

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP  
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**PERDA DE SOLO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO  
CÓRREGO RICO – SP, UTILIZANDO TÉCNICAS DE  
GEOPROCESSAMENTO**

Beatriz de Oliveira Costa  
Bióloga

2014

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP  
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**PERDA DE SOLO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO  
CÓRREGO RICO – SP, UTILIZANDO TÉCNICAS DE  
GEOPROCESSAMENTO**

**Beatriz de Oliveira Costa**

**Orientadora: Profa. Dra. Teresa Cristina Tarlé Pissarra**

**Coorientador: Prof. Dr. Armin Werner**

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Doutora em Agronomia (Produção Vegetal)

**2014**

**C837p** Costa, Beatriz de Oliveira  
Perda de solo na bacia hidrográfica do Córrego Rico – SP,  
utilizando técnicas de geoprocessamento. / Beatriz de Oliveira Costa –  
Jaboticabal, 2014  
viii, 85 p.; 28 cm

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de  
Ciências Agrárias e Veterinárias, 2014  
Orientador: Teresa Cristina Tarlé Pissara  
Coorientador: . Armin Werner  
Banca examinadora: Renato Farias do Valle Júnior, Rogério  
Teixeira de Faria, Vera Lucia Abdala, Sergio Campos  
Bibliografia

1. EUPS. 2. Solo-uso. 3. Álgebra-mapas. I. Título. II. Jaboticabal-  
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 631.4:528.7(815.6)

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação –  
Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de Jaboticabal.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

CAMPUS DE JABOTICABAL

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS DE JABOTICABAL

### CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

**TÍTULO:** PERDA DE SOLO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO CÔRREGO RICO-SP,  
UTILIZANDO TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO

**AUTORA:** BEATRIZ DE OLIVEIRA COSTA

**ORIENTADORA:** Profa. Dra. TERESA CRISTINA TARLE PISSARRA

**CO-ORIENTADOR:** Prof. Dr. ARMIN WERNER

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de DOUTOR EM AGRONOMIA (PRODUÇÃO VEGETAL), pela Comissão Examinadora:

Profa. Dra. TERESA CRISTINA TARLE PISSARRA

Departamento de Engenharia Rural / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal

Prof. Dr. RENATO FARIAS DO VALLE JUNIOR

Instituto Federal do Triângulo Mineiro / Uberaba/MG

Prof. Dr. ROGÉRIO TEIXEIRA DE FARIA

Departamento de Engenharia Rural / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal

Profa. Dra. VERA LUCIA ABDALA

Instituto Federal do Triângulo Mineiro / Uberaba/MG

Prof. Dr. SERGIO CAMPOS

Dep de Engenharia Rural / Faculdade de Ciências Agrícolas de Botucatu

Data da realização: 29 de maio de 2014.

## **DADOS CURRICULARES DO AUTOR**

**BEATRIZ DE OLIVEIRA COSTA**, nascida em 12 de dezembro de 1973 em Araxá, MG. Graduação em Ciências e Matemática pela Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Araxá (1994) e Biologia pelo Centro Universitário do Triângulo (2002). cursou especialização em Biotecnologia na Universidade Federal de Lavras (2005) e Mestrado em Agronomia no programa de Ciência do Solo na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – FCAV UNESP – Câmpus de Jaboticabal (2010). No período de 2010 a 2014 cursou Doutorado em Agronomia no programa Produção Vegetal na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – FCAV UNESP – Câmpus de Jaboticabal, com parte desenvolvida no *The Leibniz Centre for Agricultural Landscape Research – ZALF* (Centro Leibniz de Pesquisa da Paisagem Agrícola – ZALF) na cidade de Müncheberg, Alemanha. Os estudos foram relacionados às linhas de pesquisa que envolvem Sistema de Informação Geográfica (SIG), Sensoriamento Remoto, Geoprocessamento, Gestão de Bacias Hidrográficas, Uso e Conservação do Solo e Água. Bolsista CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior.

## Epígrafe

### **APRENDA COM A NATUREZA**

*“Resplandece o Sol no alto, a fim de auxiliar a todos. As estrelas agrupam-se em ordem. O céu tem horários para a luz e para a sombra. O vegetal abandona a cova escura, embora continue ligado ao solo, buscando a claridade, a fim de produzir. O ramo que sobrevive à tempestade cede à passagem dela, mantendo-se, não obstante, no lugar que lhe é próprio. A rocha garante a vida no vale, por resignar-se à solidão. O rio atinge os seus objetivos porque aprendeu a contornar obstáculos.*

*A ponte serve ao público sem exceções, por afirmar-se contra o extremismo.*

*O vaso serve ao oleiro, após suportar o clima do fogo. A pedra brilha, depois de sofrer as limas do lapidário. O canal preenche as suas finalidades, por não perder o acesso ao reservatório. A sementeira rende sempre, de acordo com os propósitos do sementeiro”.*

**André Luiz / Chico Xavier**

### **PLANETA ÁGUA**

*“Água que nasce na fonte, serena do mundo e que abre um profundo grotão  
Água que faz inocente riacho e deságua na corrente do ribeirão...  
Águas escuras dos rios que levam a fertilidade ao sertão  
Águas que banham aldeias e matam a sede da população...  
Águas que caem das pedras no véu das cascatas ronco de trovão  
E depois dormem tranquilas no leito dos lagos, no leito dos lagos...  
Água dos igarapés onde lara, a mãe d'água é misteriosa canção  
Água que o sol evapora pro céu vai embora virar nuvens de algodão...  
Gotas de água da chuva, alegre arco-íris sobre a plantação  
Gotas de água da chuva, tão tristes, são lágrimas na inundação...  
Águas que movem moinhos, são as mesmas águas que encharcam o chão  
E sempre voltam humildes pro fundo da terra, pro fundo da terra...  
Terra! Planeta Água. Terra! Planeta Água. Terra! Planeta Água”...*

**Cantor e compositor Guilherme Arantes, música de 1981.**

**Uma das canções mais lembradas do público,  
ao se tratar de preservação das águas (Wikipédia, 2014).**

<http://letras.mus.br/guilherme-arantes/46315/#radio>

## Dedicatória

*Com amor e carinho aos meus pais, **Benedito Teixeira de Toledo Costa e Teresinha Maria Costa**. Pessoas que sempre foram exemplos de coragem, amor, determinação, retidão e perseverança.*

*Aos meus irmãos, Hélio Costa e esposa Nívea; Márcio Costa, esposa Tatiane e filha Julia (sobrinha que encheu de alegria nossa família).*

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, pela vida, proteção e por ter permitido mais esta etapa.

À Profa. Dra. Teresa Cristina Tarlé Pissarra, pelo incentivo, estímulo, apoio, paciência e ensinamentos transmitidos. Ofereço meus agradecimentos e respeito pelo seu profissionalismo e sabedoria. Sinto-me honrada por ter sido sua orientada. E um carinho especial a sua filha Maria Pissarra Chueire.

Ao Prof. Dr. Marcílio Vieira Martins Filho pela disponibilidade em transmitir seus conhecimentos na aplicação da Equação Universal de Perda de Solo.

Aos Professores Dr. Arthur Bernardes Cecílio Filho e Dr. Rouverson Pereira da Silva respectivos coordenadores do Curso Produção Vegetal, por todas as vezes que precisei de auxílio, conselhos e estímulos para continuar meus estudos.

Ao Professor Dr. Armin Werner (coorientador) do Instituto ZALF (Centro Leibniz de Pesquisa da Paisagem Agrícola) na cidade de Müncheberg, Alemanha, pela receptividade e por seu exemplo de dedicação à pesquisa.

Um carinho muito especial à Gildriano Soares de Oliveira, pela cumplicidade e de mostrar um outro lado da vida. O que realmente importa e vale a pena são os momentos mais simples que vivemos, diante de muitas risadas, companheirismo e descobertas.

À Cidinha Tostes e Rodrigo Figueira por permitir fazer parte desta família que sempre acolheu a todos com muito carinho.

Ao amigo Jorge Pereira Santos, fascinado por geotecnologias e sempre disposto a ajudar a qualquer momento. Minha eterna gratidão e torcida para que alavanque cada vez mais sua carreira profissional.



À todos os amigos do Departamento de Engenharia Rural e Fotointerpretação: Ronaldo Barros (muitas risadas com suas piadas), Izilda, Michele e Fabrício, Mazzer, Brandão, Aline Marcuci, Caio Zeviani, Anildo, Marcelo Zanata, Conceição, Renata Costa, Janaina, Franciele, Gustavo Dourado, Gustavo Trevizoli, Adam Brito, China, Rangel, Juan, Fabiana Reis, Junior Baldan, Carlos Gândara, Pandora, entre outros que contribuíram para execução deste projeto de vida.

À CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pelo auxílio financeiro.

À Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Câmpus de Jaboticabal e ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, pela estrutura e cursos oferecidos, respectivamente.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA .....	4
2.1. Equação Universal de Perda de Solo (EUPS).....	4
2.1.1. Perda média anual do solo – A .....	4
2.1.2. Fator Erosividade – R .....	4
2.1.3. Fator Erodibilidade – K .....	7
2.1.4. Fator Comprimento de Rampa – L.....	8
2.1.5. Fator Declividade – S .....	10
2.1.6. Fator Cobertura Vegetal e Manejo do Solo – C .....	12
2.1.7. Fator Práticas Conservacionistas – P .....	12
2.2. Bacia Hidrográfica do Córrego Rico .....	14
2.3. Manejo do Solo Visando a Conservação da Natureza.....	15
3. MATERIAL E MÉTODOS .....	16
3.1. Base Cartográfica.....	16
3.2. Programas informatizados utilizados .....	16
3.2.1. Google Earth.....	16
3.2.2. Earth Point .....	16
3.2.3. ArcGIS .....	16
3.3. Área de Estudo .....	17
3.4. Extração da rede de drenagem da bacia hidrográfica do córrego Rico .....	18
3.5. Equação Universal de Perda de Solo (EUPS).....	20
3.5.1. Fator Erosividade – R .....	20
3.5.2. Fator Erodibilidade – K .....	21
3.5.3. Fator Comprimento de Rampa – L.....	22
3.5.4. Fator Declividade – S .....	22
3.5.5. Fator Cobertura Vegetal e Manejo do Solo – C .....	23
3.5.6. Fator Práticas Conservacionistas – P .....	25
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	26
4.1. Equação Universal de Perda de Solo (EUPS).....	26
4.1.1. Fator Erosividade (R) .....	27
4.1.2. Fator Erodibilidade (K).....	29
4.1.3. Fator Topográfico (LS).....	30
4.1.3.1 Comprimento de rampa (L) .....	32
4.1.3.2 Declividade (S).....	33
4.1.4. Fatores Cobertura Vegetal e Manejo do Solo – C e Práticas Conservacionistas – P (Imagens de 1984 e 2011).....	35
4.1.5. Mapa da Perda de Solo .....	39
5. CONCLUSÃO .....	43
6. REFERÊNCIAS.....	44

## Lista de Abreviações

- A – *Estimated Average Soil Loss in ton/acre.yr* (Média Estimada de Perda de Solo em ton/ha.ano).
- BHCR – Bacia hidrográfica do córrego Rico
- C – *Cropping Management Factor* (Fator Cultivo e Manejo do Solo)
- El<sub>30</sub> – *Erosivity Indexes; 30 = minuts* (Índices de Erosividade; 30 = minutos)
- EUPS – Equação Universal de Perda de Solo
- GCS – *Geographic Coordinate System* (Sistema de Coordenadas Geográficas)
- GIS – *Geographic Information System* (Sistema de Informações Geográficas)
- K – *Soil Erodibility Factor* (Fator de Erodibilidade do Solo)
- KML – *Keihole Markup Language* (Linguagem Chave de Remarcação)
- L – *Lengt Factor* (Fator Comprimento de Rampa)
- MDE – Modelo Digital de Elevação
- OGC – *Open Geospatial Consortium* (Consórcio Geoespacial Aberto)
- P – *Conservation Practices Factor* (Fator Práticas Conservacionistas)
- R – *Rainfall Erosivity Factor* (Fator Erosividade da Chuva)
- RGB – *Color Space – Red, Green, Blue* (Espaço de Cores RGB – vermelho, verde, azul)
- S – *Slope Factor* (Fator Declividade)
- SAD – *South American Datum* (Dado Sul Americano)
- SIG – Sistemas de Informação Geográfica
- SRTM – *Shuttle Radar Topography Mission* (Missão Topográfica Radar Shuttle)
- TIN – *Triangulated Irregular Network* (Rede Irregular Triangulada)
- USGS – *United States Geological Survey* (Pesquisa Geológica dos Estados Unidos)
- USLE – *Universal Soil Loss Equation* (Equação Universal de Perda de Solo)
- UTM – *Universal Transverse Mercator* (Sistema Universal Transverso de Mercator)
- WGS – *World Geodetic System* (Sistema Geodésico Mundial)

## Lista de Tabelas

<b>Tabela 1.</b> Valores de erosividade para os municípios integrantes da BHCR, SP. ....	20
<b>Tabela 2.</b> Valores da erodibilidade dos solos da BHCR, SP. ....	22
<b>Tabela 3.</b> Fator declividade e respectivo relevo. ....	23
<b>Tabela 4.</b> Uso e ocupação do solo no ArcGIS e padrão de interpretação no Google Earth. ....	24
<b>Tabela 5.</b> Classificação supervisionada dos usos do solo e seus respectivos fatores. ....	25
<b>Tabela 6.</b> Municípios da BHCR e fatores da Erosividade (R). ....	27
<b>Tabela 7.</b> Tipos de solos e fatores de Erodibilidade (K). ....	29
<b>Tabela 8.</b> Classes da inclinação do terreno (LS). ....	31
<b>Tabela 9.</b> Classes do Comprimento de Rampa do terreno (L). ....	33
<b>Tabela 10.</b> Classes de Declividade (S) adotadas no sistema brasileiro de classificação do solo (EMBRAPA, 1999) e a área que ocupa cada relevo na BHCR. ....	34
<b>Tabela 11.</b> Classes dos fatores Cobertura Vegetal e Manejo do Solo (C) e Práticas Conservacionistas (P) dos anos de 1984 e 2011. ....	37
<b>Tabela 12.</b> Perda Média Anual do Solo dos anos de 1984 e 2011. ....	41

## Lista de Figuras

<b>Figura 1.</b> Localização da bacia hidrográfica do Córrego Rico, SP demonstrada no TIN Triangulated Irregular Network (Rede Irregular Triangulada). .....	17
<b>Figura 2.</b> Municípios integrantes da BHCR, SP. Imagem do <i>Google Earth</i> . .....	18
<b>Figura 3.</b> Extração da rede de drenagem da BHCR, SP. ....	19
<b>Figura 4.</b> Rede de drenagem e limite da BHCR, SP. ....	19
<b>Figura 5.</b> Programa computacional para estimativa da erosividade da chuva no estado de São Paulo. ....	21
<b>Figura 6.</b> Mapa da erosividade (R) da BHCR, SP. ....	27
<b>Figura 7.</b> Mapa da erodibilidade (K) da BHCR, SP. ....	29
<b>Figura 8.</b> Mapa do fator topográfico (LS) da BHCR, SP. ....	31
<b>Figura 9.</b> Mapa do comprimento de rampa (L) da BHCR, SP. ....	32
<b>Figura 10.</b> Mapa da declividade (S) da BHCR, SP. ....	34
<b>Figura 11.</b> Mapas dos fatores C e P, da composição 7 (R), 5 (G), 3 (B) imagens 1984 e 2011, na BHCR. ....	36
<b>Figura 12.</b> Distribuição das classes em % na bacia hidrográfica do Córrego Rico. ....	39
<b>Figura 13.</b> Mapas com a perda média anual do solo dos anos de 1984 e 2011. ....	40

Os mapas aqui apresentados foram elaborados por meio do *software* ArcGIS®10, propriedade intelectual da ESRI® e utilizado sob licença. Copyright© Esri. Todos os direitos reservados. Para mais informações consultar: [www.esri.com](http://www.esri.com).

The maps presented here were developed in ArcGIS® 10 software, intellectual property of ESRI® and used under license. Copyright© Esri. All rights reserved. For more information visit: [www.esri.com](http://www.esri.com).

## PERDA DE SOLO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO RICO – SP, UTILIZANDO TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO

**RESUMO** – O uso inadequado de bacias hidrográficas sem respeitar os princípios de conservação de seus recursos naturais, acarreta devastação. Nas vertentes das bacias ocorre o processo de erosão, uma das formas mais significativas de degradação, influenciada pelo manejo e uso do solo inadequados. Este trabalho teve por objetivo estimar as perdas de solo nos anos de 1984 e 2011, na bacia hidrográfica do Córrego Rico (BHCR), utilizando a Equação Universal de Perda de Solo (EUPS) e propor alternativas que possam mitigar a degradação nesta área. Os mapas temáticos de cada fator da equação foram elaborados com o uso de técnicas de geoprocessamento e programas de sistemas de informação geográfica (SIG). O fator Erosividade (R) foi maior na região de Monte Alto com  $7.984 \text{ MJ mm h}^{-1} \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  (18,27 % da BHCR) e menor em Jaboticabal com  $7.789 \text{ MJ mm h}^{-1} \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  (46,33 %). Na erodibilidade (K) o valor mais elevado foi de  $0,02838 \text{ t h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$  em 13.001,40 ha de Argilossolo Vermelho-Amarelo e o menor de  $0,00608 \text{ t h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$  em 22.162,68 ha de Latossolo Vermelho. Para o fator S a maior área está em relevo ondulado com 33.100,20 ha (57,06 %) e Declividade entre 8,1 a 20 %. Nos fatores Cobertura Vegetal e Manejo do Solo (C) e Práticas Conservacionistas (P) nota-se que nestes anos houve grandes mudanças tais como a diminuição das áreas de pastagem e frutíferas e o aumento das áreas de cana-de-açúcar (de 55,83 % em 1984 para 74,35 % em 2011). Um saldo positivo foi o aumento da cobertura vegetal de 1.993,95 ha em 1984 para 4.895,25 ha em 2011. A maior perda de solo na classe de 21 e 50  $\text{t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , ocorreu numa área de 15.226,00 ha (26,44 %) em 1984 e 2011 entre 11 e 15  $\text{t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , em uma área de 17.297,91  $\text{t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  (30,22 %). O uso integrado de EUPS e SIG mostrou ser uma técnica eficaz na representação espacial das perdas de solo na bacia hidrográfica do Córrego Rico para identificação das áreas mais vulneráveis ao processo erosivo e na variabilidade espaço-temporal.

**Palavras-chave:** EUPS, uso do solo, álgebra de mapas.

## LOSS OF SOIL IN THE CORREGO RICO'S WATERSHED – SP, USING GEOPROCESSING TECHNIQUES

**ABSTRACT** – The inappropriate use of watersheds without respecting the principles of conservation of its natural resources, causes devastation. The slopes of the watershed erosion process, one of the most significant forms of degradation, influenced by the management and use of unsuitable soil occurs. This study aimed to estimate soil losses in 1984 and 2011, in the Corrego Rico's Watershed (CRW) using the Universal Soil Loss Equation (USLE) and propose alternatives that might mitigate the degradation in this area. Thematic maps of each factor of the equation were developed using GIS techniques and geographic information systems (GIS) programs. The erosivity factor (R) was higher in the region of Monte Alto with  $7,984 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ year}^{-1}$  (18.27% of BHCR) and lowest in Jaboticabal with  $7,789 \text{ MJ mm h}^{-1} \text{ ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$  (46.33%). In erodibility (K) the highest value was  $0.02838 \text{ th MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1} \text{ ha}$  of 13,001.40 Argilossolo Red Yellow and the lowest of  $0.00608 \text{ th MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$  in 22162.68 ha the Oxisol. For factor S is the largest area with embossed wavy  $33,100.20 \text{ ha}$  (57.06%) from 8.1 Slope and 20%. In factors Vegetation and Soil Management (C) and Conservation Practices (P) noted that in recent years there have been major changes such as the reduction of grazing areas and fruit and increased areas of cane sugar (55.83% in 1984 to 74.35% in 2011). A positive balance was increased vegetation cover of  $1,993.95 \text{ ha}$  in 1984 to  $4,895.25 \text{ ha}$  in 2011. The highest soil loss in the class of 21 and  $50 \text{ t ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ , occurred in an area of  $15,226.00 \text{ ha}$  (26.44%) in 1984 and 2011 between  $11$  and  $15 \text{ t ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ , an area of  $17,297.91 \text{ t ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$  (30.22%). The integrated use of USLE and GIS proved to be an effective technique in the spatial representation of soil loss in the basin of Rico Creek to identify the area's most vulnerable to erosion and spatial-temporal variability.

**Keywords:** USLE, landuse, map algebra.



## 1. INTRODUÇÃO

A perda de solo deve ser estudada para compreender o processo erosivo nas áreas agropecuárias no intuito de minimizar o impacto negativo causado na natureza.

O uso do solo deve ser conduzido para aumentar a eficiência econômica, utilizando os recursos naturais de maneira eficaz, com o aprimoramento dos conhecimentos específicos de técnicas de cultivo. A prática permite ajustar as atividades agrícolas maximizando o uso potencial do solo, e conservar áreas de importância ambiental, contribuindo para a sustentabilidade no contexto da paisagem.

A erosão é uma das formas mais significativas de degradação, é muito influenciada pelo gerenciamento e uso do solo. Está intimamente associada com todos os três principais desafios ambientais: contaminação da água, poluição do ar e degradação da terra (JIANG et al., 2012).

A Equação Universal de Perda de Solo (EUPS) reflete as pesquisas do processo erosivo e o efeito no sistema produtivo agropecuário. Desde a década de trinta os cientistas pesquisam a quantidade de solo que é perdido na implantação dos sistemas de produção. Vários fatores interferem nesta perda de solo, dentre eles ressalta-se a erosividade, erodibilidade, topografia e uso do solo com suas práticas conservacionistas. O modelo da EUPS é composto por fatores independentes que avaliam o potencial erosivo natural com características do meio físico e relacionado à intervenção humana (ação antrópica) em determinada área.

A degradação é causada pela remoção da camada fértil do solo e consequente perda de nutrientes, diminuição da profundidade de enraizamento, da capacidade de infiltração e retenção de umidade. Estes fatores resultam na redução da camada fértil da superfície terrestre, a qual se desloca outras áreas poluindo principalmente os recursos hídricos.

A erosividade reflete a força da precipitação no solo. É o potencial da chuva em causar erosão, pela desagregação e transporte das partículas do solo, processos devidos, respectivamente, ao impacto direto das gotas d'água e ao transporte, pelo escoamento superficial da água, das partículas desagregadas (VALLE JUNIOR et al., 2012). A erodibilidade indica o desprendimento das partículas do solo para outras áreas. A topografia reflete os ambientes da paisagem que apresentam maior

declividade com comprimento de vertentes menores, refletindo áreas potenciais erosivas. Assim se faz necessário o uso do solo de maneira adequada em sua cobertura vegetal. As práticas agrícolas auxiliam na menor perda de solo quando bem realizadas. Estes fatores indicam áreas com maior ou menor perda de solo.

A conservação do solo deve ser uma prerrogativa da sociedade. Manejo de precaução à conservação do solo é uma prioridade-chave. Uma vez danificado, ele pode ser restaurado. Entretanto, os estudos para minimizar este impacto devem ser constantes.

No Brasil, a exploração dos solos tem ocorrido de forma insatisfatória na maioria dos casos, principalmente no que concernem as áreas de encostas, visto que a declividade é um dos fatores desencadeador dos processos erosivos (SILVA et al., 2012).

A partir de modelos de paisagem, da interação com a moderna tecnologia da informação e a conservação da natureza, é possível desenvolver práticas de uso sustentável da terra, com uma gestão integrada dos recursos naturais nas áreas rurais.

Como a Política Agrícola prevê o disciplinamento e a fiscalização do uso racional da água e, considera a bacia hidrográfica como unidade básica de planejamento do uso, da conservação e da recuperação dos recursos naturais. Constata-se que o manejo de culturas no sistema de produção em campo, ainda requer muito estudo e análise no intuito de minimizar o impacto negativo. Para analisar o sistema com aplicação de um manejo sustentável na condução de culturas, tem-se utilizado a modelagem da paisagem, considerando o uso e ocupação do solo, clima e legislação ambiental. A previsão de modelos para a adequação do uso do solo em um sistema aberto, como bacias, é uma das técnicas utilizadas para minimizar o impacto das incertezas da condução do sistema produtivo sobre o gerenciamento dos recursos hídricos.

As bacias hidrográficas são cada vez mais importantes como unidades básicas de planejamento de recursos, principalmente para a conservação do solo, recurso hídrico, gestão dos sistemas urbanos e rurais (PISSARRA et al., 2010). Atribuindo-lhe valor econômico, o conceito traz à tona a grande responsabilidade da sociedade no que diz respeito à preservação e conservação desse local.

Esta abordagem teve como objetivo aplicar o modelo EUPS na bacia hidrográfica do Córrego Rico para determinar a perda média anual do solo na região.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. Equação Universal de Perda de Solo (EUPS)

A equação universal de perda de solo (EUPS) foi aplicada na bacia hidrografia do córrego Rico de acordo com os trabalhos desenvolvidos por Wischmeier e Smith (1978), conforme Equação 1.

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

#### 2.1.1. Perda média anual do solo – A

$\underline{A}$  é a perda de solo calculada por unidade de área, expressa nas unidades selecionadas para os fatores K e R. Na prática, estes são geralmente escolhidos de modo que o  $\underline{A}$  seja calculado em toneladas/hectare/ano, mas outras unidades podem ser selecionadas (WISHMEIR e SMITH, 1978).

#### 2.1.2. Fator Erosividade – R

O fator erosividade é a capacidade potencial das chuvas em causar o desprendimento do solo. Hudson (1965) em condições de análise realizada nas regiões tropicais da África, verificou maior correlação das perdas de solo com o índice de erosividade –  $Ke > 25$  (energia cinética total das chuvas com intensidade > que 25 mm/h).

Este fator depende da intensidade da precipitação sendo considerado o número de unidades de índice de erosão hídrica, mais um fator para o escoamento da água aplicada, quando tal escoamento é significativo (WISHMEIR e SMITH, 1978).

O fator erosividade inicia-se na desagregação, ou seja, a destruição dos agregados que compõem a estrutura do solo causada pelo impacto direto das gotas de chuva na superfície descoberta do solo, dada sua energia cinética, que promove a anulação das forças que mantinham os agregados estáveis. Assim, os diferentes constituintes dos agregados ficam dispersos e, por apresentarem pequena massa, são passíveis de remoção (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1990).

A capacidade das chuvas em provocar erosão é dependente de suas características físicas como intensidade, tamanho e velocidade terminal das gotas. Estas características definem a energia cinética no momento do impacto contra o solo. Outras características temporais como duração e frequência são também importantes na definição do potencial erosivo das chuvas de uma região (WISCHMEIER e SMITH, 1978).

O conhecimento das características físicas da chuva e sua relação com o potencial erosivo foi impulsionado pelos trabalhos de Laws e Parsons (1943) e Best (1950) que estudaram o tamanho e distribuição das gotas de chuva e sua relação com a intensidade das precipitações e com a velocidade de impacto na superfície. Concluíram que as precipitações de maior intensidade também são as de maior potencial em provocar erosão. À associação da energia cinética total de uma chuva multiplicada pela intensidade máxima em 30 minutos denominaram índice de erosividade ( $EI_{30}$ ). Essa foi a melhor correlação encontrada para expressar o potencial erosivo das chuvas e chamaram-na de índice de erosão.

A metodologia proposta por Wischmeier (1959) para estimativa da capacidade erosiva das chuvas requer a utilização de registros pluviográficos. Através da leitura dos pluviogramas é possível a determinação da energia cinética e a intensidade máxima de precipitação em 30 minutos.

Existem marcantes diferenças regionais no que se refere à erosividade das chuvas. Os meses do ano nos quais se concentram os mais altos índices coincidem, normalmente, com os de chuvas de mais alta intensidade. No entanto, a correlação entre precipitação total e índice de erosividade das chuvas é baixa (HUDSON, 1977).

Por outro lado, a escassez de registros pluviográficos tem levado ao desenvolvimento de equações que correlacionam os índices de erosividade com a precipitação total, mensal ou a precipitação erosiva diária.

Vários pesquisadores encontraram índices ou equações que permitiram avaliações confiáveis da capacidade erosiva das chuvas utilizando registros pluviométricos.

Mazurana et al. (2009) determinaram a erosividade, padrões hidrológicos, período de retorno e probabilidade de ocorrência das chuvas erosivas de Santa Rosa, RS, com base no período de 1975 a 2003. O período de outubro a março

concentrou 60% da erosividade anual. O maior pico no potencial erosivo ocorreu em fevereiro ( $1.345 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ), enquanto julho e agosto foram os meses com menor potencial erosivo ( $525 - 550 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ).

No município de Cuiabá, MT foi realizado um estudo de uma série de 889 chuvas individuais (são aquelas separadas por mais de seis horas) consideradas erosivas (as chuvas menores que que 10 mm com intensidade máxima menor que  $24 \text{ mm/h}$ , em 15 minutos, são consideradas não erosivas), nos períodos de 1972 a 1975, 1977 a 1985 e 1995 a 1999. Para o município, o fator R determinado foi de  $8.810 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , classificado como alto, com probabilidade de ocorrência de 42,92%, sendo igualado ou superado pelo menos uma vez a cada 2,33 ano. A erosividade das chuvas no período de outubro a abril corresponde a 87% do total da erosividade anual, indicando ser o período de maior probabilidade de erosão (ALMEIDA et al., 2011 e DE MARÍA, 1994).

Bonilla e Vidal (2011) estudaram a erosividade das chuvas na maior parte das áreas cultivadas no Chile. Foram utilizados mais de 270 anos de dados e 5.400 tempestades analisadas. Os valores de R na faixa da área de estudo a partir de  $90 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , no norte até  $7.375 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  na zona sul, no sopé da Cordilheira dos Andes.

Para a região da bacia hidrográfica do rio Uberaba, a erosividade das chuvas foi calculada utilizando-se dos índices  $EI_{30}$  e  $KE > 25$  e estimada a equação que calcule a erosividade por meio de parâmetros pluviométricos mediante dados mensais de precipitação. Foram estudadas 703 chuvas no período de (Janeiro/1999 a Dezembro/2005), das quais apenas 311 foram consideradas erosivas, correspondendo a 44,23% da precipitação ocorrida no período. O valor obtido para o fator R (erosividade) foi de  $7846,54 \text{ MJ mm (ha h ano)}^{-1}$ . O período de plantio de grãos e estabelecimento das culturas, na bacia do rio Uberaba, ocorre preferencialmente entre os meses de outubro a dezembro, período este onde o potencial da chuva em causar erosão (erosividade) apresenta maior risco. Durante o período de junho a agosto, a erosividade não sofre acréscimos consideráveis, devido à baixa pluviometria na região (VALLE JUNIOR et al., 2012).

Machado et al. (2013) determinaram a erosividade média para o Estado do Rio de Janeiro e concluíram que as localidades que apresentam maior erosividade

associada aos períodos de retorno estão situadas nas mesorregiões Metropolitanas e em partes das mesorregiões Sul e Centro Fluminense.

### 2.1.3. Fator Erodibilidade – K

O fator de erodibilidade do solo, é a taxa de perda por erosão, de um solo específico, medido em terreno por unidade, definido com o comprimento de 72,6 pés (21,78m) com 9% de inclinação (WISHMEIR e SMITH, 1978). É a capacidade potencial do solo em ser desagregado.

Macedo et al. (2010) estimaram as perdas de solo e o fator K de diferentes solos do estado do Amazonas por meio de métodos indiretos (MI) e determinaram o K e as perdas de solo de um Cambissolo Háplico na Província Petrolífera de Urucu (PPU) por meio de método direto (MD). À exceção dos Gleissolos (Manaus e Urucu), em geral o modelo I estimou os menores valores de K, enquanto o modelo II estimou maiores valores em relação ao modelo I. Os Neossolos 425,98 e 436,86 t (ha ano)<sup>-1</sup> e os Cambissolos de Urucu 251,30 e 405,19 t (ha ano)<sup>-1</sup> obtiveram as maiores estimativas de perdas de solo, enquanto as menores perdas foram verificadas nos FX, LA, E e TPI. Os valores de K (método direto) variaram de 0,10 t h (MJ mm)<sup>-1</sup> (outubro) a 8,41 t h (MJ mm)<sup>-1</sup> (setembro), sendo esses valores muito acima dos estimados pelos métodos indiretos.

Martins et al. (2011) determinaram a erodibilidade, para as principais classes de solos da região dos Tabuleiros Costeiros, em Aracruz (ES). O experimento foi instalado nos seguintes solos: Argissolo Amarelo textura média/argilosa (PA1), Plintossolo Háplico (FX) e Argissolo Amarelo moderadamente rochoso (PA2). Para o cálculo da erodibilidade, foram utilizados dados de erosividade e de perdas de solo de novembro de 1997 a maio de 2004. As coletas de perdas de solo foram realizadas para cada evento de chuva considerada erosiva. Os valores de erodibilidade foram 0,007 Mg h MJ<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>; 0,017 Mg h MJ<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>; e 0,0004 Mg h MJ<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>, para PA1, FX e PA2, respectivamente.

A erodibilidade do solo (K), sob chuva natural e simulada, foi determinada em um argissolo vermelho-amarelo em Seropédica (RJ). No estudo com chuva simulada, as perdas de solo foram avaliadas no período de setembro a dezembro de 2011. A erodibilidade do solo sob chuva natural, para 5 anos de estudo é de 0,0090

Mg ha h ha<sup>-1</sup> MJ<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>. Para chuva simulada, esse valor é de 0,00021 Mg ha h ha<sup>-1</sup> MJ<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup> (EDUARDO, 2012).

Eduardo et al. (2013) determinaram a erodibilidade (fator K) e os fatores manejo e cobertura (fator C) e práticas conservacionistas de suporte (fator P) da Equação Universal da Perda de Solo (USLE), em um Argissolo Vermelho-Amarelo. Foram avaliadas as perdas de solo (PS) ocorridas em parcelas-padrão no período de 2006 a 2011, com seus respectivos índices de erosividade (EI<sub>30</sub>). Valores de erodibilidade foram calculados pelo quociente entre PS e EI<sub>30</sub> das chuvas anuais (Ka) e total no período (Kt) e pelo coeficiente angular gerado pela análise de regressão linear entre esses mesmos parâmetros (Kci e Kct). Os valores de Kt e Kct obtidos foram de 0,0090 e 0,0106 Mg ha h ha<sup>-1</sup> MJ<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>, respectivamente. Os valores médios calculados para os fatores C e P são de 0,0070 Mg ha Mg<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup> e de 0,45, respectivamente, indicando redução de 55 % na perda de solo do MN, em relação ao MMA. Os valores dos fatores K, C e P encontrados podem ser usados como primeira aproximação para estudos de manejo e conservação do solo e da água na região.

Embora haja uma série de fatores de erosão, Manyiwa e Dikinya (2013) utilizaram o fator erodibilidade (K) para avaliar a perda de erosão na vila Tshesebe, nordeste de Botswana (África). A erodibilidade média do solo foi de 0,031 e (t ha h ha<sup>-1</sup> MJ<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>) para área erodida e não erodida, respectivamente. Os resultados também mostraram que o fator K de forma significativa (P<0,05) correlaciona-se com a textura do solo e da matéria orgânica, devido ao seu forte efeito vinculativo sobre a estabilidade de agregados e infiltração de água resistente ao desprendimento das partículas, portanto, reforçada.

#### **2.1.4. Fator Comprimento de Rampa – L**

O fator comprimento de rampa é a razão da perda de solo a partir do comprimento de declive no campo à partir de um comprimento de 72,6 pés (WISHMEIR e SMITH, 1978).

Valeriano (2002) apresentou procedimentos para a geração de imagens de comprimento de rampa em microbacias por Sistemas de Informação Geográfica (SIG). Os métodos de geoprocessamento foram avaliados com análises de regressão entre os resultados digitais e um conjunto de dados cartográficos medidos



manualmente numa grade regular de 200 m de espaçamento, sobre toda a área da microbacia do córrego São Joaquim (Pirassununga, Estado de São Paulo). A função de análise de custos anisotrópicos do SIG foi adaptada para modelar o comprimento de rampa, explorando-se a semelhança dos conceitos e a analogia entre seus elementos e feições topográficas. Os passos de extração desses elementos do Modelo Digital de Elevação (DEM), divisores, direção de rampa, força de rampa e distância unitária, assim como todos os procedimentos desenvolvidos, foram programados em um arquivo de linguagem específica do SIG usado. A ocorrência de erros nas determinações de comprimento de rampa prevaleceu em áreas de relevo acidentado com declividades altas e rampas curtas, o que indica a necessidade de se estabelecerem procedimentos mais sofisticados de ajuste para os resultados de SIG.

Efeitos específicos da topografia sobre a erosão do solo são estimados por meio do fator LS como o comprimento de rampa fator L e fator declividade S. Novos procedimentos, com base em sistemas de informações geográficas (SIG), têm sido desenvolvidos para estimar o comprimento do declive ( $\lambda$ ) em bacias hidrográficas. Comprimento de declive ( $\lambda$ ) é definido como a distância entre o ponto de origem de escoamento superficial para o ponto onde tanto o gradiente de inclinação diminui o suficiente para que a deposição começa, ou o escoamento de água entra no canal bem definido. Rodríguez e Suárez (2010) compararam duas metodologias baseadas em GIS, Hickey e Sextante, para obtenção do valor de comprimento de rampa ( $\lambda$ ). Ambas as metodologias apresentaram um comprimento de declive válido ( $\lambda$ ) a interpretação de conceitos; no entanto, o método de Hickey foi feito especificamente para o cálculo do comprimento de declive, uma vez que incorpora um ângulo de inclinação variável de corte que melhora a detecção do início e no final de cada comprimento de declive ( $\lambda$ ).

Tendo em vista a dificuldade de obtenção de alguns fatores da equação universal de perda de solo (EUPS), Correa e Pinto (2012) determinaram, de maneira automática, o fator comprimento de declive (L) por meio de geotecnologias, utilizando o algoritmo proposto por Desmet e Govers (1996). Primeiramente estruturou-se o banco de dados cartográficos a partir da digitalização e vetorização da base cartográfica disponível, obtendo posteriormente o modelo numérico do terreno (MNT). A partir do MNT e com base no algoritmo proposto, foi obtido o mapa

de comprimento de vertente em ambiente SIG. A aplicação do método para obtenção do fator L apresentou bons resultados na área de estudo, sendo possível identificar as áreas de interflúvios assim como as áreas de concentração de água. A utilização do SIG foi eficiente para a obtenção dos objetivos propostos neste artigo.

#### **2.1.5. Fator Declividade – S**

O fator de declividade é a razão da perda de solo a partir do gradiente de campo com um declive de 9% (WISHMEIR e SMITH, 1978).

Liu et al. (2009) selecionaram um local de estudo retangular de 1,3 km<sup>2</sup> no norte da Alemanha como estudo de caso para explorar os efeitos do algoritmo, resolução horizontal e precisão vertical do DEM, bem como o terreno sobre o fator S. Poucos estudos foram realizados sobre a precisão do fator S para uma paisagem suavemente ondulada em uma escala regional., Resolução horizontal inclui 1 m, 5 m, 10 m, 25 m, 50 m e 100 m. Foram utilizados oito algoritmos: gradiente máximo de inclinação, máximo gradiente de inclinação, diferenças finitas de segunda e terceira ordem, diferenças finitas de terceira ordem ponderada pelo recíproco da distância ao quadrado, diferença finita de terceira ordem ponderada pelo inverso da distância, enquadrar diferenças finitas e simples diferença. Os resultados são os seguintes: (1) os algoritmos afetaram a precisão do fator S, a qualquer resolução de DEM, em particular, mais óbvia para as resoluções mais baixas, (2) a precisão do fator S diminui à medida que diminui a resolução horizontal; (3) o algoritmo mais adequado foi o gradiente máximo de inclinação para 1 m, e inclinação máxima para 5 m e 100 m de resolução, (4) a precisão vertical também afeta a precisão do fator S. No entanto, a precisão vertical, quase não muda a ordem de classificação do fator S, com oito algoritmos diferentes em qualquer resolução de DEM; (5) quanto mais complexo o terreno é, pior é a representatividade de precisão do fator S. Entre todos os fatores efetivos, a resolução horizontal é o mais importante para a precisão do fator S. Selecionando o algoritmo mais adequado é a melhor maneira para reduzir os erros do fator S ao aplicar a EUPS.

Silva et al. (2011) apresentam uma metodologia para analisar a expansão urbana na cidade de Niterói, no período de 1988 a 2009 e descobrir a existência de áreas urbanas, onde as classes de declive não é recomendado para a construção.

Assim, este trabalho utilizou o conceito de fator de risco e a inclinação usada como tal. A metodologia consistiu em atividades de processamento de imagens, geração de modelo digital do terreno, extração de classes de declive e análise espacial. Como resultado, observou-se que as áreas urbanas de Niterói estão em áreas recomendadas para a construção, mas há áreas onde a expansão urbana recente foi mais acentuada do que o permitido. Este fato leva a uma necessidade de monitoramento para os domínios não mais densos.

Moreira e Valeriano (2013) caracterizaram e avaliaram a relação e adequação do uso da terra/cobertura diferente em relação às classes de declividade definidas de acordo com a capacidade de uso do solo. O uso da terra/cobertura e os mapas de declividade foram sobrepostos em um sistema de informação geográfica e sua relação foi quantificada e analisada por meio de estatística. Observou-se que a cada uso da terra/cobertura concentra-se em várias categorias de inclinação. Foram discutidos alguns fatos interessantes sobre a abordagem metodológica e da relação entre as classes de uso da terra/cobertura e inclinação.

Francisco et al. (2013) apresentaram uma metodologia para avaliação e classificação das terras, visando à utilização de máquinas e implementos agrícolas em operações de preparo do solo, no Estado da Paraíba. Os dados foram obtidos do Levantamento Exploratório-Reconhecimento de Solos e de dados altimétricos orbitais (SRTM). Foram interpretados os atributos diagnósticos relativos à textura, profundidade efetiva, pedregosidade e drenagem, classificados segundo o grau de impedimento à mecanização: nulo, ligeiro, moderado, forte, muito forte. A declividade foi gerada no SPRING, a partir dos dados altimétricos da SRTM. No LEGAL foi cruzado o mapa da interpretação parcial, dos fatores intrínsecos dos solos, com o mapa de declividade, resultando no mapa de classes e subclasses de terras para mecanização agrícola. Os resultados mostram que com o método de classificação proposto, 82% das terras do Estado apresentam grau forte a muito forte de impedimento à mecanização; estas estão em regiões de clima semiárido e têm a profundidade efetiva e a pedregosidade, como principais fatores limitantes à mecanização.

Schirmer e Trentin (2013) apresentaram um estudo sobre a relação com o gradiente de uso da terra nos municípios de Dona Francisca, Faxinal do Soturno e Nova Palma – RS. A metodologia baseia-se nas contribuições da ciência geográfica,

como ferramenta utilizou-se o GIS (Sistemas de Informação Geográfica) para a classificação do uso do solo, a geração do mapa de declividade e o cruzamento dos mapas. Verificou-se que as atividades são os usos mais intensos em áreas de baixa declividade (menos de 5% a 15%), uma vez que com o aumento da inclinação reduz o uso e, conseqüentemente, aumenta significativamente a área de vegetação, principalmente em encostas íngremes.

#### **2.1.6. Fator Cobertura Vegetal e Manejo do Solo – C**

O fator cobertura vegetal e manejo do solo é a razão da perda de solo à partir de uma área de cobertura em pousio ou cultivada (WISHMEIR e SMITH, 1978).

Gardiman Junior et al. (2012) estimaram a perda de solo em Áreas de Preservação Permanente (APP) de uma microbacia hidrográfica, localizada no distrito de Rive, município de Alegre, ES em dois cenários. Para tanto, foi elaborada uma base de dados para determinação dos fatores antrópicos (C e P) para os dois cenários, no primeiro com uso real do solo e sem práticas conservacionistas, no segundo considerando as APPs reflorestadas com práticas conservacionistas. Associados à um Sistema de Informação Geográfica (SIG), estes permitiram a obtenção de mapas temáticos e informações sobre perda de solo de APPs de nascente, declividade, topo de morro e de curso d'água. Para o cenário 1 e 2, as classes de APPs que apresentaram maiores perdas de solo foram APP's de nascentes e de topo de morro com 52,070 e 48,973 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> para o cenário 1 e 0,082 e 0,070 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> no cenário 2, respectivamente. De acordo com os resultados obtidos, 99,85% da perda de solo seria reduzida com a adoção de práticas de manejo e mudança no uso e cobertura do solo, justificando, assim a preservação dessas áreas.

#### **2.1.7. Fator Práticas Conservacionistas – P**

O fator práticas conservacionistas é a relação entre a perda de solo com uma prática de apoio como o cultivo em faixas ou terraços (WISHMEIR e SMITH, 1978).

Gabriels et al. (2003) calcularam os fatores C cobertura vegetal e manejo do solo com base nos estágios de crescimento das culturas para os principais sistemas

de rotação de culturas em explorações agrícolas na Bélgica, com especial referência aos que ocorrem em 40 fazendas em solos francos. Os diferentes sistemas de rotação foram compostos das seguintes culturas: beterraba (SB), trigo de inverno (WW), batata (PO), de milho (M), feijão (B), cevada de inverno (BM), ervilhas (PE), chicória (CH), alho-poró (L), cenoura (CA), aipo-rábano (CE), azevém (RG) e no campo temporal (TG). Para a maioria dos sistemas de rotação os fatores C foram entre 0,28 e 0,38. Valores altos de fator C foram obtidos com M/M/M/PO (C = 0,47), e com CE/L/PO (C = 0,51). Valores pequenos (C = 0,24-0,27) foram encontrados nos cereais de inverno (WW e BM) colocados no esquema de rotação. O fator C também foi afetado pela posição da cultura no esquema de rotação. Os fatores C obtidos indicaram que a aplicação de alguns sistemas de rotação pode causar mais erosão pelo escoamento. Portanto, estes factores C calculados podem ser utilizados como um critério para seleccionar um sistema de rotação adequado para reduzir o risco de erosão no local.

Sarcinelli et al. (2009), avaliaram a viabilidade econômica de um projeto privado de mitigação de impactos agroambientais. Estudaram-se o custo e benefícios econômicos da implantação e manutenção de práticas e medidas para conservação do solo em diferentes sistemas agropecuários estabelecidos na microbacia hidrográfica do córrego Oriçanguinha. As medidas e práticas de conservação do solo estudadas foram a construção e manutenção de terraços nas áreas de cultivo, o plantio direto na produção de milho, a manutenção de cordões de mato nas áreas de culturas perenes pela roçada mecanizada do mato. Identificou-se que as maiores taxas anuais de perda de solo estão nas áreas ocupadas pelo sistema de cana-de-açúcar e pelo sistema de cultivo do milho. A perda de solo para toda a microbacia hidrográfica do córrego Oriçanguinha foi estimada em 20.273,08 Mg.ano<sup>-1</sup>, o que representa uma perda média de solo por hectare, ponderada pelo tamanho das áreas, estimada em 8,3 Mg.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>. Foram analisados dois cenários distintos para um projeto privado de mitigação da perda de solo nos sistemas agropecuários estudados. O primeiro cenário internaliza na contabilidade financeira o custo de reposição de nutrientes para a manutenção da fertilidade do solo. O segundo cenário internaliza na contabilidade financeira os custos de implantação e manutenção das práticas e medidas relacionadas à conservação do solo, assim como os benefícios econômicos decorrentes da adoção destas práticas e medidas.

O que se conclui neste trabalho é que a falta de uma política de incentivos econômicos à adoção de medidas para mitigação de impactos agroambientais torna muito difícil a reversão do quadro atual de degradação dos recursos naturais no meio rural., A elaboração desta política está diretamente relacionada à manutenção e até mesmo à ampliação da eficiência produtiva da agricultura no longo prazo.

Arnhold et al. (2013) pesquisaram como a agricultura convencional e orgânica influencia a taxa de erosão do solo, devido a culturas cultivadas em áreas montanhosas, na presença ou ausência de produtos químicos agrícolas. Foram medidos vários parâmetros da vegetação de culturas e plantas daninhas de fazendas convencionais e orgânicas cultivadas com feijão, batata, rabanete, repolho e em uma bacia hidrográfica montanhosa na Coréia do Sul. Foram simuladas taxas de erosão do solo em longo prazo com a RUSLE (*Revised Universal Soil Loss Equation* – Equação Universal de Perda de Solo Revisada), utilizando 13 anos de dados de precipitação registrados, para explicar a variabilidade temporal das chuvas de monções. Taxas de erosão média anual foram determinadas para a área de estudo entre  $30,6 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  e  $54,8 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , com valores máximos quando o rabanete foi cultivado, devido ao período de crescimento mais curto, maior perturbação do solo na colheita, e pequenas quantidades de resíduos. A agricultura orgânica reduziu as perdas de solo com a cultura do rabanete em 18%, como resultado de uma alta densidade de biomassa de plantas daninhas e cobertura no final da estação de crescimento. Os resultados demonstram que a agricultura orgânica pode, potencialmente, diminuir o risco de erosão do solo para as culturas de linhas porque apoia o desenvolvimento de ervas daninhas nos sulcos. Ambos os sistemas de produção exigem medidas de conservação adicionais, tais como plantas de cobertura para prevenir a perda de solo suficientemente para a linha de cultivo.

## **2.2. Bacia Hidrográfica do Córrego Rico**

Pissarra et al (2004) avaliaram as características morfométricas do padrão de drenagem e do relevo em microbacias hidrográficas de 2ª ordem de magnitude, em Latossolo Vermelho-Escuro e Argissolo Vermelho-Amarelo, com vistas ao planejamento agroambiental da bacia hidrográfica do Córrego Rico, município de Jaboticabal, SP. As classes de risco de degradação, resultando no uso potencial do

solo, foram determinadas de acordo com o coeficiente de rugosidade. As características do padrão de drenagem e do relevo repercutiram no comportamento hidrológico e litológico das microbacias hidrográficas, possibilitando a diferenciação entre as unidades de solos. A densidade de drenagem e a amplitude altimétrica foram as características que mais contribuíram para o poder discriminatório na relação solo-superfície. Na análise conjunta do potencial de uso do solo, verificou-se, principalmente, adequação para agricultura nos Latossolos e pecuária e, ou, reflorestamento nos Argissolos.

### **2.3. Manejo do Solo Visando a Conservação da Natureza**

Na unidade territorial de bacias hidrográficas é necessário aplicar práticas de manejo conservacionistas na implantação do sistema produtivo, visando a conservação da natureza em seus recursos naturais.

O processo erosivo ocorre naturalmente na superfície terrestre, modificando a paisagem ao longo dos anos. No desenvolvimento da sociedade ocorre a necessidade de obter, a partir dos recursos naturais, bens para a sobrevivência. Entretanto, neste desenvolvimento social ocorrem as atividades no meio de maneira acelerada, tornando as ações antrópicas insustentáveis.

Assim, se faz necessários estudos que visem localizar o processo erosivo mais intenso causado pelas atividades antrópicas. E, a partir dos resultados propor práticas de manejo mais conservacionistas.

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1. Base Cartográfica**

Os dados do projeto TOPODATA (2012) foram utilizados como base cartográfica (Anexo I), que oferece o MDE e suas derivações elaborados a partir dos dados SRTM disponibilizados pelo USGS na rede mundial de computadores.

#### **3.2. Programas informatizados utilizados**

##### **3.2.1. *Google Earth***

O programa de computador *Google Earth* tem a função de apresentar um modelo tridimensional do globo terrestre, construído a partir de mosaico de imagens de satélite, aéreas (fotografadas de aeronaves) e GIS 3D (*Geographic Information System-3D*). Desta forma, o programa pode ser usado como um gerador de mapas bidimensionais e imagens de satélite ou como um simulador das paisagens (WIKIPEDIA, 2014b).

##### **3.2.2. *Earth Point***

O programa *Earth Point* foi utilizado para calcular a área dos polígonos vetorizados no programa SIG *Google Earth*. Este programa é mantido pelo OGC (*Open Geospatial Consortium*) (WIKIPEDIA, 2014b).

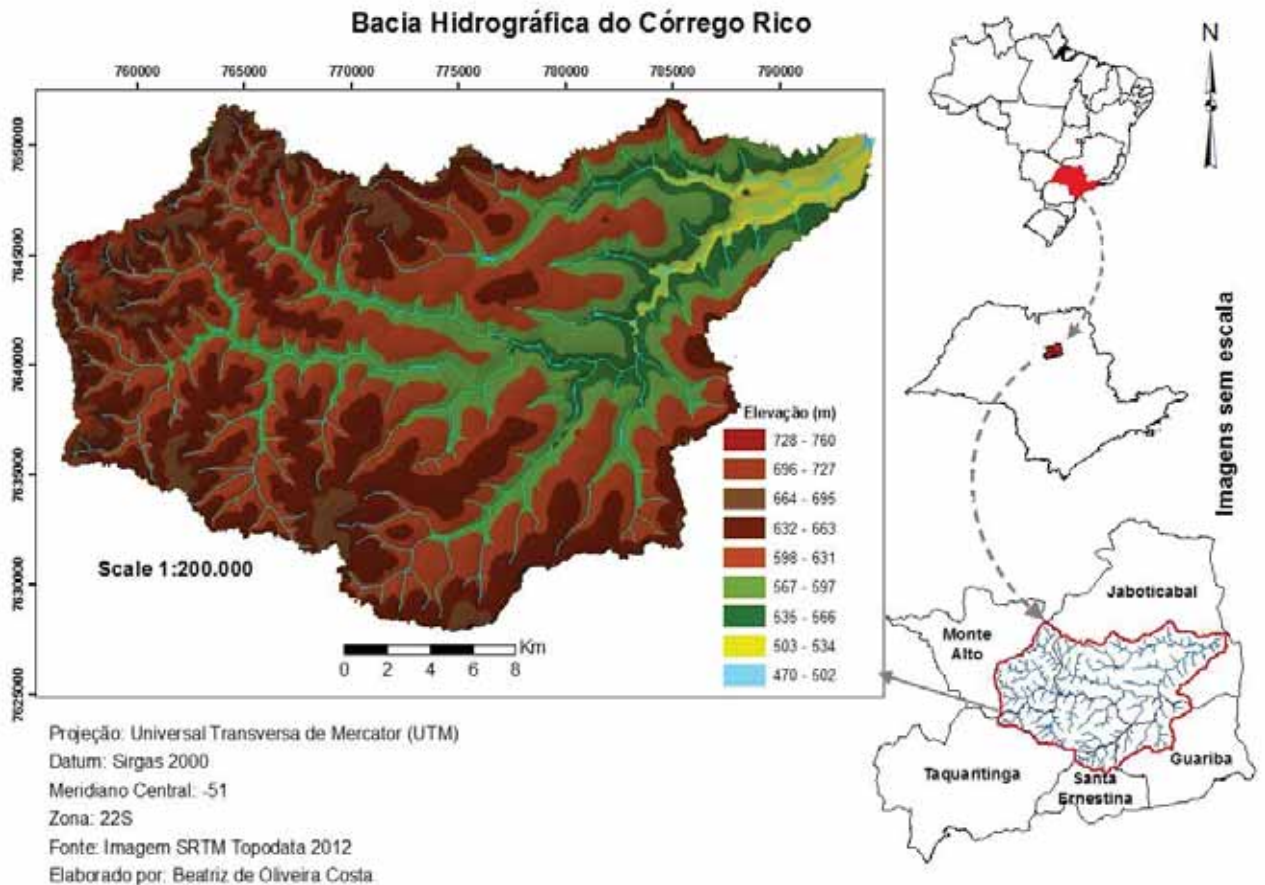
##### **3.2.3. ArcGIS**

A plataforma do ArcGis baseia-se na estrutura de três aplicativos: ArcCatalog, ArcMap e ArcToolbox. A utilização destes três permite desempenhar tarefas simples ou complexas, com gestão de dados geográficos, cartografia, análise espacial, edição avançada de dados ou ligação à base de dados externos. A versão utilizada para este estudo foi o ArcGIS 10 (WIKIPEDIA, 2014a).



### 3.3. Área de Estudo

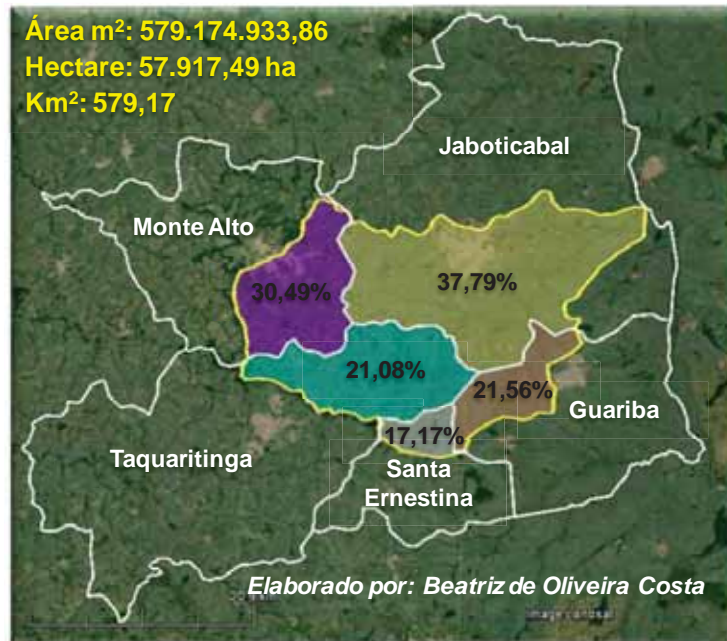
O estudo foi realizado na extensão territorial da bacia hidrográfica do Córrego Rico (BHCR) localizada no nordeste do Estado de São Paulo (Figura 1), região administrativa de Ribeirão Preto.



**Figura 1.** Localização da bacia hidrográfica do Córrego Rico, SP demonstrada no TIN *Triangulated Irregular Network* (Rede Irregular Triangulada).

A bacia está vinculada ao Comitê de Bacias do Rio Mogi-Guaçu, segundo a Divisão Hidrográfica do Estado de São Paulo (SÃO PAULO, 1994), nas coordenadas, latitudes 21°10' S e 21°28' S – longitude 48°10' W e 48°35' W, Sistema Geodésico Sul-Americano de 1969 (SAD 69), com extensão de aproximadamente 579,00 km<sup>2</sup>, entre altitudes de 470 a 760 m (Altitude / TOPODATA, 2012).

A área abrange parte dos municípios de Jaboticabal (37,79%), Monte Alto (30,49%), Taquaritinga (21,08%), Santa Ernestina (17,17%) e Guariba (21,56%) (Figura 2).

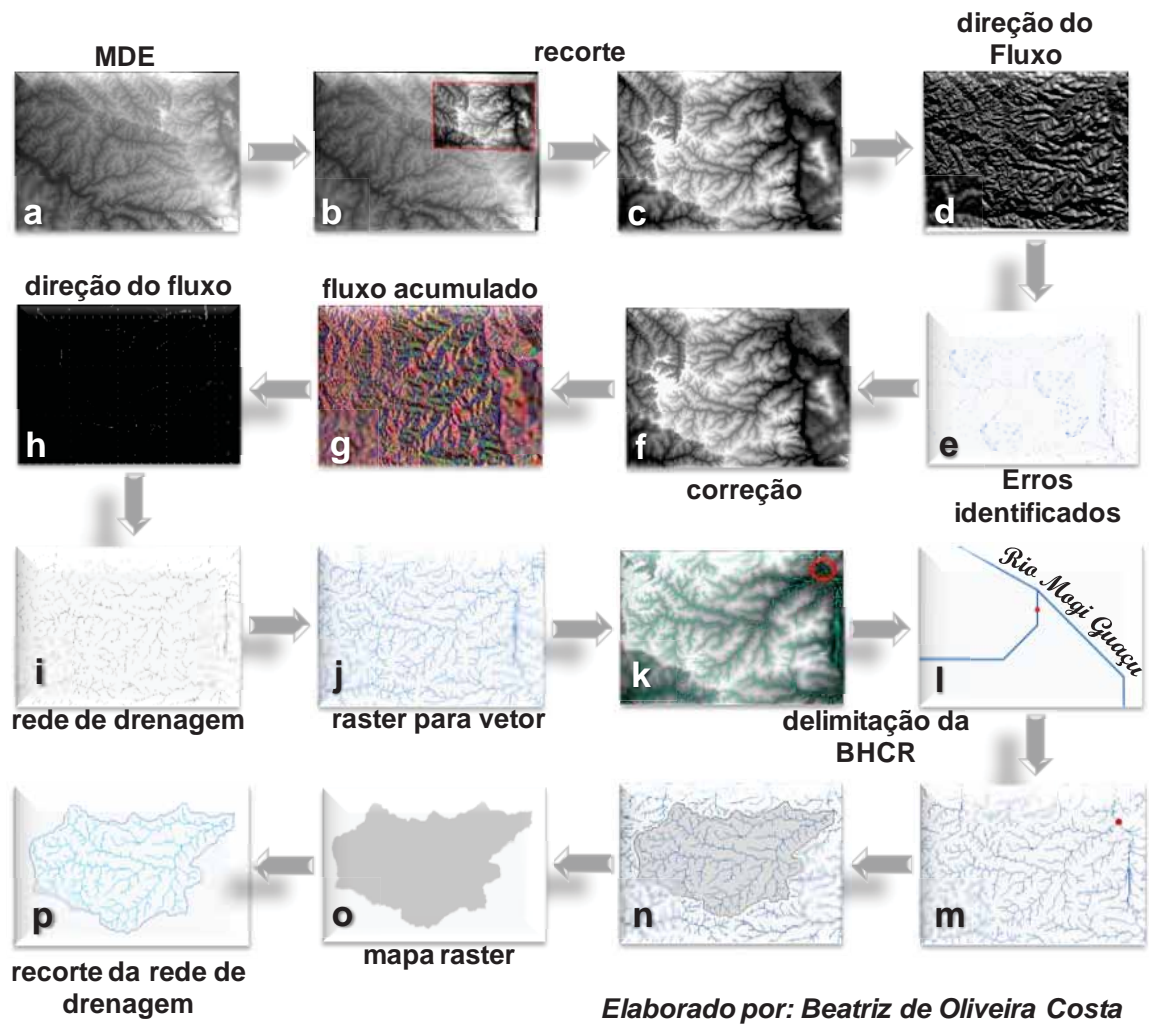


**Figura 2.** Municípios integrantes da BHCR, SP. Imagem do *Google Earth*.

### 3.4. Extração da rede de drenagem da bacia hidrográfica do Córrego Rico

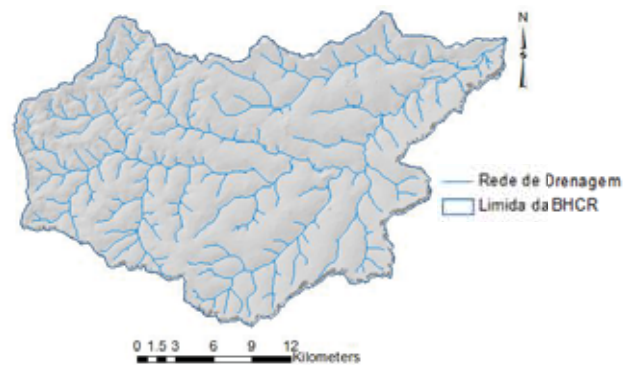
A extração da rede de drenagem foi realizada no ArcMAP, na imagem DEMproj (Anexo II) com o recorte da área de interesse (Figura 3, a, b, c). Após processamento foi gerado um *raster* contendo a direção do fluxo de cada célula (Figura 3, d). As depressões, as áreas de drenagem interna vazia e os erros foram identificados (Figura 3, e). Para correção dos erros, foi utilizada a ferramenta *Fill* para remover estas imperfeições (Figura 3, f).

Posteriormente criou-se o fluxo acumulado que demonstra a direção do fluxo em cada célula que contém uma altitude, (Figura 3, g, h). Para elaborar o mapa da rede de drenagem (*raster*) foi utilizada a referência do valor de 500, que mais se aproximou da rede de drenagem vetorizada no *Google Earth* na área de trabalho (Figura 3, i). A rede de drenagem foi transformada de *raster* para o vetor (Figura 3, j). Com um ponto próximo a foz da rede de drenagem no rio Mogi-Guaçu foi delimitada a bacia automaticamente a partir do DEM (Figura 3, k, l, m, n). Após a delimitação do divisor de águas foi elaborado o mapa *raster* da bacia (Figura 3, o). E por último, o recorte da rede de drenagem (Figura 3, p). (Anexo II).



**Figura 3.** Extração da rede de drenagem da BHCR, SP.

Resultado final da extração da rede de drenagem e o limite da bacia constam na Figura 4.



**Figura 4.** Rede de drenagem e limite da BHCR, SP.

### 3.5. Equação Universal de Perda de Solo (EUPS)

A EUPS foi aplicada na BHCR para verificar a perda de solo de acordo com os trabalhos desenvolvidos por Wischmeier e Smith (1978), conforme Equação 1.

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

Para a elaboração dos mapas de cada fator da equação foi utilizado técnicas de geoprocessamento e programas de sistemas de informação geográfica.

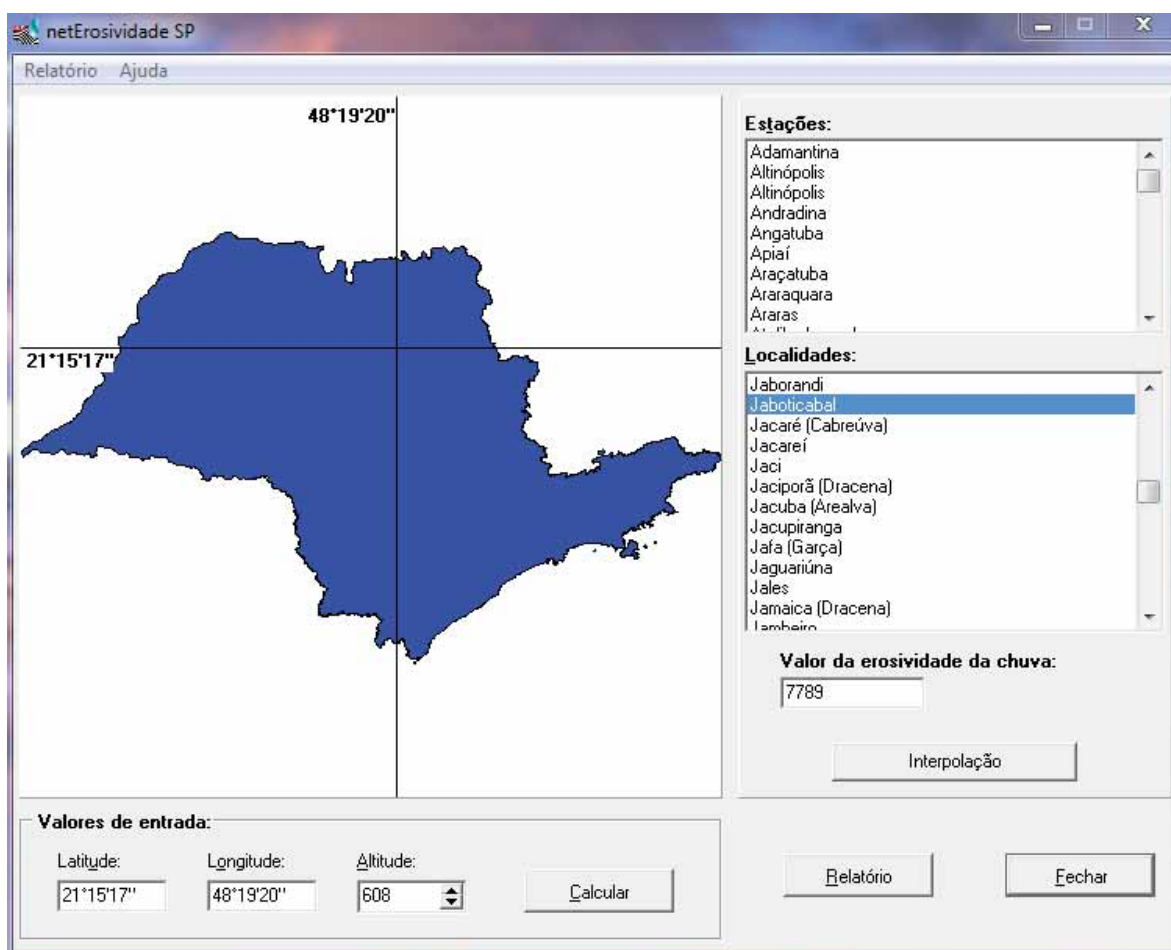
#### 3.5.1. Fator Erosividade – R

O mapa do potencial erosivo (R) foi elaborado a partir dos dados de erosividade do programa netErosividadeSP (MOREIRA et al., 2006), Tabela 1 e Figura 5.

**Tabela 1.** Valores de erosividade para os municípios integrantes da BHCR, SP.

MUNICÍPIO	netErosividadeSP (programa) R (MJ mm h <sup>-1</sup> ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> )	Nota
Guariba	7.549	2
Jaboticabal	7.789	1
Monte Alto	7.984	5
Santa Ernestina	7.952	4
Taquaritinga	7.936	3

*ALT. – altitude*



**Figura 5.** Programa computacional para estimativa da erosividade da chuva no estado de São Paulo.

Considerando os valores da erosividade de cada município, para inserir o mapa da erosividade da bacia para o cálculo da perda de solo no sistema de informação geográfica, em que cada área foi atribuída uma nota que variou de 0 a 10 de modo a diferenciar o grau de importância e correlação com o fenômeno em questão para cada componente, de maneira que quanto maior a nota, maior a susceptibilidade erosiva. Esta metodologia foi adaptada de trabalhos desenvolvidos por Silva (2013) e Saaty (1977). Para o cálculo da perda de solo na EUPS foi adotado para cada área de erosividade uma nota que variou de 0 a 10 (Tabela 1).

### 3.5.2. Fator Erodibilidade – K

O mapa da erodibilidade foi elaborado a partir dos dados dos principais solos da região. Para o cálculo dos valores de erodibilidade de cada solo foi realizada a

média dos trabalhos desenvolvidos por Mannigel (2002), Helm (2008) e Demarchi (2012) (Tabela 2). Para o cálculo da perda de solo na EUPS foi adotado para cada área de erodibilidade uma nota que variou de 0 a 10.

**Tabela 2.** Valores da erodibilidade dos solos da BHCR, SP.

Tipo	Descrição	MANNIGEL (2002)		HELM (2008)	DEMARCHI (2012)	Erodibilidade t.ha.h/ha.MJ.	Nota
		Horiz A	Horiz B				
PVA80	Argilossolo Vermelho-Amarelo	0.04660	0.01000	0.02490	0.03200	0.02838	8
PVA77	Argilossolo Vermelho-Amarelo	0.04660	0.01000	0.02490		0.02038	6
LV1	Latossolo Vermelho	0.00710	0.00520	0.01443	0.01200	0.00968	4
LV18	Latossolo Vermelho	0.00610	0.00380	0.01443		0.00608	2

### 3.5.3. Fator Comprimento de Rampa – L

Para elaborar o mapa do comprimento de rampa foi necessário importar o **DEMproj**, processar o **Flowdirection / Flowaccumulation** (Anexo III).

### 3.5.4. Fator Declividade – S

O mapa da declividade foi elaborado a partir do modelo digital de elevação TOPODATA (2012). A classificação do relevo seguiu os trabalhos desenvolvidos por EMBRAPA (1999), (Tabela 3). Para o cálculo da perda de solo na EUPS foi adotado para cada declividade uma nota que variou de 0 a 10. As etapas para a elaboração do mapa de declividade (S) constam no Anexo III.

**Tabela 3.** Fator declividade e respectivo relevo.

Relevo	Declividade (%)	Nota
Plano	0 – 3 %	1
Suave Ondulado	3,1 – 8 %	2
Ondulado	8,1 – 20 %	4
Forte Ondulado	21 – 45 %	6
Montanhoso	46 – 75 %	8
Escarpado	Acima de 75 %	10

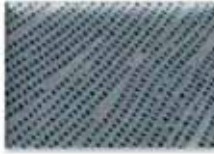








### 3.5.5. Fator Cobertura Vegetal e Manejo do Solo – C

Para a elaboração do Mapa do fator C foi utilizado o mapa do uso e ocupação do solo dos anos de 1984 e 2011.

As classes estabelecidas de uso e ocupação foram: 1) Frutífera; 2) Mata; 3) Água; 4) Solo Exposto; 5) Cidades/Edificações; 6) Pastagem; 7) Pinus/Eucalipto; 8) Outros Usos e 9) Cana.

Estas classes foram estabelecidas de acordo com o uso do solo predominante na área. E para o cálculo da perda de solo na EUPS foi adotado para cada classe uma nota que variou de 0 a 10. Os padrões de interpretação visual da imagem estão estabelecidos na Tabela 4. As etapas para a elaboração do mapa constam no Anexo IV.

**Tabela 4.** Uso e ocupação do solo no ArcGIS e padrão de interpretação no *Google Earth*.

Classes	Uso	Nota	Padrão de interpretação visual
1	Frutíferas	5	
2	Mata	2	
3	Água	1	
4	Solo Exposto	9	
5	Cidades/Edificações	3	
6	Pastagem	4	
7	Pinus/Eucalipto	6	
8	Outros Usos	7	
9	Cana	8	



### 3.5.6. Fator Práticas Conservacionistas – P

O mapa do Fator P foi elaborado a partir dos dados de trabalhos desenvolvidos por Demarchi (2012), Tomaz (2008) e Domingos (2006). E as notas foram estabelecidas a partir da média dos valores obtidos nos trabalhos de referência, conforme Tabela 5. As etapas para a elaboração do mapa constam no Anexo IV.

**Tabela 5.** Classificação supervisionada dos usos do solo e seus respectivos fatores.

Classes	DEMARCHI (2012)	TOMAZ (2008)	DOMINGOS (2005)	Fator P	Nota
1. Frutífera	–	0.50000	–	0.50000	5
2. Mata	1.00000	1.00000	–	0.90000	9
3. Água	–	–	–	1.00000	10
4. Solo Exposto	–	–	0.80000	0.08000	1
5. Cidades / Edificações	–	1.00000	–	0.70000	7
6. Pastagem	1.00000	1.00000	0.30000	0.30000	3
7. Pinus / Eucalipto	–	–	0.50000	0.60000	6
8. Outros Usos	–	–	–	0.40000	4
9. Cana	0.75000	0.50000	–	0.20000	2

## **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1. Equação Universal de Perda de Solo (EUPS)**

A bacia hidrográfica foi utilizada como uma unidade territorial natural da superfície terrestre, na qual foi possível estudar as relações existentes entre os fatores da EUPS. Estas relações são dinâmicas e fornecem a espacialização da perda de solo na bacia hidrográfica. A perda de solo é um processo que ocorre naturalmente na paisagem. Entretanto, com as atividades antrópicas, esta perda de solo é mais intensa, ocorrendo uma modificação na paisagem e um impacto negativo tendo em vista o arraste do material removido da superfície terrestre.

Esta camada perdida desloca-se para outros ambientes como o fundo das redes de drenagem ocasionando, conseqüentemente, a perda da camada fértil do solo e o assoreamento dos rios. A camada fértil é que dá sustentabilidade para as culturas. Assim é necessário compreender a espacialização da perda de solo para recomendar práticas conservacionistas nas áreas de maior perda.

Para o cálculo da equação universal de perda de solo foi necessário realizar a multiplicação dos seguintes mapas:

#### 4.1.1. Fator Erosividade (R)

O mapa da erosividade consta na Figura 6 e a área calculada na Tabela 6.

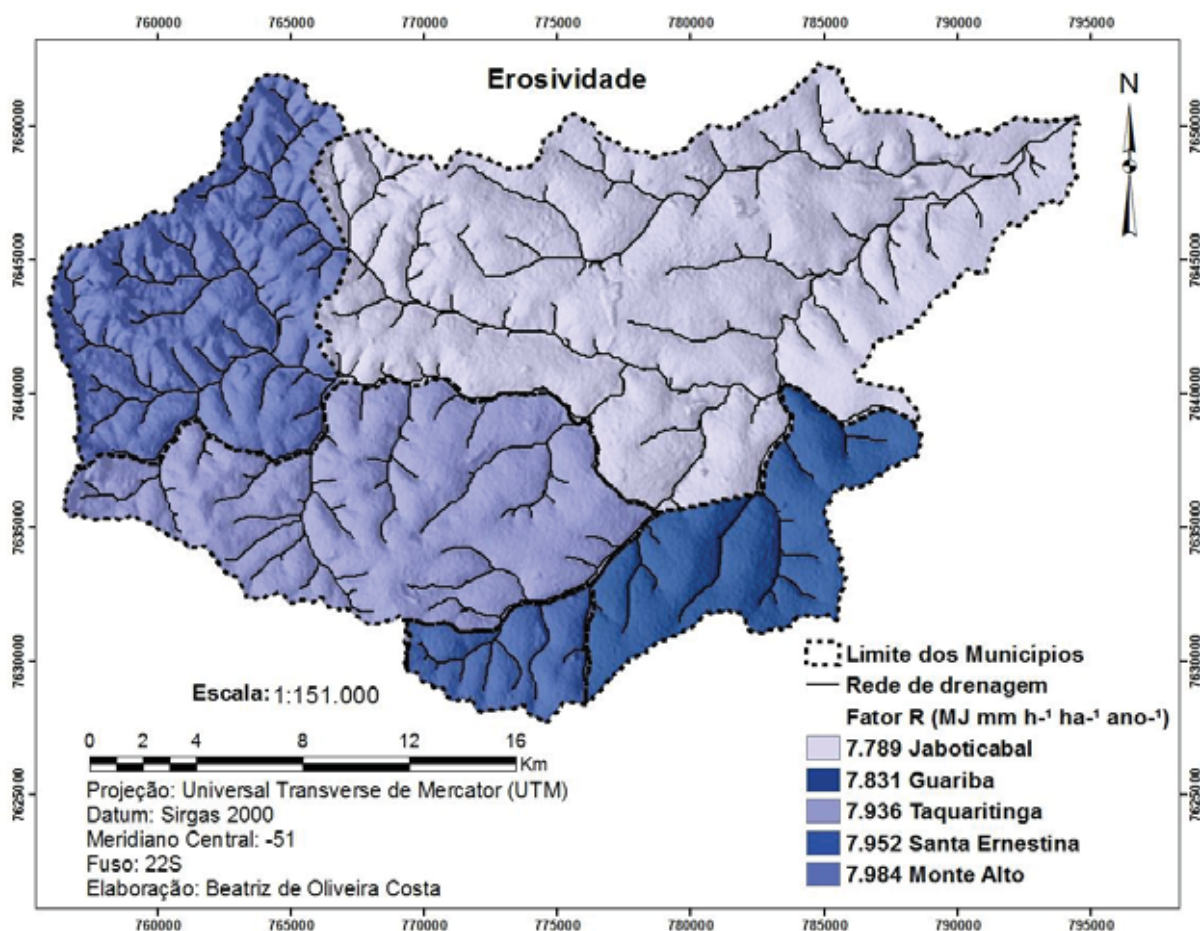


Figura 6. Mapa da erosividade (R) da BHCR, SP.

Tabela 6. Municípios da BHCR e fatores da Erosividade (R).

Municípios	Fator R ( $\text{MJ mm h}^{-1} \text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$ )	Área	
		(ha)	(%)
Guariba	7.831	5.722,20	9,87
Jaboticabal	7.789	26.868,51	46,33
Monte Alto	7.984	10.598,49	18,27
Santa Ernestina	7.952	2.236,68	3,86
Taquaritinga	7.936	12.570,03	21,67
Total		57.995,91	100,00

A erosividade é causada pela precipitação, em sua intensidade, duração e frequência. Os valores de erosividade encontrados na literatura na BHCR apresentam erosividade média, de acordo com a classificação de Bertoni e Lombardi

Neto (1990). O menor valor encontra-se em Guariba ( $7549 \text{ MJ mm h}^{-1} \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ) e o maior em Monte Alto ( $7664 \text{ MJ mm h}^{-1} \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ). A erosividade da chuva é devida aos impactos diretos das gotas de chuva e parte pelo escoamento que a chuva gera (Lombardi Neto, 1977). Observa-se que o produto da massa pela velocidade que gera a erosividade é maior no município de Monte Alto, o qual já tem a natureza de maior desagregação dos agregados do solo tendo em vista que é uma área mais frágil e que contém Argissolos. Como a energia cinética da chuva é um dos principais fatores que inicia a desagregação do solo, denota-se a importância da observação deste trabalho para aplicar práticas conservacionistas na área de Monte Alto.

Como as chuvas mais intensas ocorrem no período de novembro a março a medida da pressão exercida pela chuva sobre o solo é maior, portanto, neste período é que deve ser aplicado as técnicas de conservação do solo. Assim a proporção de gasto da energia de impacto da chuva ocorre no período supra citado e na região de Monte Alto. Enfatizando que segundo Bertoni e Lombardi Neto (1990) o impacto das gotas da chuva em um terreno descoberto e o consequente desprendimento das partículas do solo é a principal causa da erosão provocada pela água. Esta separação se dá pela ruptura dos agregados como pela ação transportadora que o salpicamento provoca nas partículas.

Como este fator indica a desagregação do solo e a capacidade da chuva em provocar erosão, os valores encontrados refletem as diferenças municipais conforme trabalhos de Machado et al. (2013) e Mazurana et al. (2009), Souza et al. (2003) e Candido et al. (2010).

#### 4.1.2. Fator Erodibilidade (K)

O mapa da erodibilidade consta na Figura 7 e área calculada na Tabela 7.

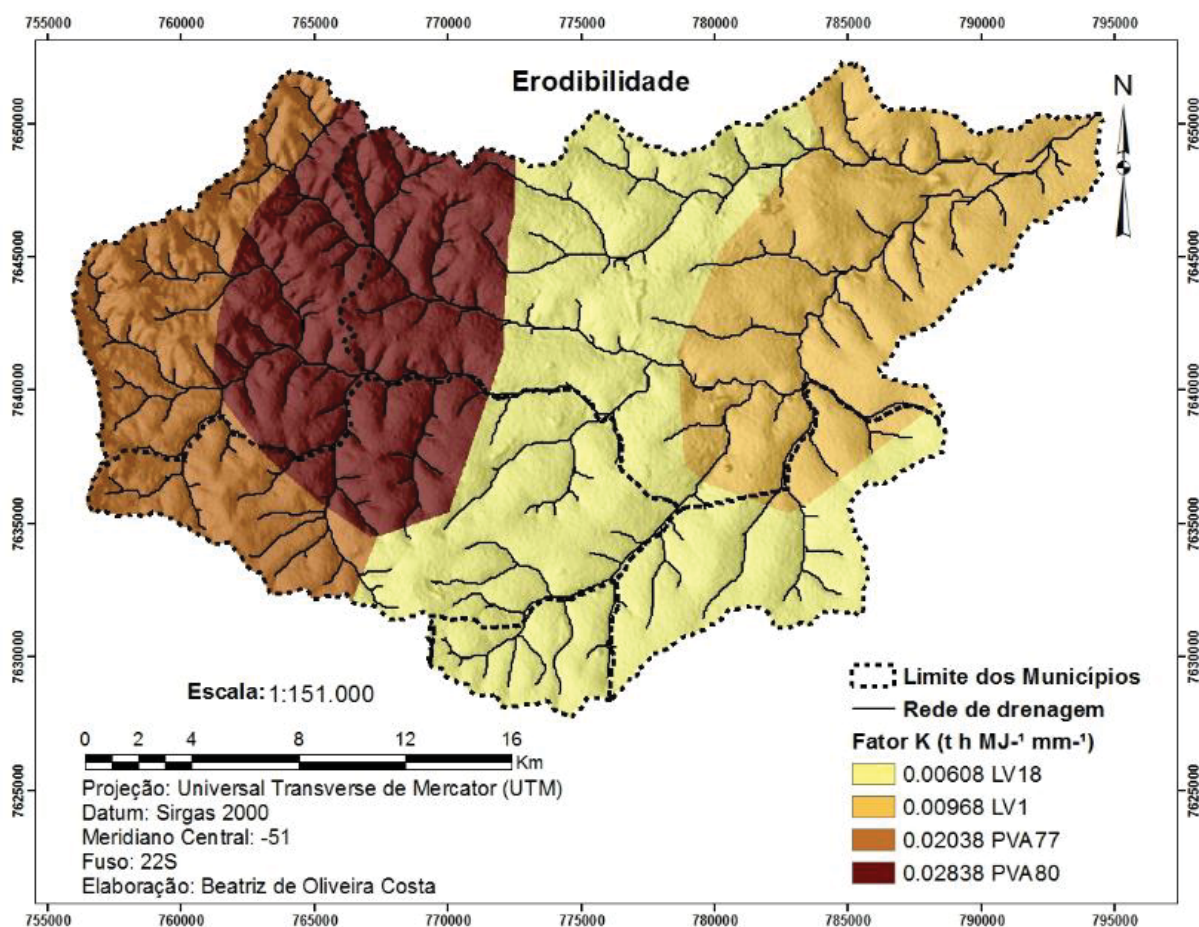


Figura 7. Mapa da erodibilidade (K) da BHCR, SP.

Tabela 7. Tipos de solos e fatores de Erodibilidade (K).

Tipo de Solo	Fator K (t h MJ <sup>-1</sup> mm <sup>-1</sup> )	Área	
		(ha)	(%)
LV18	0,00608	22.162,68	38,21
LV1	0,00968	13.712,58	23,64
PVA77	0,02038	9.119,25	15,72
PVA80	0,02838	13.001,40	22,42
Total		57.995,91	100,00

LV – Latossolo Vermelho; PVA – Argissolo Vermelho-Amarelo

As propriedades texturais e estruturais também influenciam a interação com a chuva (solo-chuva) e, conseqüentemente, sua capacidade de infiltração. Como nos

argissolos a porosidade do solo é maior, ocorre maior capacidade de infiltração das águas das chuvas. Entretanto, há maior capacidade de desestruturação do solo, causando maior deterioração nas áreas à montante da bacia, locais de maior erodibilidade (Figura 7).

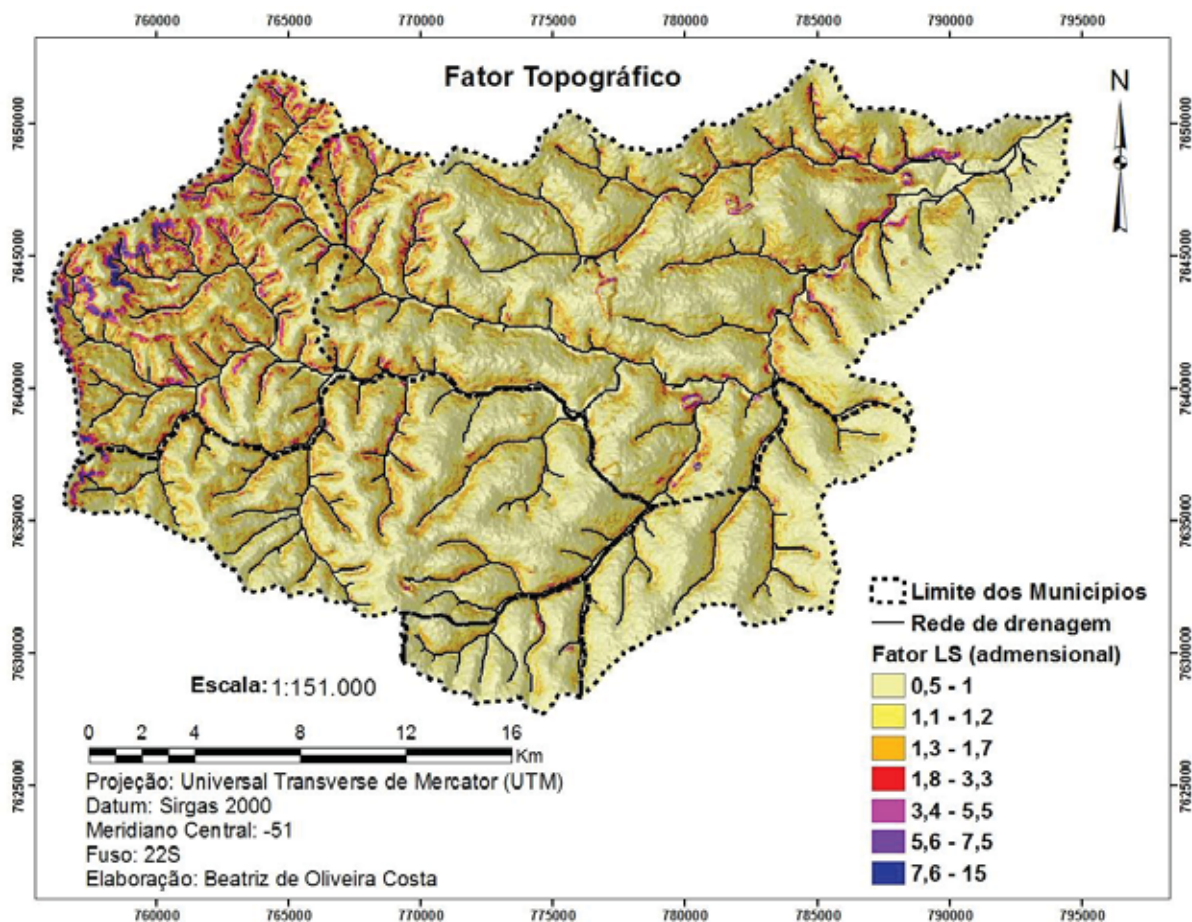
O fator erodibilidade é uma medida relativa de desagregação e, sendo assim, não reflete o comportamento do uso e ocupação do solo. Pode-se inferir que o local que ocorre maior desagregação é à montante. Assim, deve-se verificar o uso do solo nestas áreas.

Os maiores valores de erodibilidade ocorrem nos Argissolos ( $0,02 \text{ t h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ ) refletindo maior desestabilização dos agregados. Assim denota-se a importância da aplicação da matéria orgânica e de plantas que tem o sistema radicular abundante para auxiliar a agregação do solo, dando-lhe sustentação mecânica. Nas áreas à montante predominam solos mais arenosos, que demonstram maior intensidade no processo de desagregação, onde as partículas são desprendidas mais facilmente.

A estimativa da perda de solo pelo fator K também reflete o tipo de solo. Sendo assim, conforme Macedo et al. (2010), Martins et al. (2011), Manyiwa e Dikinya (2013), os resultados encontrados denotam a erodibilidade dos Argissolos e Latossolos, principais unidades da BHCR.

#### **4.1.3. Fator Topográfico (LS)**

O fator LS indica o efeito do comprimento da vertente da bacia hidrográfica e a declividade desta superfície. Para gerar os mapas do fator topográfico LS, apresentou-se a geração de imagens do comprimento de rampa da microbacia por sistema de informação geográfica, corroborando com trabalhos de Valeriano (2002), Rodrigues e Suáres (2010), Francisco et al. (2013), Schirmer e Trentin (2013). O estudo da relação do gradiente do comprimento da rampa reflete a topografia da área (SCHIRMER e TRENTIN, 2013), verificado principalmente em duas regiões da BHCR (Figura 8 e Tabela 8).



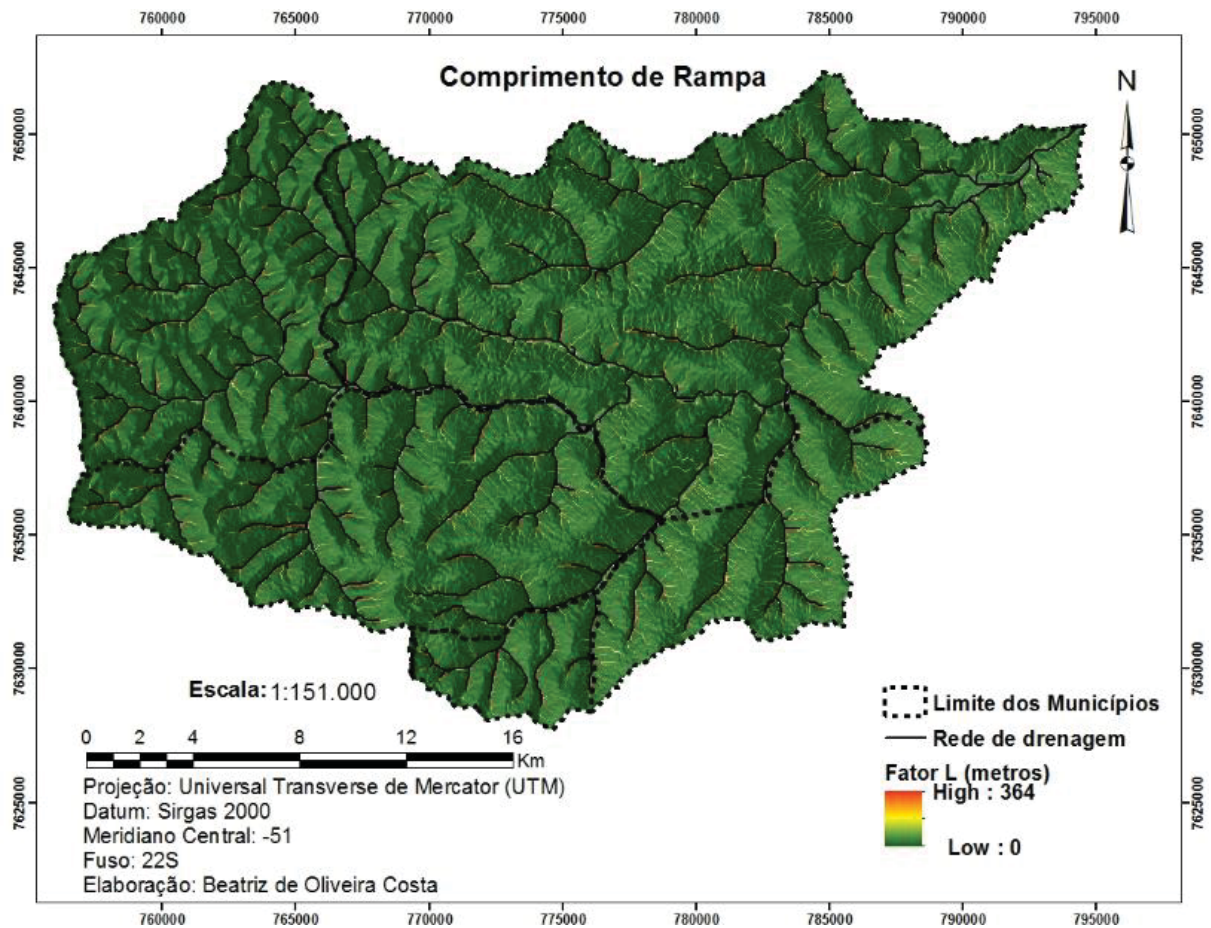
**Figura 8.** Mapa do fator topográfico (LS) da BHCR, SP.

**Tabela 8.** Classes da inclinação do terreno (LS).

Fator LS	Área	
	(ha)	(%)
0,5 – 1	35.389,62	61,02
1,1 – 1,3	8.674,47	14,96
1,4 – 1,7	11.714,67	20,20
1,8 – 3,3	1.231,02	2,12
3,4 – 5,5	726,30	1,25
5,6 – 7,5	183,96	0,32
7,6 – 15	76,05	0,13
<b>Total</b>	<b>57.996,09</b>	<b>100,00</b>

#### 4.1.3.1. Comprimento de rampa (L)

O comprimento de rampa concebido como uma medida de distância reta, na natureza observam-se, ocasionalmente, curvas no movimento de enxurradas. Isto está condicionado, entre outros fatores, a características de rugosidade e a detalhes da superfície topográfica do terreno (VALERIANO, 2002), conforme Figura 9 e Tabela 9.



**Figura 9.** Mapa do comprimento de rampa (L) da BHCR, SP.

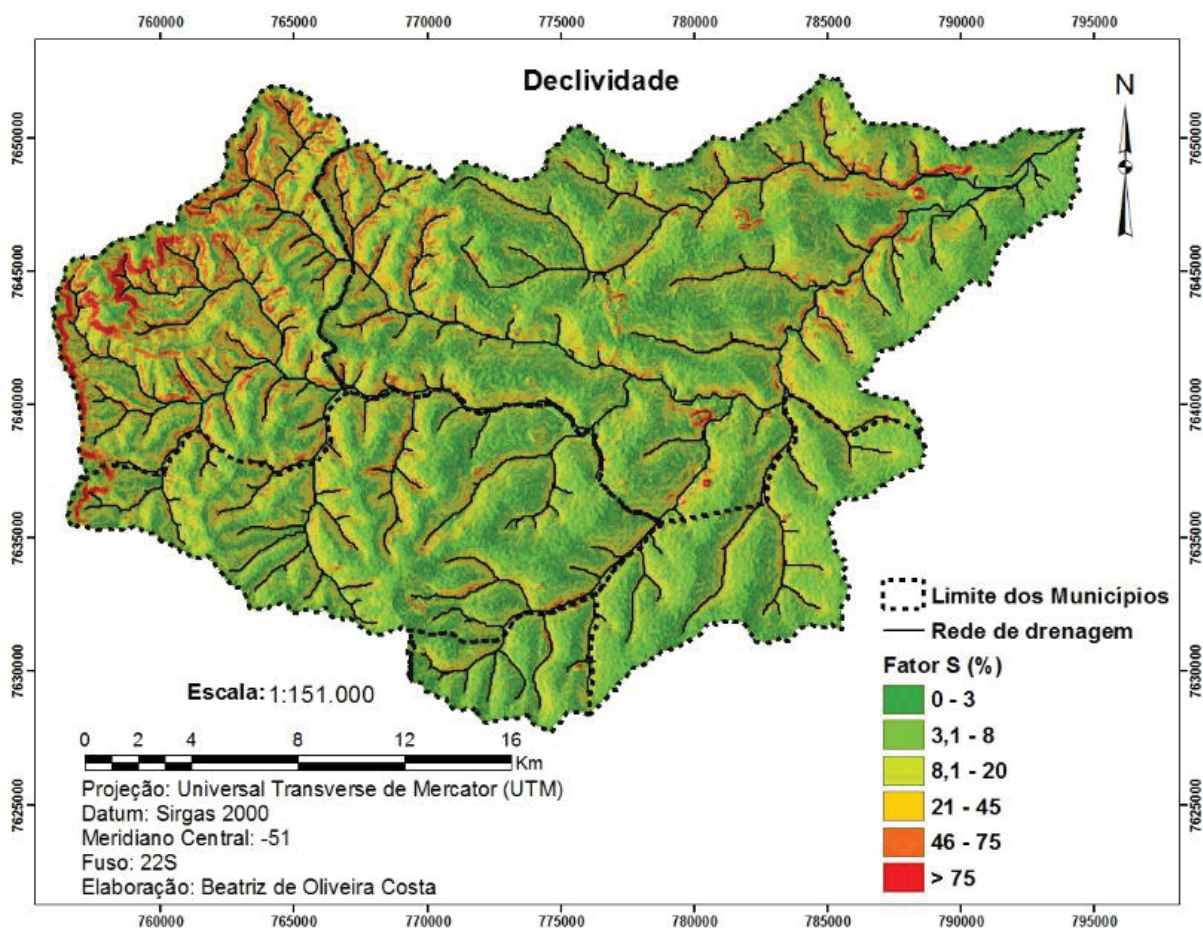


**Tabela 9.** Classes do Comprimento de Rampa do terreno (L).

Fator L (metros)	Área	
	(ha)	(%)
0 – 100	31.988,79	55,16
101 – 200	9.513,00	16,40
201 – 300	5.610,87	9,67
301 – 400	3.238,56	5,58
401 – 500	2.109,15	3,64
501 – 600	1.405,62	2,42
601 – 700	962,46	1,66
701 – 800	699,84	1,21
801 – 900	523,17	0,90
901 – 1.000	683,73	1,18
1.001 – 4.200	1.260,90	2,17
Total	57.996,09	100,00

#### 4.1.3.2. Declividade (S)

O grau de declividade da encosta (S) expresso em porcentagem é caracterizado como a tangente do ângulo ou índice da inclinação do terreno (BUENO et al., 2011). Consta na Figura 10 e área calculada na Tabela 10.



**Figura 10.** Mapa da declividade (S) da BHCR, SP.

**Tabela 10.** Classes de Declividade (S) adotadas no sistema brasileiro de classificação do solo (EMBRAPA, 1999) e a área que ocupa cada relevo na BHCR.

Relevo	Fator S (%)	Área	
		(ha)	(%)
Plano	0 – 3	221,85	0,38
Suave Ondulado	3,1 – 8	13.495,41	23,27
Ondulado	8,1 – 20	33.100,20	57,06
Forte Ondulado	21 – 45	10.961,10	18,90
Montanhoso	46 – 75	226,62	0,39
Escarpado	> 75	0,00	0,00
Total		58.005,18	100,00

Os fatores L e S refletem o relevo da bacia. A maior influência está no comprimento e na declividade das vertentes. As mais íngremes facilitam a erosão dos solos, na medida em que aumentam o escoamento superficial. O aumento da

inclinação das vertentes pode ser observado no mapa 8 e a maior declividade encontra-se à montante da bacia.

Quanto maior o comprimento e inclinação das vertentes maior a perda de solo por hectare. Este fato reflete os resultados encontrados na área de estudo, corroborando com os trabalhos de Rodrigues e Suáres (2010), Francisco et al. (2013), Schirmer e Trentin (2013).

O sistema de informação geográfica ArcGIS foi uma ferramenta que integrou os fatores do comprimento de rampa e declividade da vertente. Esta ferramenta foi eficaz na elaboração dos mapas finais, conforme Figuras 8, 9 e 10.

#### **4.1.4. Fatores Cobertura Vegetal e Manejo do Solo – C e Práticas Conservacionistas – P (imagens de 1984 e 2011)**

As principais classes de uso do solo e respectivas áreas são observadas na Figura 11 e Tabela 11.



O fator cultivo e manejo reflete a cobertura do solo. As classes determinadas foram interpretadas nas principais culturas agrícolas produzidas na BHCR. A classificação, a partir dos dados obtidos nas imagens de alta resolução do programa *Google Earth*, foi eficaz para interpretar o uso do solo. A cobertura vegetal e manejo do solo foram realizados nos anos de 1984 e 2011. Os resultados indicam a mudança do uso do solo nestes dois anos.

De acordo com Gardiman Junior et al. (2012) a perda de solo em cada cultivo e manejo em uma microbacia hidrográfica reflete as ações antrópicas. Os resultados obtidos indicam esta mesma condição.

**Tabela 11.** Classes dos fatores Cobertura Vegetal e Manejo do Solo (C) e Práticas Conservacionistas (P) dos anos de 1984 e 2011.

Classes	Fatores		1984 – Área		2011 – Área		Variação / Mudança (%)
	C	P	(ha)	(%)	(ha)	(%)	
Água	0,00000	1,00000	84,96	0,15	93,42	0,16	0,01
Mata	0,00378	0,90000	1.993,95	3,43	4.895,28	8,44	5,01
Cidades/Edificações	0,01033	0,70000	2.476,71	4,27	4.217,76	7,27	3,00
Pastagem	0,01992	0,30000	14.999,85	25,83	2.557,89	4,41	-21,42
Pinus/Eucalipto	0,02387	0,60000	554,76	0,96	258,21	0,45	-0,51
Frutíferas	0,08000	0,50000	3.217,41	5,54	162,63	0,28	-5,26
Cana e Outros Usos	0,18450	0,40000	32.418,81	55,83	43.126,83	74,35	18,52
Solo Exposto	1,00000	0,08000	2.316,78	3,99	2.689,56	4,64	0,65
		Total	58.063,23	100,00	58.001,58	100,00	

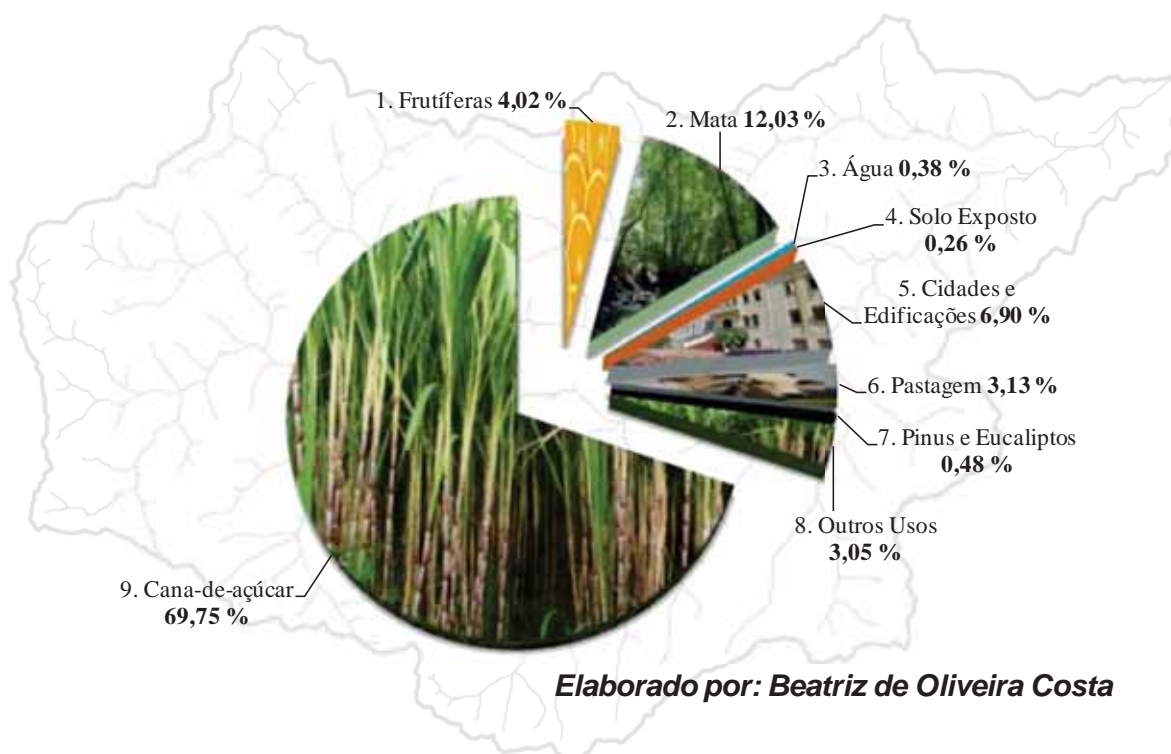
O uso do solo interfere no processo erosivo. Dentre os principais usos da área destacam-se a cana-de-açúcar e outros usos, que refere-se a outras áreas de cana e atividades agrícolas que não foram classificadas/identificadas. As classes identificadas foram os principais sistemas produtivos conduzidos na região. A área de mata teve um crescimento durante o período analisado, passando de 3,43 em % da área para 8,44 %. Este incremento se deu devido aos processos de reflorestamento que foram implantados na região e de acordo com a Legislação Ambiental Brasileira que preconiza o reflorestamento nas áreas de preservação permanente.

A classe cidades/edificações também apresentou um incremento, tendo em vista o processo de urbanização das principais cidades, Monte Alto, Jaboticabal e distrito de Córrego Rico.

A classe de pastagem apresentou uma redução drástica na área (-21,42 %). Este fato ocorreu tendo em vista a implantação do sistema produtivo de cana-de-açúcar nestas áreas.

Estas coberturas podem fornecer maior ou menor proteção ao solo e, assim, conseqüentemente, interferir na intensidade do processo erosivo. Tal constatação é demonstrada segundo os dados obtidos por Rodrigues et al. (2013).

O levantamento de uso e ocupação como loteamentos, edificações, indústrias, têm influência com a redução da cobertura vegetal. Dentre as diversas funções exercidas pela cobertura vegetal podemos destacar a regulação do clima, o favorecimento à diversidade de espécies, a recarga dos recursos hídricos, proteção do solo, entre outros. Mesmo sendo verificado que ocorreu um incremento na área de mata, ainda se faz necessário um processo de recuperação ao longo da rede de drenagem e ao redor das nascentes. O uso do solo pelo plantio de cana é realmente intenso. Este fato é devido ao número de usinas de cana-de-açúcar próximas a área de estudo e por ter o melhor valor econômico em detrimento aos outros sistemas produtivos. A área de cana-de-açúcar encontra-se em praticamente 70 % da área total da BHCR (Figura 12).



**Figura 12.** Distribuição das classes em % na bacia hidrográfica do Córrego Rico.

De acordo com Sarcinelli et al. (2009) o custo de reposição de nutrientes para a manutenção da fertilidade do solo é maior que a perda de solo que ocorre quando a implantação do sistema produtivo é realizado sem conservação. Ressalta-se que deve ocorrer uma política de incentivo econômico à adoção de práticas e medidas de manutenção do solo em sistemas produtivo, o mesmo indicado por Arnhold et al. (2013).

#### 4.1.5. Perda Média Anual do Solo

Os mapas elaborados a partir da equação universal de perda de solo (EUPS), aplicada na BHCR de acordo com os trabalhos desenvolvidos por Wischmeier e Smith (1978), são apresentados na Figura 13 (1984 e 2011) e as classes de perda de solo adaptadas de acordo com Silva et al. (2013), conforme Tabela 12 e exemplo da álgebra de mapas no Anexo V.

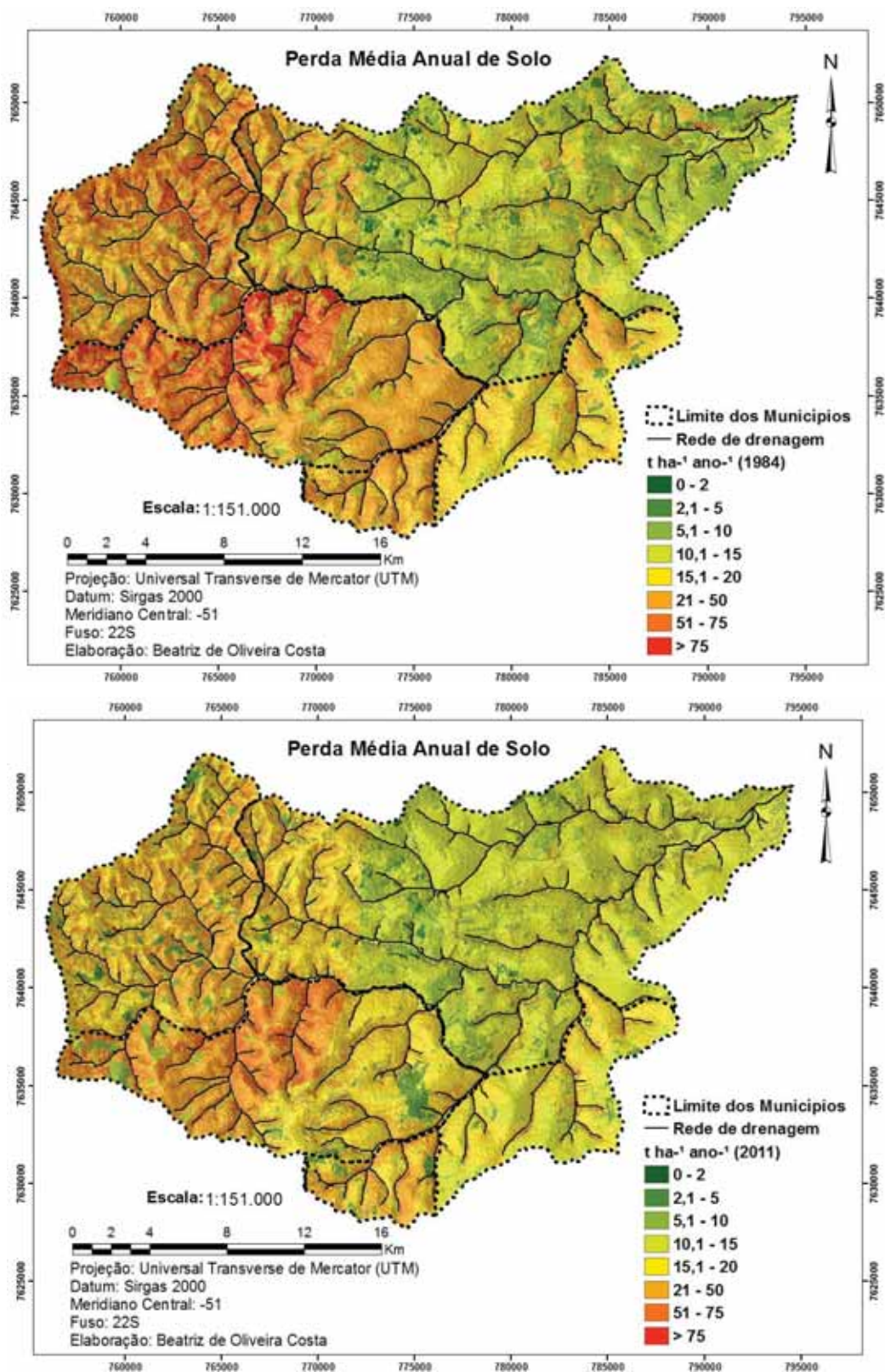


Figura 13. Mapas com a perda média anual do solo dos anos de 1984 e 2011.



**Tabela 12.** Perda Média Anual do Solo dos anos de 1984 e 2011.

Classificação (SILVA et al., 2003)	Perda de Solo (t ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> )	1984 – Área		2011 – Área	
		(ha)	(%)	(ha)	(%)
	0 – 2	387,00	0,67	410,04	0,72
Nula	2,1 – 5	2.485,00	4,30	2.520,00	4,40
	5,1 – 10	6.731,00	11,66	4.989,06	8,72
Moderada	11 – 15	13.994,00	24,24	17.297,91	30,22
	16 – 20	7.987,00	13,83	16.443,99	28,73
Média	21 – 50	15.266,00	26,44	11.348,01	19,82
	51 – 75	8.420,00	14,58	3.244,77	5,67
Média forte	> 75	2.464,00	4,27	991,26	1,73
	Total	57.734,00	100	57.245,04	100

O peso de 20 % dado a cada fator foi devido as condições de igualdade na EUPS, sendo assim todos os fatores tiveram o mesmo peso para o cruzamento das variáveis na espacialização da perda de solo.

Os fatores de erosividade e erodibilidade determinados nas unidades municipais e nos principais solos refletem locais mais sensíveis à força de ação dos agentes transformadores da paisagem. Os fatores LS inferem as mudanças no comprimento e na declividade das vertentes, e provavelmente, variam em função do material que constitui o solo, pois, a declividade é mais acentuada nas áreas à montante da BHCR (Figura 10).

Como os horizontes do solo são de consistência desuniforme, o processo erosivo ocorre diferente nas camadas do solo. Em áreas de Argissolo ocorre maior a frequência do processo erosivo, verificado no mapa de perda de solo (Figura 13).

Na análise da perda de solo da bacia hidrográfica do Córrego Rico procurou-se contribuir para o estudo e entendimento do processo erosivo e os diversos fatores que interferem. A perda de solo é resultante de um processo natural e por um processo de ocupação das áreas. Em solos mais frágeis, como à montante da bacia, e em períodos de precipitação mais intensa, se faz necessário implantar as práticas conservacionistas. De acordo com Valle Junior et al. (2010) a distribuição espacial da suscetibilidade à erosão está associada ao relevo da região. Classes acima de 50

t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> localizam-se nas regiões com declives mais acentuados, pois a elevação dos declives favorece a suscetibilidade à erosão.

Os problemas relacionados à degradação ambiental nos faz refletir para a conservação da natureza. Nesta área, praticamente agrícola, a erosão do solo está entre os processos que devem causar maior preocupação. Assim se faz necessário desenvolver um processo de ocupação da área da bacia com conservação, incremento de áreas reflorestadas e uma consciência de conservar as áreas de preservação permanente.

As grandes transformações da paisagem são reflexos da transformação econômica do local. A implementação de planos de desenvolvimento no setor agrícola se faz necessária. As monoculturas ligadas aos complexos agroindustriais refletem uma forma de ocupação e uso do solo com muita modificação. Nas imagens interpretadas verifica-se a monocultura. Para que a policultura sobreviva ao modelo que verificou-se nesta área, é necessário a criação de um novo modelo econômico a ser implantado pelos gestores da política agrícola. Este novo perfil da agricultura deve ser implantado para que no futuro ocorra um equilíbrio entre áreas que devem ser preservadas e áreas com as ações antrópicas.

Este trabalho, na interpretação visual das imagens orbitais, possibilitou visualizar os principais usos e perda de solo. Este resultado é em função da ação das chuvas e da estrutura dos solos. Ocorre uma complexidade natural às formas de manejo do solo organizadas pela ação econômica. Entretanto, estas ações são mais impactantes do que controladas nas práticas conservacionistas.

A EUPS (WISHMEIR e SMITH, 1978) permitiu uma análise das áreas com maior perda de solo conforme Figura 13.

## 5. CONCLUSÃO

A perda de solo na BHCR foi de 0 a 75 t ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>, com maior área variando de 10 a 15 t ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>.

A perda de solo foi maior à montante da BHCR.

Este trabalho faz refletir que a perda de solo é mais acentuada tendo em vista o fator sócio-econômico. É necessário sensibilizar os produtores para que os mesmos reconheçam que o solo, para ser um ambiente de produção, precisa ser conservado em seu local de origem.

A partir destes dados, há a necessidade de se estabelecer novos estudos sobre as práticas culturais e de manejo do solo para que as mesmas sejam modificadas para o desenvolvimento de uma tecnologia que permita, no futuro ações de manejo no sistema produtivo agropecuário que conserve o solo em seu local e a natureza em processo dinâmico contínuo.

O uso do SIG ArcGIS foi eficaz no processamento de dados, na álgebra de mapas e na elaboração dos mapas temáticos.

## 6. REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, C. O. S.; AMORIN, R. S. S.; COUTO, E. G.; ELTZ, F. L. F.; BORGES, L. E. C. Potencial erosivo da chuva de Cuiabá, MT: distribuição e correlação com a precipitação pluviométrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 2, p. 178-184, 2011.
- ARNHOLD, S.; RUIDISCH, M.; BARTSCH, S.; SHOPE, C. L.; HUWE, B. Simulation of runoff patterns and soil erosion on mountainous farmland with and without plastic-covered ridge-furrow cultivation in South Korea. **Transactions of the ASABE**, St. Joseph, v. 56, n. 2, p. 667-679, 2013.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 2. ed. São Paulo: Ícone, 1990. 355 p.
- BEST, A. C. The size distribution of raindrops. **Quarterly Journal Royal Meteorological Society**, Chichester, v. 76, n. 327, p. 16-36, 1950.
- BONILLA, C.; VIDAL, K. Rainfall erosivity in central Chile. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 410, n. 1-2, p. 126-133, 2011.
- BUENO; C. R. P.; ARRAES; C. L.; MIQUELONI; D. P. Aplicação do sistema de informação geográfica para determinação do fator topográfico em bacias hidrográficas. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, Guarapuava-PR, v.4, n.2, p.30 – 47, 2011.
- CANDIDO, H. G.; GALBIATTI, J. A.; PISSARRA, T. C. T.; MARTINS FILHO, M. V. Degradação ambiental da bacia hidrográfica do Rio Uberaba: uma abordagem metodológica. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 1, p. 179-192, 2010.
- CORRÊA, E. A.; PINTO, S. A. F. **Geotecnologias aplicadas no cálculo automático do fator comprimento de declive (L) da Equação Universal de Perda de Solo (EUPS)**. [S.l.]: Embrapa Informática Agropecuária/INPE, 2012. p. 336-344.
- DEMARCHI, J. C. **Geotecnologias aplicadas à estimativa de perdas de solo por erosão hídrica na sub-bacia do Ribeirão das Perobas, município de Santa Cruz do Rio Pardo – SP**. 2012. 150 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2012.
- DE MARIA, I. C. **Cálculo de erosividade da chuva**. In: LOMBARDI NETO, F. et al. Manual de programas de processamento de dados de campo e de laboratório para fins de experimentação em conservação do solo. Campinas, IAC-SCS, 1994.
- DESMET, P. J. J.; GOVERS, G. A GIS procedure for automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex landscape units. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v. 51, n. 5, p. 427-433, 1996.

DOMINGOS, J. L. **Estimativa de perda de solo por erosão hídrica em bacia hidrográfica**. Monografia apresentada ao Departamento de Geografia, como requisito obrigatório para obtenção do título de Bacharel em Geografia, 66.p., 2006.

EDUARDO, E. N.; CARVALHO, D. F.; MACHADO, R. L.; SOARES, P. F. C.; ALMEIDA, W. S. Erodibilidade, fatores cobertura e manejo e práticas conservacionistas em Argissolo Vermelho-Amarelo, sob condições de chuva natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 37, n. 3, p. 796-803, 2013.

EDUARDO, E. N. **Determinação da erodibilidade e do fator cobertura e manejo do solo sob condições de chuva natural e simulada**. 2012. 47 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2012.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília, DF, 1999. 412 p.

FRANCISCO, P. R. M.; CHAVES, I. B.; LIMA, E. R. V. Classificação de terras para mecanização agrícola e sua aplicação para o Estado da Paraíba. **Revista Educação Agrícola Superior**, Brasília, DF, v. 28, n. 1, p. 30-35, 2013.

GABRIELS, D.; GHEKIERE, G.; WOUTER, S.; ROTTIERS, I. Assessment of USLE cover-management C-factor for 40 crop rotation systems on arable farms in the Kemmelbeek watershed, Belgium. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 74, n. 1, p. 47-53, 2003.

GARDIMAN JUNIOR, B. S.; COUTO, D. R.; SOUZA, F. B. C.; SANTOS JUNIOR, G. N.; SANTOS, A. R. Perda de solo por erosão hídrica em áreas de preservação permanente na microbacia hidrográfica Córrego do Horizonte, Alegre, Espírito Santo. **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v. 9, n. 2, p. 21-34, 2012.

HELM, R. **Large-scale erosion risk mapping for the state of São Paulo, Brazil**. 2008. Master degree in International Land and Water Management – Wageningen, Jakarta, 29p., 2008.

HUDSON, N.W. **The influence of rainfall on the mechanics of soil erosion with to northern Rhodesia**. Cape Town, University of Cape Town, Masters Dissertation, 1965.

HUDSON, N. **Soil conservation**. Ithaca, New York: Cornell University Press, 320 p., 1977.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Catálogo de imagens**. [São José dos Campos, 2014?]. Disponível em: <<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>>. Acesso em: 01 dez. 2011.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **TOPODATA**: Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil. São José dos Campos: INPE, 2008. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/topodata/>>. Acesso em: 03 jun. 2014.

JIANG, Z.; SU, S.; JING, C.; LIN, S.; FEI, X.; WU, J. Spatiotemporal dynamics of soil erosion risk for Anji County, China. **Stochastic Environmental Research and Risk Assessment**, Heidelberg, v. 26, n. 6, p. 751–763, 2012.

LAWS, J. O.; PARSONS, D. A. The relation of raindrop-size to intensity. **Transactions, American Geophysical Union**, Portland, v. 24, n. 2, p. 452-460, 1943.

LIU, H.; FOHRER, N.; HÖRMANN, G.; KIESEL, J. Suitability of S factor algorithms for soil loss estimation at gently sloped landscapes. **Catena**, Amsterdam, v. 77, n. 3, p. 248-255, 2009.

LOMBARDI NETO, F. **Rainfall erosivity**: its distribution and relationship with soil loss at Campinas, Brazil. West Lafayette: Purdue University, 1977. 53 p.

MACEDO, J. L. V.; ROCHA, A. C. P. N.; LIMA, S. M. V.; ROCHA, M. G.; LIMA, W. A. A. Sistema produtivo de dendê para a produção de biodiesel. In: CASTRO, A. M. G. de; LIMA, S. M. V.; SILVA, J. F. V. **Complexo agroindustrial de biodiesel no Brasil**: competitividade das cadeias produtivas de matérias-primas. Brasília, DF: Embrapa Agroenergia, 2010. Cap. 8.

MACHADO, R. L.; CARVALHO, D. F.; ROUWS, J. R. C.; GOMES, D. P.; EDUARDO, E. N. Erosividade das chuvas associada a períodos de retorno e probabilidade de ocorrência no estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 37, n. 2, p. 529-547, 2013.

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.

MANYIWA, T.; DIKINYA, O. Using universal soil loss equation and soil erodibility factor to assess soil erosion in Tshesebe village, North east Botswana. **African Journal of Agricultural Research**, Victoria Island, v. 8, n. 30, p. 4170-4178, 2013.

MARTINS, S. G.; AVANZI, J. C.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; FONSECA, S. Erodibilidade do solo nos tabuleiros costeiros. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 3, p. 322-327, 2011.

MAZURANA, J; CASSOL, E. A.; SANTOS, L. C.; ELTZ, F. L. F.; BUENO, A. C. Erosividade, padrões hidrológicos e período de retorno das chuvas de Santa Rosa, RS. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, p. 975-983, 2009. Suplemento.

MOREIRA, E. P.; VALERIANO, M. M. Relação entre diferentes usos e coberturas da terra e declividade do terreno: implicações em conservação do solo. In: SIMPÓSIO

BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16, Foz do Iguaçu, 2013. **Anais Eletrônicos...** São José dos Campos: INPE, 2013.

MOREIRA, M. C.; CECÍLIO, R. A.; PINTO, F. A. C.; LOMBARDI NETO, F.; PRUSKI, F. F. Programa computacional para estimativa da erosividade da chuva no Estado de São Paulo utilizando redes neurais artificiais. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, MG, v. 14, n. 2, p. 88-92, 2006a.

PISSARRA, T. C. T.; ARRAES, C. L.; RODRIGUES, F. M.; GALBIATTI, J. A.; ZANATA, M. Drainage basins: riparian management strategies, Jaboticabal, São Paulo State, Brazil. In: **ECWATECH 2010 – INTERNATIONAL WATER FORUM**, 2010, Moscow, 2010.

PISSARRA, T. C. T.; POLITANO, W.; FERRAUDO, A. S. Avaliação de características morfométricas na relação solo-superfície da bacia hidrográfica do Córrego Rico, Jaboticabal (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 28, n. 2, p. 297-305, 2004.

RODRIGUES, F. M.; PISSARRA, T. C. T.; CAMPOS, S.; MIGLIACCIO, K. W.; RODRIGUES, C. T. A. Mapping for environmental planning the basin of Córrego Rico, São Paulo. **Journal of Hyperspectral Remote Sensing**, [S.l.], v. 3, n. 3, p. 45-58, 2013.

RODRIGUES, J. L. G.; SUAREZ, M. C. G. Aplicación de algoritmos matemáticos en la determinación de La inclinación de pendiente em um entorno SIG. **Aqua-LAC**, Cordon, v. 2, n. 2, p. 78-82, 2010.

SAATY, T. L. "A Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structures". **Journal of Mathematical Psychology**, v. 15, p. 234-281, 1977.

SÃO PAULO. Secretaria de Recursos Hídricos, Saneamento e Obras. **Legislação sobre recursos hídricos**. São Paulo: DAEE, 1994. 72 p.

SARCINELLI, O.; MARQUES, J. F.; ROMEIRO, A. R. Custos e benefícios da adoção de práticas e medidas para conservação do solo agrícola: um estudo de caso na microbacia hidrográfica do córrego Oriçanguinha. **Informações Econômicas**, São Paulo, v. 39, n. 4, p. 6-16, 2009.

SCHIRMER, G. J.; TRENTIN, R. Relação entre declividade e usos da terra a partir da classificação de imagens de satélite nos municípios de Dona Francisca, Faxinal do Soturno e Nova Palma – RS. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16., 2013, Foz do Iguaçu. **Anais**. São José dos Campos: INPE, 2013.

SHREVE, R. Infinite topologically random channel networks. **Journal of Geology**, Chicago, v. 75, n. 2, p. 178–186, 1967.

SILVA, D. R.; STRAUCH, J. C. M.; OLIVEIRA, L. M. T. Análise do fator de risco declividade para a cidade de Niterói – RJ, 1988 e 2009. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO

DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15., 2011, Curitiba. **Anais**. São José dos Campos: INPE, 2011. p. 3955.

SILVA, L. F. T. C.; CASTRO, U. N.; GUERRA, A. J. T.; LIMA, F. S.; MENDES, S. P.; BEZERRA, J. F. R. Degradação ambiental em áreas destinadas á pecuária na sub-bacia hidrográfica do Rio Sana, Macaé – RJ. **Revista de Geografia**, Recife, v. 29, n. 1, p. 45-59, 2012.

SILVA, P. B. A.; VALÉRIO, L. P.; SANTOS, T. B.; ALCÂNTARA, E. H.; STECH, J. L. Análise de classificadores para mapeamento de uso e cobertura do solo. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16., 2013, Foz do Iguaçu. **Anais**. São José dos Campos: INPE, 2013.

SOUZA, M. J. H.; RIBEIRO, A.; LEITE, F. P. Balanço hídrico e caracterização climática de Guanhães, Nova Era e Rio Doce. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 13., 2003, Santa Maria. **Anais**. Santa Maria: UNIFRA: SBA: UFSM, 2003. v. 2, p. 131-132.

STRAHLER, A. N. Hypsometric (area-altitude) – analysis of erosion al topography. **Geological Society of America Bulletin**, Boulder, v. 63, n. 10, p. 1117-1142, 1952.

TOMAZ, P. Rusle: Equação revisada universal de perda de solo. In: **Curso de manejo de águas pluviais**. [S.l.], Cap. 23, p. 1-17, 2008.

VALERIANO, M. M. Mapeamento do comprimento de rampa em microbacias com Sistema de Informação Geográfica. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 24, n. 5, p. 1541-1551, 2002.

VALLE JUNIOR, R. F.; GALBIATTI, J. A.; PISSARRA, T. C. T.; MARTINS FILHO, M. V.; SIQUEIRA, H. E. A erosividade das chuvas na Bacia do Rio Uberaba. **Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer**, Goiânia, v. 8, n. 14, p. 1-15, 2012.

VALLE JÚNIOR, R. F.; GALBIATTI, J. A.; MARTINS FILHO, M. V.; PISSARRA, T. C. T. Potencial de erosão da bacia do Rio Uberaba. **Eng. Agríc.** v. 30, n. 5, Jaboticabal, Sept./Oct. 2010.

WIKIPEDIA. The free encyclopedia. **ESRI**: Environmental Systems Research Institute. [S.l.], 2014a. Disponível em: <<http://en.wikipedia.org/wiki/Esri>>. Acesso em: 01 fev. 2014.

WIKIPEDIA. The free encyclopedia. **Google**. [S.l.], 2014b. Disponível em: <<http://en.wikipedia.org/wiki/Esri>>. Acesso em: 01 fev. 2014.

WISCHMEIER, W. H. A rainfall erosion index for a universal soil-loss equation. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v. 23, n. 3, p. 246-249, 1959.

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



## ANEXO I

## Especificações do TOPODATA (2012)

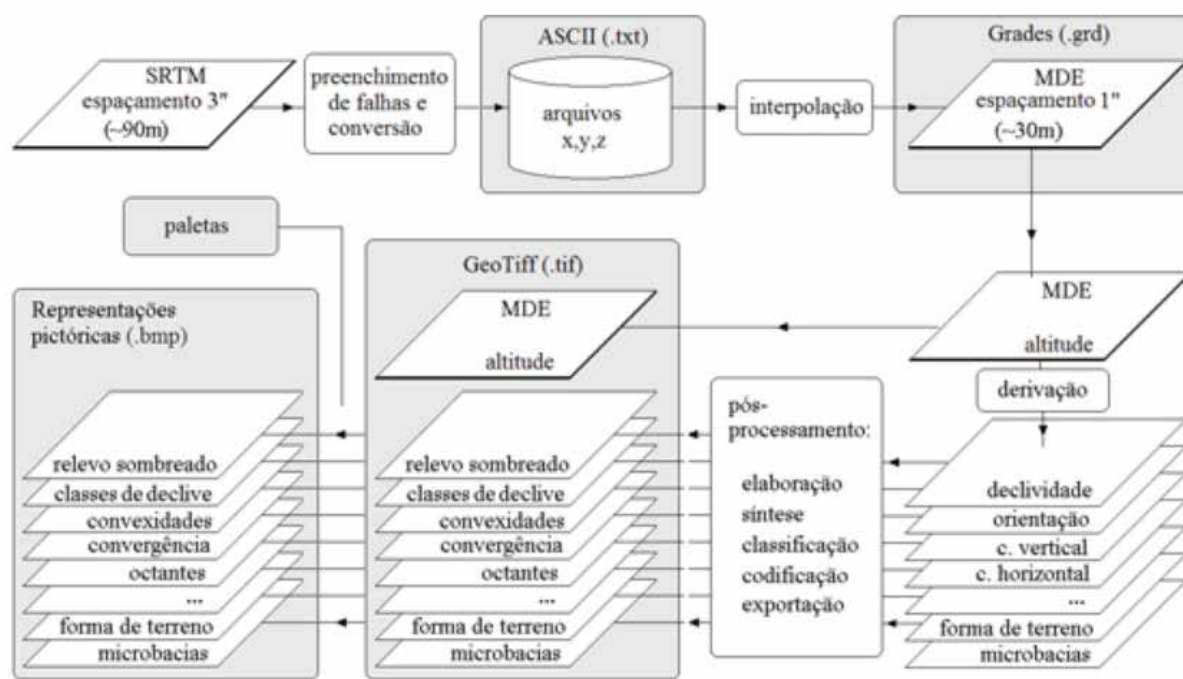
Apoio:



🌐 O projeto Topodata oferece o Modelo Digital de Elevação (MDE) e suas derivações locais básicas em cobertura nacional, elaborados a partir dos dados SRTM disponibilizados pelo USGS na rede mundial de computadores. Desde que o Topodata foi lançado pela primeira vez, em agosto de 2008, o processamento dos dados foi sucessivamente inspecionado e revisado, com vistas a aprimoramentos e correções e estão disponíveis desde novembro de 2011.

🌐 Dados: disponibilizados em formatos correspondentes às etapas de processamento dos dados SRTM: preenchimento de falhas, refinamento, derivação e pós-processamento, de acordo com o fluxograma abaixo (Figura 1):

Anexo da Tese de Doutorado intitulada: “*PERDA DE SOLO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO RICO – SP, UTILIZANDO TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO*”, apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia – Produção Vegetal em Maio/2014. Doutoranda: **Beatriz de Oliveira Costa** ([beatriz.oliveira.costa@hotmail.com](mailto:beatriz.oliveira.costa@hotmail.com)), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – FCAV/UNESP, Jaboticabal, SP.



**Figura 1.** Conjuntos de arquivos do TOPODATA produzidos ao longo do processamento dos dados SRTM. Os cinco conjuntos disponibilizados estão detalhados no link “Acesso”.

🌐 Acesso: os dados estão todos estruturados em quadrículas compatíveis com a articulação 1:250.000, portanto, em folhas de 1o de latitude por 1,5o de longitude. Na versão atual, os arquivos estão nomeados seguindo-se uma única notação para cada conjunto de uma mesma folha. As folhas estão identificadas seguindo o prefixo de 6 letras LAHLON, em que LA é a latitude do canto superior esquerdo da quadrícula, H refere-se ao hemisfério desta posição (S, Sul, ou N, Norte) e LON sua longitude, na seguinte notação: nn5 quando longitude for nn graus e 30' e nn\_ quando a coordenada for nn graus inteiros. Especificamente para os conjuntos de formato GeoTiff, pode-se fazer a navegação, a seleção e a obtenção dos arquivos com recursos interativos do Google maps e/ou OpenStreetMap, através do endereço: <http://www.webmapit.com.br/inpe/topodata/>

🌐 Responsáveis pelo projeto: de modo indireto, porém igualmente importante esta fase do projeto recebeu ainda colaborações na forma de envolvimento em projetos, assim como

Anexo da Tese de Doutorado intitulada: *“PERDA DE SOLO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO RICO – SP, UTILIZANDO TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO”*, apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia – Produção Vegetal em Maio/2014. Doutoranda: **Beatriz de Oliveira Costa** ([beatriz.oliveira.costa@hotmail.com](mailto:beatriz.oliveira.costa@hotmail.com)), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – FCAV/UNESP, Jaboticabal, SP.

aporte de recursos, orientações, revisões, difusão, consultas e mesmo ricos diálogos e correspondências, pelas quais puderam ser lembrados: Amarindo Fausto Soares (CNPTIA/EMBRAPA), Ana Lúcia Candeias (DECART/UFPE), Antônio Emídio de Araújo Santos Jr. (IG/UFPA), Arnaldo Carneiro Filho (INPA), Bruce Walker Nelson (INPA), Camilo Daleles Rennó (DPI/OBT/INPE), Carlos Henrique Grohmann de Carvalho (IG/USP), Eliana Maria Kalil Mello (DSR/INPE), Elienê Pontes de Araújo (UEMA), Francisco Hilário Rego Bezerra (UFRN), George Miliarexis (Univ. Atenas), Helena França (UNITAU), Lena Simone Barata Souza (IGc/USP), Lylian Coltrinari (FFLCH/USP), Mara de Andrade Marinho Weill (FEAGRI/UNICAMP), Márcio Luiz da Silva (INPA), Marcos Wellausen Dias de Freitas (DSR/INPE), Maria Carolina de Cruz Miranda (IGc/USP), Maria Rafaela Braga Salum (FUNCATE), Myriam de Moura Abdon (DSR/OBT/INPE), Osmar Abílio de Carvalho Júnior (UNB), Oton Osório de Barros Neto (DSR/INPE), Paulo Roberto Martini (DSR/INPE), Richard J. Pike (USGS), Roseane Ribeiro Sarges (UFPA), Rubens Lamparelli (CEPAGRI/UNICAMP), Samuel Fernando Adami (CSRAA/IAC), Teresa Gallotti Florenzano (DSR/OBT/INPE) e Viviana Aguilar Muñoz (PGSER/INPE).

Anexo da Tese de Doutorado intitulada: “*PERDA DE SOLO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO RICO – SP, UTILIZANDO TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO*”, apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia – Produção Vegetal em Maio/2014. Doutoranda: **Beatriz de Oliveira Costa** ([beatriz.oliveira.costa@hotmail.com](mailto:beatriz.oliveira.costa@hotmail.com)), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – FCAV/UNESP, Jaboticabal, SP.

## ANEXO II

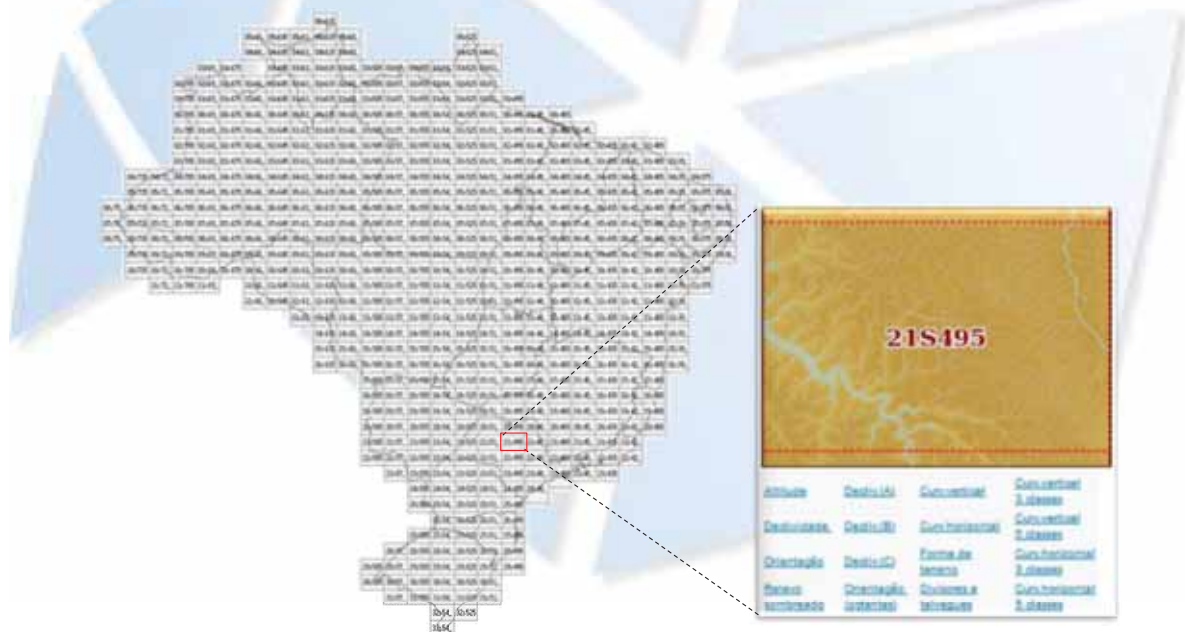
### Modelo de Elevação Digital do Terreno (*DEM – Digital Elevation Model*)

#### Extração da rede de drenagem da bacia hidrográfica do Córrego Rico

#### 1. Modelo de Elevação Digital do Terreno (*DEM – Digital Elevation Model*)

Para a importação do modelo de elevação digital do terreno (DEM) as etapas seguintes foram processadas:

🌐 Os dados cartográficos foram obtidos no TOPODATA (2012) e estão estruturados em quadrículas com a articulação 1:250.000 (Figura 1). Os arquivos estão nomeados seguindo-se uma única notação para cada conjunto de uma mesma folha. A folha da área de interesse é a 21S495.



**Figura 1.** Folhas articuladas dos dados do TOPODATA (2012) no território brasileiro.

Anexo da Tese de Doutorado intitulada: *“PERDA DE SOLO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO RICO – SP, UTILIZANDO TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO”*, apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia – Produção Vegetal em Maio/2014. Doutoranda: **Beatriz de Oliveira Costa** ([beatriz.oliveira.costa@hotmail.com](mailto:beatriz.oliveira.costa@hotmail.com)), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – FCAV/UNESP, Jaboticabal, SP.

## 2. Processamento do DEM (TOPODATA, 2012)

☉ Ao realizar o download da pasta Altitude no site TOPODATA, o arquivo vem com a nomenclatura 21S495ZN, posteriormente renomeado para DEM. Este DEM utilizado para extração da rede de drenagem passou por um ajuste de projeção e reprojeção para o Sistema de Coordenadas Planas UTM de acordo com a localização. No ArcMAP adicionou-se o arquivo acima e utilizou as ferramentas:

☉ **ArcToolbox / Data Management Tools / Raster / Raster Dataset / Copy Raster.**

**Input Raster:** DEM;  
**Output Raster Dataset:** salvo no Bando de dados como DEMcopia;  
**Configuration Keyword:** DEFAULTS;  
**Pixel Type:** 16\_BIT\_UNSIGNED.

☉ Com esta ferramenta fez-se uma cópia de um conjunto de dados em um catálogo raster, determinando o conjunto de bits. Se deixado sem especificação, o número de bits de saída seria o mesmo da entrada. Neste caso optou-se por 16\_BIT\_UNSIGNED que podem variar de 0 a 65.535.

☉ **ArcToolbox / Data Management Tools / Projections and Transformations / Define Projection.**

**Input Dataset or Feature Class:** DEMcopia;  
**Coordinate System:** Spatial Reference Properties / Select / Geographic Coordinate Systems / World / WGS 1984.prj

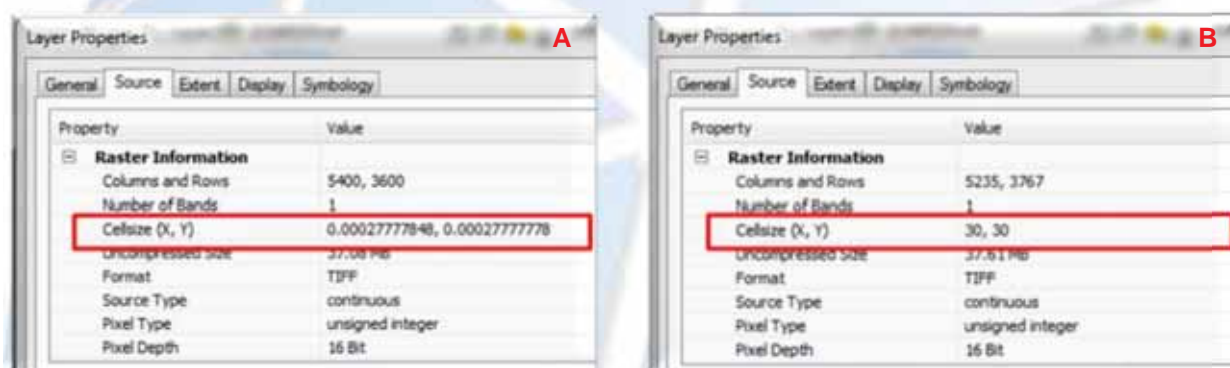
☉ Do raster copiado, foram substituídas as informações do sistema de coordenadas armazenadas pelo GCS\_WGS\_1984 neste ponto e no restante do trabalho.

Anexo da Tese de Doutorado intitulada: “*PERDA DE SOLO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO RICO – SP, UTILIZANDO TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO*”, apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia – Produção Vegetal em Maio/2014. Doutoranda: **Beatriz de Oliveira Costa** ([beatriz.oliveira.costa@hotmail.com](mailto:beatriz.oliveira.costa@hotmail.com)), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – FCAV/UNESP, Jaboticabal, SP.

🌐 **ArcToolbox / Data Management Tools / Projections and Transformations / Raster / Project Raster.**

**Input Raster:** DEMcopia;  
**Output Raster Dataset:** salvo no Bando de dados como DEMproj;  
**Output Coordinate System:** Spatial Reference Properties / Select / Projected Coordinate Systems / UTM / WGS 1984 / Southern Hemisphere / WGS 1984 UTM Zone 22S.prj;  
**Resampling Technique:** BILINEAR;  
**Output Cell Size:** 30

🌐 No raster projetado, transformou os dados do Sistema de Projeção para WGS\_1984\_UTM\_Zone\_22S neste e em toda Tese. O tamanho da célula padrão selecionado neste caso foi de 30m (Figura 2).



**Figura 2.** Padrão dos dados. *cellsize* antes (A) e depois (B).

### 3. Extração da rede de drenagem da bacia hidrográfica do córrego Rico

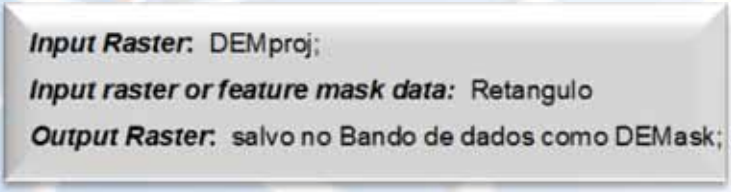
🌐 A extração da rede de drenagem foi realizada no programa de sistema de informação geográfica (SIG) ArcMAP. O modelo de elevação digital do terreno processado pelo grupo de pesquisa do banco de dados TOPODATA (2012) foi importado para o programa nos seguintes processos:

Anexo da Tese de Doutorado intitulada: “*PERDA DE SOLO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO RICO – SP, UTILIZANDO TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO*”, apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia – Produção Vegetal em Maio/2014. Doutoranda: **Beatriz de Oliveira Costa** ([beatriz.oliveira.costa@hotmail.com](mailto:beatriz.oliveira.costa@hotmail.com)), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – FCAV/UNESP, Jaboticabal, SP.

🌐 No ArcMap foi importado o arquivo DEMproj (Anexo V), imagem *raster* do modelo digital de elevação, (Figura 3, a). No *Catalogue*, banco de dados, abriu-se uma janela com o botão da direita, selecionou **New / Shapefile** e foi inserido um retângulo para recortar a área de interesse no arquivo conforme Figura 3, b.

🌐 No **Editor / Start Editing** / selecionou **Retangulo** e fez-se o desenho sobre o DEMproj, abrangendo a área de estudo / **Editor / Stop Editing / Save**.

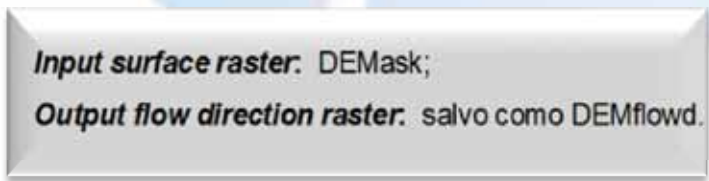
🌐 No **ArcToolbox / Spatial Analyst Tools / Extraction / Extract by Mask**.



**Input Raster:** DEMproj;  
**Input raster or feature mask data:** Retangulo  
**Output Raster:** salvo no Bando de dados como DEMask;

🌐 O recorte do retângulo que envolve a área de estudo foi realizado para diminuir o tamanho da imagem importada DEMproj (*raster*), com o vetor (retângulo) ilustrado na Figura 3, c.

🌐 No **ArcToolbox / Spatial Analyst Tools / Hydrology / Flow Direction** foi importado o DEMask (Figura 3, c), que é o recorte do DEMproj, da area de interesse.



**Input surface raster:** DEMask;  
**Output flow direction raster:** salvo como DEMflowd.

🌐 Após a importação do DEMask foi gerado um *raster* contendo a direção do fluxo de cada célula (DEMflowd) (Figura 3, d).

☉ Clicando com o botão direito do mouse sobre o *raster* (DEMflowd), abre o **Open Attribute Table**, no campo **Count** da tabela, deveriam conter apenas os valores 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64 e 128 que representariam as oito células adjacentes por onde a água deveria fluir. Porém, a coluna *COUNT* apresentou muitos valores, diferentes dos citados, significando que há vazios, depressões ou mesmo erros nos dados DEMproj. Assim, foi necessário realizar uma correção, conforme segue:

☉ No **ArcToolbox / Spatial Analyst Tools / Hydrology / Sink** foi importado o DEMflowd.

**Input flow direction raster:** DEMflowd;  
**Output raster:** salvo como DEMsink.

☉ Neste processo foram identificados as depressões, as áreas de drenagem interna vazia e erros (DEMsink), Figura 3, e. Esta figura representa o *raster* dos erros, cada ponto é um erro).

☉ Para a correção dos erros, no **ArcToolbox / Spatial Analyst Tools / Hydrology / Fill**. (esta etapa do **Fill** é para remover pequenas imperfeições dos dados da imagem *raster*). Assim, insere-se a imagem DEMask, processa os erros e salva como imagem (DEMfill – imagem *raster* do modelo de elevação digital do terreno com a correção (Figura 3, f)

**Input surface raster:** DEMask;  
**Output surface raster:** salvo como DEMfill.



Após a correção, no **ArcToolbox / Spatial Analyst Tools / Hydrology / Flow direction**, as etapas foram repetidas e foi elaborado o DEMfillfd (imagem *raster* do fluxo direcional das águas da chuva).

**Input surface raster:** DEMfill;  
**Output surface raster:** salvo como DEMfillfd.

No **ArcToolbox / Spatial Analyst Tools / Hydrology / Flow Accumulation** foi inserido o DEMfillfd (representação *raster* que demonstra a direção do fluxo em cada célula que contém uma altitude), Figura 3, g.

**Input flow direction raster:** DEMfillfd;  
**Output surface raster:** salvo como DEMfillfa  
**Output data type:** INTEGER.

Para gerar o *flow accumulation* (imagem *raster* do fluxo acumulado que contém em cada célula), foi inserido o DEMfillfd e gerado o DEMfillfa (Figura 3, h). No item *Output data type*, selecionou o item *INTEGER*. A imagem DEMfillfa refere-se a imagem *raster* da rede de drenagem. (1.996.952 pixels).

No **ArcToolbox / Spatial Analyst Tools / Map Algebra / Raster Calculator** foi elaborado uma álgebra de mapas que refere-se a expressão utilizada para calcular o pixel que irá indicar o comprimento total da rede de drenagem. Para elaborar o mapa da rede de drenagem (*raster*) foi utilizada a referência do valor de 500, que mais se aproximou da rede de drenagem vetorizada no *Google Earth* da área de trabalho (BHCR).

**Map Algebra expression:** Con("DEMfillfa.tif" > 500,1)  
**Output raster:** salvo como DEMcalc

Como observação, foi calculada também a imagem com o valor de 100. Neste valor a representação da rede de drenagem no argissolo foi melhor. Entretanto, na área de latossolo a representação da rede de drenagem foi exagerada, caracterizando muitas linhas de ravinas (linhas que não contém acúmulo de água superficial). A rede de drenagem foi visualizada no mapa do *Google Earth*, e sobre o aspecto da filtragem dos rios, a rede de drenagem pode ser omitida ou ampliada. Sendo assim, foi selecionado o valor de 500 para este trabalho, tendo em vista que os algoritmos de Strahler (1952) e Shreve (1967) são mais específicos para classificar rios de segunda ordem. Os testes realizados foram confrontados nos dois principais solos da área: argissolo e latossolo. O valor de 500 foi mais específico para a área de latossolos e o valor de 100 foi mais adequado para a área de argissolos. Para que ocorresse uma rede de drenagem (*raster*) mais próxima da rede de drenagem vetorizada no *Google Earth* foi selecionado o valor de 500 (Figura 3, i).

No *ArcToolbox / Spatial Analyst Tools / Hydrology / Stream to Feature* foi realizada a etapa de transformação da rede de drenagem selecionada (*raster*) para vetor.

**Input stream raster:** DEMcalc;  
**Input flow direction raster:** DEMfillfd  
**Output data type:** salvo como DEMstf.

O DEMstf (Figura 3, j) demonstra a rede de drenagem selecionada para este estudo.

☉ Para delimitar a BHCR na área, foram realizadas as etapas seguintes: No banco de dados, clicou com o botão da direita, selecionou **Creat New Shapefile / Name:** Delimita / **Feature Type:** Point / **OK**. Na barra superior selecionou **Editor / Start Edition**, fez-se um zoom e marcou um ponto próximo à foz (Rio Mogi Guaçu) e novamente **Editor / Stop Edition**.

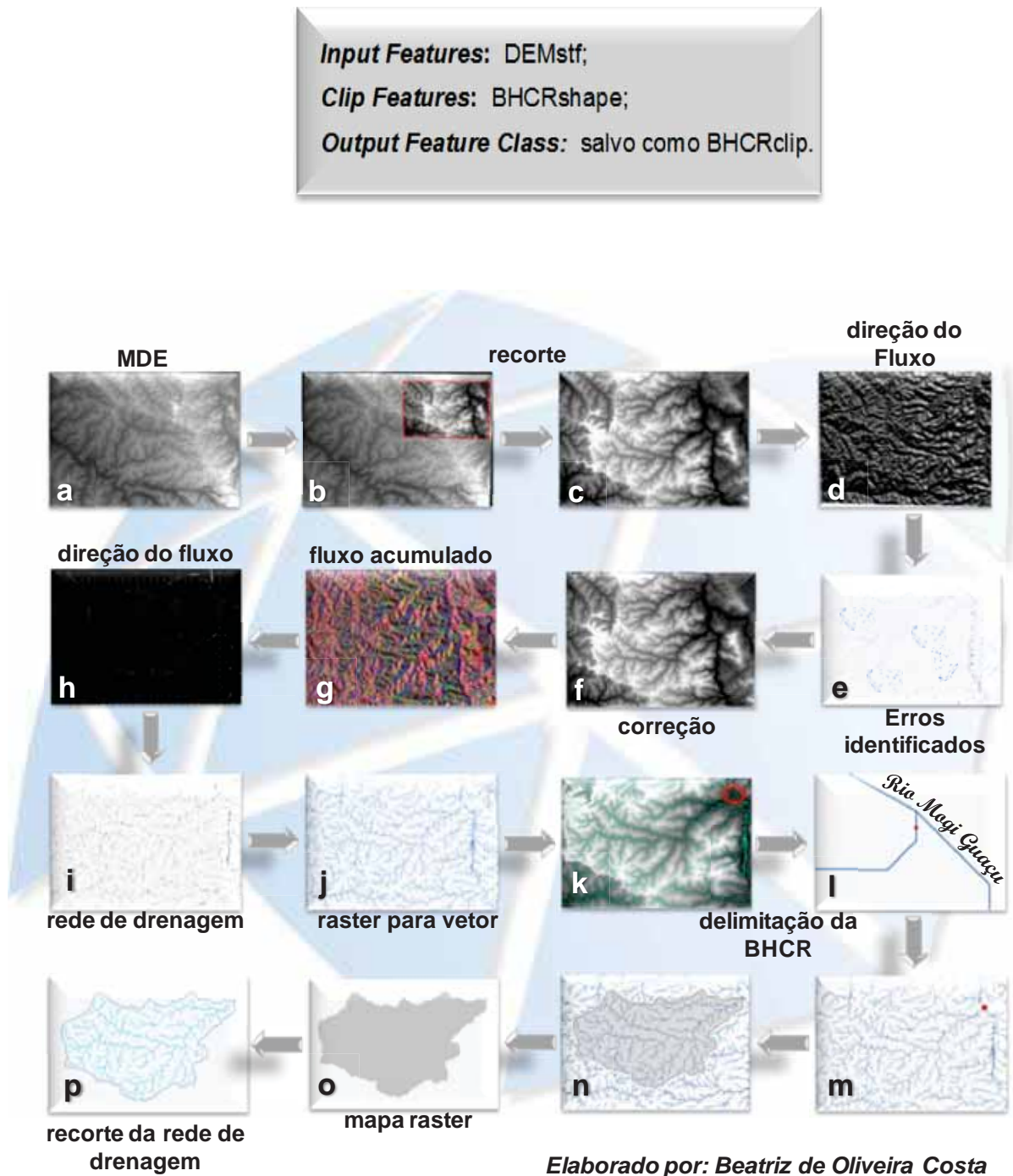
☉ Uma vez inserido o ponto de foz (Figura 3 k, l e m), **ArcToolbox / Spatial Analyst Tools / Hydrology / Watershed**. Nesta etapa inseriu o **DEMfillfd** e o **feature point** para marcar o ponto de foz. Assim, foi calculado o polígono do divisor topográfico da bacia, (BHCR – Figura 3, n).

**Input flow direction raster:** DEMfillfd;  
**Input raster or feature pour point data:** Delimita  
**Output raster:** salvo como BHCR.

☉ Após delimitação do divisor de águas foi elaborado o mapa *raster* da BHCR. Em seguida, foi processado o *raster* do divisor topográfico para *shape* no **ArcToolbox / Conversion Tools / Raster to Polygon** (Figura 3, o).

**Input raster:** BHCR;  
**Output raster:** salvo como BHCRshape.

☉ E por último, o recorte da rede de drenagem: **ArcToolbox / Analysis Tools / Extract / Clip** (Figura 3, p).



**Figura 3.** Extração da rede de drenagem da BHCR, SP.

Anexo da Tese de Doutorado intitulada: “*PERDA DE SOLO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO RICO – SP, UTILIZANDO TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO*”, apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia – Produção Vegetal em Maio/2014. Doutoranda: **Beatriz de Oliveira Costa** ([beatriz.oliveira.costa@hotmail.com](mailto:beatriz.oliveira.costa@hotmail.com)), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – FCAV/UNESP, Jaboticabal, SP.

## ANEXO III

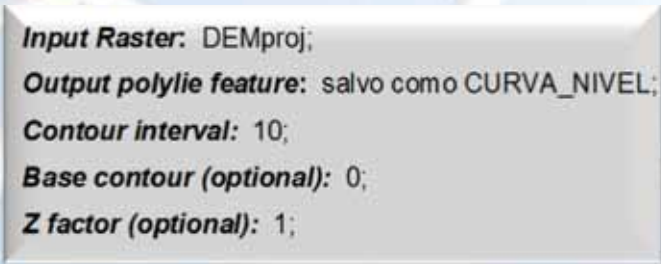
### Mapa do Fator Comprimento de Rampa – L

### Mapa do Fator Declividade – S

#### 1. Curvas de nível

☉ Foi inserido no ArcMAP, o DEMproj descrito no Anexo II, e seguiu-se os seguintes passos:

☉ **ArcToolbox / 3D Analyst Tools / Raster Surface / Contour.**



**Input Raster:** DEMproj;  
**Output polyline feature:** salvo como CURVA\_NIVEL;  
**Contour interval:** 10;  
**Base contour (optional):** 0;  
**Z factor (optional):** 1;

☉ *Contours* (curvas de nível – Figura 1) são linhas que ligam pontos de igual valor (tais como elevação, temperatura, precipitação, poluição, ou a pressão atmosférica). As distribuições das linhas mostram como os valores variam numa superfície. As áreas em que os contornos (linhas) são mais próximas indicam os locais mais íngremes e correspondem áreas de maior altitude.

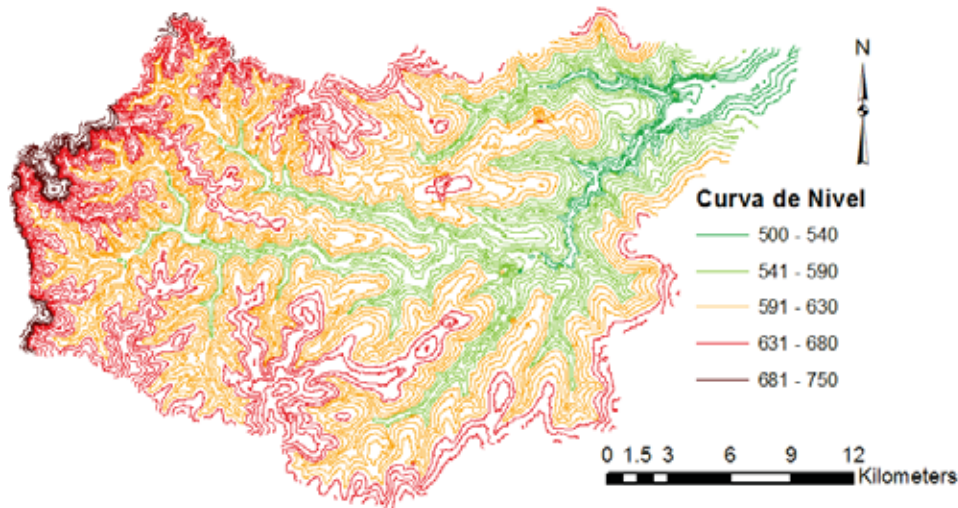


Figura 1. Curvas de nível da BHCRCR, SP.

## 2. Comprimento de Rampa (L)

Para elaborar o mapa do comprimento de rampa foi necessário importar o *DEMproj*, processar o *flowdirection* / *flowaccumulation* (Figura 2).

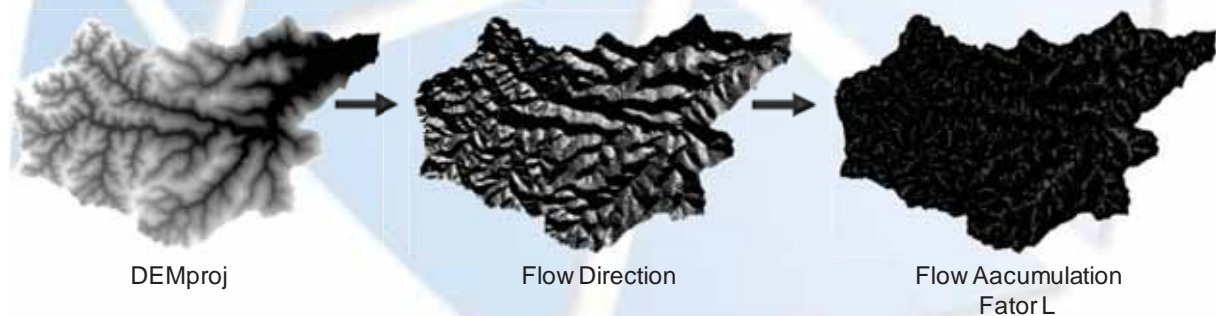


Figura 2. Elaboração do mapa para o fator L.

## 3. Declividade

O mapa da declividade foi elaborado no programa ArcGIS, a partir da derivação do modelo digital do terreno foram geradas as declividades da área. A classificação das declividades foi realizada primeiramente, conforme sugerido por Embrapa (1999), sendo elas: 0–3 cm m<sup>-1</sup> (plano), 3–8 cm m<sup>-1</sup> (suave ondulado), 8–20 cm m<sup>-1</sup> (ondulado), 20–45 cm m<sup>-1</sup> (forte ondulado), 45–75 cm m<sup>-1</sup> (montanhoso) e 75–100 cm m<sup>-1</sup> (escarpado).

Anexo da Tese de Doutorado intitulada: “*PERDA DE SOLO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO RICO – SP, UTILIZANDO TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO*”, apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia – Produção Vegetal em Maio/2014. Doutoranda: **Beatriz de Oliveira Costa** ([beatriz.oliveira.costa@hotmail.com](mailto:beatriz.oliveira.costa@hotmail.com)), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – FCAV/UNESP, Jaboticabal, SP.

🌐 Etapas **DEMproj** / **Spatial Analyst Tools** / **Surface** / **Slope** (Figura 3).

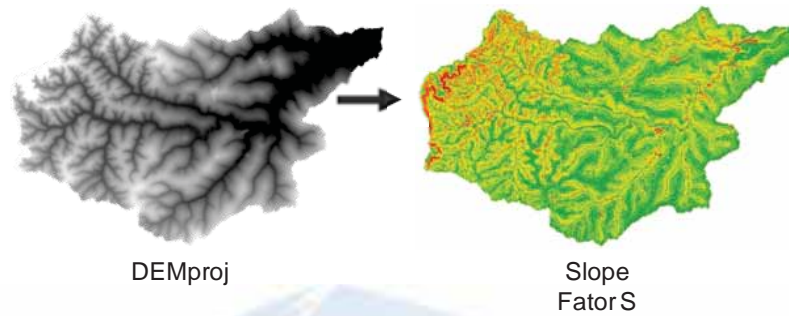


Figura 3. Elaboração do mapa para o fator S.

#### 4. Fator Topográfico LS

🌐 **ArcToolbox** / **Spatial Analyst Tools** / **Map Algebra** / **Raster Calculator** (Figura 4).

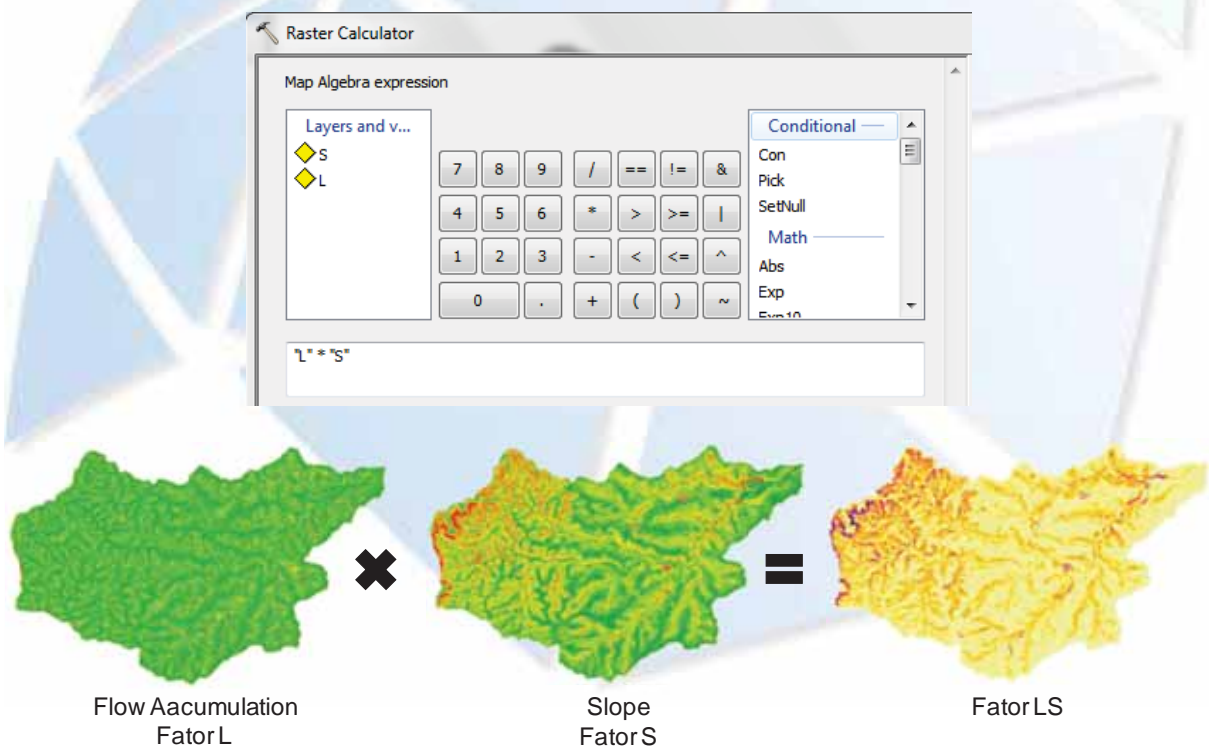


Figura 4. Elaboração do mapa para o fator LS.

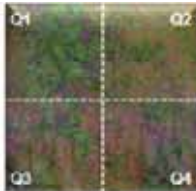
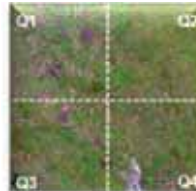
Anexo da Tese de Doutorado intitulada: **“PERDA DE SOLO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO RICO – SP, UTILIZANDO TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO”**, apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia – Produção Vegetal em Maio/2014. Doutoranda: **Beatriz de Oliveira Costa** ([beatriz.oliveira.costa@hotmail.com](mailto:beatriz.oliveira.costa@hotmail.com)), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – FCAV/UNESP, Jaboticabal, SP.

## ANEXO IV

## Mapa do Fator Cultivo e Manejo do Solo – C e Práticas Conservacionistas – P

☉ Para elaborar o mapa de uso e ocupação foi utilizado as imagens obtidas no site do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) para análise temporal dos anos de 1984 (20/06/1984) e 2011 (15/06/2011), do satélite Landsat 5, conforme especificações na Tabela 1. A área de estudo encontra-se no quadrante 1.

TABELA 1. Parâmetros das imagens orbitais do satélite Landsat 5

	Imagem 1984	Imagem 2011
Satélite	L5	L5
Sensor	TM	TM
Órbita	220	220
Ponto	75	75
Data da Passagem	20/06/1984	15/06/2011
Sceneld (identificação da cena)	L5TM22007519840620	L5TM22007520110615
Revolução	1614	45144
Latitude Norte	-20.75890	-20.75910
Longitude Oeste	-48.49560	-48.44630
Latitude Sul	-22.58280	-22.58270
Longitude Leste	-47.02470	-46.97090
Tempo Central (GMT)	12:38:31	12:59:28
Orientação da Imagem	8.19998	8.19998
Ângulo de Incidência Solar	58.3142	0
Azimuth Sol	41.5587	36.9738
Elevação do Sol	31.6858	35.0844
Cobertura de Nuvens Q1	0	0
Cobertura de Nuvens Q2	0	10
Cobertura de Nuvens Q3	10	0
Cobertura de Nuvens Q4	10	10
Imagem		

GMT – Greenwich Mean Time; Q – Quadrante; TM – Thematic Mapper; L – Landsat.

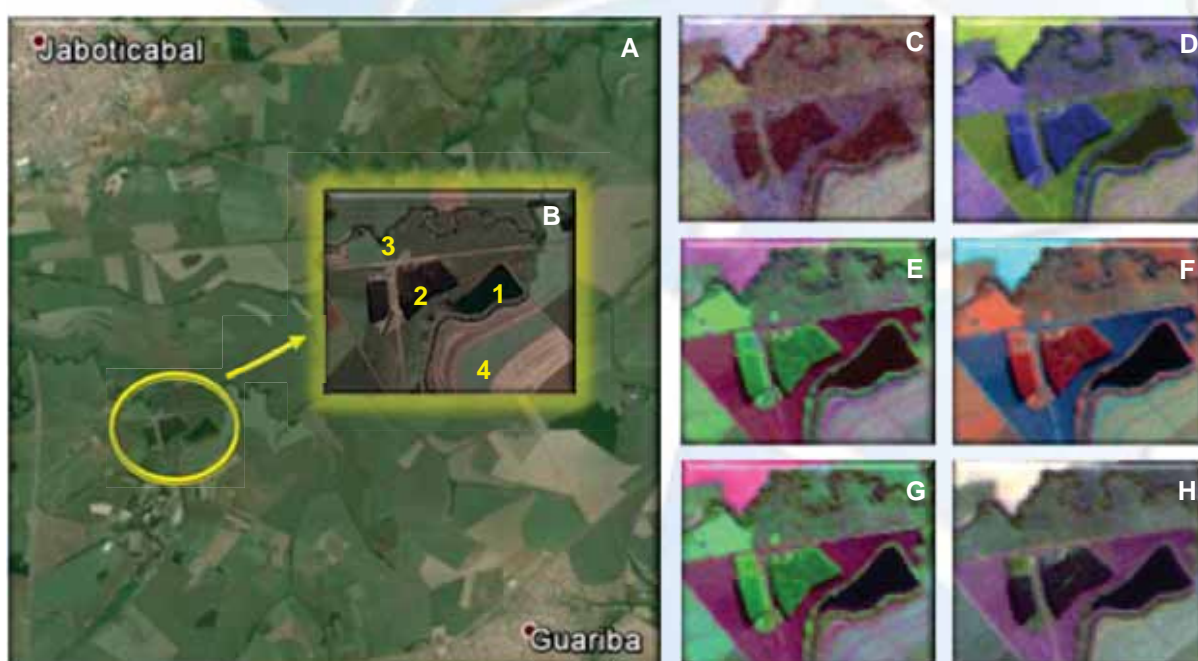
Anexo da Tese de Doutorado intitulada: “**PERDA DE SOLO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO RICO – SP, UTILIZANDO TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO**”, apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia – Produção Vegetal em Maio/2014. Doutoranda: **Beatriz de Oliveira Costa** ([beatriz.oliveira.costa@hotmail.com](mailto:beatriz.oliveira.costa@hotmail.com)), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – FCAV/UNESP, Jaboticabal, SP.



## 1. Composição das Bandas

🌐 Neste trabalho foram compostas 6 combinações de bandas (Figura 1), para compreender/visualizar qual delas mais se aproxima a realidade no campo e facilitar a identificação das classes de uso e ocupação do solo, por meio da ferramenta “*composite bands*” no ArcGIS, criando um único conjunto de dados *raster* a partir da combinação de três bandas.

## 2. Google Earth



**Figura 1.** A) *Print screen* no *Google Earth* da área de estudo; B) Exemplo das classes na imagem: 1- Água, 2- Pinus, 3- Mata, 4- Cana; Composição das bandas RGB (Red, Green, Blue): C)123; D)234; E)345; F)457; G)742; **H)753**.

🌐 Mesmo com as composições na Figura 2, várias áreas estavam difíceis de identificação/classificação. Sendo assim, utilizou-se a imagem do **Google Earth** para treinamento e reconhecimento da área, com vetorização da região, conforme Figura 3 e Tabela 2.

Anexo da Tese de Doutorado intitulada: “**PERDA DE SOLO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO RICO – SP, UTILIZANDO TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO**”, apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia – Produção Vegetal em Maio/2014. Doutoranda: **Beatriz de Oliveira Costa** ([beatriz.oliveira.costa@hotmail.com](mailto:beatriz.oliveira.costa@hotmail.com)), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – FCAV/UNESP, Jaboticabal, SP.



**A)** Localização: Latitude 21°10'S e 21°28'S  
– Longitude 48°10'W e 48°35'W.



**B)** Delimitação da Bacia

Área m<sup>2</sup>: 579.174.933,86



**C)** Classe 1. Frutífera

Área m<sup>2</sup>: 23.271.146,07



**D)** Classe 2. Mata

Área m<sup>2</sup>: 69.617.036,28



**E)** Classe 3. Água

Área m<sup>2</sup>: 2.783.101,42



**F)** Classe 4. Solo Exposto

Área m<sup>2</sup>: 1.480.046,42

Anexo da Tese de Doutorado intitulada: “*PERDA DE SOLO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO RICO – SP, UTILIZANDO TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO*”, apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia – Produção Vegetal em Maio/2014. Doutoranda: **Beatriz de Oliveira Costa** ([beatriz.oliveira.costa@hotmail.com](mailto:beatriz.oliveira.costa@hotmail.com)), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – FCAV/UNESP, Jaboticabal, SP.



**G) Classe 5. Cidades / Edificações**

Área m<sup>2</sup>: 39.945.967,76



**H) Classe 6. Pastagem**

Área m<sup>2</sup>: 18.115.698,84



**I) Classe 7. Pinus / Eucalipto**

Área m<sup>2</sup>: 2.787.118,53



**J) Classe 8. Outros Usos**

Área m<sup>2</sup>: 17.655.334,42



**K) Classe 9. Cana**

Área m<sup>2</sup>: 403.682.334,42



**L) Área com diferentes anos**

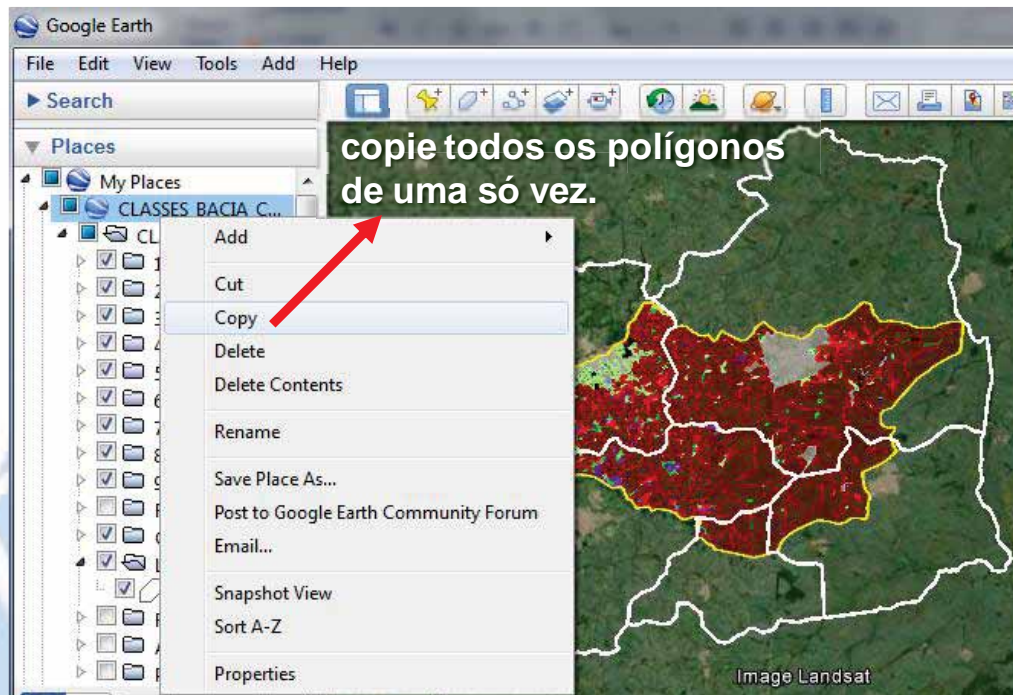
□ 2003 ■ 2007 ■ 2010 ■ 2013

**Figura 2.** Interpretação da imagem entre 09/2013 a 01/2014 com um total de 1916 polígonos.

Anexo da Tese de Doutorado intitulada: “*PERDA DE SOLO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO RICO – SP, UTILIZANDO TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO*”, apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia – Produção Vegetal em Maio/2014. Doutoranda: **Beatriz de Oliveira Costa** ([beatriz.oliveira.costa@hotmail.com](mailto:beatriz.oliveira.costa@hotmail.com)), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – FCAV/UNESP, Jaboticabal, SP.

### 3. Earth Point

☉ Após gerar 1916 polígonos no **Google Earth**, estes foram copiados de uma só vez e colados na caixa de texto do **Earth Point**, para cálculo da área de cada um, conforme Figuras 4 e 5.




**Figura 3.** Interpretação da imagem entre 09/2013 a 01/2014.

Anexo da Tese de Doutorado intitulada: **“PERDA DE SOLO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO RICO – SP, UTILIZANDO TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO”**, apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia – Produção Vegetal em Maio/2014. Doutoranda: **Beatriz de Oliveira Costa** ([beatriz.oliveira.costa@hotmail.com](mailto:beatriz.oliveira.costa@hotmail.com)), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – FCAV/UNESP, Jaboticabal, SP.

**Earth Point** Tools for Google Earth **1) criar uma conta** → beatriz.oliveira.costa@hotmail.com  
 Subscription Last Day: Jan 01, 1900 [My Account](#) [Sign Out](#) [Contact](#)

**KML Shapes - Polygon Area, Linestring Length, Placemark Point.**

A user account is recommended for the features on this web page. 

**Worldwide Utilities**  
 Calculate the area of a Google Earth polygon, its perimeter, centroid, and bounding box.  
 Calculate the length of a path, its mid-point, and bounding box.  
 Show the coordinates of a kml placemark.

**Excel To Google Earth**  
 Coordinate Grids

**Polygon Area** **Instructions**  
 1) In Google Earth, right click a polygon, path, or placemark, or a folder containing these items.  
 2) Select "Copy" from the pop-up menu.  
 3) Switch back to this web page. "Paste" into the text box below.

**Convert Coordinates**  
**Batch Convert**

**USA Utilities**

**Township & Range**  
 BLM Grid  
 Search By Description  
 Search By Lat Long  
 Alternate Grid

**California Twp & Rng**  
 California Grid  
 Search By Description  
 Search By Lat Long

**Texas Land Survey**  
 Abstract Grid  
 Search By Description  
 Search By Lat Long

**State Plane** →  
 Topo Map

**Boise, Idaho, USA**  
**Real Estate Listings**  
**County Assessor**  
 Land Records Grid  
 Land Records Search

**Help**  
 Q & A

**Instructions**  
 4) Select the output options.

Coordinates:  
 Degrees  
 Degrees Minutes  
 Degrees Minutes Seconds  
 UTM  
 MGRS  
 State Plane (USA only)  
 Maidenhead  
 Georef

Area:  
 Acres  
 Hectares  
 Sq Miles  
 Sq Yards  
 Sq Feet  
 Sq Kilometers  
 Sq Meters  
 Sq Nautical Miles

Length:  
 Miles  
 Yards  
 Feet  
 Kilometers  
 Meters  
 Nautical Miles

5) Calculate the result.

**3**

[View On Web Page](#) [View On Google Earth](#) [Export to Excel](#) [Export to .csv](#)

**2) cole nesta área todos os polígonos**

```

-48.427991975363,-21.26048178642679,0
-48.42779115757719,-21.26090688384416,0
</coordinates>
</LinearRing>
</outerBoundaryIs>
</Polygon>
</Placemark>
</Folder>
</Document>
</kml>

```

**Figura 4.** Página do *Earth Point* para cálculo de área.

🌐 Após último passo da Figura 4 (**Export to Excel**), a informação espacial foi inserida por meio da Latitude e Longitude do polígono coletado, conforme exemplo na Figura 5 (com aproximadamente 2000 linhas no Excel) e o resumo desta planilha de acordo com a Tabela 2.

Anexo da Tese de Doutorado intitulada: “*PERDA DE SOLO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO RICO – SP, UTILIZANDO TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO*”, apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia – Produção Vegetal em Maio/2014. Doutoranda: **Beatriz de Oliveira Costa** ([beatriz.oliveira.costa@hotmail.com](mailto:beatriz.oliveira.costa@hotmail.com)), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – FCAV/UNESP, Jaboticabal, SP.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Name	Shape Type	Number of Points	Area (Sq Meters)	Perimeter / Length (Meters)	Centroid/Mid-Point (UTM)	Bounding Box Maximum (UTM)	Bounding Box Minimum (UTM)
2	1	Polygon	50	105,556.2542	2,010.3382	22K 760754mE 7640606mN	22K 760949mE 7640848mN	22K 760517mE 7640392mN
3	1	Polygon	36	21,009.9306	664.2892	22K 763434mE 7646290mN	22K 763522mE 7646389mN	22K 763325mE 7646162mN
4	1	Polygon	48	149,147.7482	2,091.5915	22K 761639mE 7634689mN	22K 761848mE 7634996mN	22K 761407mE 7634231mN
5	1	Polygon	14	71,164.8958	1,191.6538	22K 762918mE 7639954mN	22K 763139mE 7640090mN	22K 762753mE 7639738mN

**Figura 5.** Dados de cada polígono – neste exemplo o número 1 representa áreas com frutíferas.

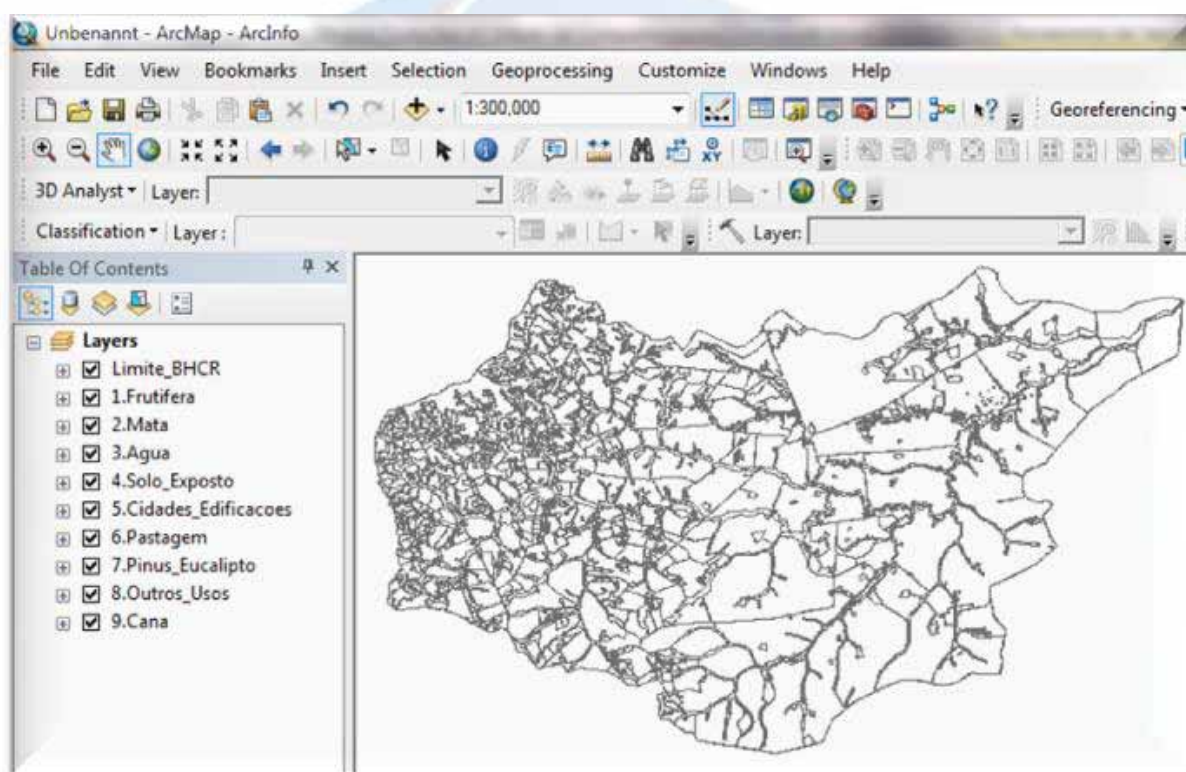
**Tabela 2.** Classes e suas respectivas áreas no *Google Earth* e calculadas no *Earth Point*.

Nº	Classes	Total poligonos	Area (m <sup>2</sup> )	%
1	Frutifera	184	23,271,146.07	4.0
2	Mata	263	69,617,036.28	12.0
3	Agua	214	2,182,042.42	0.4
4	Solo_Exposto	53	1,480,046.42	0.3
5	Cidade/Edificacoes	489	39,945,967.76	6.9
6	Pastagem	274	18,115,698.84	3.1
7	Pinus_Eucalipto	35	2,787,118.53	0.5
8	Outros_Usos	114	17,655,521.32	3.1
9	Cana	290	403,682,334.42	69.8
TOTAL		1916	578,736,912.06	100.0

Anexo da Tese de Doutorado intitulada: “*PERDA DE SOLO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO RICO – SP, UTILIZANDO TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO*”, apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia – Produção Vegetal em Maio/2014. Doutoranda: **Beatriz de Oliveira Costa** ([beatriz.oliveira.costa@hotmail.com](mailto:beatriz.oliveira.costa@hotmail.com)), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – FCAV/UNESP, Jaboticabal, SP.

#### 4. ArcMap

Estes dados com extensão **kml** no **Google Earth**, foram exportados para o ArcGIS, convertidos de **kml** para **Layer** (Figura 6) na ferramenta **Arc Toolbox / Conversion Tools / From KML to Layer** sobre a imagem da área. Com a função ligar/desligar **layer**, foi conferido à correta sobreposição dos polígonos sobre a imagem de 2011 e posteriormente com a imagem de 1984.



**Figura 6.** 1916 polígonos convertidos de KML para *Layer* no ArcGIS.

Anexo da Tese de Doutorado intitulada: “**PERDA DE SOLO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO RICO – SP, UTILIZANDO TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO**”, apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia – Produção Vegetal em Maio/2014. Doutoranda: **Beatriz de Oliveira Costa** ([beatriz.oliveira.costa@hotmail.com](mailto:beatriz.oliveira.costa@hotmail.com)), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – FCAV/UNESP, Jaboticabal, SP.

## 5. Classificação Supervisionada

🌐 Abrir a imagem de 2011 com o **Add Data**, inserir o limite da bacia e recortar (Figura 8, nºs 1 e 2).

🌐 Com os polígonos de cidades e edificações **KML** vetorizados no **Google Earth**, sobrepor sobre a imagem 2011, acrescentar e/ou retirar polígonos já que a imagem do **Google Earth** não é a mesma estudada (Figura 8, nº 3).

🌐 No **ArcCatalog** / **New** / **Create New Shapefile** / **Start Editing** / faça um retângulo/moldura ao redor dos polígonos cidades/edificações, salvar.

🌐 **ArcToolbox** / **Analysis Tools** / **Overlay** / **Erase**. No **Input Feature** insira a moldura e no **Erase Feature** os polígonos das cidades/edificações, Ok (Figura 7 e Figura 8, nº 4).



Figura 7. Criação da moldura sem cidades/edificações.

🌐 **ArcToolbox** / **Spatial Analyst Tools** / **Extraction** / **Extraction by Mask**. No **Input raster** inserir a imagem 2011 e no **Input raster or feature mask data**, inserir o resultado do **Erase** (Figura 8, nº 4).

🌐 Criar um novo **shape** para delimitar com polígonos as amostras/classes e identificar as classes na tabela de atributos (Figura 8, nºs 5 e 6).

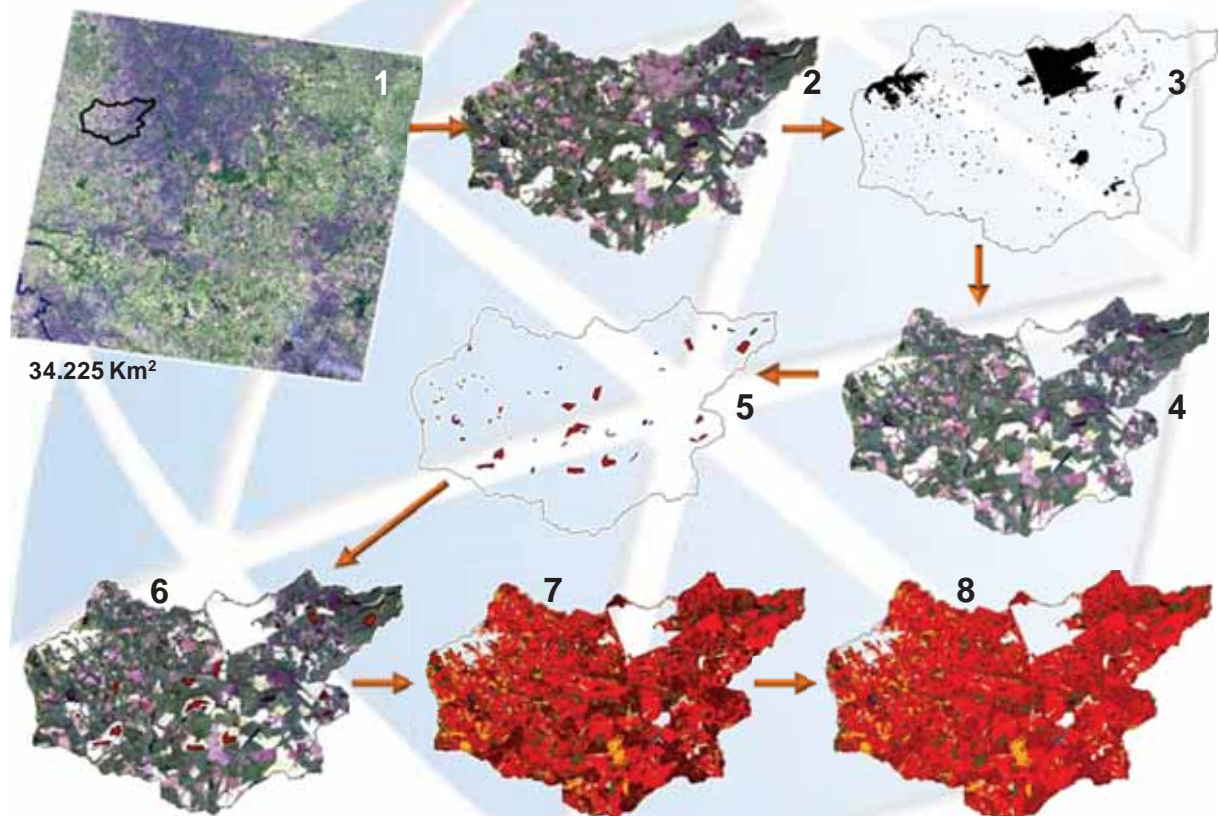
🌐 Após classificar a imagem abra **ArcToolBox** / **Spatial Analyst Tools** / **Multivariate** / **Create Signatures** para transformar o arquivo vetor em estatística que será utilizado na classificação da imagem.

Anexo da Tese de Doutorado intitulada: “**PERDA DE SOLO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO RICO – SP, UTILIZANDO TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO**”, apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia – Produção Vegetal em Maio/2014. Doutoranda: **Beatriz de Oliveira Costa** ([beatriz.oliveira.costa@hotmail.com](mailto:beatriz.oliveira.costa@hotmail.com)), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – FCAV/UNESP, Jaboticabal, SP.



☉ Uma vez finalizado o procedimento, abra **ArcToolBox / Spatial Analyst Tools / Multivariate / Maximum Likelihood**. Inserir a imagem a ser classificada e o arquivo **Signature** (Figura 8, nº 7).

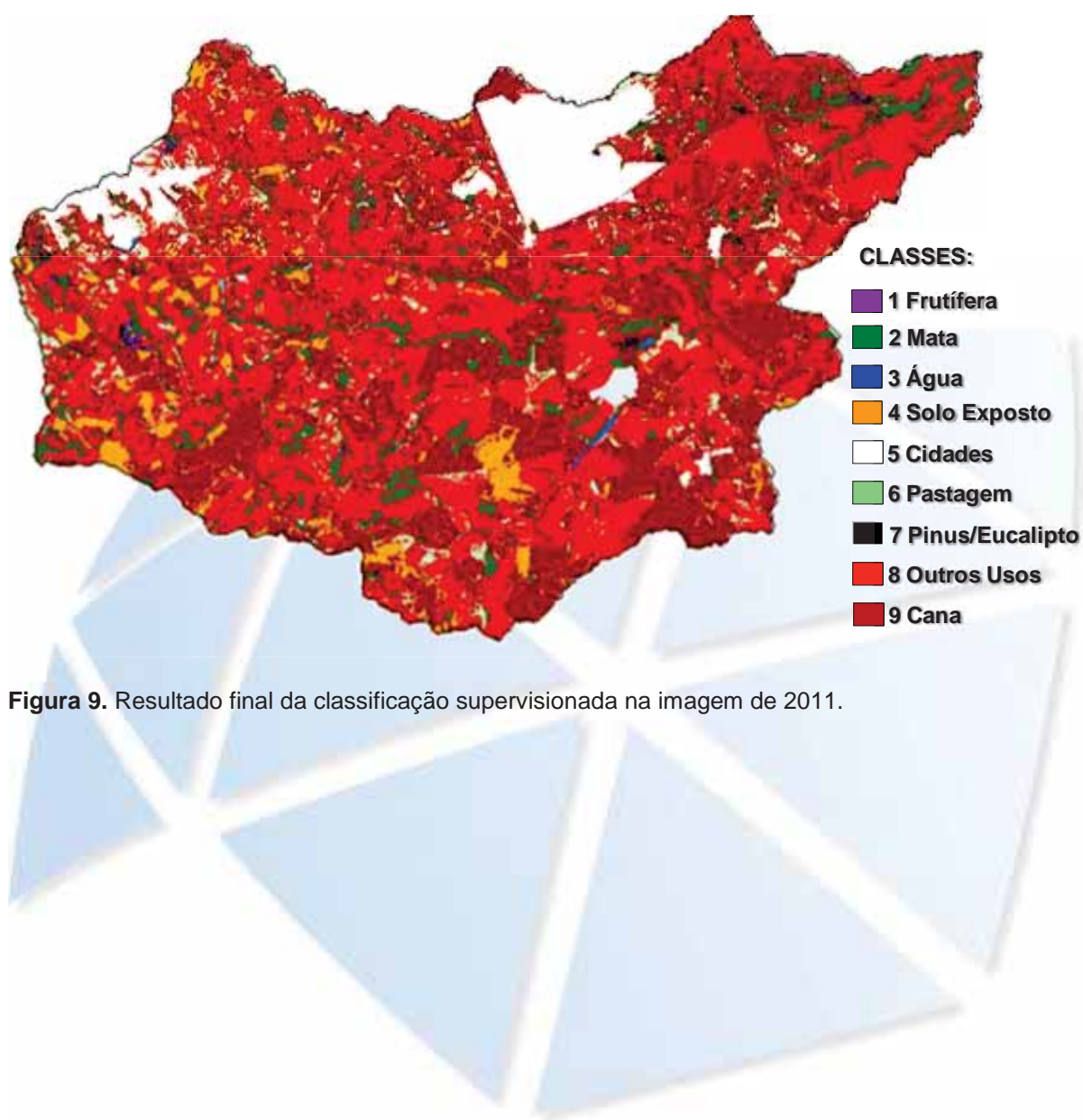
☉ Este tipo de classificação deixa um pouco de ruído/resíduos na imagem que podem ser ajustados com o procedimento **Majority Filter** (Figura 8, nº 8 e Figura 9).



**Figura 8.** Classificação supervisionada na imagem de 2011.

☉ O mesmo procedimento deverá ser realizado para a imagem de 1984.

Anexo da Tese de Doutorado intitulada: “**PERDA DE SOLO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO RICO – SP, UTILIZANDO TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO**”, apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia – Produção Vegetal em Maio/2014. Doutoranda: **Beatriz de Oliveira Costa** ([beatriz.oliveira.costa@hotmail.com](mailto:beatriz.oliveira.costa@hotmail.com)), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – FCAV/UNESP, Jaboticabal, SP.




**Figura 9.** Resultado final da classificação supervisionada na imagem de 2011.

Anexo da Tese de Doutorado intitulada: *“PERDA DE SOLO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO RICO – SP, UTILIZANDO TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO”*, apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia – Produção Vegetal em Maio/2014. Doutoranda: **Beatriz de Oliveira Costa** ([beatriz.oliveira.costa@hotmail.com](mailto:beatriz.oliveira.costa@hotmail.com)), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – FCAV/UNESP, Jaboticabal, SP.

## ANEXO V

## Álgebra de Mapas

 **ArcToolbox / Spatial Analyst Tools / Map Algebra / Raster Calculator**, conforme Figuras 1 e 2, para o ano de 1984 e o mesmo procedimento foi realizado para o ano de 2011.

**Notas**

- R
  - 3
  - 6
  - 9
- k
  - 2
  - 4
  - 6
  - 8
- LS
  - 1
  - 2
  - 3
  - 4
  - 5
  - 6
  - 7
- C
  - 1
  - 2
  - 3
  - 4
  - 5
  - 6
  - 7
  - 8
  - 9
- P
  - 1
  - 2
  - 3
  - 4
  - 5
  - 6
  - 7
  - 9
  - 10

**Raster Calculator**

Map Algebra expression

R  
 K  
 LS  
 C  
 P

$(R * 0.20) + (K * 0.20) + (LS * 0.20) + (C * 0.20) + (P * 0.20)$

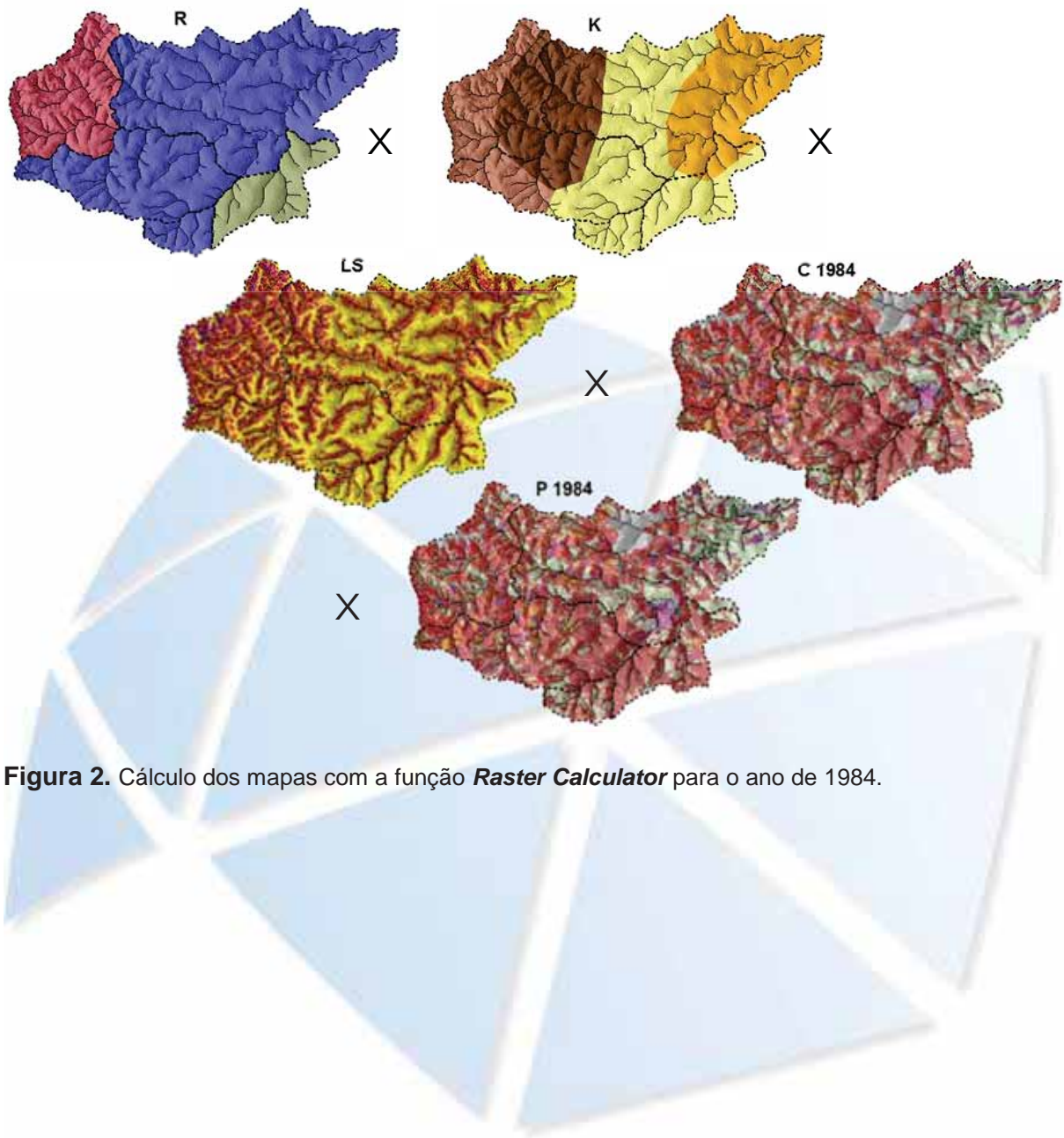
Output raster

g:\12.TESE\16.QUALIFICACAO\01.ARTIGO\_REVISTA\04.APRESENTACAO\AlgebraMapas

PESO	Mapa 1	Mapa 2	Mapa 3
Fator R	0.20	0.10	0.10
Fator K	0.20	0.35	0.35
Fator LS	0.20	0.20	0.30
Fator C	0.20	0.15	0.15
Fator P	0.20	0.20	0.10
<b>Perda de Solo</b>	<b>1.00</b>	1.00	1.00

**Figura 1.** Cálculo dos mapas com a função **Raster Calculator**.

Anexo da Tese de Doutorado intitulada: “**PERDA DE SOLO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO RICO – SP, UTILIZANDO TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO**”, apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia – Produção Vegetal em Maio/2014. Doutoranda: **Beatriz de Oliveira Costa** ([beatriz.oliveira.costa@hotmail.com](mailto:beatriz.oliveira.costa@hotmail.com)), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – FCAV/UNESP, Jaboticabal, SP.



**Figura 2.** Cálculo dos mapas com a função *Raster Calculator* para o ano de 1984.

Anexo da Tese de Doutorado intitulada: “*PERDA DE SOLO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO RICO – SP, UTILIZANDO TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO*”, apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia – Produção Vegetal em Maio/2014. Doutoranda: **Beatriz de Oliveira Costa** ([beatriz.oliveira.costa@hotmail.com](mailto:beatriz.oliveira.costa@hotmail.com)), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – FCAV/UNESP, Jaboticabal, SP.