode-se observar os valores especializados de CP e as classes de uso do solo.

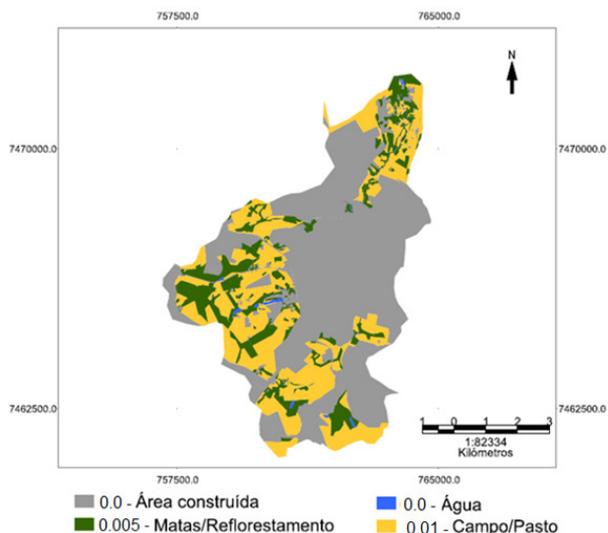


Figura 4 - Mapa de uso do solo e fator CP da área urbanizada da bacia do Ribeirão Lavapés.

3.5 Potencial Natural de Erosão

O mapa de Potencial Natural de Erosão da área urbanizada da bacia do Ribeirão Lavapés, obtido a partir da multiplicação dos mapas dos fatores naturais que constituem a RUSLE (erosividade da chuva, erodibilidade do solo e comprimento de rampa / declividade do terreno), é apresentado na Figura 5. A Tabela 2 mostra as áreas e porcentagem das classes de PNE propostas por Silva (2008).

Tabela 2 - Classes de Potencial Natural de Erosão área urbanizada da Bacia do Ribeirão Lavapés e respectivas áreas.

Classe de PNE ($t.ha^{-1}.ano^{-1}$)	Área (km^2)	%	Classificação Silva (2008)
0 - 400	33,71	76,60	Fraco
400 - 800	7,77	17,67	Moderado
800 - 1600	2,27	5,16	Forte
> 1600	0,25	0,58	Muito forte
TOTAL	44,01	100	-

Pela análise dos resultados apresentados na Tabela 2, observa-se que as áreas menos sujeitas à erosão natural englobam 76,6% (fraco) e 17,7% (moderado) e o restante distribui-se entre forte (2,27 km^2) e muito forte (0,58 km^2). De forma geral a área de estudos não apresenta grandes problemas com relação à erosão natural, isso se deve ao fato de se tratar de uma área urbanizada, mas existem pontos críticos que merecem atenção.

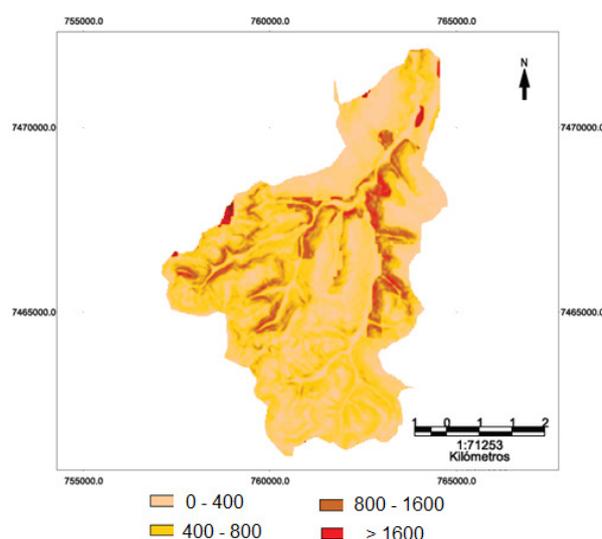


Figura 5 - Mapa PNE da área urbanizada da bacia do Ribeirão Lavapés, como valores expressos em $t.ha^{-1}.ano^{-1}$.

Comparando o mapa do PNE com o de classes de solos, nota-se que as áreas com potencial maior que $1600 t.ha^{-1}.ano^{-1}$ estão localizadas principalmente tipos de solo altamente suscetíveis a erosão - Nitossolo Litólico (NLD e RLe). E também nos Neossolo flúvico e algumas manchas nos LVd, LVdf, LVAd e NVdf que apesar de serem resistentes a erosão, estas áreas são usadas como campo/pasto, possivelmente sem utilização de técnicas de manejo e conservação do solo. Na Figura 5 podem-se observar as áreas com potencial natural de erosão críticas.

3.6 Estimativa de Perda de Solo

A Figura 6 apresenta a estimativa de perdas de solo por erosão da área urbanizada da bacia do Ribeirão Lavapés gerada pelo modelo RUSLE, ou seja, o produto dos fatores naturais (Potencial Natural de Erosão) e antrópicos condicionantes da erosão do solo (uso, manejo do solo e práticas conservacionistas).

Analisando a Figura 6, observa-se que a distribuição espacial da susceptibilidade à erosão está associada ao relevo da região e as classes de uso do solo.

As áreas com estimativas superiores a $50 t.ha^{-1}.ano^{-1}$ estão localizadas em regiões de maior declive e classificadas como campo/pasto, totalizando $1,23 km^2$ da área de estudos.

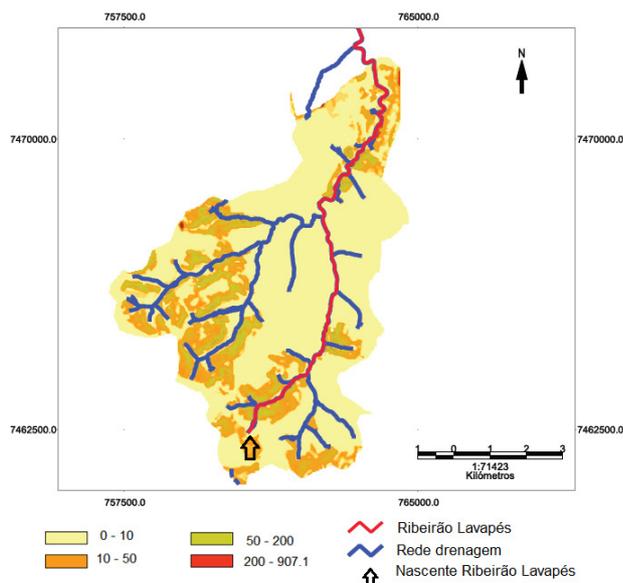


Figura 6 - Espacialização da estimativa de perdas de solo por erosão da área urbanizada da bacia do Ribeirão Lavapés como valores expressos em $t.ha^{-1}.ano^{-1}$.

Estas perdas classificadas como alta e muito podem ser observadas nos 8 tipos de solos presentes (LVd, LVAd, LVdf, NLd, NUd, NVdf, RLe e RU) na área urbanizada da bacia do Ribeirão Lavapés.

As perdas de solo concentradas entre $0 - 10 t.ha^{-1}.ano^{-1}$ podem ser observadas nas áreas onde o fator CP é igual varia de 0 a 0,005 (área construído e mata/reflorestamento), são classificadas com baixa e cobrem 76,1% (33,47 km²) da área total.

Algumas pequenas áreas com perda muito alta podem ser observadas no tipo de solo Neossolo Litólico que são classificadas como alta suscetibilidade a erosão e existe área de Neossolo Flúvico que apesar de pouco sujeito a erosão apresenta-se na classe maior que 200 (Figura 7).

Verifica-se que a distribuição espacial de susceptibilidade à erosão está associada ao relevo da região. Na Figura 6 pode se observar algumas manchas de alta erosividade nos tipos de solo Neossolo Litólico e Flúvico e Latossolos Vermelhos e Amarelos Distróficos. As classes de susceptibilidade acima de $50 t.ha^{-1}.ano^{-1}$ se localizaram justamente nas regiões com declive mais acentuado, pois a elevação dos declives favorece a susceptibilidade à erosão (BAPTISTA, 2003).

Nota-se que perdas de solo classificadas como moderada e alta circundam a rede de drenagem e principalmente o canal principal – Ribeirão Lavapés (exceto nas áreas construídas) e até mesmo algumas nascentes estão muito próximas das áreas susceptíveis (Figura 7).

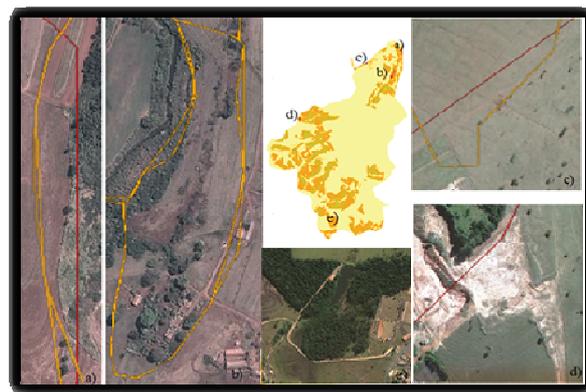


Figura 7 - Detalhamento das áreas com potencial erosivo natural muito forte e perda de solo muito alta: a) NLd – Neossolos Litólicos Distróficos, b) RU – Neossolos Flúvicos Distróficos, c) LVAd – Latossolos Vermelho-Amarelos Distróficos, d) LVd – Latossolos Vermelhos Distrófico e e) nascente do Ribeirão Lavapés.

Fonte: Image DigitalGlobe – Maplink 2013. Google Earth

4 CONCLUSÕES

Os resultados alcançados com o emprego da Equação Universal de Perda de Solo - EUPS, na estimativa do potencial natural e erosão e de perda de solo na área urbanizada da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Lavapés, foram satisfatórios. Grande parte da área apresentou potencial natural de erosão fraco e baixa perda de solo.

A proximidade do ribeirão das áreas susceptíveis a erosão propicia o carreamento de sedimentos e a ausência das matas ciliares contribui para este efeito.

A utilização de um SIG para realização de pesquisas com perdas de solo favorece o zoneamento e monitoramentos destas áreas.

5 REFERÊNCIAS

AMORIM, R. S. S.; SILVA, D. D.; PRUSKI, F. F. Principais modelos para estimar as perdas de solo em áreas agrícolas. In: PRUSKI, F. F. (Ed). **Conservação de solo e água: práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica**. 2. ed. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2009. cap.4, p.75-107.

BAPTISTA, G. M. M. **Diagnóstico ambiental de erosão laminar: modelo geotecnológico e aplicação**. Brasília: Universa, 2003.140 p.

BERTONI, José. O espaçamento dos terraços em culturas anuais, determinado em função das perdas por erosão. **Bragantia**, Campinas, v. 18, n. unico, p. 113-140, 1959. <<http://www.scielo.br/scielo.php?script=>

[sci_arttext&pid=S0006-87051959000100010&lng=en&nrm=iso](#)>. Acesso em: 01 Sept. 2015.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 8. ed. São Paulo: Ícone, 2012. 355 p.

CARVALHO, W. A.; ESPÍNDOLA, C. R.; PACCOLA, A. A. **Levantamento de solos da Fazenda Lageado**. Botucatu: Faculdade de Ciências Agrônômicas, Unesp, 1983. 94 p. (Boletim Científico, 1).

DONZELLI, P. L. VALERIO FILHO, M.; PINTO, S.A.F.; NOGUEIRA, F.P.; ROTTA, C.L. & LOMBARDI NETO, F. Técnicas de sensoriamento remoto aplicadas ao diagnóstico básico para planejamento e monitoramento de microbacias hidrográficas. **Documentos IAC**, Campinas, n. 29, p. 91-119, 1992.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

EMBRAPA **Solos: Latossolo Vermelho-Amarelo**. Disponível em: <<http://www.cnps.embrapa.br/>>. Acesso em: 15 set. 2013.

FAO. **La erosión del suelo por el agua**: algunas medidas para combatirla en las tierras de cultivo. Roma, 1967. 207 p. (Cuadernos de Fomento Agropecuario, n. 81).

GENERALITAT VALENCIANA. **GVSIG**: Sistema de Información Geográfica. Valencia: Conselleria de Infraestructuras, Territorio y Medio Ambiente, 2013. Disponível em: <<http://www.gvpontis.gva.es/cast/gvsig-sistemainfor/>>. Acesso em: 10 set. 2013.

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://dx.doi.org/10.1590/S0006-87051992000200009>>. Acesso em 05 out2013

MANNIGEL, A. R. CARVALHO, M. P. MORETI, D. MEDEIROS, L. R. Fator erodibilidade e tolerância de perda dos solos do Estado de São Paulo. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 24, n. 5, p. 1335-1340, 2002.

OLIVEIRA, F. G., SERAPHIM, O. J., BORJA, M. E. L. Geotecnologias aplicadas a simulação de perdas de solo por erosão hídrica. In: 6as Jornadas da América Latina e do Caribe de gvSIG. São Paulo. Disponível em: <http://outreach.gvsig.org/node/1756> e http://gvsig29.rssing.com/chan-29483538/all_p2.html.

PIROLI, E. L. **Geoprocessamento na determinação da capacidade e avaliação do uso da terra do município de Botucatu-SP**. 2002. 108 f.Tese (Doutorado em Agronomia – Energia na Agricultura) -Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2002.

RENARD, K.G. Foster, G.A. Weesis, D. K. McCool. **Predicting soil erosion by water**: guide to conservation planning with Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). Washington: US Gov. Print Office, 1997. 404 p. (Agriculture Handbook, 703). Disponível em: http://www.ars.usda.gov/SP2UserFiles/Place/64080530/RUSLE/AH_703.pdf. Acesso em 05 out.2013.

SEXTANTE (Espanha). Victor Olaya. **The SEXTANTE framework**. Disponível em: <<https://plugins.qgis.org/plugins/sextante/>>. Acesso em: 12 set. 2013.

SILVA, A. M. Potencial natural de erosão no município de Sorocaba, São Paulo, Brasil. **Revista Internacional de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil**, Mayagüez, v. 8, n. 1, p. 5-14, 2008. Disponível em: <<http://academic.uprm.edu/laccei/index.php/RIDNAIC/article/viewFile/146/142>>.

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 – SP. ABGE/DAEE, 1987. v. 1, p. 105-135.

VALLE JUNIOR, R. F. **Diagnóstico de áreas de risco de erosão e conflito de uso dos solos na bacia do rio Uberaba**. 2008. 222 f. Tese (Doutorado em Agronomia) -Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2008.

VALÉRIO FILHO, M. Técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto aplicadas ao estudo integrado de bacias hidrográficas. In: PEREIRA, V. P.; FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P. **Solos altamente suscetíveis à erosão**. Jaboticabal: FCAV-UNESP; Viçosa, MG: SBCS, 1994. p. 223-242.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975. 245 p.

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