

# **UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA**

Instituto de Geociências e Ciências Exatas

*Campus de Rio Claro*

**LEANDRO DE SOUZA PINHEIRO**

## **A Dinâmica Erosiva na Bacia do Córrego Ibitinga – Rio Claro (SP): uma Abordagem Empírico-Dedutiva**

Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, Área de Organização do Espaço do Instituto de Geociências e Ciências Exatas do Campus de Rio Claro - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, como requisito para obtenção do título de Doutor em Geografia.

Orientador: Cenira Maria Lupinacci da Cunha

Rio Claro (SP)  
2012

LEANDRO DE SOUZA PINHEIRO

**A Dinâmica Erosiva na Bacia do Córrego Ibitinga – Rio Claro  
(SP): uma Abordagem Empírico-Dedutiva**

Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, Área de Organização do Espaço do Instituto de Geociências e Ciências Exatas do Campus de Rio Claro - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, como requisito para obtenção do título de Doutor em Geografia.

COMISSÃO EXAMINADORA

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Cenira Maria Lupinacci da Cunha – Orientador

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Regina Célia de Oliveira

---

Prof. Dr. João Osvaldo Rodrigues Nunes

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Iandara Alves Mendes

---

Prof. Dr. Sérgio dos Anjos Ferreira Pinto

Rio Claro, 17 de Outubro de 2012

Resultado: Aprovado

Dedico este trabalho aos meus pais,  
minhas irmãs e minha esposa.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus que, apesar de minhas confusões, me amparou em todos os momentos.

Agradeço imensamente à Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Cenira Maria Lupinacci da Cunha pela competência, dedicação e apoio na orientação deste trabalho.

À Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Iandara Alves Mendes, principalmente, pela orientação em minha vida.

Aos meus pais, Reinaldo e Lourdes, que estão comigo em todos os momentos e às minhas irmãs Vanessa e Andreza, pela confiança e amizade.

À minha amada esposa Andréa que me acompanhou e suportou comigo as minhas dificuldades.

Aos meus eternos amigos dos tempos de graduação Plínio, Petter, Alexandre, Thaís, Rose, Davi, Fábio, Jônatas, Simone, Fernanda, Débora, Mônica, Eliane, Juliana, Rafael e outros, pela convivência e companheirismo.

Aos amigos da Floresta Estadual Edmundo Navarro de Andrade, Antonio Pontalti, Sérgio Christofolletti e Denise Zanchetta, pela colaboração sempre prestativa e, ainda, os funcionários Marta, Rose, Chico e Cristina.

Agradeço à Letícia Giuliana Paschoal pela ajuda com o ArcGIS. Ao amigo Plínio Dainezi pelos auxílios em campo e conselhos.

Agradeço ao Engenheiro Agrônomo Jhansley Ferreira da Mata pelas análises de solo. Ao aluno e funcionário da EMATER – Frutal André Faria pela ajuda com materiais de campo.

A todos os meus alunos da UEMG – Frutal (MG), pelas conversas nos momentos apertados dos trabalhos, em especial ao Venâncio Campos, Josiele Gonçalves, Monaliza Queiroz e Ricardo Gama, pelo auxílio nos trabalhos de campo.

Aos meus companheiros professores da UEMG, Gercina, André, Eliana, Rodrigo, Marli, Cléber e Ana Maria, estendo, ainda, meus agradecimentos aos colegas da secretaria, coordenação pedagógica e direção da UEMG - Frutal.

Agradeço, ainda, à PROPG – UNESP, pelo auxílio financeiro nos congressos científicos.

De fato, a falsa racionalidade, isto é, a racionalização abstrata e unidimensional, triunfa sobre as terras. Por toda parte e durante décadas, soluções presumivelmente racionais trazidas por peritos convencidos de trabalhar para a razão e para o progresso e de não identificar mais que superstições nos costumes e nas crenças das populações, empobreceram ao enriquecer, destruíram ao criar.

(MORIN, 2006, p. 44)

## **A Dinâmica Erosiva na Bacia do Córrego Ibitinga – Rio Claro (SP): uma Abordagem Empírico-Dedutiva**

### **Resumo**

A temática sobre processos erosivos tem se destacado, pois os impactos causam danos ambientais, sociais e econômicos; no entanto, não há o esforço ideal para o planejamento visando a prevenção ou minimização da erosão. Assim, o estabelecimento das atividades humanas deve ser acompanhado do planejamento. A erosão laminar, devido a sua característica peculiar, é dificilmente detectada por grande parte da população, principalmente nos estágios iniciais, havendo assim a necessidade do estabelecimento de práticas corretas de conservação do solo. A Equação Universal de Perda de Solo (EUPS) busca estimar a perda de solo pela erosão laminar, considerando os fatores condicionantes da erosão; trata-se de um modelo de erosão amplamente aplicado em pesquisas nacionais e internacionais. Contudo, existem fatores limitantes, inerentes da busca pela aproximação com a realidade, pois, a EUPS não considera a geometria das vertentes e aborda parcialmente a questão da extensão das vertentes, de grande influência no processo erosivo hídrico de superfície. Desta forma, o objetivo principal dessa pesquisa foi analisar como a sistemática de obtenção dos dados de comprimento de vertentes interfere nos resultados obtidos com a Equação Universal de Perda de Solo e, a partir dessa análise, propor uma forma eficiente de produzir os dados de extensão das vertentes. O objetivo proposto destinou-se à comprovação da tese de que a dinâmica erosiva nas vertentes é complexa e condicionada pela inter-relação entre os segmentos dessa vertente e as formas desses segmentos. Desse modo, lançou-se a hipótese, para orientação da pesquisa, de que as perdas de solo variam de acordo com os setores da alta, média e baixa vertente. Como área de estudo, foi selecionada a Bacia Hidrográfica do Córrego Ibitinga, inserida no município de Rio Claro, com nascentes em área produtiva rural e seu médio e baixo curso em área de Unidade de Conservação de Uso Sustentável da Secretaria do Meio Ambiente do estado de São Paulo, a Floresta Edmundo Navarro de Andrade (FEENA). A fim de avaliar a área e atingir o objetivo proposto, buscou-se desenvolver estudo sobre a perda de solo, considerando a modelagem erosiva (EUPS) e a aplicação de parcelas experimentais de erosão, com ênfase ao Fator L (extensão de vertentes), analisando a sistemática de obtenção desses dados. Para tanto, foram desenvolvidas atividades em campo, laboratório e gabinete para levantamento e análise dos dados de perda de solo e da modelagem erosiva. Os resultados obtidos indicaram que o Fator L influenciou sensivelmente na geração das Cartas de Potencial Natural a Erosão e de Estimativas de Perda de Solo. A quantificação da extensão das vertentes por três metodologias apontou para resultados considerados satisfatórios diante da pesquisa proposta. A técnica de segmentação das vertentes mostrou-se mais adequada, apresentando resultados que corroboram com diversos autores clássicos da literatura pertinente aos estudos erosivos. Esta técnica apresentou valores diferenciados do Fator LS ao longo da vertente, bem como a menor generalização dos dados. Aliado a isso, a carta de estimativas de perda de solo, gerada por essa técnica, foi a que apresentou maior coincidência de valores com as parcelas experimentais.

Palavras-chave: Geomorfologia. Extensão de Vertentes. EUPS. Erosão Laminar. Fator LS.

## **The Erosive Dynamics on the Basin of Stream Ibitinga - Rio Claro (SP): An Empiric-Deductive Approach**

### **Abstract**

The thematic erosion has excelled since the disorders generated by environmental impacts, because the impacts cause environmental damage, social and economic; however, there is not ideal planning effort for aimed at preventing or minimizing erosion. Thus, the establishment of human activities must be accompanied by planning. The sheet erosion, due to its peculiar characteristic, is hardly detected by most of the population, especially in the early stages, so there is a need for the establishment of correct practices for soil conservation. Universal Soil Loss Equation (USLE) seeks to estimate soil loss by sheet erosion, considering the factors that influence in the erosion, it is a model of erosion widely applied in national and international research. However, there are limiting factors inherent in the quest for rapprochement with the reality, because the USLE does not consider the geometry of the sides and partially addresses the question of extending the slope of great influence in the erosion of surface water. Thus, the main objective of this research was to analyze how the systematic collection of data length slope affect the results obtained with Universal Equation Soil Loss, and from this analysis, propose an efficient way to produce data extension The goal proposed was intended to prove the thesis that the dynamic erosive hillsides is complex and influenced by the interplay between the segments and the forms of the parts of these segments. Thus was launched the hypothesis to guide research that soil loss vary according to sectors of high, medium and low slope. As the study area was selected Watershed of Stream Ibitinga, inserted in municipality of Rio Claro, with headwaters in rural production area and its middle and lower course in the area of the Sustainable Use and Conservation of Environment Unit of the Environment Secretarit of State of the São Paulo, the Edmundo Navarro de Andrade Forest (FEENA). In order to evaluate the area and achieve the proposed objective, we sought to develop a study on soil loss, considering the erosive modeling (USLE) and the application of erosion plots, with emphasis on L Factor (extension slope), analyzing systematics of obtaining such data. Therefore, activities were carried out in the field, laboratory and office for survey and data analysis of soil loss and erosive modeling. The results indicated that the L factor significantly influenced the generation of the maps with of Natural Potential of Erosion and Soil Loss Estimates. The quantification of the slope extents by three methodologies pointed to satisfactory results on the research proposal. The technique of segmentation slopes was more appropriate, presenting results that corroborate several classical authors of the literature for studies of erosion. This technique presented different values of LS Factor along the slope and the lowest data generalization. Allied to this, the maps of soil loss estimates generated by this technique, was presented the highest values coincidence with the experimental plots.

**Keywords:** Geomorphology, Extension Slope, USLE, sheet erosion, LS factor.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

	Página
1. Figura 1 - Localização da Bacia Hidrográfica do Córrego do Ibitinga no contexto da Bacia do Rio Corumbataí, da área urbana de Rio Claro e da FEENA. ....	17
2. Figura 2 – Compartimentação Geomorfológica do estado de São Paulo.....	18
3. Figura 3 – Visualização do relevo da área de estudo, ao fundo observa-se a FEENA.....	19
4. Figura 4 – Carta Topográfica da Bacia do Córrego Ibitinga.....	21
5. Figura 5 – Panorâmica no setor sudeste da bacia, a linha vermelha ilustra a ruptura topográfica.....	22
6. Figura 6 - Precipitações médias mensais no período 1954 a 2012 (Rio Claro – SP).....	23
7. Figura 7 – Desenho esquemático da aplicação da calha de Gerlach.....	35
8. Figura 8– Esquematização do H.E.T.....	39
9. Figura 9– Esquematização do J.E.T.....	39
10. Figura 10 – Determinação do Expoente <sup>m</sup> pela interação do comprimento de vertente com a declividade.....	45
11. Figura 11 – Relação da perda de solo, extensão e inclinação da vertente, para vertentes de até 20% de declividade.....	46
12. Figura 12 – Relação da perda de solo, extensão e inclinação da vertente, para vertentes de 10 a 50% de declividade.....	47
13. Figura 13 – Identificação dos limites das sub bacias (em vermelho) e das linhas de escoamento superficial (em azul).....	64
14. Figura 14 – Carta de Extensão de vertentes para exportação do arquivo, com os valores das extensões expressos em metros.....	65
15. Figura 15 – Individualização dos polígonos... ..	66
16. Figura 16 – Carta Pedológica da Bacia do Córrego Ibitinga.....	71
17. Figura 17 – Localização dos Experimentos na Bacia Hidrográfica do Ibitinga.....	77
18. Figura 18 – Pinos de erosão fincados no solo.....	78
19. Figura 19 - Montagem das Parcelas.....	78
20. Figura 20 –Instalação dos pinos de erosão.....	79
21. Figura 21 – Disposição esquemática dos pinos em uma parcela de 1m <sup>2</sup> .....	79
22. Figura 22 – Valores do Fator L por meio de três técnicas distintas.....	85
23. Figura 23 – Carta de Dissecação Horizontal da Bacia Hidrográfica do Córrego Ibitinga.....	86

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES (Continuação)

	Página
24. Figura 24 – Carta Clinográfica da Bacia do Córrego Ibitinga.....	87
25. Figura 25 – Carta do Fator LS 1 da Bacia do Córrego Ibitinga.....	88
26. Figura 26 – Carta do PNE 1 da Bacia do Córrego Ibitinga.....	89
27. Figura 27 – Visualização de topos suaves e vertentes convexas, em setor da alta bacia.....	91
28. Figura 28 - Área ocupada pelas diversas formas de vertente na Bacia do Córrego Ibitinga.....	91
29. Figura 29 - Constatação de ravinamentos na porção rural da área de estudo.....	92
30. Figura 30 – Carta Geomorfológica da Bacia do Córrego Ibitinga.....	93
31. Figura 31 – Carta do Fator LS 2 da Bacia do Córrego Ibitinga.....	94
32. Figura 32 – Carta do PNE 2 da Bacia do Córrego Ibitinga.....	96
33. Figura 33 – Carta do Fator LS 3 da Bacia do Córrego Ibitinga.....	99
34. Figura 34 – Carta do PNE 3 da Bacia do Córrego Ibitinga.....	101
35. Figura 35 – Cartas de PNE 1, 2 e 3, respectivamente.....	103
36. Figura 36 – Relação das áreas ocupadas pelas classes de PNE.....	104
37. Figura 37 – Carta de Uso da Terra da Bacia do Córrego Ibitinga (2010).....	105
38. Figura 38 –Área ocupada pelas diferentes classes de uso da terra (2010).....	106
39. Figura 39 – Vegetação de sub bosque no interior da FEENA.....	107
40. Figura 40 – Carta de Estimativa de Perda de solo 1.....	108
41. Figura 41 –Carta de Estimativa de Perda de solo 2.....	110
42. Figura 42 –Carta de Estimativa de Perda de solo 3.....	112
43. Figura 42 –Carta de Estimativa de Perda de solo 3.....	114
44. Figura 44 – Relação das áreas ocupadas pelas classes de estimativas de perda de solo.....	115
45. Figura 45 – Valores de perda de solo dos experimentos.....	116
46. Figura 46 – Perfil topográfico da vertente com experimentos das Parcelas 1, 5 e 6.....	118
47. Figura 47 – Perfil topográfico da vertente com experimentos das Parcelas 1, 2, 3 e 4.....	120
48. Figura 48 – Perfil topográfico da vertente com experimentos das Parcelas 7 e 8.....	121
49. Figura 49 – Perfil topográfico da vertente com experimentos das Parcelas 9 e 10.....	122

## LISTA DE QUADROS E TABELAS

	Página
1. Tabela 1 - Valores utilizados para obtenção do Fator R.....	69
2. Quadro 1 – Classes de declividade e cores de acordo com a classificação das declividades.....	69
3. Tabela 2 - Valores do Fator K utilizados.....	72
4. Tabela 3 - Dados de Valores do Fator C para as classes de uso da terra na Bacia do Córrego Ibitinga.....	73
5. Tabela 4– Valores de P de acordo com as práticas conservacionistas.....	74
6. Tabela 5 – Área ocupada pelas classes de Potencial Natural à Erosão (PNE 1).....	90
7. Tabela 6 – Área ocupada pelas classes de Potencial Natural à Erosão (PNE 2).....	97
7. Tabela 7 – Área ocupada pelas classes de Potencial Natural à Erosão (PNE 3).....	102
8. Tabela 8 – Área ocupada pelas classes de Perda de Solo 1.....	109
9. Tabela 9 – Área ocupada pelas classes de Perda de Solo 2.....	111
10. Tabela 10 –Área ocupada pelas classes de Perda de solo 3.....	113
11. Quadro 2 – Coincidência de valores das parcelas experimentais com as modelagens de perda de solo.....	116
12. Tabela 11 – Valores de densidade aparente e umidade dos solos dos experimentos.....	119
13. Tabela 12 – Valores acumulados de perda de solos dos experimentos (ton. /ha. <sup>-1</sup> ).....	119
14. Tabela 13 – Valores de granulometria das amostras de solos.....	120

## SUMÁRIO

	Página
1. INTRODUÇÃO.....	12
2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	17
3. 3. O MODELO EUPS NA ESTIMATIVA DA EROÇÃO HIDRICA.....	25
3.1. Breve Histórico.....	25
3.2. A universalidade da Equação Universal de Perda de Solo.....	28
3.3. Estudos Empíricos da Dinâmica Erosiva.....	33
3.4. Pesquisas Relacionadas ao Fator L da EUPS.....	44
4. A Abordagem Sistêmica na Modelagem Erosiva.....	52
5. ABORDAGEM METODOLÓGICA.....	59
5.1. Estimativa de Perda de Solo por meio da EUPS.....	58
5.1.1. Materiais.....	60
5.2. Aplicação de Técnicas do Modelo EUPS.....	61
5.3. Fator Topográfico (LS).....	63
5.3.1. Fator Comprimento de Vertente (L).....	63
5.3.2. Fator Declividade (S).....	67
5.4. Fator R (Erosividade das Chuvas) .....	69
5.5. Fator K (Erodibilidade do Solo).....	70
5.6. Fator C (Cobertura vegetal e Uso da Terra) .....	72
5.7. Fator P (Práticas Conservacionistas).....	74
5.8. Carta Geomorfológica.....	75
5.9. Instalação das Parcelas de Pinos de Erosão.....	76
5.10. Elaboração das Cartas de Potencial Natural à Erosão.....	81
5.11. Carta de Perda de Solo.....	83
6. ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	84
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	123
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	129

## 1. INTRODUÇÃO

A sociedade humana, pós meados do século passado e principalmente ao curso das últimas décadas, seguindo as emergências das forças capitalistas e da pressão demográfica, tem realizado sensíveis transformações na paisagem. Entre outros, um fato se mostra preocupante quando se tratam de alterações na superfície do planeta, mais precisamente quando se altera a dinâmica geomorfológica.

Alvo de várias pesquisas, a erosão mostra-se como um importante processo modelador do relevo, no entanto com o advento das atividades humanas principalmente na área rural, é cada vez mais frequente a problemática da erosão acelerada.

A erosão é um fenômeno de observação corrente, essencialmente característica da evolução superficial da crosta terrestre, sob as ações mecânicas e químicas da hidrosfera (chuvas e escoamento hídricos, glaciais, mar, umidade, evaporação), sob a ação da biosfera (vegetais, animais, homem), sob as ações da atmosfera (vento) e sob as variações da temperatura. (TERMIER; TERMIER, 1960, p. 7, tradução nossa).

Para Lal (2001) a degradação do solo é um processo biofísico exacerbado por fatores políticos e socioeconômicos, sendo que o aumento da população no século XX acentuou drasticamente essa degradação. O mesmo autor afirma ainda que, em tempos remotos, a degradação dos solos causou a decadência de algumas civilizações prósperas, como civilizações do vale do rio Indo, na Região Mediterrânea e civilizações na América Central.

Deste modo, a questão da erosão assume indubitável importância à medida que se apresenta como uma problemática relacionada também às esferas social e econômica. Para tanto, o Planejamento Ambiental surge como uma medida para diagnosticar e/ou prognosticar os impactos ambientais e dentre estes, os problemas relacionados à erosão. A pesquisa científica colabora com o Planejamento, à medida que propõe soluções para minimizar ou evitar os impactos ambientais. Segundo Pinheiro (2008, p. 13) “os problemas ambientais possuem abrangência mundial, no entanto, é necessário que os trabalhos científicos pesquisem a realidade local de cada situação”.

No caso brasileiro, o clima predominantemente tropical pode, em condições favoráveis, condicionar o escoamento superficial e o manejo inadequado de solos

culmina, por vezes, por fragilizar os solos, deixando-os mais suscetíveis à erosão. Assim, há alteração no processo erosivo, mais precisamente a aceleração no sistema de esculturação do relevo.

O geomorfólogo, ao analisar os processos atuantes na elaboração e evolução das formas do relevo, pode contribuir com subsídios para o Planejamento Ambiental, prevendo e minimizando a ocorrência de impactos na dinâmica erosiva. Como as organizações e atividades humanas estabelecem-se sobre o relevo, a Geomorfologia, ao estudar a origem e a dinâmica do relevo – em constante evolução através dos processos endógenos e exógenos, pode colaborar com as pesquisas voltadas à questão da erosão. Para Christofolletti (2001, p. 415), “a Geomorfologia analisa as formas de relevo focalizando suas características morfológicas, materiais componentes, processos atuantes e fatores controlantes, bem como a dinâmica evolutiva”.

Neste contexto, tendo em vista os danos ambientais e econômicos causados pela erosão acelerada do solo, considerou-se a bacia hidrográfica como área de estudo. A bacia selecionada foi a do Córrego Ibitinga, totalmente inserida no município de Rio Claro, que possui suas nascentes em área produtiva rural e seu médio e baixo curso em área de Unidade de Conservação de Uso Sustentável da Secretaria do Meio Ambiente do estado de São Paulo, a Floresta Edmundo Navarro de Andrade (FEENA) em Rio Claro (SP). A bacia possui área de 1.070 ha. e 34% da área localiza-se no interior da FEENA, representando cerca de 24% da totalidade desta Unidade de Conservação. As vertentes convexas possuem considerável representatividade na totalidade destas feições, havendo vertentes de menores e, também, de longas extensões, as declividades de tais formas de relevo são mais suave na baixa bacia e mais acentuada na alta bacia. A porção da bacia referente à FEENA trata-se de área institucional e permite maior segurança para a implantação, monitoramento e coleta dos dados experimentais. Ressalta-se, ainda, que a área foi alvo de outros pesquisadores em Geografia, como Cunha (1997) e Machi (2005). Desse modo, considerou-se oportuna a escolha da bacia do Córrego Ibitinga como área de estudo e para a implementação das parcelas experimentais de erosão em vertentes.

Neste trabalho, propôs-se o estudo da modelagem erosiva estabelecida pela Equação Universal de Perda de Solo, doravante chamada de EUPS. Tal modelo permite a avaliação das perda de solo da área de estudo, sendo utilizado em diversas

partes do globo, mas que, conforme Pinheiro (2008), necessita de adaptações para cada condição climática, geológica, geomorfológica e outros fatores condicionantes.

Este modelo possui limitações, segundo Borges (2009):

A EUPS deve buscar constante aperfeiçoamento a fim de se aproximar ao máximo da natureza complexa dos sistemas vertentes. Assim, para um possível aperfeiçoamento da aplicação da EUPS, sugere-se que a área da pesquisa deva ser reduzida a sistemas vertentes tornando mais fácil o controle dos agentes desencadeadores dos processos erosivos e da dinâmica da mesma.

A dinâmica erosiva nos ambientes quentes e úmidos é potencializada pela energia cinética gerada pelo escoamento superficial, que por sua vez é influenciado pela textura do solo, infiltração e saturação hídrica no solo, extensão e declividade da vertente.

Segundo Bigarella (2009) o escoamento superficial (*runoff*) é o grande responsável pela erosão pluvial, porém no início do processo não há energia suficiente para haver erosão, no entanto, o potencial erosivo aumenta vertente abaixo, intensificado pelo aumento do comprimento da vertente e de maiores declives.

Apesar da reconhecida importância do comprimento da vertente na análise erosiva, observa-se, na literatura referente ao uso da EUPS, que as extensões de vertentes são superestimadas na maioria dos trabalhos, embora também exista subestimação desses dados. Diversos autores consideram como valor de comprimento da vertente toda distância entre a linha do divisor de água e a linha de drenagem. Métodos automáticos de geração do comprimento da vertente fornecem valores únicos de extensão da vertente, o que compromete a confiabilidade dos dados inseridos no modelo EUPS. Desta forma, a vertente, ao receber valor de Fator L que não diferencia seus segmentos, irá gerar, na EUPS, valores superestimados de estimativa de perda de solo, principalmente nos setores de alta vertente, onde prevalece a infiltração face ao escoamento hídrico superficial.

Bertoni e Lombardi Neto (1985) verificaram que a vertente perde solos de maneira diferenciada nos seus diferentes setores, ou seja, na porção inicial perde-se menos solo em relação às porções inferiores, pois estas recebem maior quantidade de escoamento e mais energia cinética.

Tánago (1991), afirma que, a respeito do comprimento de vertente, há tempos é conhecido que existe uma zona de menor erosão nas partes altas da vertente, a ocorrência de fenômenos erosivos de maior intensidade na parte média e a sedimentação dominante na parte mais baixa, quando se diminui a declividade. Segundo a autora supracitada, em geral o Fator LS, componente da EUPS, está sujeito a grandes erros e sua aplicação é sempre muito subjetiva. Verificou ainda, na EUPS, uma maior influência da declividade em relação à extensão da vertente.

A EUPS não considera a geometria, em relação à forma e a extensão, da vertente, que influencia no processo erosivo hídrico de superfície. Assim, Pinheiro (2008) verificou que a EUPS é limitada, pois não faz distinção das formas de vertentes, o modelo generaliza as vertentes ignorando a ação diferenciada do escoamento hídrico superficial. Sendo uma representação aproximada da realidade, Borges (2009) afirma que o modelo não apresenta a complexidade dos sistemas vertentes.

Dessa forma, diversos pesquisadores, ao utilizarem as técnicas de obtenção do comprimento da vertente para a modelagem erosiva, não quantificam as variações do potencial erosivo nos diferentes segmentos de uma vertente.

Nesta perspectiva, a presente pesquisa buscou desenvolver estudo sobre a perda de solo, considerando a modelagem erosiva (EUPS) e a aplicação de parcelas experimentais de erosão, com ênfase ao Fator L, analisando a interferência, nos resultados obtidos com a EUPS, da sistemática de obtenção dos dados de comprimento de vertentes.

A partir do objetivo principal, foram propostos os seguintes objetivos específicos:

- propor uma forma eficiente de produzir os dados de extensão das vertentes;
- indicar as estimativas da perda de solo por erosão hídrica da bacia do Córrego Ibitinga através do uso do modelo EUPS;

Os objetivos propostos destinaram-se à comprovação da tese de que a dinâmica erosiva nas vertentes é complexa e condicionada pela inter-relação entre os segmentos dessa vertente e a formas desses segmentos.

A partir desta questão, foi estabelecida a seguinte hipótese para orientação da pesquisa:

- a perda de solo varia de acordo com os segmentos de alta, média e baixa vertente e com as formas da vertente, fato que não é registrado em resultados de muitos trabalhos que utilizam a EUPS.

No decorrer da pesquisa, desenvolveram-se atividades em campo, laboratório e gabinete para levantamento e análise dos dados de perda de solo e da modelagem erosiva. Para a integração dos dados de modelagem foram utilizadas técnicas de Geoprocessamento por meio dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) SPRING e Idrisi, bem como o auxílio do Software AutoCAD.

Os resultados obtidos proporcionaram considerável conhecimento sobre a dinâmica erosiva da área de estudo, sobretudo, no tocante à dinâmica erosiva relacionada às extensões de vertentes.

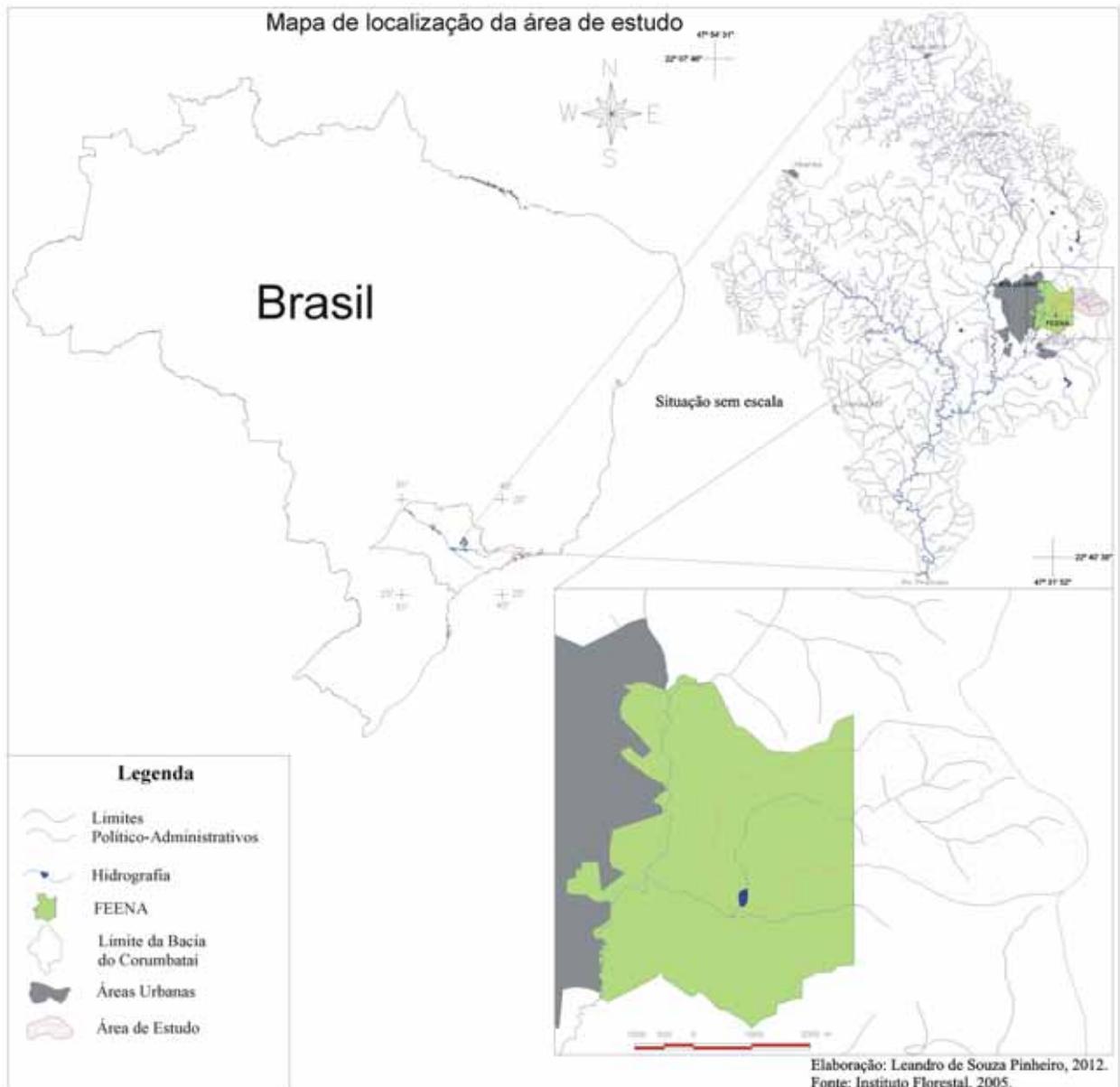
Assim, as informações da presente pesquisa estão descritas e organizadas em cinco itens, além desta introdução. O capítulo 2 abarca a localização e caracterização física da área de estudo. O capítulo 3 apresenta revisão bibliográfica relacionada ao modelo EUPS na estimativa da erosão hídrica, observando os principais autores na temática abordada. Esta etapa foi muito importante por constituir o arcabouço teórico-conceitual, utilizando bibliografias clássicas e recentes. O capítulo 4 apresenta a abordagem sistêmica relacionada com a temática da modelagem erosiva voltada para as bacias hidrográficas. O capítulo 5 trata da abordagem metodológica utilizada neste trabalho, para a construção e análise das cartas que foram base para a obtenção dos fatores da EUPS, bem como da instalação dos experimentos de erosão. A análise dos resultados é apresentada no capítulo 6, correlacionando os dados das modelagens e das parcelas de erosão, bem como a correlação entre a modelagem e a análise geomorfológica.

Por fim, as considerações finais estão no capítulo 7, indicando as principais contribuições deste trabalho, relacionadas ao Fator L da EUPS, e possibilidades de avanços nesta temática.

## 2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo, Bacia Hidrográfica do Córrego Ibitinga (Figura 1), possui uma área total de 1691 ha. e localiza-se no município de Rio Claro, Estado de São Paulo, entre as coordenadas 22° 25' 01''S, 47° 27' 45''W e 22° 22' 57''S, 47° 31' 47''W.

Figura 1 - Localização da Bacia Hidrográfica do Córrego do Ibitinga no contexto da Bacia do Rio Corumbataí, da área urbana de Rio Claro e da FEENA.



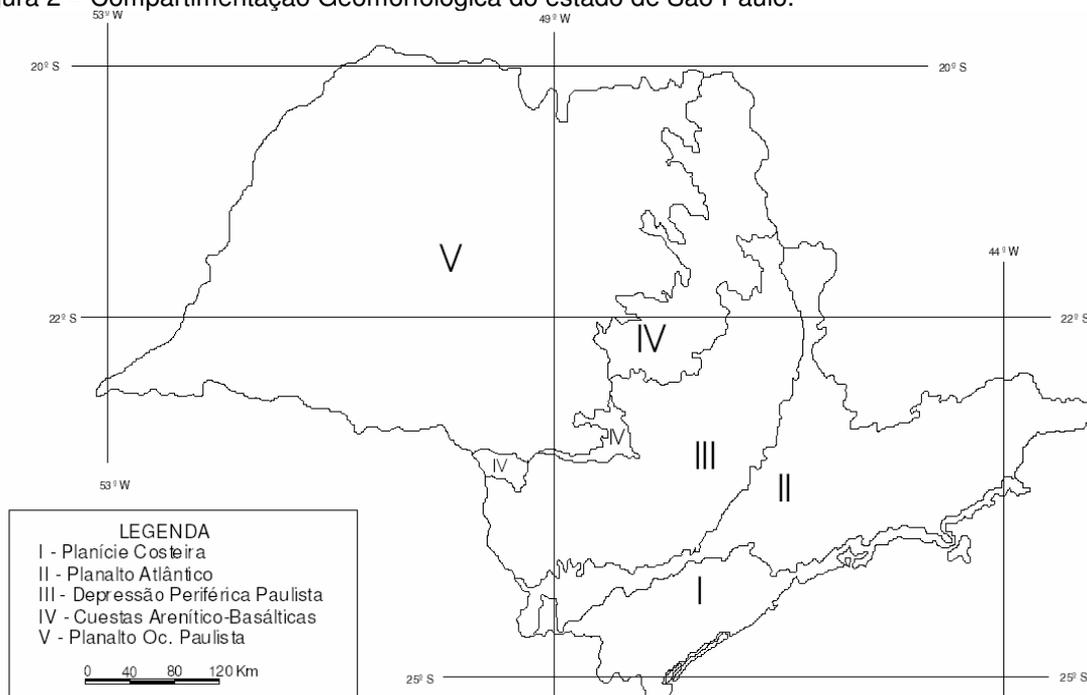
Fonte: Instituto Florestal, 2005.

Concernente à Geomorfologia, a área de estudo localiza-se na Depressão Periférica Paulista, na Zona do Médio Tietê (ALMEIDA, 1974). É uma zona constituída principalmente por sedimentos mesozóicos, com áreas expressivas de intrusões de rochas básicas com reflexos na sua topografia (IPT, 1981).

Esta unidade geomorfológica tem sua origem vinculada ao estabelecimento de uma zona de fraqueza estrutural no contato entre as litologias sedimentares vinculadas à Bacia Sedimentar do Paraná, e pré-cambrianas, associadas ao Planalto Atlântico. Ainda, a resistência oferecida à erosão pelos derrames basálticos e arenitos silicificados que sustentam o relevo de Cuestas, caracterizados pela existência de altas e extensas escarpas estruturais, bem como a ação das águas oriundas de canais obsequentes e subsequentes, deram origem à uma grande depressão relativa, exumando litologias paleozóicas (AB' SÁBER, 1956).

As altitudes variam de 550 a 750m, cuja evolução morfogenética está associada ao trabalho erosivo dos rios e águas das chuvas, nas bordas de uma bacia de sedimentação, configurando uma unidade de relevo deprimida entre o Planalto Atlântico a leste e o Relevo de Cuestas a oeste (Figura 2).

Figura 2 – Compartimentação Geomorfológica do estado de São Paulo.



Fonte: IPT (1981)

Desenho: Felisbino, 2002.

Partindo deste contexto geomorfológico, a bacia do Córrego Ibitinga possui altitudes entre 585 a 755 m (Figura 4), com vertentes predominantemente convexas, vertentes côncavas e, em porção menos representativa, as vertentes retilíneas. A bacia apresenta, majoritariamente, declividades entre 6 a 12%, principalmente na alta bacia; já nos setores de concavidade, as declividades predominam entre 12 a 20%. As declividades mais elevadas, entre 20 a 40% e acima de 40%, estão concentradas nos setores da alta bacia e, em menor proporção, nas áreas de concavidade do restante da bacia. Ressalta-se que o condicionamento geológico da margem direita do córrego, na média e baixa bacia, dá origem às vertentes, em sua maioria nesse setor, retilíneas com declividades de 12 a 20%. Já nas proximidades de sua foz com o córrego Santo Antônio, nota-se a presença de depósitos aluvionares e declividades inferiores a 2%. As baixas declividades se localizam também em áreas de linhas de cumeada suaves (Figura 3), porém as áreas de declividade entre 0 a 6% são pouco representativas, analisando a totalidade da bacia hidrográfica.

Figura 3 – Visualização do relevo da área de estudo, ao fundo observa-se a FEENA.



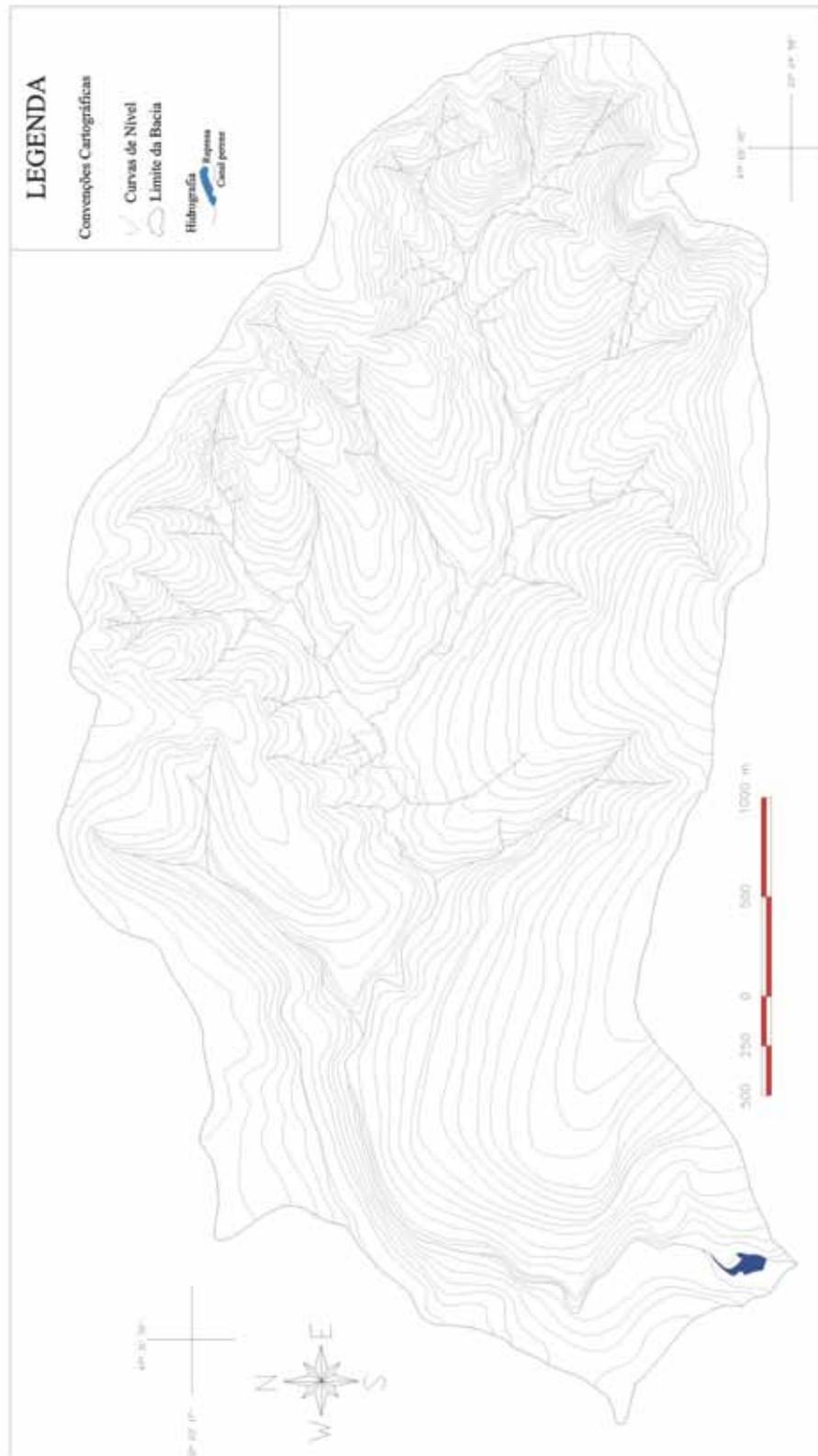
Fotografia: Fábio Vicentin Diniz, 2006.

As características geomorfológicas da área mantêm estreita relação com a geologia local, principalmente com as litologias vinculadas às intrusivas básicas, representadas por "sills de diabásio" do Mesozóico, onde se observa a presença de três falhamentos (INSTITUTO FLORESTAL, 2005). Nesse contexto, destaca-se a existência de um falhamento responsável pelo soerguimento do setor posicionado no interflúvio entre os córregos Ibitinga e Santo Antonio, originando uma descontinuidade litoestrutural entre as Formações Serra Geral e Pirambóia, do Mesozóico, e Corumbataí, do Paleozóico. Nas áreas vinculadas à Formação Pirambóia ocorrem solos distróficos, com textura grosseira como conseqüência dos materiais de origem. Ocorrem também litologias vinculadas a Formação Rio Claro, datada do Cenozóico onde se verifica a presença de arenitos inconsolidados de textura arenosa a areno-argilosa. Já entre 600 e 650 metros registram-se litologias vinculadas a Formação Corumbataí, cujos depósitos remontam ao Neopaleozóico, sendo constituídas por siltitos e argilitos. (ZAINÉ, 2000).

Na Bacia do Córrego Ibitinga, a partir das principais superfícies erosivas estabelecidas em situações paleoclimáticas, o relevo se desdobra em direção aos talwegues através de vertentes predominantemente convexas onde é freqüente a presença de terraços ou patamares estruturais. Nos terrenos da Formação Rio Claro, a retirada da vegetação e o preparo da terra para o plantio ou para a expansão urbana favorecem grandemente a formação de voçorocas, principalmente face o contato desta formação, de textura mais arenosa, com a Formação Corumbataí, de textura mais argilosa (INSTITUTO FLORESTAL, 2005).

As características geológicas e geomorfológicas da área, bem como o clima local, condicionam a formação dos solos. Concernente a isso, a FEENA compõe-se em duas unidades principais referentes à abrangência de solos, o setor Norte, composto de solos com textura média a arenosa, e analiticamente distróficos; e o setor Sul, composto de solos com textura argilosa a muito argilosa e analiticamente eutróficos (INSTITUTO FLORESTAL, 2005).

Figura 4 – Carta Topográfica da Bacia do Córrego Ibitinga.



Fonte: Pinheiro, 2012.

Considerando o total da bacia, a área de estudo é marcada pela predominância dos Argissolos (antigo podzólico). Onde a declividade do relevo é mais acentuada, esta se apresenta como o principal fator de diferenciação e formação dos solos menos desenvolvidos (Neossolos Litólicos). Existe uma expressiva ruptura topográfica, marcada pelo aumento abrupto da declividade, nas altitudes mais elevadas da alta e média bacia do Córrego Ibitinga, a qual acompanha paralelamente os limites dessa (Figura 5). Assim, os Neossolos Litólicos ocorrem na alta e média bacia, próximo às cabeceiras de drenagens, acima da linha de ruptura topográfica. Não deve ser descartado, no entanto, que as diferenciações do relevo, pelas dinâmicas escultural e estrutural, também podem ter atuado na formação desses solos.

Figura 5 – Panorâmica no setor sudeste da bacia, a linha vermelha ilustra a ruptura topográfica.



Fotografia: Plínio Marcos Dainezi, 2012.

Ocorrem também solos hidromórficos nas faixas marginais do Córrego Ibitinga. No setor leste e na porção central da bacia, a ocorrência de Argissolos distróficos com textura mais grosseira é justificada como consequência dos materiais de origem: arenitos das formações Rio Claro e Pirambóia; siltitos e argilitos da formação Corumbataí.

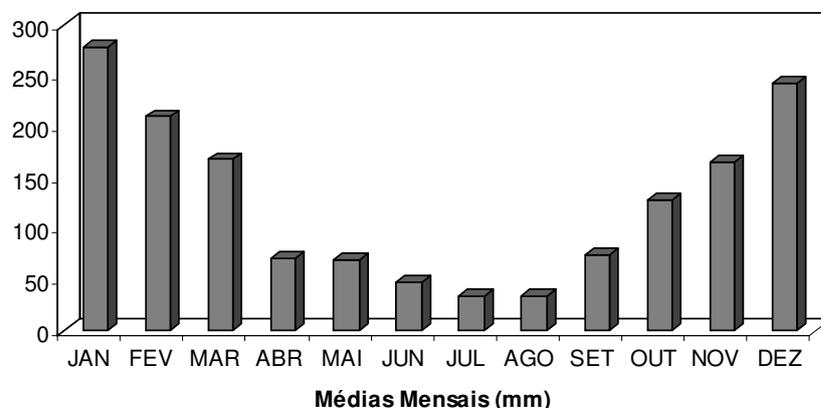
A distribuição de solos é coerente quanto à declividade, ou seja, Neossolo Quartzarênico e Latossolo em declividade pouco acentuada (até 5 %), e Argissolo em

declividade ligeiramente mais acentuada. Estes solos apresentam horizonte B textural, marcado por um forte acréscimo do teor de argila em relação ao horizonte A. O Neossolo Quartzarênico caracteriza-se por profundidade elevada, baixíssima fertilidade química e capacidade de retenção de água. As manchas de Latossolo são marcadas por solos muito desenvolvidos, profundos, característicos de relevos menos acidentados. Apresentam horizonte B latossólico cuja fertilidade química e acidez são bastante variáveis conforme a textura (INSTITUTO FLORESTAL, 2005).

Os solos da área de estudo apresentam certa susceptibilidade à erosão, que pode aumentar de acordo com as características do terreno. Esta susceptibilidade está relacionada diretamente com o clima de Rio Claro, caracterizado como tropical com duas estações definidas, seca no inverno e úmida no verão, controlado por massas tropicais e equatoriais (MONTEIRO, 1973).

Como pode ser verificado na Figura 6, o clima é caracterizado pelo inverno seco com uma precipitação média mensal para os meses mais secos (abril a setembro) de 46,6 mm e temperatura média do mês mais frio inferior a 11°C. O verão é chuvoso, apresentando uma precipitação média mensal de 197 mm (outubro a março) e a temperatura média do mês mais quente chega a 30°C. O índice pluviométrico anual é de 1549 mm. Os dados são referentes a Estação Meteorológica – CEAPLA / IGCE / UNESP, situada no município de Rio Claro - SP, em área contígua à FEENA e os dados anteriores a 1994 ao Departamento de Águas e Energia Elétrica - DAEE, com antigo posto localizado no interior da FEENA, local da baixa bacia do Córrego Ibitinga.

Figura 6 - Precipitações médias mensais no período 1954 a 2012 (Rio Claro – SP)



Fonte: CEAPLA, UNESP, Rio Claro, 2012.

De grande importância na área da bacia do Córrego Ibitinga, as porções da média e da baixa bacia estão localizadas no interior da FEENA, porém suas nascentes e parte da média bacia localizam-se em área produtiva rural. Por se tratar de uma Unidade de exploração sustentável, a grande maioria da vegetação da FEENA é composta por espécies de *Eucaliptus*, mas existem também áreas de vegetação natural consideradas pela administração como áreas de conservação.

Em 2002, tendo por base o que preconiza a Lei nº 9.985/2000 que instituiu o Sistema Nacional de Unidades de Conservação – SNUC, o Horto de Rio Claro foi transformado em Floresta Estadual através do Decreto 46.819 de 11 de junho de 2002, com a área de **2.230,53 hectares**, sob administração do Instituto Florestal, da Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo (INSTITUTO FLORESTAL, 2005 p. 72).

O Córrego do Ibitinga é represado próximo à foz e dá origem a um açude localizado no interior dessa unidade de conservação. O Córrego do Ibitinga deságua no Córrego Santo Antônio, que conflui com o Ribeirão Claro responsável pelo abastecimento hídrico da cidade de Rio Claro. O Ribeirão Claro, por sua vez, é tributário do Rio Corumbataí, importante canal fluvial no contexto hidrológico regional.

Na porção rural da bacia, a vulnerabilidade erosiva é acentuada, devido ao manejo inadequado nessas áreas, como verificou Machi (2005) através da identificação de diversos sulcos erosivos. No baixo curso do Córrego Ibitinga há o represamento das águas, o que originou o açude localizado no interior da FEENA. No entanto, entre os impactos ambientais ao canal, Machi (2005) verificou, ainda, outro represamento, em área externa aos limites da FEENA, causando a total interrupção do fluxo fluvial, o que diminuiu consideravelmente a vazão do curso na confluência com o Córrego Santo Antônio. A interrupção causa, ainda, a elevação local do nível de base e consequente alteração na dinâmica erosiva e deposicional, assim, a elevação do nível de base condiciona mais à deposição em relação à erosão, culminando no assoreamento da represa e do canal hídrico.

Essas informações comprovam a importância da pesquisa relacionada à dinâmica erosiva da área em um nível mais elevado de detalhes. Assim, a seguir será apresentada a revisão teórica referentes à temática de estudo.

### **3. O MODELO EUPS NA ESTIMATIVA DA EROSÃO HIDRICA**

#### **3.1. Breve Histórico**

Os estudos relacionados à modelagem da erosão tiveram maior impulso e sistematização nos Estados Unidos. A década de 1940 foi muito importante no desenvolvimento das pesquisas relacionadas ao escoamento superficial com os estudos de Zingg em 1940, referentes à declividade e ao comprimento das vertentes (LAFLEN; MOLDENHAUER, 2003).

No entanto, de acordo com Barretto (2007), estudos anteriores de Bennett em 1926, Middleton em 1930 e Cook em 1936 já haviam demonstrado que as taxas de erosão são influenciadas pelas propriedades do solo.

Coube a Cook em 1936 listar três fatores principais: - susceptibilidade do solo à erosão, - erosividade potencial da precipitação pluvial e do escoamento, - e a proteção do solo pela vegetação. Alguns anos mais tarde, em 1940, Zingg publicou a primeira equação calculando a perda do solo relacionada ao fator topográfico. Em 1941, Smith adicionou fatores relacionados às práticas conservacionistas e estabeleceu o conceito de limite tolerável de perda de solo (RENARD; MEYER; FOSTER, 1997).

Browning juntamente com Parish e Glass, em 1947, adicionaram fatores da erodibilidade e do manejo do solo às equações de Smith propostas em 1941 e prepararam tabelas de valores relativos ao fator para diferentes solos, rotações de colheita e comprimento e inclinação da vertente. Esta aproximação buscou a avaliação do manejo adequado visando às práticas conservacionistas (RENARD; MEYER; FOSTER, 1997).

Ainda em 1947, um grupo de trabalho foi conduzido por Musgrave avaliando os fatores envolvidos na erosão de solo. O grupo, composto por Musgrave, Norton, Browning, Hill, Smith, Van Doren, Peele e Hays, era um grupo diverso do ponto de vista da experiência na erosão de solo. Deste trabalho, foi desenvolvida a chamada Equação de Musgrave, a primeira equação completa para predição da perda de solo por erosão, expressa em polegadas ao ano. O fator da erosividade da chuva da Equação de Musgrave foi baseado no trabalho não publicado por Hays, o qual correlacionava a erosão com a quantidade máxima da precipitação em um período de 30 minutos.

Utilizou ainda o fator da cobertura vegetal expressando a erosão em diferentes coberturas (LAFLEN; MOLDENHAUER, 2003).

Segundo Renard, Meyer e Foster (1997) a equação de Musgrave foi amplamente utilizada, no entanto, os fatores foram modificados para as diferentes regiões dos Estados Unidos. Em 1952, os pesquisadores Lloyd e Eley adaptaram a formulação para a região do nordeste dos Estados Unidos, onde a perda do solo foi expressa em toneladas por acre. Em 1956, Van Doren e Bartelli adaptaram a equação para os solos do estado de Illinois, onde foram incluídos outros fatores de acordo com a condição local.

Devido à grande utilidade das equações de perda de solos, os pesquisadores em conservação de solo recomendaram o desenvolvimento de uma equação nacional. Nesse sentido, foram feitos esforços, em 1954, na criação de um centro de dados, contendo os resultados de pesquisas envolvendo os fatores da dinâmica erosiva de todos os estados dos Estados Unidos (RENARD; MEYER; FOSTER, 1997).

Wischmeier e Smith (1965) usando as informações do Centro de Dados juntamente com as conclusões das deliberações das conferências de 1956, desenvolveram a USLE (Universal Soil Loss Equation) como produto de seis fatores representando a precipitação e o escoamento, a erodibilidade do solo, extensão e declividade da vertente, cobertura vegetal e práticas conservacionistas. A aceitação da USLE aumentou progressivamente e Wischmeier e Smith (1978) atualizaram os fatores da equação com melhorias que expandiram sua utilidade.

No Brasil, Bertoni, Lombardi Neto e Benatti Júnior (1975), desenvolveram os primeiros trabalhos sobre a Equação Universal de Perda de Solo (EUPS) para as condições existentes no Estado de São Paulo. Dentre as diversas instituições do país, o Instituto Agrônomo de Campinas – IAC buscou avaliar os fatores da equação também para outras regiões do país. Nesse sentido para a determinação dos parâmetros da EUPS, foram analisados os resultados de parcelas experimentais por um longo período de mensuração, no intuito de atingir índices de maior confiabilidade.

De acordo com Barretto (2007) apesar de existirem trabalhos no Brasil do final da década de 1940, a pesquisa brasileira em erosão acelerada do solo é recente.

Nas pesquisas referentes à modelagem erosiva, durante as décadas de 1970 a 1980, o predomínio foi dos trabalhos desenvolvidos pelo IAC.

Nesse período, os trabalhos de Bertoni et al. (1972), Lombardi Neto e Bertoni (1975), Bertoni, Lombardi Neto e Benatti Júnior (1975), Stein et al. (1987), Bertoni e Lombardi Neto (1985), Tavares (1986), muito contribuíram para a análise da modelagem erosiva e também para a base de muitas pesquisas futuras, cabendo Tavares (1986) o pioneirismo na aplicação da EUPS em uma bacia hidrográfica.

Nessa temática, a grande maioria da produção científica foi publicada a partir de 1990. Destacam-se, as obras de Chaves (1991), Campos Filho et al. (1991), Margolis, Glindo e Netto (1991), Sparovek et al. (1991) citados por Barreto (2007), Denardin (1990), Pinto (1991), Lombardi Neto e Moldenhauer (1992), Mendes (1993), Luchiari (1993), Bertol (1994).

Nas últimas décadas os trabalhos relacionados aos modelos de erosão, principalmente a USLE ou EUPS, obtiveram maior representatividade. Na UNESP, em Rio Claro, as pesquisas de Bueno (1994) e Cunha (1997) iniciaram o estudo da modelagem erosiva; a primeira autora elaborou uma Carta de Expectativa à Erosão, na qual foram apresentados os resultados qualitativos da interação entre os dados de potencial natural à erosão com os dados de ocupação do solo. Cunha (1997) quantificou as perdas de solo seguindo os apontamentos de pesquisadores clássicos, no entanto, utilizou o mapeamento de formas de vertente para calcular as perdas de solo para cada forma de vertente mapeada. Dessa forma, a autora buscou minimizar a generalização da EUPS com as formas de vertentes.

Burin (1999) aplicou a EUPS utilizando o SIG Idrisi; a autora verificou que a qualidade dos solos e as técnicas de manejo aplicadas possibilitaram uma baixa perda de solos na bacia estudada. Lima (2000), utilizando a EUPS, analisou indicadores de erosão do solo através de técnicas estatísticas e de geoprocessamento. Oliveira (2000) analisou a modelagem erosiva através da dinâmica do uso da terra. Veniziani Júnior (2004) utilizou índices de vegetação para estimativa de proteção do solo, também aplicando a EUPS.

Costa (2005) utilizou a EUPS por meio do SIG Spring, os dados foram cruzados para gerar a carta de perda de solos aplicando o Programa LEGAL

(Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico). Pinheiro (2008) utilizou a EUPS aplicando o SIG Idrisi no cruzamento dos fatores do modelo, o autor considerou o modelo satisfatório, no entanto, verificou limitações na quantificação das vertentes de formas distintas. Fernandes (2008) utilizou dados de sensoriamento remoto para analisar as variações do uso da terra na perda de solo em assentamentos agrários, utilizando a EUPS. Borges (2009) utilizou a EUPS conjuntamente com os dados empíricos da técnica dos pinos de erosão de De Ploey e Gabriels (1980); a autora também verificou limitações do modelo no sistema vertente. Pereira (2010) utilizou geoprocessamento e sensoriamento remoto para fornecer os dados para a modelagem erosiva, no entanto, utilizou a Equação Universal de Perda de Solo Modificada (MUSLE ou MEUPS) que, segundo Pinto (1995), considera a expectativa de escoamento superficial das águas pluviais (runoff) substituindo o fator erosividade das chuvas (R) da EUPS. A MEUPS é mais atual e específica, mas os dados pluviográficos necessários a sua aplicação são de obtenção mais complexa.

Verifica-se que o emprego da modelagem erosiva vem se utilizando do geoprocessamento nas recentes pesquisas, o que se deve ao fato desse agilizar a pesquisa e manter um padrão de confiabilidade. A seguir tratar-se-á da aplicação da modelagem erosiva em locais variados, no intuito de apresentar sua aplicação universal.

### **3.2. A universalidade da Equação Universal de Perda de Solo**

A análise da dinâmica erosiva é essencial para a compreensão da evolução do modelado terrestre. Em suas diferentes formas de ação, a erosão promove a esculturação da superfície e sua intensidade é variável de acordo com as características dos sistemas envolvidos.

No tocante à temática erosiva, existem diversos estudos de ordem empírica e dedutiva; os primeiros permitem quantificar a perda de solo em determinado lugar; trata-se de estudos experimentais que visam monitorar o fenômeno, quantificando-o. Já os estudos dedutivos envolvem os modelos preditivos de erosão e perda de solo, podendo contribuir com o planejamento territorial, pois permitem antever o problema, ainda que os dados sejam estimativos.

Ao se referir aos modelos de erosão, Baccaro (2005, p. 210) afirma que:

Esses modelos precisam ser testados e quase sempre sofrer adaptações para serem aplicados no meio tropical. O ideal, em se tratando de metodologia, é testar os modelos teóricos e ao mesmo tempo promover os estudos experimentais, a fim de se ter a veracidade dos resultados.

Os estudos representantes do método dedutivo, do qual fazem parte os modelos estimativos de perda de solo, permitem estimar a perda de solo por erosão em tempo relativamente rápido, principalmente com o advento dos SIGs.

Penteado (1978, p. 3) aponta que:

Uma das vantagens do uso do modelo é que muitas variáveis das quais depende o fenômeno estudado podem ser controladas. Os modelos podem ser usados para dois fins: testar resultados teóricos e simular condições naturais.

A EUPS foi proposta como equação universal, no entanto, essa característica não é inerente à sua formulação; os esforços de Wischmeier e Smith (1978) em utilizar os dados de pesquisadores dos diversos estados dos EUA, indicam a necessidade do modelo ser aplicado, testado e adaptado em distintas regiões do globo terrestre. Nesse sentido, a EUPS tem sido largamente aplicada e testada, assim, seus dados foram adaptados para diversos lugares.

No continente africano, Fournier (1960) analisou em Madagascar, os fatores de erosão do solo em clima mediterrâneo, verificando a influência do clima, escoamento superficial, da cobertura vegetal e também do homem. O autor dividiu a estação chuvosa em quatro períodos de análise. No primeiro período, início da estação chuvosa, as primeiras chuvas verificadas, em 1956, foram espaçadas e violentas. No período seguinte se tornaram mais freqüentes e de igual modo intensas, no terceiro período, apesar de muito freqüentes e intensas, o autor notou uma sensível queda de intensidade. Por fim, no último período as chuvas tornaram-se esparsas e suas intensidades, embora ocorressem chuvas muito intensas ainda, passaram a ser muito variáveis.

O autor supracitado analisou a erosividade das chuvas sobre duas situações de solo: sem cobertura vegetal e áreas cultivadas. Verificou, assim, que na parcela sem vegetação o segundo período apresentou maior competência na dinâmica erosiva. No primeiro período, prevaleceram os processos de infiltração enquanto que no períodos subsequentes, com o solo saturado, prevaleceu o escoamento. A partir do terceiro período as intensidades das precipitações diminuíram, reduzindo a capacidade erosiva. O autor verificou que no ultimo período, o solo possui maior resistência em relação ao primeiro período, pois, as partículas estão mais coesas em relação à estação seca. Nas parcelas cultivadas, a erosão foi mais intensa no primeiro período, pois a vegetação plantada ainda não se desenvolveu, assim, o solo está desprotegido. No segundo período, apesar do maior escoamento, a vegetação já oferece maior proteção ao solo. No terceiro período a situação permaneceu praticamente inalterada, enquanto que no último período a erosão foi considerada muito fraca.

No Irã, Gandomkar (2011) utilizou-se das pesquisas de Fournier (1960) na Tunísia e na Argélia e analisou a erosividade da chuva em uma bacia hidrográfica utilizando o método de Fournier (1960) que estima a quantidade de deposição anual de uma bacia, analisando as especialidades climáticas e morfológicas. Neste método, dois parâmetros climáticos (média da precipitação anual e da precipitação do mês mais chuvoso do ano) e dois parâmetros morfológicos (a elevação e a inclinação da vertente da bacia) são usados para computar a capacidade da erosão de chuva, utilizando a formulação de Chorley, Schumm e Sugden (1985) citados por Gandomkar (2011):

$$\text{Log}Q_s = 2.65\text{Log} \frac{\rho^2}{P} + (0.46\text{Log}H \tan S) - 1.56$$

Onde:

H: elevação média aferida da bacia;

S: declividade média aferida das vertentes da bacia;

P: precipitação média em mm;

Qs: deposição média em tonelada por quilometro quadrado ao ano;

$\rho^2$ : média da precipitação do mês mais chuvoso em mm;

Baban e Yusof (2001) elaboraram mapas de probabilidade de erosão dos solos da Malásia, de acordo com diferentes cenários, utilizando a Equação Universal de

Perda de Solos (EUPS), Sensoriamento Remoto e o SIG IDRISI. Os autores verificaram que o risco de erosão era potencializado nas regiões montanhosas. Consideraram ainda satisfatórios os resultados e avaliaram como positiva a utilização de SIGs na predição de processos erosivos.

Gaillard; Zagolski e Bonn (1997), no Canadá, afirmam que a modelagem erosiva contribui com diversas investigações científicas, contudo, a estrutura raster dos modelos de erosão não permite considerar certas dimensões humanas presentes na paisagem. Os atributos lineares e direcionais frequentemente são negligenciados na modelagem dos processos de transporte hídrico e sedimentar. Os autores, porém, afirmam que estas melhorias foram introduzidas no modelo ANSWERS (Areal Nonpoint Source Watershed Environment Response Simulation).

Bonn (1998) admite a importância da modelagem erosiva, no entanto considera que a maioria dos modelos, como a EUPS, a MEUPS ou WEPP, estabeleceram-se empiricamente, a partir de medidas pontuais em parcelas experimentais com pouca ou nenhuma regionalização dos resultados. Assim, o autor propõe que se verifique a validade local e regional dos modelos utilizados.

Segundo Stocking (1980), a EUPS tem sido aplicada com sucesso no leste da África, com resultados aceitáveis e justificáveis. No entanto, este autor afirma que muitas vezes esta equação pode não ser apropriada por diversas razões, entre as quais se destaca a necessidade do empirismo. O empirismo não possibilita a extrapolação para o campo, pois as condições experimentais possuem escalas muito pequenas e condições específicas para a área de experimento; desta maneira, falta a flexibilidade requerida para a análise do uso da terra e do desenvolvimento rural.

Renschler e Harbor (2002) afirmam que apesar de ser uma simples regressão aproximada, a EUPS tem se mostrado um modelo prático e acessível que tem sido utilizado em várias escalas no mundo inteiro. Estes autores criticam as limitações da EUPS, bem como a dificuldade de incluir novas tecnologias e técnicas introduzidas após o desenvolvimento deste modelo. No entanto, Renschler e Harbor (2002), sustentam que, apesar das limitações deste modelo, devem ser mantidas a aplicabilidade e a utilidade para o planejamento.

a Equação Universal de Perda de Solo, (ou *EUPS – Universal Soil Loss Equation*), desenvolvida no Departamento de Agricultura dos EUA na década de 1950, constitui-se num importante instrumento de investigação sobre o processo erosivo pois, a partir das características e propriedades dos fatores ambientais responsáveis pela perda de solos, permite a compartimentação da paisagem em níveis de instabilidade, possibilitando ações mais efetivas de planejamento ambiental e otimização dos recursos (PARANHOS FILHO et al., 2003, p. 50).

A aplicação da EUPS, antes restritas à pequenas glebas, muito avançou com o trabalho de Tavares (1986) que utilizou como área de estudo uma bacia hidrográfica. Para tanto, o autor utilizou um valor médio de extensão de vertentes para a bacia, utilizando dados de densidade de drenagem e de extensão das vertentes, após a divisão da bacia em células de 1' de latitude por 1' de longitude.

A EUPS também foi aplicada com eficiência por Pinto (1991), que contribuiu para o planejamento e a análise ambiental. De grande importância foram os avanços desse autor quanto à ênfase ao Fator C da EUPS e sua aplicação utilizando imagens de sensoriamento remoto.

Mendes (1993) aplicou também a EUPS para a bacia hidrográfica, de maneira distinta à metodologia frequentemente utilizada até então. A autora contribuiu ao utilizar mapeamento morfométrico, como a dissecação horizontal e a declividade, na obtenção do Fator LS, gerando dados mais detalhados para esse fator da EUPS. Instalou, ainda, parcelas experimentais de calhas coletoras de sedimentos para quantificação da perda de solo e comparação com os resultados do modelo EUPS.

Silva e Alvares (2005, p. 34), afirmam que:

a EUPS pode ser aplicada para as seguintes finalidades: (1) previsão de perdas anuais médias de solo de uma área sujeita a determinadas práticas de utilização, (2) orientação na seleção de áreas de cultivo, de manejo e conservação, (3) previsão de alterações nas perdas de solo ocasionadas por mudanças nas práticas de cultivo e conservação, (4) determinação de modos de aplicação ou alteração das práticas agrícolas que permitam usos mais intensivos da terra, (5) estimativas das perdas de solo para usos distintos na agricultura, e (6) estimativa das perdas de solo visando à determinação de práticas conservacionistas.

Segundo os autores supracitados, as áreas de estudo podem variar desde pequenas bacias até bacias hidrográficas de mesoescala. Estes autores afirmam (p. 34) ainda que, “a EUPS tornou-se um instrumento valioso para os trabalhos de

conservação do solo, fornecendo subsídios para estudos e propostas de planejamento do uso sustentável do solo”.

A aplicação universal da EUPS permite o desenvolvimento da modelagem em diferentes regiões do Brasil, no entanto, os fatores são adaptados para cada realidade local. Assim, Pinto (1991) na região de Casa Branca (SP), Dutra, Teixeira e Mendonça (1997), no estado do Espírito Santo, Araújo Jr. (1997), em Santa Maria da Serra (SP), Castro e Valério Filho (1997), em Aracruz (ES), Tavares et al. (2003), em Jundiaí (SP), Bueno e Stein (2004), no município de Brotas (SP), Guerra (2005b) no Paraná, aplicaram a EUPS com resultados satisfatórios.

Assim, o modelo EUPS é considerado viável de ser utilizado, não obstante, devem ser reconhecidas as limitações quanto aos valores absolutos que esta pode apresentar e a necessidade de uma avaliação qualitativa dos resultados, tendo em vista que a dinâmica geomorfológica não é agregada ao modelo. No entanto, adaptações e avanços devem ser buscados, na tentativa de desenvolver a aplicabilidade do modelo. Dessa forma, a associação entre os dados qualitativos e quantitativos sobre as características físicas da área pode auxiliar na análise da fragilidade erosiva da bacia estudada.

### **3.3. Estudos Empíricos da Dinâmica Erosiva**

Os estudos preditivos são muito importantes para o planejamento, no entanto, para confiabilidade dos dados da modelagem as informações devem ser validadas pela constatação empírica. Assim, os dados podem ser monitorados em campo ou simulados em laboratório. A escolha da metodologia empírica é muito importante, pois os dados devem ter a máxima precisão e confiabilidade, para correlação com os dados da modelagem.

Nesse sentido, vários autores trabalharam no sentido de quantificar, mapear e monitorar as ocorrências erosivas. Uma técnica muito utilizada é a proposta por De Ploey e Gabriels (1980), que consiste em escolher uma vertente e cravar no solo os pinos numerados (que podem ser de vergalhão ou pregos) e plotados num diagrama, para conhecimento da sua distribuição espacial. O monitoramento dos pinos de erosão consiste em voltar à área de estudo (de preferência após cada evento chuvoso

significativo) e medir o quanto o pino está ficando exposto em relação ao solo (as medidas podem ser feitas em milímetros). Após um tempo determinado, é possível verificar a taxa de rebaixamento do solo pelos pinos instalados e monitorados. Se a densidade aparente do solo for determinada, é possível estimar a perda de solo, em toneladas por hectare (GUERRA, 2005a).

De Santisteban, Casali e López (2006) fizeram, na Espanha, uma análise quantitativa da dimensão dos fenômenos erosivos e qualitativa quanto à análise dos perfis dos sulcos e ravinas. Eles utilizaram 50 pinos de aço, espaçados entre si em 20 mm. No entanto, diferentemente da técnica de De Ploey e Gabriels (1980), os pinos foram colocados perpendicularmente ao eixo longitudinal do sulco erosivo. A configuração do pino, e assim a geometria do canal, foi fotografada e a altura do pino digitalizada diretamente dessas fotografias, obtendo finalmente o cruzamento seccional da área.

O volume do solo erodido foi calculado para cada ravina ou sulco erosivo ( $i$ ), correspondente às áreas do cruzamento seccional  $A_{i-1}$  e  $A_i$ , espaçadas em metros ( $s_i$ ). A distância ( $s_i$ ) foi mensurada com uma trena, deste modo, foi calculado o volume de solo erodido para cada ravina ou sulco.

$$V = \sum_{i=1}^n V_i = \sum_{i=1}^n \frac{A_{i-1} + A_i}{2} s_i$$

Okoba (2005), no Quênia, utilizou os pinos de erosão para calcular a perda de solo. Os pinos foram utilizados para cálculo da erosão em sulcos e entressulcos na mesma sequência temporal; em cada estação dois exames foram realizados após a instalação dos pinos. Durante os períodos de análise, o autor notou que as chuvas longas (Março-Maio) causaram eventos mais erosivos do runoff, devido a intensidades de precipitação mais elevadas ( $> 25 \text{ mm hr}^{-1}$ ) do que durante o período de chuvas rápidas (Outubro-Dezembro). A perda do solo variou de 17 a 121 ton./ha/ano, as taxas as mais elevadas da erosão estavam em vertentes muito íngremes e as mais baixas nas vertentes menos inclinadas. As taxas da erosão de solo foram categorizadas em três classes arbitrariamente escolhidas para combinar as escalas qualitativas da erosão: elevada, moderada e baixa.

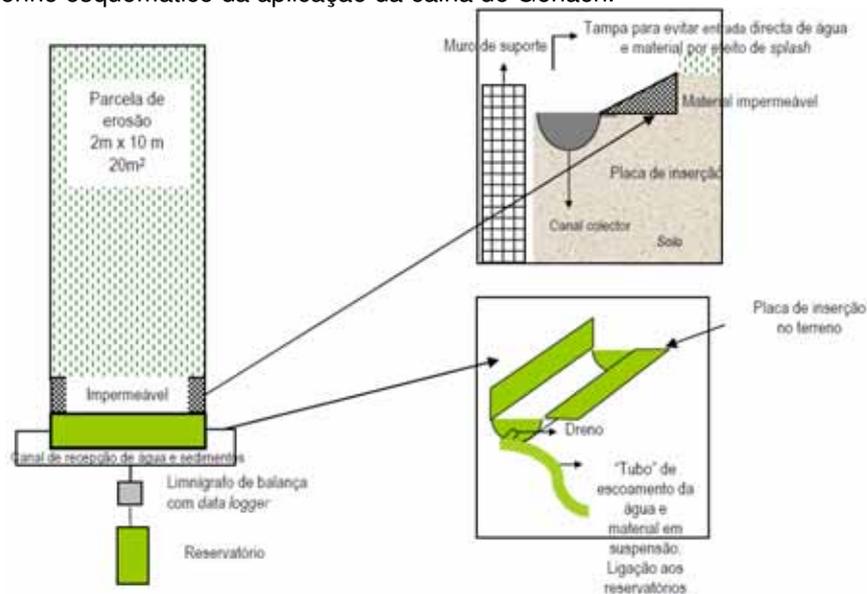
Sirvent et al. (1997) pesquisaram em bacia hidrográfica no SE da Espanha, onde instalaram duas parcelas de erosão (257 m<sup>2</sup> com inclinação de 5° e 128 m<sup>2</sup> com

inclinação de 23°), monitoradas por dois anos (Nov. 1991 - Nov. 1993). A intensidade de precipitação foi medida através de um pluviógrafo, o escoamento superficial foi coletado em tanques, mas a erosão também foi medida semestralmente pelos pinos de erosão e analisadas utilizando a microtopografia do perfil. O runoff significativo foi produzido somente em eventos da precipitação acima de 5 mm. Em precipitação maior do que 20 mm, a parcela de inclinação 23° mostrou uma resposta maior do runoff do que a de 5°. Assim, houve uma maior coleta de sedimentos e erosão para a maior inclinação. Nas duas parcelas, os pinos da erosão mostraram que as taxas de erosão em áreas de sulcos são 25-50% mais elevadas do que nas áreas dos entressulcos. Os autores verificaram que as taxas de erosão calculadas pela técnica dos pinos de erosão foram mais elevadas do que pela coleta de sedimentos.

Foi verificada, segundo Morgan (2005), uma desvantagem do experimento utilizando pinos da erosão, pois, pode facilmente ser perturbado por rebanhos de animais e por animais selvagens ou os pinos podem ser roubados pela população local.

Outra técnica muito utilizada em estudos empíricos é a instalação de calha coletora dos sedimentos, a qual foi proposta originalmente por Gerlach (1966, citado por Morgan, 2005). Deste modo, os sedimentos são coletados, através da drenagem do escoamento superficial, depois secados e quantificados. (Figura 7)

Figura 7 – Desenho esquemático da aplicação da calha de Gerlach.



Fonte: Bateira et al. (2005).

Adediji (2006) utilizou as chamadas *Gerlach troughs* (calha de Gerlach) na Nigéria, onde foram instaladas 38 parcelas em 19 bacias hidrográficas de primeira ordem. Os resultados indicaram perda de solo mais elevadas (1433.52 g, 31.86 g/m<sup>2</sup>, 31.86 t/km<sup>2</sup>/ano) nas parcelas sem cobertura vegetal; em seguida naquelas localizadas em áreas cultivadas (456.25g, 18.04 t/km<sup>2</sup>/ano) e, por fim, nas bacias florestadas que obtiveram perda total média de solo mais baixa (246.06g, 14.20t/km<sup>2</sup>/ano).

Vieira et al. (2010) estabeleceram, em Açores – Portugal, parcelas de monitoramento erosivo visando coletar o escoamento superficial em áreas que sofreram incêndios recentes. Foram estabelecidas parcelas para coleta de escoamento de precipitação pluvial e de simulação de chuvas. As parcelas tinham largura máxima de 50 cm, uma calha coletora condicionava o escoamento hídrico superficial para um recipiente; posteriormente o material era levado para laboratório onde a água era retirada, restando o sedimento que então é quantificado.

Paralelamente esses autores utilizaram a modelagem erosiva, utilizando os modelos EUPS e MMF (Morgan-Morgan-Finney). Segundo os autores citados os dois modelos são de fácil aplicação, embora o segundo possua mais parâmetros de entrada. Os resultados foram considerados satisfatórios pois os dois modelos apresentaram correlações nos dados, mesmo que em ordem de grandeza diferenciada. No entanto, foram verificadas falhas quando efetuaram a correlação entre os dados com os experimentos; a maior discrepância foi verificada na entrada de dados referentes às práticas conservacionistas, pois no campo observaram que tais práticas não reduziram tanto as perdas, ou seja, os dados dos modelos subestimaram a perda de solo em comparação com a perda verificada nas parcelas de erosão.

Gabert (1964), no sul da França, utilizou 10 parcelas experimentais para coleta de sedimentos. A área de cada parcela foi variável, assim, o autor coletou os sedimentos de cada parcela, que foram secados e pesados, e aplicou a média por metro quadrado. Foram instalados, também, pluviômetros nas parcelas e um pluviógrafo próximo às parcelas. As parcelas possuíam diferentes coberturas de vegetação ou com solo exposto, o autor analisou ainda a granulometria dos sedimentos e a inclinação da superfície em cada parcela.

Sarrailh (1982) montaram sete parcelas de monitoramento erosivo em altitudes semelhantes e em vertente convexa, todas as parcelas tiveram declividade de 12% e foram plantadas com gramíneas, no entanto, com gramíneas diferenciadas para cada parcela. Cada parcela media 10m x 20m; na parte inferior foi instalado um reservatório do escoamento superficial. Os autores procederam à análise química do material coletado, assim, constataram que uma parte considerável dos elementos fertilizantes foi retirada pelo escoamento superficial, apesar da cobertura de gramíneas. Os resultados indicaram que as espécies *Digitaria swazilandensis* e a *Brachiaria decumbens* foram as mais adequadas para o estabelecimento de pastagens. No entanto, ressaltam a importância de pesquisas contínuas no intuito de estabelecer um ecossistema pastoral estável e perene.

Roose e Sarrailh (1989) instalaram parcelas experimentais de coleta de escoamento e analisaram fatores da USLE em Madagascar, Burundi, Burkina Faso, Costa do Marfim, Benin, Nigéria e Guiana Francesa. Foram utilizadas parcelas sem cobertura vegetal e vertentes retilíneas, onde o intuito foi verificar a erodibilidade dos solos e a erosividade das chuvas. Os autores apresentaram os resultados de vinte anos de monitoramento e a análise dos resultados mostrou que os solos tropicais analisados foram menos susceptíveis à erosão em relação às regiões temperadas. Contudo a erodibilidade não foi constante, variando não somente em função dos solos, mas também das estações, do passar dos anos e das técnicas agrícolas.

Os dados dos quais dispomos hoje mostram que os solos tropicais testados têm uma sensibilidade à erosão bastante variável (K em t/ha/ano, índice = 0,001 à 0,38), mas menos significativos diante dos valores de forte erodibilidade dos solos dos EUA e Hawái (K = 0,03 à 0,69) (WISCHMEIER; SCHMIDT, 1978; EL SWAIFY et al, 1982). Poderia-se classificá-los entre os solos muito resistentes à razoavelmente sensíveis. (ROOSE; SARRAILH, 1990, p. 13, tradução nossa)

Presbitero et al. (2004), aplicaram experimentos na Austrália nos quais o runoff com sua carga de sedimentos foi coletado, utilizando uma modificação da calha de Gerlach, com a presença de um filtro que separava os sedimentos mais grosseiros. A água, com seus sedimentos mais finos restantes, foi

aconditionada separadamente e quantificada; os sedimentos finos somados aos sedimentos grosseiros resultaram na perda total do solo. Os autores constataram que o runoff era relativamente baixo, no entanto as práticas tradicionais de cultivo aumentaram o runoff em 50%.

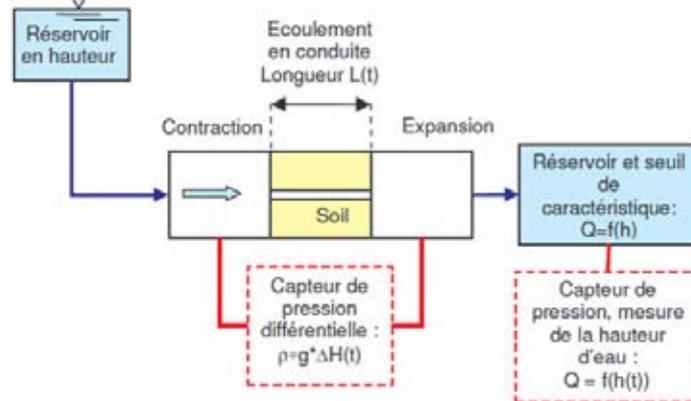
Para alcançar tais resultados, os autores citados estabeleceram 3 parcelas de escoamento de sedimentos e avaliaram a taxa de infiltração em cada uma. Foram utilizadas 3 vertentes de elevada inclinação, 50%, 60% e 70%, em cada parcela destinaram parte do espaço para solo exposto e outra parte para plantio de milho seguindo práticas tradicionais de cultivo, ou seja, com sulcos em sentido morro abaixo.

Assim, apesar da aparente proteção oferecida pela cobertura vegetal, as áreas cultivadas condicionaram e potencializaram o escoamento superficial. Desta forma, o runoff foi exacerbado pelo condicionamento e concentração do fluxo superficial pelos sulcos dispostos no sentido morro abaixo e as perdas de solo foram maiores em relação ao solo exposto.

As pesquisas empíricas não se limitam aos experimentos de campo, uma alternativa é a experimentação em laboratório, que permite simular algumas condições para testes. Essa aplicação é importante, pois, algumas experimentações seriam inviáveis de serem testadas *in loco*.

Nessa perspectiva, Regazzoni et al. (2008) realizaram, na França, experimentos de erosão no intuito de analisar a capacidade de incisão e de erosão subsuperficial. O objetivo do estudo foi caracterizar a sensibilidade à erosão dos solos através de dois erodímetros: o Hole Erosion Test (H.E.T.) e o Jet Erosion Test (J.E.T.). Uma amostra de solo é compactada e posteriormente é furada longitudinalmente através de uma verruma de diâmetro de 6 mm. Em seguida é simulada a pressão de entrada de água e aplicada a carga hidráulica durante 15 minutos, esta carga é aumentada até a ampliação do diâmetro do buraco e por conseguinte da erosão. A Figura 8 ilustra a sistematização do H.E.T.

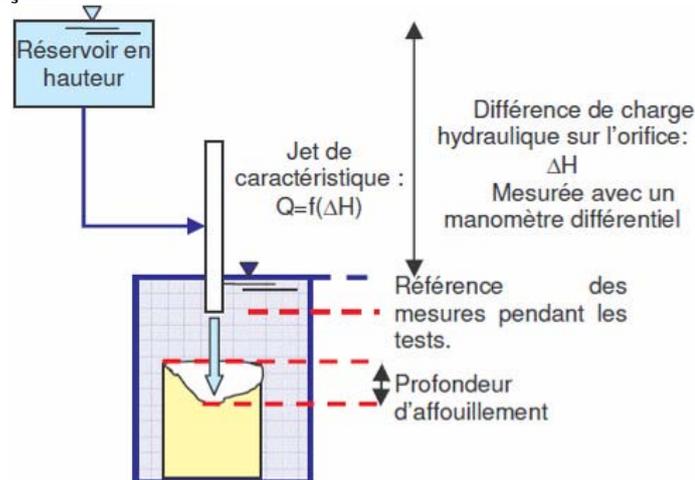
Figura 8– Esquemática do H.E.T.



Fonte: Regazzoni et al. (2008).

A experimentação com o erodímetro J.E.T. consiste em erodir um solo argiloso e compactado, aplicando um jato de água na face superior desse. O jato é criado através de um tanque de alimentação posicionado em função da carga hidráulica calibrada de antemão. O solo testado é compactado em um molde, em seguida atingido pelo jato de água; um limnómetro<sup>1</sup> é utilizado para medir periodicamente a profundidade da incisão causada. A Figura 9 ilustra a sistematização do J.E.T.

Figura 9– Esquemática do J.E.T.



Fonte: Regazzoni et al. (2008).

No Brasil, Cruz (1982) foi pioneira ao utilizar-se de calhas Gerlach em parcelas experimentais instaladas na Serra do Mar. Mendes (1993) também utilizou

<sup>1</sup> Limnómetro consiste num flutuador que segue as variações do nível da superfície da água e cujo movimento é transmitido a um dispositivo de leitura ou de registro (Glossário Hidrológico Internacional – UNESCO - <http://webworld.unesco.org/water/>).

parcelas aplicando a calha de Gerlach, para tanto, a autora utilizou estrutura de placas de concreto para individualização das parcelas e os sedimentos foram depositados em galões de 200 l. Os resultados foram comparados à modelagem por meio da EUPS e considerados muito satisfatórios e de grande avanço para o trabalho de futuros pesquisadores.

Cruz, Nasser e Coelho Netto (2004), realizaram um monitoramento hidrológico e erosivo conduzido em 4 parcelas de escoamento superficial instaladas medindo 3x1m (Figura 7) e constituídas por chapas galvanizadas e uma calha coletora, limitando uma parcela da superfície na qual todo o escoamento superficial foi drenado.

Estes autores fizeram uma análise das correlações entre os parâmetros hidro-erosivos e a precipitação terminal. Foram mensurados os dados de 22 eventos e feita a correlação em separado para eventos de diferentes durações (1 dia, 2 e 3 dias e eventos de mais de 3 dias). Do total de 22 eventos, 10 tiveram 1 dia de duração, sete tiveram 2 ou 3 dias de duração e 5 eventos duraram mais que 3 dias. Dessa forma, estes autores constataram, através de correlações com dados de outras parcelas e autores, que outras variáveis como a umidade antecedente, a intensidade da chuva, o tipo de cobertura vegetal e de substrato pedológico têm um papel mais importante que o total pluviométrico na geração de escoamento superficial. Verificaram uma tendência da concentração de sedimentos, coletados dos galões receptores das calhas decrescer com o aumento do total pluviométrico. Observaram, ainda, que a quantidade de sedimentos coletados foi menor nos eventos de duração mais longa e foi maior nos eventos de 1 dia. Este fato pode indicar que após uma atividade erosiva intensa no primeiro dia de precipitação, ocorre uma redução nesta dinâmica, possivelmente devido à mudanças nas condições de umidade e de compactação do topo do solo. (CRUZ; NASSER; COELHO NETTO, 2004).

Em Uberlândia, Thomaz e Luiz (2004) utilizaram duas técnicas para a mensuração da mobilização do solo entre ravinas: 1. Técnica dinâmica; 2. Volumétrica. A técnica dinâmica consistiu em uma parcela fechada construída com chapas galvanizadas com área útil avaliada de 1 m<sup>2</sup> e conectadas a uma calha coletora, com

monitoramento realizado diariamente entre novembro de 2001 a março de 2003. Dentro da referida parcela foi plotado uma rede formada por 11 pinos de erosão com 25 cm de comprimento, sendo que parte (10 cm) foi introduzida no solo e a restante (15 cm) ficou exposta para monitorar o rebaixamento.

A técnica volumétrica foi um procedimento no qual se empregaram medidas indiretas feitas a partir de superfícies remanescentes existentes entre as ravinas. Para tanto, apoiado nas superfícies remanescentes, foi traçada uma rede formando 12 perfis. As medidas foram realizadas por meio da disposição transversal de uma ripa ligando uma superfície remanescente à outra. Assim, a ripa formou uma linha de referência para as medidas. A mensuração dos perfis ocorreu sempre no dia 2 dos meses de fevereiro, maio, agosto, novembro de 2002 e fevereiro de 2003. O cálculo do material mobilizado foi obtido a partir da equação:

$$E = R \times DG / 100$$

Onde:

$E$  = Erosão (remoção do solo em  $\text{kg}/\text{m}^2$ ).

$R$  = Rebaixamento da superfície (cm).

$DG$  = Densidade global do material ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ).

Cardoso et al. (2004), no estado do Espírito Santo, instalaram três parcelas de monitoramento erosivo. Foram instaladas calhas coletoras de sedimentos em áreas de eucalipto, solo exposto e mata nativa. Os resultados evidenciaram a importância da cobertura vegetal com fator determinante na proteção do solo aos processos erosivos, assim, a parcela de solo exposto obteve maior taxa de erosão, enquanto que a de mata nativa houve menor perda de solo.

Pinese Júnior et al. (2008) instalaram, em Minas Gerais, parcelas de erosão para sete tipos de uso da terra: solo exposto, grama estrela africana, grama pensácola, soja, feijão-de-porco, brachiaria e mata nativa. Foi utilizada a calha de Gerlach nas parcelas de erosão para coleta do escoamento e sedimentos. Os autores analisaram, além da dinâmica erosiva, a capacidade de retenção de água em cada parcela. Os

resultaram confirmaram a capacidade maior de retenção e de proteção ao solo das parcelas com maior adensamento vegetacional.

A área que se mostrou mais eficaz em manter a umidade do solo é a área de feijão-de-porco, em que a estrutura de suas plantas consegue manter a umidade do solo por mais tempo após o período com poucas chuvas. As parcelas em área de mata e grama pensácola também se mostram eficaz em manter a umidade do solo em períodos menos chuvosos, pela ação protetora da serrapilheira e da copa das árvores. A área com grama estrela africana obteve o pior resultado dentre as demais áreas. [...] A maior parte dos sedimentos que foram transportados é proveniente da parcela com solo exposto. Esta parcela apresentou valores mais elevados em relação às outras parcelas em todas as coletas. (PINESE JÚNIOR et al., 2008, p. 11)

Borges (2009), em estudo desenvolvido no interior do estado de São Paulo, aplicou a técnica dos pinos de erosão e correlacionou os dados com a modelagem EUPS. Segundo a autora, a técnica se mostrou adequada, no entanto, foi verificado que em algumas vertentes, na porção inferior, houve o soterramento de pinos, ou seja, sedimentação. Para cada parcela experimental foi calculada a perda do solo e os resultados obtidos com as medidas dos pinos de erosão foram comparados e analisados.

Nas áreas de instalação das estações experimentais 2 e 3 pôde-se constatar que houve uma equivalência dos resultados obtidos com a modelagem e os dados qualitativos dos pinos de erosão. Assim, a área de pasto sujo apresentou maiores valores de perda de solo, assim como maiores medidas de perdas, do que a área de cultura perene. Entretanto, os pinos de erosão não apresentaram resultados satisfatórios nas áreas de menores declividades do terreno, pois enquanto a modelagem apresentou classes de perdas elevadas nas áreas onde estão localizadas as estações experimentais 1 e 4, os pinos demonstraram que nestas ocorrem mais processos de deposição do que de perda de solo, já que nestas duas estações houve o soterramento dos pinos. (BORGES, 2009, p. 115)

A autora supracitada propõe então que a pesquisa considere o sistema de vertentes, pois a dinâmica geomorfológica pode influenciar nos setores de menor declividade, localizados na baixa vertente.

Ferreira, Silva e Pinheiro (2011), instalaram parcelas de monitoramento por pinos de erosão em três situações, com solo exposto, com vegetação de gramínea e

vegetação natural de maior cobertura. Os resultados apontaram perda de solo maior para as parcelas de solo exposto e menor para as parcela de mata natural. Verificaram ainda que a maior densidade do solo também influenciou no resultado da taxa de erosão, pois, influencia na menor capacidade de infiltração, aumentando o escoamento superficial, o que culmina em uma maior capacidade erosiva do runoff. Assim, as parcelas de solo exposto e de gramíneas, com solos de maior densidade, apresentaram maior perda de solo por erosão em relação às parcelas semelhantes, mas com solos de menor densidade.

Martins et al. (2011) aplicaram a técnica dos pinos de erosão para avaliar as alterações causadas pela adubação fosfatada corretiva. Para tanto, foram instaladas quatro parcelas de 72 m<sup>2</sup> (6 x 12 m) com 8% de declividade, apresentando solo exposto em todas as parcelas, no entanto, em duas parcelas foi adicionado o fosfato de potássio como fonte de fósforo. Foram coletados dados de 50 dias em estação chuvosa, os resultados constataram maior desagregação de partículas no tratamento com adubação fosfatada, o que influenciou diretamente no aumento das perda de solo por erosão. Assim, as parcelas com adubação corretiva apresentaram uma elevação da potencialidade erosiva em relação às parcelas sem manejo.

Diante do exposto, nota-se que a experimentação das pesquisas é vital como contribuição à análise da dinâmica erosiva. Diversos autores aplicaram técnicas empíricas na análise das perda de solo ou para a validação de modelos erosivos, com resultados satisfatórios. Segundo Pinheiro (2008, p. 35):

O método indutivo é, de fato, muito eficiente, mas, há uma limitação prática e lógica, pois este não permite a extensão da pesquisa para a dedução e para a previsão. No entanto, é muito importante a reprodução das condições em laboratório, pois permite uma análise menos dispendiosa e com rigor científico. A dedução deve aproveitar-se dos avanços científicos confirmados *a posteriori* pelo empirismo para contribuir na análise *a priori* dos fenômenos. Deve haver um mutualismo científico entre os métodos indutivo e dedutivo.

Assim, é possível afirmar que as pesquisas indutivas são importantes para a verificação dos dados de perda de solo, através do monitoramento sistemático e a

correta manipulação dos dados. No entanto, são importantes também para o estabelecimento das técnicas de modelagem erosiva, pois permitem coletar dados que são essenciais à elaboração dos modelos. Deste modo, em áreas de difícil acesso as modelagens erosivas são imprescindíveis, pois, os estudos indutivos tornam-se limitados nessas áreas.

### **3.4. Pesquisas Relacionadas ao Fator L da EUPS**

No intuito de atender aos objetivos propostos na presente pesquisa, buscou-se a observação analítica referente à literatura da modelagem erosiva para a obtenção e análise do papel da extensão da vertente, como componente dos modelos de erosão.

Dessa forma, verificou-se que os dados do Fator L da EUPS são obtidos de maneiras diferenciadas por muitos autores. O conceito de vertente é fator preponderante para a análise e inserção no modelo a ser utilizado em cada pesquisa.

Assim, nota-se que, de maneira geral, conceitua-se como vertente a porção que abarca a área do divisor de águas até as áreas onde predominam os processos de sedimentação ou o canal de drenagem. No entanto, a inserção dos valores do comprimento da vertente é questionada neste trabalho, pois, os modelos tendem a generalizar as informações, o que culmina por requerer maior cuidado e controle dos dados de inserção.

Bueno e Stein (2004) consideraram como valor de comprimento da vertente toda distância entre a linha do divisor de água e a linha de drenagem. Os autores observaram o caminho preferencial das águas como orientação para a quantificação do comprimento desta.

Arnoldus (1977) trata o comprimento da vertente, segundo as idéias de Wischmeier e Smith (1978), iniciando no ponto onde começa o escoamento superficial e, para o final da extensão da vertente, o autor admite duas possibilidades: quando o escoamento superficial verte para um outro canal hídrico ou para uma área de sedimentação, encerrando o escoamento. Este autor segue as orientações metodológicas de Wischmeier e Smith (1978), para os quais o Fator L é definido por:

$$L = (\underline{\lambda} / 22,1)^m$$

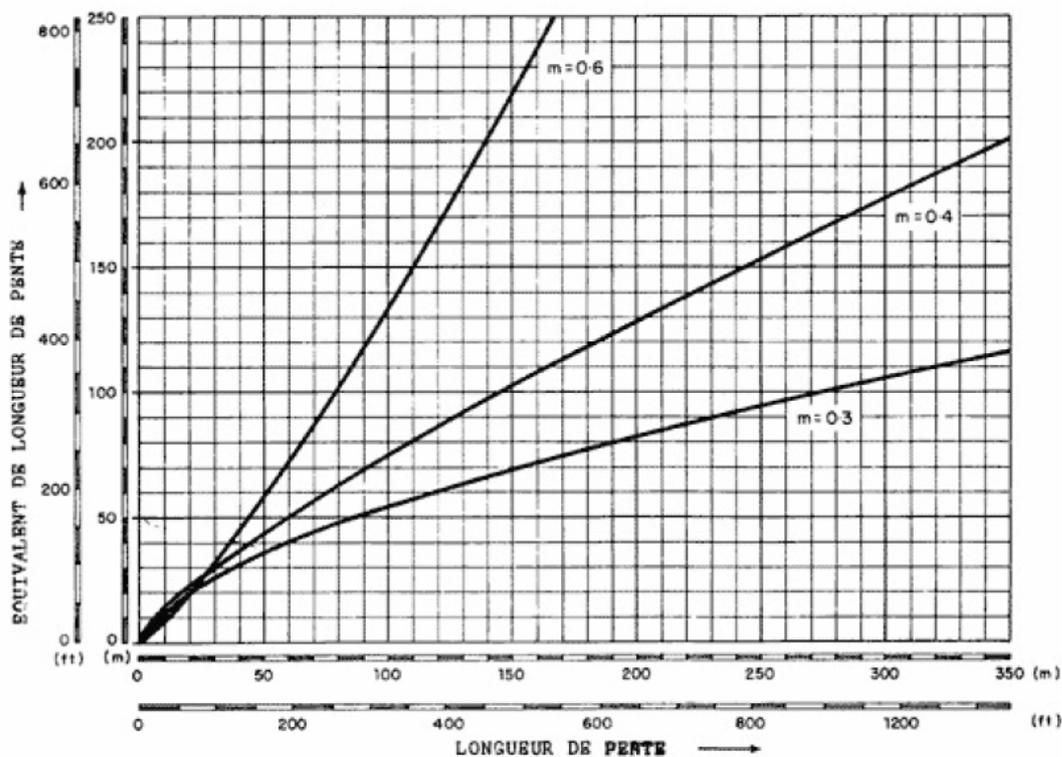
onde:

$\underline{\lambda}$  = Comprimento da vertente em metros;

$m$  = Expoente determinado pela interação do comprimento de vertente com a inclinação, eventualmente também pelas propriedades do solo, tipo de vegetação, etc. O valor do expoente se trata de uma constante adimensional que varia de acordo com a declividade do terreno, conforme ilustrado na Figura 10. Segue abaixo a relação dos valores:

- Vertentes com declividade menor de 1% = 0,2;
- Vertentes com declividades variando de 1 a 3% = 0,3;
- Vertentes com declividades variando de 3 a 5% = 0,4;
- Vertentes com declividade variando de 5 a 10% = 0,5.
- Vertentes com declividade maior de 10% = 0,6.

Figura 10 – Determinação do Expoente  $m$  pela interação do comprimento de vertente com a declividade.



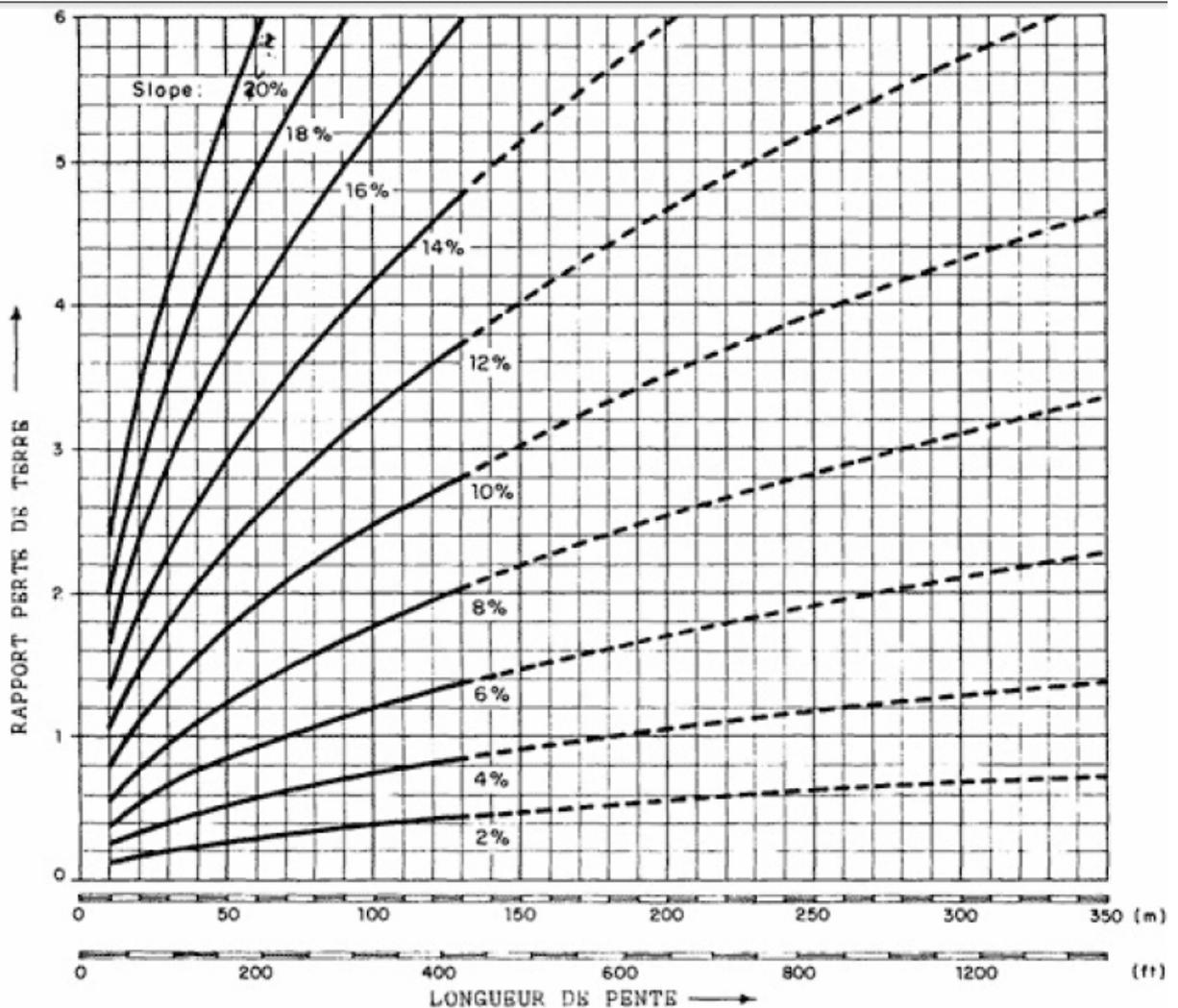
Fonte: Arnoldus (1977).

Segundo Arnoldus (1977) para inclinações até 20% e 350 metros de comprimento, o fator LS pode ser obtido pela fórmula:

$$LS = \ddot{O}^{\Delta} (0,0138 + 0,00965 + 0,00138 s s^2)$$

A Figura 11 representa uma aproximação sucinta dos dados analisados pelo autor supracitado.

Figura 11 – Relação da perda de solo, extensão e inclinação da vertente, para vertentes de até 20% de declividade.



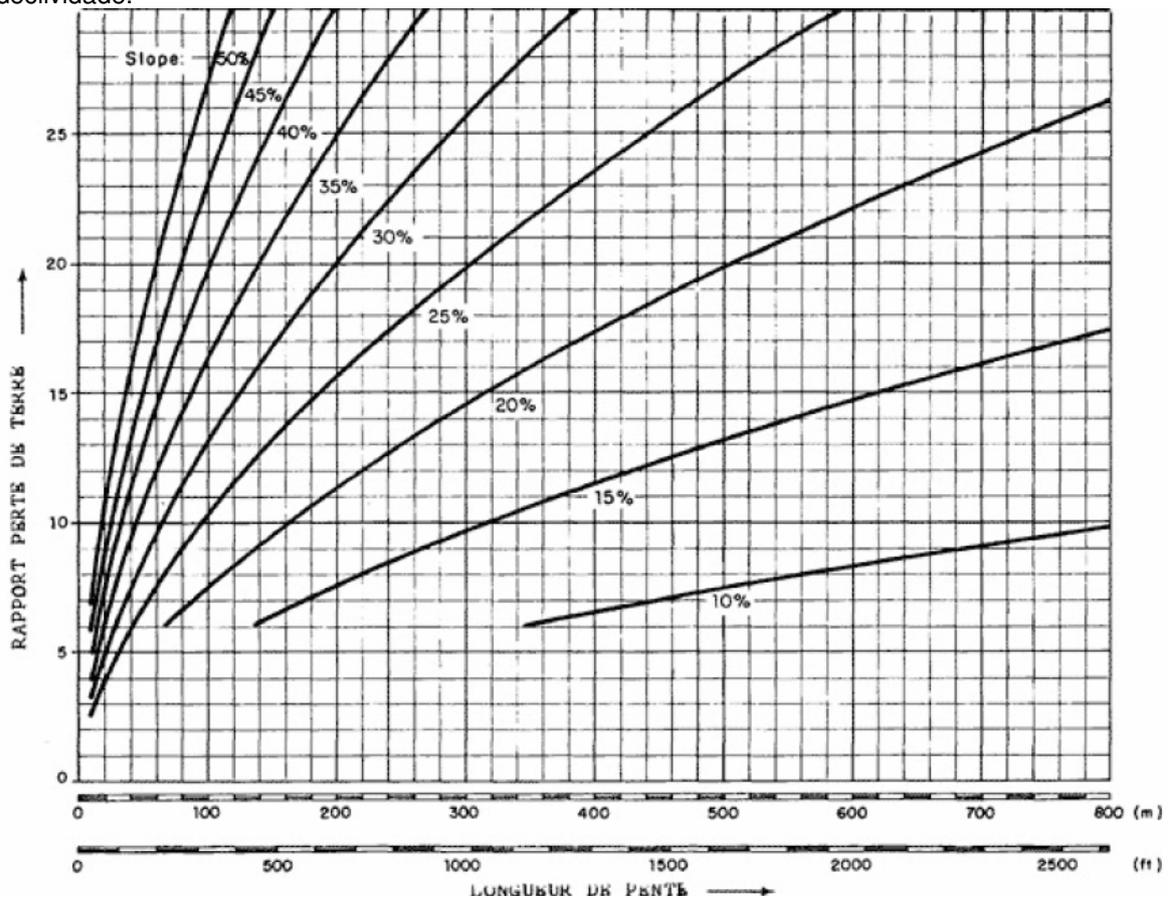
Fonte: Arnoldus (1977).

Ainda de acordo com o autor supracitado, para inclinações de 10 a 50% e até 800 metros, o fator LS passa a ser obtido pela fórmula:

$$LS = \left( \frac{\lambda}{22,1} \right)^{0,6} \times \left( \frac{s}{9} \right)^{1,4}$$

Na intenção de ilustrar a relação de perda de solo Arnoldus (1977) apresenta a Figura 12 com a relação das informações analisadas pelo autor.

Figura 12 – Relação da perda de solo, extensão e inclinação da vertente, para vertentes de 10 a 50% de declividade.



Fonte: Arnoldus (1977).

Weill e Sparovek (2008), em seu trabalho afirmam que o Fator LS foi o que explicou a maior parte da variação observada, confirmando assim a importância desse fator na EUPS. No entanto, esses autores obtiveram os dados de comprimento de vertente através de geração automática, através do SIG IDRISI. Seguindo esse procedimento, a vertente recebe um único valor de extensão, generalizando essa informação.

Souza (2010) calculou o fator L da EUPS em ambiente SIG a partir da função mapa de distâncias contida no ícone MNT do Spring. Foi feita a digitalização dos divisores de água principais e secundários da bacia, que foram cotados como limites iniciais enquanto que a rede de drenagem de cada sub bacia serviu como limite final; assim, foi utilizado um valor médio de vertente para cada sub bacia.

Montoya, Montoya e Anaya (2005), na Colômbia, obtiveram os valores do Fator L, para aplicação na RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation), de duas maneiras: de acordo com Wischmeier e Smith (1978) e o método Remorter proposto por Van Remortel, Hamilton e Hickey (2001). O primeiro método foi descrito anteriormente; o segundo é realizado através da inserção de um algoritmo *Arc Macro Language* (AML) no módulo Grid do ArcInfo. Antes do cálculo do comprimento da vertente, o algoritmo é composto por quatro fases:

1. correção das drenagens;
2. cálculo da declividade máxima e sentido da corrente e direção do escoamento;
3. identificação dos pontos mais altos da bacia;
4. cálculo da distância em cada célula com base na declividade.

A partir desses parâmetros, o valor da vertente é obtido desde os pontos mais altos da bacia, pela somatória dos valores das células ao longo da direção do fluxo. O valor obtido é inserido na equação formulada por Wischmeier e Smith (1978) para obtenção do Fator L, descrita anteriormente.

Silva (2003), Galdino e Weill (2011) utilizaram para a determinação do Fator L o algoritmo de Desmet e Govers (1996), que emprega o conceito de contribuição de área e requer a geração de um mapa de fluxo acumulado. Para cada pixel, calculam-se a declividade, a direção e a quantidade do escoamento que se acumulou na porção superior daquele pixel. Utilizando-se o *software* ArcView determinaram: o mapa de declividade (S); o mapa de coeficiente da declividade (m); a direção de fluxo. Utilizando-se o *software* ArcView, o fator de comprimento de vertente (L) é obtido de acordo com a equação 1 de Desmet e Govers (1996):

$$L_{i,j} = \frac{[(A_{i,j-in} + D^2)^{m+1} - (A_{i,j-in})^{m+1}]}{[D^{m+2} x_{i,j}^m (22,13)^m]}$$

onde:

$L_{i,j}$ : fator de comprimento de vertente de uma célula com coordenadas  $(i, j)$ ;

$A_{i,j}$ -in: área de contribuição de uma célula com coordenadas  $(i, j)$  ( $m^2$ );

$D$ : tamanho da grade de células ( $m$ );

$x_{i,j}$ : valor da direção do fluxo;

$m$ : de Wischmeier e Smith (1978), determinado pela interação da extensão da vertente com a inclinação do relevo.

No Brasil vários autores, como Nóbrega (2008) e Souza (2010) utilizaram, através de geoprocessamento, o MNT para cálculo automático do Fator L do SIG Spring. Na literatura internacional, muitos autores como Van Remortel, Hamilton e Hickey (2001), Morschel e Fox (2004), Montoya, Montoya e Anaya (2005), fizeram uso do SIG ArcView. Mas, na literatura nacional os autores também se utilizam, não somente de outros SIGs como o ArcView, mas também das metodologias de representação espacial do fator LS. Assim, Galdino e Weill (2011) e Minella et al. (2010), aplicaram os algoritmos de cálculo do Fator LS de Van Remortel, Hamilton e Hickey (2001), Desmet e Govers (1996) e Moore e Burch (1986).

Segundo Galdino e Weill (2011) os dados obtidos para o Fator LS utilizando a metodologia de Hickey, Smith e Jankowski (1994) para o cálculo do fator LS da USLE, ajustada por Van Remortel, Maichle e Hickey (2004) para a RUSLE, foram mais coerentes que a de Desmet e Govers (1996), de acordo com os autores supracitados o valor médio obtido foi praticamente a metade do valor obtido comparado à utilização do algoritmo de Desmet e Govers (1996). Galdino e Weill (2011) argumentaram que a diferença se deu em razão da metodologia aplicada por Van Remortel, Maichle e Hickey (2004), que seccionou mais o comprimento da vertente ao longo do trajeto da direção do fluxo, fazendo com que o fator L fosse menor que o estimado pelo algoritmo de Desmet e Govers (1996).

Minella et al. (2010) também verificaram uma maior superestimação dos dados através da metodologia de Desmet e Govers (1996) em relação à de Moore e Burch (1986), segundo os autores:

Essas diferenças ocorrem principalmente em função do uso de conceitos distintos de cálculo da área acumulada de montante. Enquanto o método de Desmet e Govers (1996) utiliza o conceito de fluxo acumulado de drenagem a montante, o de Moore e Burch (1986) emprega o conceito de área de contribuição específica, que resulta em valores mais baixos de fluxo acumulado de células de montante. Assim, quando os valores de fluxo de montante são elevados, o método de Desmet e Govers (1996) tende a estimar também valores elevados do fator LS especialmente nas posições próximas à drenagem, ao passo que essa condição não é verificada quando usado o método de Moore e Burch (1986).

Não obstante da variação no método de obtenção dos valores, Galdino e Weill (2011) e Minella et al. (2010), consideram no comprimento da vertente valores referentes ao percurso total do escoamento hídrico, ou seja, do divisor de água até uma drenagem ou área de acumulação de sedimentos.

Bertoni e Lombardi Neto (1985) verificaram que a vertente perde solos de maneira diferenciada nos seus diferentes setores, ou seja, na porção inicial perde-se menos solo em relação às porções inferiores, pois estas recebem maior quantidade de escoamento e mais energia cinética.

Tánago (1991), afirma que, a respeito do comprimento de vertente, os setores de alta vertente possuem uma potencialidade erosiva extremamente baixa. Enquanto que a ocorrência de fenômenos erosivos de maior intensidade ocorre na parte média e processos de sedimentação na parte mais baixa, quando se diminui a declividade. Para a autora, na busca por uma melhor confiabilidade, alguns autores utilizam diferentes metodologias para obter o Fator L em vertentes de bacias, seja fragmentando a superfície em quadrículas ou considerando a bacia em sua totalidade, o que possibilita a aplicação da EUPS em zonas mais extensas. A autora citada verificou, ainda, na EUPS uma maior influência da declividade em relação à extensão da vertente.

Assim, constatou-se uma diferenciação importante na obtenção dos valores do Fator L: enquanto na literatura internacional o Fator L frequentemente é deduzido pela inclinação do terreno, seguindo as orientações de Wischmeier e Smith (1978); no Brasil para Bertoni e Lombardi Neto (1985), a extensão da vertente, expressa em metros, é obtida por diversas metodologias, que incluem a morfometria, geoprocessamento ou, ainda, a quantificação em campo. Utilizado assim por grande parte dos autores nacionais, como Mendes (1993), Cunha (1997), Bueno e Stein

(2004), Pinheiro (2008). Assim, para calcular o Fator topográfico, Bertoni (1959), com base em vários anos de experimentação, adaptou a obtenção dos dados topográficos para a realidade local e propôs a seguinte equação:

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

Onde:

LS= Fator topográfico

C= Comprimento de vertente em metros

D= Grau de declividade em %

Deste modo, esses autores adaptaram os fatores da EUPS buscando adequar às características da dinâmica erosiva no Brasil. Tánago (1991), na Espanha, afirma que é importante aplicar o modelo de acordo com a realidade regional de cada local, pois a aplicação do modelo em sua forma original pode resultar em erros quanto à quantificação das perdas de solo.

Observou-se que a metodologia de obtenção do Fator LS no Brasil, através das contribuições de Lombardi Neto e Bertoni (1975) e Bertoni e Lombardi Neto (1985), são distintas, pois o Fator L dimensional difere-se pelo Fator L na literatura internacional ser adimensional. No entanto, a relação conceitual é mais expressamente importante, pois permite ainda outras adaptações que podem evoluir ainda mais para a obtenção desse fator. Assim, diversos autores contribuíram com a metodologia de obtenção e inserção dos dados de comprimento de vertente na EUPS. As contribuições de Pinto (1991) e Pinto (1995) apontam a importância de analisar os caminhos preferenciais do escoamento superficial, definidos pela forma da vertente, para a quantificação do comprimento da vertente. Nesse aspecto, a extensão da vertente adquire maior importância, frente aos dados de declividade, na modelagem, pois essa influencia de maneira substancial no fluxo superficial.

Na maioria dos trabalhos, nos dados do Fator LS, inseridos nas modelagens, destaca-se a declividade, ou seja, as variações verificadas nas cartas de perda de solo devem-se, em sua maioria, as variações de declividade.

A modelagem erosiva trata-se de uma aproximação da realidade, assim, é inerente que haja limitações. Nesse sentido, analisando a bibliografia referente ao uso da EUPS, observa-se que as extensões de vertentes são superestimadas nos modelos

aplicados na maioria dos trabalhos, embora também exista subestimação desses dados. Dessa forma, a menor variação dos dados nas cartas de perda de solo e de potencial natural à erosão reflete na superestimação dos dados, pois o valor é considerado na totalidade da vertente.

Cabe, assim, à investigação científica a busca de mecanismos eficazes para a obtenção do Fator L de maneira a diminuir as limitações do modelo.

#### **4. A Abordagem Sistêmica na Modelagem Erosiva**

De acordo com Christofolletti (1979), o sistema é um conjunto de unidades com relações entre si, no qual o estado de cada unidade é controlado, condicionado ou dependente do estado das outras unidades. Segundo Christofolletti (1980a), a teoria geral dos sistemas, lastreada nas concepções desenvolvidas por Ludwing Von Bertalanffy em 1932, foi iniciada, com literatura especificamente geográfica, por Arthur N. Strahler em 1952, mas é a partir dos trabalhos de John T. Hack em 1960, Richard J. Chorley em 1962 e Alan D. Howard em 1965 que esta teoria começou a contribuir para os trabalhos básicos e essenciais em Geomorfologia.

Segundo Christofolletti (1979) os sistemas devem ter:

- Elementos ou unidades – que são as partes componentes;
- Relações – os elementos integrantes do sistema encontram-se inter-relacionados, um dependendo dos outros, através de ligações que denunciam os fluxos;
- Atributos – são as qualidades que se atribuem aos elementos do sistema, a fim de caracterizá-los. Conforme o sistema, pode-se selecionar algumas qualidades para melhor descrever as suas partes. Os atributos podem se referir ao comprimento, área, volume, características da composição, densidade dos fenômenos observados e outros;
- Entrada (input) – é constituída por aquilo que o sistema recebe. Um rio recebe água e sedimentos fornecidos pelas vertentes; uma indústria recebe matéria-

prima e energia para o seu funcionamento; a Terra recebe energia solar; um animal recebe alimentação. Cada sistema é alimentado por determinados tipos de entradas;

- Saída (output) – as entradas recebidas pelo sistema sofrem transformações em seu interior e, depois, são encaminhadas para fora. Todo produto fornecido pelo sistema representa um tipo de saída.

Os sistemas possuem matéria, energia e estrutura. A matéria corresponde ao material que vai ser mobilizado pelo sistema. A energia corresponde às forças que fazem o sistema funcionar, gerando a capacidade de realizar trabalho. Estas forças se dividem em energia potencial, que é a força inicial, levando ao funcionamento do sistema. A outra corresponde à energia cinética, conhecida também como energia do movimento, que é a que fará com que o material se movimente. A soma destas duas energias resulta em uma terceira: a energia total. Os elementos e suas inter-relações, interligadas por meio do arranjo dos seus componentes, correspondem à estrutura do sistema (CHRISTOFOLETTI, 1979).

De acordo com Christofolletti (1979), na abordagem sistêmica, o critério funcional e o da complexidade estrutural são os mais importantes para a análise geográfica. Considerando-se o critério funcional existem os sistemas fechados e abertos. Nos fechados não há troca de matéria, mas, somente de energia, sendo que, segundo Chorley (1971), nesse sistema as condições iniciais de energia determinam suas posteriores condições de equilíbrio. Já nos sistemas abertos, Chorley (1971) afirma que, para a manutenção e preservação do sistema, é necessário constante suprimento de material e energia.

Também é muito importante o princípio do “equilíbrio dinâmico” ou “*steady state*” embora na prática esse equilíbrio raramente seja exato, mas, existe uma tendência em atingi-lo (CHORLEY, 1971). Segundo o autor citado (p. 13): “as condições de *steady state* podem ser interrompidas por um distúrbio no fluxo de energia ou na resistência, ocasionando a formação de novos ajustamentos em vista ao novo *steady state* a ser alcançado”. A forma de ajustamento é devido à capacidade de auto-regulação dos sistemas abertos.

Segundo Strahler (1950) citado por Chorley (1971, p. 16):

Em um sistema de drenagem equilibrado, *steady state* manifesta-se como o desenvolvimento de certas formas topográficas características, que acabam por atingir uma condição interdependente do tempo... Os processos erosivos e de transporte, enquanto isso, produzem um fluxo equilibrado (média no decorrer de um período de anos ou dezenas de anos) de água e detritos através do sistema formado pela paisagem.

Segundo Chorley (1971), em uma situação de equilíbrio (*steady state*) a importação e exportação de energia são equacionadas por meio do ajustamento das formas; no entanto, a tendência para o desenvolvimento de um equilíbrio não demanda uma igualdade entre a força e a resistência sobre a paisagem, as formas da paisagem são reguladas de maneira que a resistência da superfície seja proporcional à tensão (*stress*) nela aplicada.

Gilbert (1880) citado por Chorley (1971, p. 7) ao abordar o auto-ajustamento para as formas de relevo faz as seguintes afirmações:

Toda vertente é membro de uma série, recebendo a água e os detritos da vertente superior, e descarregando sua carga e sua água sobre a vertente inferior. Se um dos membros é erodido com rapidez excepcional, duas coisas resultam imediatamente: primeiro, o membro superior verá rebaixado o nível de base de descarga e sua intensidade de erosão é conseqüentemente aumentada; e segundo, o membro inferior, sendo recoberto por excepcional carga, verá diminuída a sua intensidade de erosão.

De acordo com Caracristi (2007), o sistema busca o equilíbrio, no entanto, esse equilíbrio pode ser rompido e, assim, tem-se a situação de entropia, que se caracteriza pelo afastamento do equilíbrio e pela dissipação de energia. Porém, a autora supracitada (p. 38) afirma que:

Estar afastado do equilíbrio não significa estar em desequilíbrio. Afastado do equilíbrio é um estado de não equilíbrio, um distanciamento (afastamento) complementar do equilíbrio, um estado de vir-a-ser, que, ao mesmo tempo, determina e é determinado pelo estado oposto, enquanto que o estado de desequilíbrio é o oposto excludente do estado de equilíbrio, uma negação do oponente. Como vemos, a noção de entropia é fundamental à concepção científica do conceito de auto-organização.

Segundo Tavares e Soares (1978) a modificação das variáveis externas interfere nos fluxos de massa e energia, provocando o reajustamento de todos os parâmetros do sistema; estes autores, dessa forma, afirmam que (p. 79):

Qualquer unidade geomorfológica, considerada sob a perspectiva dos sistemas abertos, deverá apresentar formas ajustadas aos fluxos de massa e energia que circulam através do sistema em questão. Tais fluxos identificam-se na geomorfologia com os processos morfogenéticos (pluviais, fluviais, gravitacionais, etc.) e são controlados pelas variáveis externas do sistema. Isso significa que enquanto as condições externas permanecerem imutáveis através do tempo, permitindo a continuidade dos fluxos, as formas do relevo deverão ser conservadas, pois se acham estabilizadas em função do equilíbrio alcançado pelo sistema.

O relevo, enquanto sistema morfológico, caracteriza-se como um sistema aberto, pois necessita de um suplemento de energia para sua manutenção e preservação (REINER e SPIEGELMAN, 1945 citado por CHORLEY, 1971) e é mantido por constante suplementação e remoção de material e energia (VON BERTALANFFY, 1952 citado por CHORLEY, 1971).

Assim, a abordagem sistêmica é muito importante em Geomorfologia, pois, permite a busca da inter-relação dos fenômenos pesquisados. Seguindo essa perspectiva, na análise dos dados pesquisados, há um entendimento interligado dos fatores observados, ou seja, nenhum fenômeno pode ser considerado isoladamente.

Foco desta pesquisa, a erosão é um importante agente esculptor do relevo a qual pode ser compreendida como um processo que ocorre em um sistema aberto, pois necessita de constante suplementação e remoção de material e energia para sua existência (CHORLEY, 1971). Desta forma, é essencial a dinâmica de entrada (*input*) e saída (*output*) de matéria e energia.

As alterações de natureza humana têm relação direta com a variação na quantidade de *input* e *output* no sistema. Nesse sentido, é importante a compreensão do sistema de processos-resposta, no qual todo sistema está em funcionamento através do processo, que é alimentado pela entrada de matéria e energia, mas também possui saída de matéria e energia. O *output* do sistema é a resposta do processo para o *Input*. Assim, qualquer alteração na entrada de matéria e energia altera o processo do

sistema e, conseqüentemente, altera a saída de matéria e energia e, portanto, sua forma.

Os sistemas de processos-resposta podem ser influenciados por mudanças nos fluxos de matéria e energia, que ocorrem por força da natureza ou pela ação humana. Ou seja, pode haver, dependendo dos parâmetros envolvidos, a busca pelo controle ou minimização da resposta ao processo. Nesse sentido, Pinheiro (2008, p. 62) afirma que:

Surgem então os sistemas controlados, que representam a atuação humana sobre os sistemas de processos-resposta (CHRISTOFOLETTI, 1979). Quanto maior é a intervenção antrópica, maior será a complexidade desse sistema. Trata-se da tentativa humana de utilizar e explorar a natureza, sendo que os resultados podem ser esperados ou acidentais. Os resultados acidentais geram impactos ambientais, de maiores ou menores proporções, muitas vezes irreversíveis. O terreno ocupado por uso agrícola, o reflorestamento por espécies nativas ou pela silvicultura pode ser considerado como um sistema controlado.

Ao abordar o tema da erosão em áreas de cerrados, Perez Filho e Seabra (2004) relacionam-no à teoria sistêmica ao afirmar que:

O solo desnudo de cobertura vegetal se torna mais suscetível aos agentes erosivos relacionados à precipitação e à direção dos ventos acelerando assim o processo evolutivo da paisagem. O resultado é uma ruptura no equilíbrio entre relevo-solo-vegetação que ocasiona entre as diversas conseqüências a perda do solo e de seus nutrientes.

A interferência humana no meio natural freqüentemente provoca alterações na dinâmica erosiva natural, ocasionando a chamada erosão acelerada. O que Perez Filho e Seabra (2004, p.6) confirmam ao afirmar que:

O equilíbrio dinâmico dos ecossistemas que compõem a biosfera é constantemente alterado pela ação antrópica. Como toda a causa tem seu efeito correspondente, todo benefício que o homem extrai da natureza tem certamente também seus malefícios. Desse modo, parte-se do princípio de que toda ação humana no ambiente natural ou alterado causa algum impacto em diferentes níveis, gerando alterações com graus diversos de agressão, levando, às vezes, as condições ambientais a processos até mesmo irreversíveis.

Segundo Pinheiro (2006), a erosão acelerada, provocada pela ação humana, representa alteração na hidrografia (sistema em seqüência) e no relevo (sistema

morfológico). A nova conjuntura (desequilíbrio), estabelecida por essa intervenção, provocará uma busca pelo equilíbrio, o que implicará em uma nova dinâmica de entrada e saída de energia e matéria. De acordo com Cunha (2001, p. 35) “é impossível compreender o relevo sem considerar os fluxos de matéria e energia responsáveis por sua gênese e esculturação”, no qual o relevo é resultado da interação de vários fatores, sendo necessário o estudo destes fatores para sua compreensão.

Para Lal (2001), a energia para o trabalho da erosão é fornecida pelos agentes de erosão e a fonte da energia determina o tipo do processo de erosão. Segundo o autor, as principais fontes dessa energia são: físicas como a água e o vento, gravidade, reações químicas e perturbações antropogênicas, como a agricultura.

Segundo Wischmeier (1962), a energia para causar a erosão hídrica vem inicialmente do impacto da gota de chuva; assim a modificação na quantidade ou intensidade da precipitação pluvial (*input*) culmina em uma nova dinâmica erosiva. Segundo Bertoni e Lombardi Neto (1985), a energia aumenta quando a intensidade do escoamento é exacerbada pela declividade e pela quantidade de material transportado. Alguns fatores causam o aumento na quantidade de material transportado:

- o aumento da precipitação, o que gera maior escoamento superficial e maior poder erosivo;
- maior declividade, o que faz com que a gravidade tenha maior atuação e aumentando a incisão, devido ao rápido gradiente altimétrico com o nível de base;
- friabilidade do solo, que permite ao escoamento transportar os sedimentos desagregados, possibilitando o aumento da carga de sedimentos e do potencial erosivo, pela abrasão do deslocamento das partículas;
- maior extensão de vertente, resulta em mais tempo de escoamento superficial até a deposição e aumento na carga de material de transporte, gerando maior dinâmica erosiva.

Desta forma, no âmbito da EUPS, notadamente o Fator Topográfico (LS), componente da EUPS, influencia consideravelmente no processo erosivo. O sistema vertente possui conexão com os sistemas adjacentes (atmosfera e sistema fluvial – sistema em sequência), e a extensão da vertente condiciona o material transportado,

que pode resultar em maior sedimentação nos setores inferiores e assoreamento dos corpos de água.

No presente trabalho a EUPS é aplicada de maneira a possibilitar a análise das principais fontes de energia no sistema vertente:

- a água, através da erosividade da chuva;
- a gravidade, pelo fator topográfico;
- e as perturbações antrópicas, através do uso e manejo da terra.

A teoria sistêmica permite, dessa forma, a interação entre os dados adquiridos pelo mapeamento geomorfológico, pela modelagem erosiva e pelos dados empíricos. Busca-se, assim, a correlação dos resultados, tendo em vista os fluxos de matéria e energia para a geração dos dados.

A perspectiva sistemática contribuiu na execução deste trabalho, já que a aplicação do modelo considera os fluxos de matéria e energia, auxiliando, deste modo, na interpretação dos resultados. Considerando essa abordagem, serão apresentadas a seguir as técnicas de trabalho adotadas, as quais possibilitam a aplicação da pesquisa proposta, bem como a análise dos fatores condicionantes da esculturação do relevo e das áreas de maior dinamismo erosivo.

## 5. ABORDAGEM METODOLÓGICA

Com vistas a auxiliar no estudo das dinâmicas erosivas e ainda na prevenção de impactos, a aplicação da modelagem se torna uma alternativa viável para o Planejamento Territorial. Entretanto, os dados estimativos ligados a erosão são passíveis de apresentar erros, tendo em vista que se trata de simulação da realidade e a dinâmica erosiva é complexa, envolvendo variados fatores e condicionantes. Desta forma, busca-se, neste trabalho, aplicar a modelagem erosiva no intuito de aprimorar a geração da informação para o mapeamento preditivo.

Para tanto, a pesquisa, aqui apresentada, aborda a questão relacionada aos processos de degradação ambiental dos solos na perspectiva de um entendimento sistêmico. A visão sistêmica fornece o apoio teórico-metodológico para compreensão das relações entre o meio físico e os dados obtidos com a modelagem.

Para a pesquisa proposta, a análise sistêmica é importante para a compreensão da influência da extensão da vertente na dinâmica erosiva e na EUPS. A área de estudo apresenta setores de extensas vertentes; assim torna-se interessante o estudo e análise do Fator L. Através da aplicação do modelo, da experimentação em campo e da abordagem sistêmica, os dados serão correlacionados e será possível analisar a aplicação da metodologia de obtenção dos dados de extensão de vertentes.

A teoria sistêmica permite a interação entre os dados adquiridos, sendo que os resultados são correlacionados tendo em vista os fluxos de matéria e energia, gerando, deste modo, análises mais consistentes.

Assim, no presente trabalho, o método dedutivo é de importância fundamental, pois se trata de um método racional, com objetivo de explicar e analisar os pressupostos. Mas, o método indutivo também se torna importante, pois o conhecimento é fundamentado na experiência, já que a generalização deriva de observações de casos da realidade concreta. Deste modo, o método indutivo vem, neste trabalho, através da correlação de seus resultados, validar os pressupostos da modelagem erosiva aplicada.

Dessa forma, esta pesquisa baseia-se tanto no método dedutivo de investigação, o qual parte da aceitação inicial de um enunciado geral e depois a contraposição dos casos particulares, como também no método indutivo

(experimentação), o qual trabalha com os dados empíricos relativos à realidade local para, em seguida, realizar uma generalização.

Os procedimentos permitiram a avaliação da perda de solo por erosão de vertentes côncavas e convexas, aplicando parcelas de experimentos em campo com a mesma cobertura vegetal, distinguindo os setores da alta, média e baixa vertente, para validação das informações coletadas através do modelo. Possibilitaram, ainda, realizar análises comparativas entre os dados obtidos por meio do modelo com aqueles mensurados pelos experimentos e com dados qualitativos, obtidos pela cartografia geomorfológica. As vertentes retilíneas não foram consideradas para a experimentação em razão de sua pequena expressão espacial na área de estudo, pois, não foram verificadas vertentes retilíneas contendo os segmentos de alta, média e baixa vertente.

A seguir serão apresentados os materiais utilizados, bem como, as técnicas de trabalho adotadas, as quais possibilitaram a aplicação da pesquisa proposta e a análise dos fatores condicionantes da esculturação do relevo e das áreas de maior dinamismo erosivo.

### **5.1. Materiais**

São apresentados aqui os materiais utilizados, os quais possibilitaram a execução do presente trabalho.

Para a elaboração da Base Cartográfica, utilizou-se das cartas topográficas do Instituto Geográfico e Cartográfico (IGC) da Secretaria de Economia e Planejamento do Estado de São Paulo, foram utilizadas as folhas 064/091 e 064/092, do ano de 1979, com escala de 1:10000.

Foram utilizados os softwares: - AutoCAD, para a vetorização dos componentes da base cartográfica; - Software Spring para importação dos arquivos dxf e exportação para o Software Idrisi for Windows; - Software ESRI ArcGIS, para a geração da Carta Clinográfica; - Microsoft Office 97, para edição dos textos e tabulação dos dados.

Foi utilizado um computador para a criação da base cartográfica e para o Geoprocessamento, bem como uma impressora multifuncional, papel A4 e papel A3, para a elaboração e impressão do texto final da tese.

Para a elaboração da Carta de Uso da Terra e Cobertura Vegetal, utilizou-se imagens de fotografias aéreas de 2010, com escala de 1:4.000, disponibilizadas pela UNESP – Rio Claro, que possuem resolução com excelente nível de detalhe.

Utilizou-se ainda do GPS (Sistema de Posicionamento Global) e máquina fotográfica digital, para os trabalhos em campo.

Para a elaboração da base cartográfica, as folhas das cartas topográficas foram digitalizadas em formato Tiff, por manter as proporções de escala. Em seguida a imagem em Tiff foi inserida no software AutoCAD, através do comando “insert - raster image” e georeferenciada. Foi vetorizada a delimitação da área da bacia hidrográfica, as curvas de nível e a hidrografia. A base cartográfica foi fundamental, pois, essa forneceu a estrutura (curva de nível, hidrografia e localização) para a elaboração dos mapas utilizados na pesquisa.

A seguir serão abordados os procedimentos para obtenção dos dados para os Fatores LS, R e K, que foram utilizados na elaboração das Cartas de Potencial Natural à Erosão (PNE) e dos dados para os Fatores C e P, que, multiplicados pelas Cartas de PNE, geraram as Cartas de Estimativas de Perda de solo.

## **5.2. Aplicação de Técnicas do Modelo EUPS**

Para esta pesquisa propôs-se a utilização da Equação Universal de Perda de Solo (EUPS), proposta por Wischmeier e Smith (1965), e a experimentação, utilizando a técnica do pinos de erosão proposta por De Ploey e Gabriels (1980). No Brasil, a EUPS foi adaptada para as condições locais por Bertoni e Lombardi Neto (1985), que realizaram várias pesquisas nesse sentido.

A EUPS é expressa da seguinte forma:

$$\mathbf{A = R . K . L . S . C . P}$$

Onde:

A = Perda média anual de solos;

R = Erosividade das chuvas;

K = Erodibilidade dos solos;

LS = Fator topográfico (declividade e comprimento da vertente);

C = Cultivo e manejo;

P = Práticas conservacionistas.

Esta equação pode ser dividida em dois grupos de variáveis:

- RKLS: relacionados às características naturais da área em estudo e são considerados para a construção, nesta pesquisa, das Cartas de Potencial Natural à Erosão Laminar.
- CP: relacionados às formas de ocupação e uso da terra, derivados da interferência humana.

No intuito de gerar informações necessárias para a aplicação do referido modelo, foram necessários procedimentos técnicos para construção dos documentos cartográficos, fundamentais ao desenvolvimento da presente pesquisa, cujas técnicas são a seguir descritas.

### **5.3. Fator Topográfico (LS)**

#### **5.3.1. Fator Comprimento de Vertente (L)**

De acordo com Bertoni e Lombardi Neto (1985), o fator LS é a relação esperada de perda de solo por unidade de área em um declive qualquer em relação às perdas de solo correspondentes em uma parcela unitária de 25 m de comprimento com 9% de declive.

Neste trabalho, a respeito do Fator LS, buscou-se a superação de limitações no tocante ao mapeamento das extensões de vertente. Desta maneira foram elaboradas cartas de extensões de vertente diferenciadas, a saber: pela Carta de Dissecação Horizontal utilizada por Mendes (1993), Cunha (1997) e Pinheiro (2008); pela média em sub bacias, utilizada por Souza (2010) e Pinheiro e Cunha (2010) e pela metodologia de segmentação das vertentes, proposta neste trabalho. Ressalta-se que as duas primeiras técnicas entendem o comprimento de vertente como a distância entre o divisor de água e a linha de drenagem. Enquanto que a última fornece valores

segmentados da extensão das vertentes, entendendo que o modelo deve ser induzido a quantificar de maneira distinta os setores de alta, média e baixa vertente.

As três técnicas diferenciadas de obtenção do Fator LS possibilitaram a geração de três Cartas distintas do Fator LS e, também, três Cartas de PNE e três Cartas de Perda de solo. As cartas foram identificadas por números de 1 a 3; deste modo, para as Cartas do Fator LS, utilizaram-se as seguintes denominações:

- Para aquela cujo cálculo de vertentes utilizou a média por sub bacias, denominou-se Carta do Fator LS 1;
- Utilizando a Dissecação Horizontal, denominou-se Carta do Fator LS 2;
- Pela quantificação segmentada das vertentes, denominou-se Carta do Fator LS 3.

A Carta de Dissecação Horizontal, utilizada para quantificação do Fator L, identifica a distância que separa os canais fluviais dos divisores de água da bacia, o que, para Cunha (1997), possibilita avaliar o trabalho de dissecação horizontal elaborado pelos rios sobre a superfície de interesse. Essa indica os setores de interflúvios de maior ou menor largura, o que possibilita avaliar o potencial de atuação dos processos geomorfológicos no modelado do relevo.

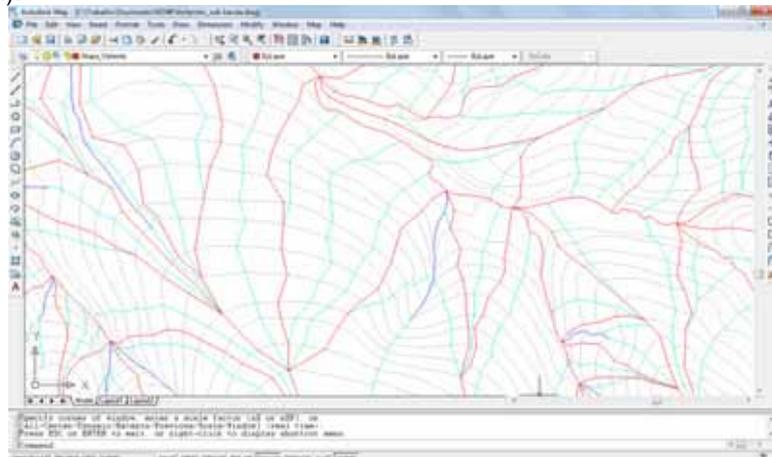
Para a elaboração das classes de dissecação horizontal foi considerada a recomendação de Spiridonov (1981) de dobrar os valores nos intervalos de classe. Os intervalos de classe são estabelecidos de modo a manterem uma resolução de boa qualidade.

O primeiro passo para a elaboração desta carta foi a delimitação de todas as sub bacias na base cartográfica e, num segundo momento, realizou-se a classificação das áreas de acordo com a distância entre o talvegue e a linha de cumeada. Utilizou-se a técnica “semi-automática” proposta por Zacharias (2001), através da cartografia digital pelo software AutoCAD Map. Esse método permite que o usuário acompanhe as etapas de elaboração e ao mesmo tempo requer o pleno conhecimento sobre a técnica de elaboração desta carta. Esta técnica foi descrita por Silva (2005) ao analisar a morfometria do relevo de sua área de estudo.

A técnica do valor médio das sub bacias consiste, primeiramente, na delimitação de todas as sub bacias da área de estudo com um nível elevado de detalhe. Em seguida são traçados os caminhos preferenciais da água (PINTO, 1995); o ideal é que quanto maior for a bacia, mais caminhos preferenciais devem ser traçados. Nas sub bacias de maior área, ocorreu a sub-divisão dessas em setores, considerando-se o escoamento e a forma da vertente.

Cada setor foi então delimitado, vetorizado e gerado o polígono, compreendendo os limites de cada sub bacia ou setor de sub bacia, conforme a Figura 13. Após esse procedimento, foram traçados os caminhos preferenciais da água através do AutoCAD, em seguida cada traçado é medido e os valores tabulados no Software Excel. Para cada polígono é feito o cálculo da média simples, resultado dos valores dos caminhos preferenciais da água.

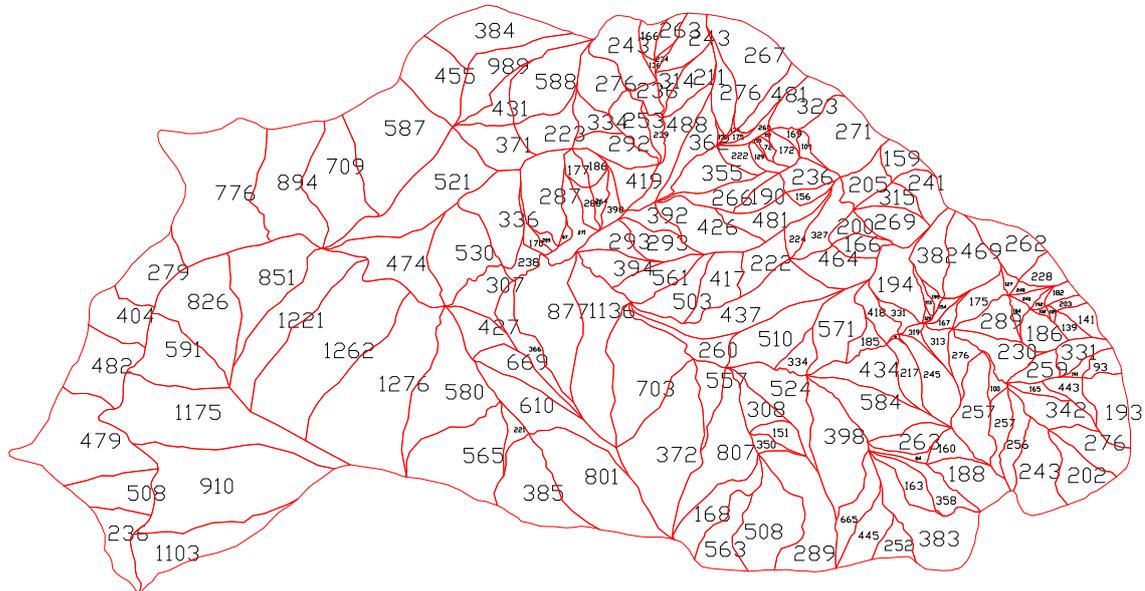
Figura 13 – Identificação dos limites das sub bacias (em vermelho) e das linhas de escoamento superficial (em azul).



Fonte: Pinheiro, 2012. Sem escala.

Após o cálculo das médias, os valores médios de extensão das vertentes são inseridos como texto dentro dos polígonos no AutoCAD, através do comando “dtext”, para servirem como identificadores na exportação para o SIG Spring, conforme a Figura 14. Para a carta segmentada de vertentes, também foram delimitadas, no AutoCAD, todas as sub bacias da área, traçados os caminhos preferenciais do escoamento superficial e traçados os polígonos diferenciando as áreas das vertentes côncava, convexa e retilínea.

Figura 14 – Carta de Extensão de vertentes para exportação do arquivo, com os valores das extensões expressos em metros.



Fonte: Pinheiro, 2012. Sem escala.

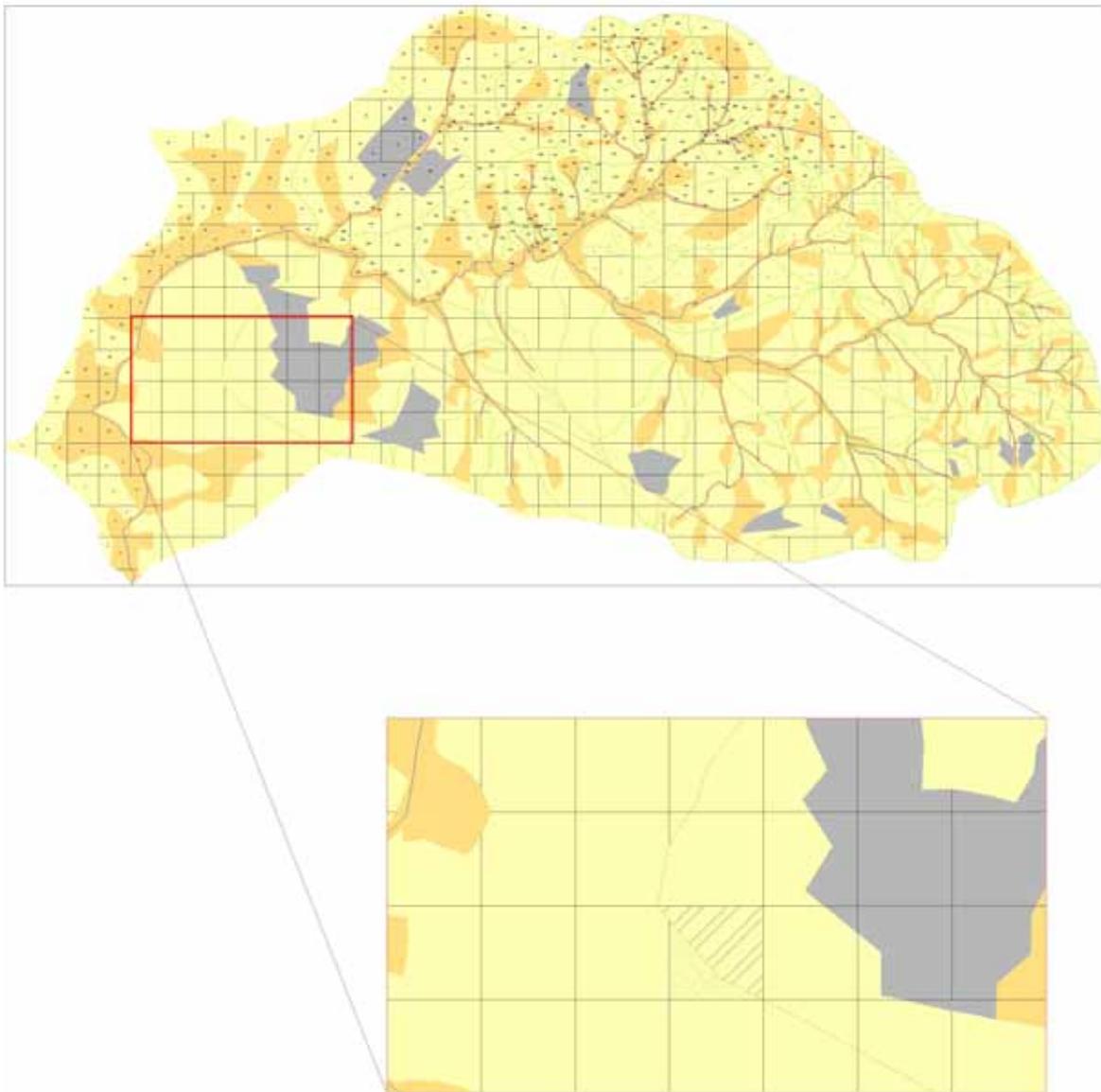
Deste modo, os limites das sub bacias e das formas de vertente são inseridos sobre a base cartográfica e em seguida a área é dividida em quadrículas. Optou-se pelo valor de 200 m por quadrícula, no intuito de dividir em células as extensões das vertentes. Isso se deve, pelo entendimento, nessa pesquisa, de que a vertente possui variações nas perda de solo no decorrer da sua extensão (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1985).

Em seguida são gerados polígonos pela individualização dos espaços entre a malha composta pelas células, os limites das sub bacias ou setores destas e os limites das formas de vertente. Após esse procedimento, os polígonos compreendendo os limites de cada célula a ser quantificada, são individualizados de acordo com suas características, ou seja, de acordo com a forma da vertente, direção do escoamento, setores da sub bacia e pela divisão em células (Figura 15). Assim, cada polígono é distinto quanto às características mapeadas.

Após a individualização dos polígonos, foram calculadas, no AutoCAD, as extensões das linhas de escoamento superficial em cada célula, sendo esses dados tabulados no Software Excel e calculada a média simples para cada sub bacia. No entanto, os valores das células que correspondiam às partes mais baixas da bacia eram somados aos valores das células da alta vertente, compreendendo assim que os

setores da baixa vertente recebem mais escoamento superficial em relação aos setores localizados na porção superior.

Figura 15 – Individualização dos polígonos\*.



Fonte: Pinheiro, 2012. Sem escala.

\*Em preto representam-se as quadrículas de 200 m X 200 m; em bege (convexas), Laranja (côncavas) ou cinza (retilíneas) as formas de vertente e em verde o limite da sub bacia. Os polígonos em destaque hachurado e pontilhado representam a área a ser quantificada individualmente, onde a célula hachurada representa um polígono pertencente a uma vertente convexa, com escoamento em direção ao canal localizado a Nordeste. Já a célula pontilhada pertence a uma vertente convexa, com escoamento em direção ao canal à Oeste.

Após a elaboração dos três tipos de mapeamento das extensões de vertente em ambiente AutoCAD (arquivo de extensão DWG) os arquivos resultantes foram exportados (em extensão DXF versão R12) para o Spring, onde foram transformados em matriz e, então, novamente exportados (TIFF / GEOTIFF) para o Idrisi, no qual foi feito o cruzamento com a Carta Clinográfica, aplicando a fórmula proposta por Bertoni (1959), através do comando “Image Calculator”. Após estes procedimentos, as Cartas do Fator LS, resultantes do cruzamento, foram geradas.

### 5.3.2. Fator Declividade (S)

O Fator S compreende a declividade do relevo e influencia diretamente na energia do escoamento, pois quanto maior for o declive, maior é a capacidade de incidência da erosão. Através da análise do desnível altimétrico e da distância horizontal entre curvas de nível é possível obter a declividade do terreno.

A Carta Clinográfica, assim denominada por De Biase (1970), representa as classes de declividade do terreno. De acordo com Cunha (2001), os dados das classes de declividade são muito importantes para a avaliação das áreas de maior dinamismo geomorfológico.

Segundo De Biasi (1970), os dados de declividade são obtidos através da seguinte fórmula:

$$D1 = \frac{n \times 100}{E}$$

Onde:

**D**= Declividade, em porcentagem;

**n** = Equidistância das curvas de nível (desnível altimétrico).

**E**= Espaçamento entre as curvas de nível (distância horizontal).

A Carta Clinográfica da Bacia do Ibitinga foi elaborada através de geoprocessamento no ArcMap através do instrumento MTR – Modelagem Tridimensional do Relevo, no módulo ArcScene e através da ferramenta 3D *analyst/Create Tin From Features*. Duarte (2005) apresenta a metodologia para a elaboração do mapa de declividade através do SIG ArcMap. O mapa clinográfico gerado possui uma qualidade satisfatória e com boa resolução, no entanto apresenta erros para as áreas de topos e fundos de vale.

No intuito de corrigir os erros verificados nas áreas linhas de cumeada e de fundos de vale, recorreu-se aos procedimentos de carácter analógico, realizados no AutoCAD. Através do software AutoCAD, a elaboração é de maneira analógica, porque deste modo é possível obter grande nível de detalhe nas informações, conforme procederam Pinheiro e Cunha (2009). Estes autores utilizam um ábaco virtual observado diretamente na tela do computador, o que permite a elaboração das cartas em diferentes escalas. Porém, Simon e Cunha (2009) avançaram neste método, criando um ábaco virtual diferenciado, tornando o procedimento mais rápido e ao mesmo tempo eficiente. Desta forma, utilizando o ábaco virtual no AutoCAD as áreas com erros são corrigidas; o método se assemelha ao manual, no entanto apresenta mais qualidade gráfica e precisão, pelo recurso do *zoom*. O quadro 1 apresenta as classes de declividade utilizadas na elaboração da Carta Clinográfica.

Quadro 1 – Classes de declividade e cores de acordo com a classificação das declividades.

<b>Classes de declividade</b>	<b>Cores de Identificação de cada classe</b>
0  —— 2%	Verde
2  —— 6%	Amarelo
6  —— 12%	Laranja
12  —— 20%	Vermelho
20  —— 40%	Marron
≥ 40%	Preto

Fonte: Pinheiro, 2012.

Após a elaboração da Carta Clinográfica no ArcMap e sua correção no AutoCAD, o arquivo resultante foi exportado (extensão DXF versão R12) para o Spring, e transformado em matriz para ser novamente exportado para o Idrisi (TIFF/GEOTIFF). Em seguida foi realizados o cruzamento dessa Carta com as Cartas de extensão de vertentes para a geração das Cartas do Fator LS, conforme procedimento descrito anteriormente.

#### 5.4. Fator R (Erosividade das Chuvas)

A erosividade das chuvas deve quantificar o efeito do impacto das gotas sobre o solo, o qual influencia também no escoamento superficial, principal agente na dinâmica erosiva do Brasil, devido ao predomínio do clima quente e úmido. Para a presente pesquisa, optou-se pela formulação proposta por Lombardi Neto e Moldenhauer (1992), que se basearam em pesquisas realizadas em Campinas, com realidade climática semelhante à de Rio Claro. Os autores citados acima propõem a equação:

$$EL_m = 68,730 (r^2/P)^{0,841}$$

Onde:

$EL_m$  = Média mensal do índice de erosão (MJ/ha. Mm/h.)

$r$  = Precipitação média mensal em milímetros

$P$  = Precipitação média anual em milímetros.

Segundo Cunha (1997) para se obter os valores de erosividade da chuva (R) deve-se somar os valores mensais do índice de erosão (EL). O valor foi calculado (Tabela 1) e inserido na Formulação da EUPS para o processo de cruzamento com as cartas elaboradas dos outros fatores da EUPS.

Tabela 1 - Valores utilizados para obtenção do Fator R.

Meses	Precipitação média mensal (mm)	Precipitação média anual (mm)	Média mensal do índice de erosão (MJmm/ha.h)	Total (Fator R)
Jan	278,8	1517,8	1891,3	7426,7
Fev	209,8		1172,3	
Mar	167,8		805,0	
Abr	71,2		190,4	
Mai	66,8		170,8	
Jun	46,7		93,7	
Jul	33,3		53,0	
Ago	33,5		53,5	
Set	73,7		201,5	
Out	128,0		510,6	
Nov	165,8		788,6	
Dez	242,5		1495,9	

Fonte: CEAPLA / UNESP, 2012.

Os dados pluviométricos, nesta pesquisa, constaram de uma série histórica de 17 anos, obtidos da Estação Meteorológica do CEAPLA / UNESP, em área contígua à FEENA. Esses dados foram complementados com aqueles do antigo Posto Meteorológico localizado na FEENA e monitorado pelo DAEE, constituindo uma série histórica de 42 anos, a qual encontra-se desatualizada devido à desativação desse posto. Os dados foram trabalhados conjuntamente, no intuito de garantir maior confiabilidade aos resultados.

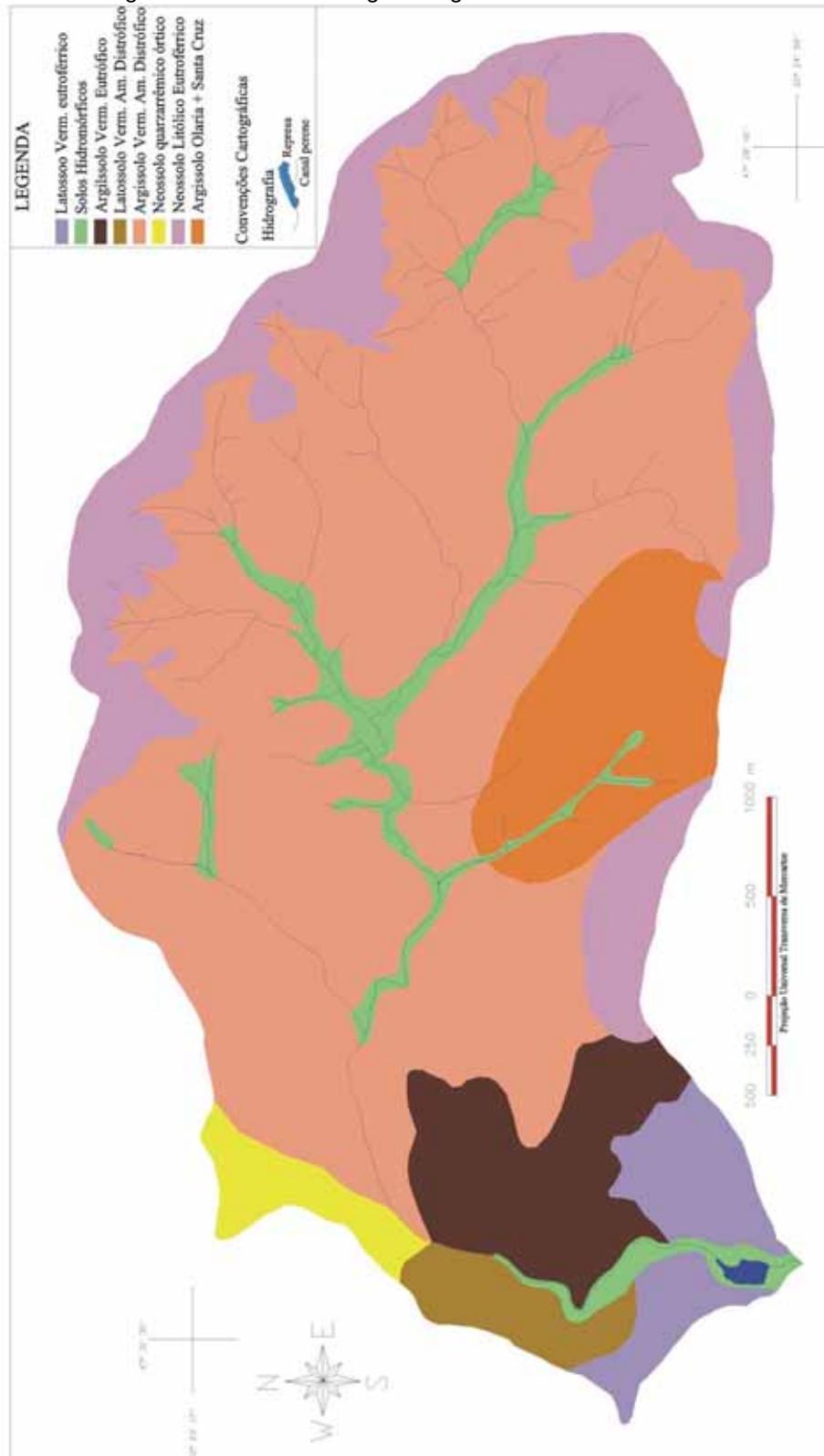
### **5.5. Fator K (Erodibilidade do Solo)**

A erodibilidade do solo (K) por sua vez é marcada pela diferenciação das propriedades dos solos em si, que determinam sua capacidade de resistir aos processos erosivos. A Carta Pedológica (Figura 16), utilizada para a obtenção da espacialização do fator K, foi elaborada com base em Koffler et al. (1993) e Instituto Florestal / SMA (2005).

Foi necessária a correção através da análise estereoscópica, em virtude da escala de Koffler et al. (1993) de 1:100000 ser menor em relação à base cartográfica deste presente trabalho (1:10000). O trabalho realizado pelo Instituto Florestal / SMA (2005) apresentou mapeamento concernente apenas à FEENA, assim, os limites foram inferidos considerando-se as variações topográficas da área de estudo e a reambulação em campo.

Neste trabalho, foram utilizados os valores do Fator K obtidos por Donzelli et al. (1992), para a microbacia do São Joaquim em Pirassununga / SP, e por Mannigel et al. (2002), para o Estado de São Paulo. Os dados dos trabalhos desses autores são viáveis de aplicação por utilizarem áreas de estudo no Estado de São Paulo. Segue, na tabela 2, as classes de solos, os valores de K e os autores que apontam os valores utilizados para cada classe de solo.

Figura 16 – Carta Pedológica da Bacia do Córrego Ibitinga.



Fonte: Koffler et al. (1993); Instituto Florestal / SMA (2005). Organização: Pinheiro, 2012.

Tabela 2 - Valores do Fator K utilizados.

Classes de solos	Fator K – Autor
Argissolo Olaria + Santa Cruz	0,0285 – Donzelli et al. (1992)
Latossolo vermelho amarelo distrófico	0,0133 – Donzelli et al. (1992)
Neossolo quarzarênico órtico	0,0223 – Donzelli et al. (1992)
Neossolo Litólico Eutroférico	0,0250 – Donzelli et al. (1992)
Argissolo Verm. Am Distrófico	0,0438 – Donzelli et al. (1992)
Latossolo Verm eutroférico	0,0122 – Donzelli et al. (1992)
Solo Hidromórfico	0,0044 – Mannigel et al. (2002)
Argissolo Verm. Eutrófico	0,0228 – Mannigel et al. (2002)

Fonte: Donzelli et.al. (1992), Mannigel et al. (2002).

A Carta Pedológica foi então exportada para o Spring, no qual a informação vetorial foi transformada em matricial, e novamente exportada para o Idrisi, onde os polígonos, diferenciados pelas cores, recebem uma nova assinatura de valor para cada cor. Assim, gera-se um mapeamento pedológico com os valores de K, que posteriormente são cruzados com os outros fatores da EUPS.

### 5.6. Fator C (Cobertura vegetal e Uso da Terra)

O valor do uso e manejo do solo (C) deve refletir todas as relações variáveis de cultura e manejo. Neste trabalho foram utilizados os valores de C, expressos na tabela 3, obtidos para a microbacia do São Joaquim / SP por Donzelli et al. (1992).

A fim de identificar riscos de erosão, os autores supracitados realizaram pesquisa utilizando o índice de risco de erosão ou capacidade de uso-manejo permissível (UMP). Utilizaram imagens orbitais multiespectrais, TM ou SPOT, como fonte principal de dados sobre o uso da terra, cobrindo um período de 9 meses. Os autores definiram seis classes de uso da terra, as quais foram: culturas anuais, citros, cana-de-açúcar, pasto, reflorestamento e vegetação nativa. Esses autores verificaram, ainda, que o Fator C possui uma variabilidade maior e valores maiores entre as culturas anuais do que entre as perenes.

Tabela 3 - Dados de Valores do Fator C para as classes de uso da terra na Bacia do Córrego Ibitinga.

<b>Cultura / Cobertura Vegetal</b>	<b>Fator C</b>
Citrus	0.13
Cana-de-açúcar	0,05
Pasto/Pasto Sujo	0,0075
Reflorestamento	0,0489
Mata/Vegetação Natural	0.00004

Fonte: Donzelli et.al. (1992).

Neste presente trabalho, para a identificação e espacialização dos diferentes usos da terra foi elaborada a Carta de Uso da Terra e Cobertura Vegetal a partir da vetorização de imagens de fotografias aéreas de 2010. As fotografias, com escala de 1:4.000, disponibilizadas pela UNESP – Rio Claro, possuem um resolução com excelente nível de detalhe, o que permitiu maior acurácia no mapeamento.

A delimitação das áreas de uso e cobertura foi feita através da inserção da imagem das fotografias aéreas no software AutoCAD Map (Map - Image - Insert) e a delimitação dos polígonos pelo comando “polyline”.

Esta carta não foi elaborada de modo automático, mas através da interpretação visual das fotografias aéreas e do conhecimento prévio da área. Para identificar os diversos usos da terra da área de pesquisa, considera-se o padrão de textura, cor e formato das parcelas. Além disso, através de trabalhos de campo, foi possível avaliar o mapa elaborado, assim como colher dados mais atualizados sobre esta questão.

Assim, os valores de C foram agregados na Carta de Uso da Terra e Cobertura Vegetal. Após a elaboração desta carta, o arquivo foi exportado para o SIG Spring e em seguida para o SIG Idrisi, onde os dados qualitativos foram transformados em quantitativos.

Para a estimativa da perda de solos e do PNE foram desconsideradas as áreas de deposição da bacia, pois a EUPS é utilizada considerando a erosão de superfície e, tendo em vista que, nesses locais prevalecem os processos de agradação, o modelo não pode ser aplicado nesta situação.

### 5.7. Fator P (Práticas Conservacionistas)

O fator P da EUPS é a relação entre perda de solo com determinada prática conservacionista e aquelas cuja cultura está plantada no sentido do declive, isto é, morro abaixo (WISCHIMEIER; SMITH, 1978). As práticas conservacionistas mais comuns para as culturas anuais são o plantio em nível, faixas vegetadas, terraceamento e alternância de capinas.

Os valores para o fator variam de 0 a 1, onde valores iguais a 1 se referem às áreas sem práticas de conservação e valores menores que 1 são áreas que possuem práticas de conservação.

Bertoni e Lombardi Neto (1985) pesquisaram as Práticas Conservacionistas (P) para as condições do estado de São Paulo e identificaram quatro tipos principais e seus respectivos valores, expressos na tabela 4 que se segue:

Tabela 4 – Valores de P de acordo com as práticas conservacionistas.

<b>Práticas Conservacionistas</b>	<b>Valor de P</b>
Plantio morro abaixo	1,0
Plantio em contorno	0,5
Plantio de capinas + plantio em contorno	0,4
Cordões de vegetação permanente	0,2

Fonte: Bertoni e Lombardi Neto (1985).

Para a Bacia do Córrego Ibitinga foram verificadas áreas com situação de controle de erosão, como curvas de nível e terraceamentos, no entanto, foram observadas áreas sem nenhum manejo de controle erosivo. As áreas foram delimitadas e inseridas no cruzamento no SIG Idrisi.

## 5.8. Carta Geomorfológica

O mapeamento geomorfológico possui fundamental importância na análise qualitativa do Fator LS, pois sua interpretação permite o fornecimento da informação sobre a esculturação do relevo, possibilitando a análise dedutiva dos processos condicionantes. Assim, a cartografia geomorfológica de detalhe possibilita o reconhecimento da morfodinâmica dos ambientes e, dessa forma, a identificação dos setores mais susceptíveis aos processos erosivos.

Segundo Tricart (1965) esta carta é centrada na forma do relevo, de degradação ou de acumulação, correspondente à noção de escultura pelas erosões, ou, de maneira mais geral, da construção do modelado do relevo.

Neste trabalho, a Carta Geomorfológica permitiu o levantamento de dados, tais como a concavidade e a convexidade das vertentes, a presença de sulcos erosivos e as áreas de acumulação de sedimentos, não contemplados pela modelagem. É importante o mapeamento dos sulcos erosivos, pois, respondem à vulnerabilidade do local, no entanto, a ênfase desta pesquisa centra-se na erosão laminar, tendo em vista que a EUPS não estima a erosão linear.

O mapeamento das linhas de rupturas também é importante, pois, indicam a ocorrência de erosão diferencial, bem como determina a dinâmica do fluxo do escoamento hídrico superficial.

Com o objetivo de comparar os dados quantitativos da modelagem com dados qualitativos, elaborou-se a Carta Geomorfológica a partir da interpretação de pares estereoscópicos de fotografias aéreas pancromáticas de 1988, também obtidas junto ao IGCE / Unesp, Rio Claro – SP. As informações obtidas com a fotointerpretação foram ainda complementadas por dados levantados em campo e análise da carta topográfica através do AutoCAD.

Para a elaboração desta carta utilizou-se, predominantemente, a simbologia proposta por Tricart (1965) para identificar as diversas formas de relevo, complementando-se estas com alguns símbolos de Verstappen e Zuidam (1975).

Através da análise estereoscópica foram mapeados os elementos do relevo relacionados a aggradação e degradação, enfatizando-se as formas de

vertentes, as rupturas topográficas e as interferências antrópicas, como terraços agrícolas e sulcos erosivos.

Para a edição final desta carta, foi feita a digitalização do overlay resultante da estereoscopia, inserida a imagem no AutoCAD através do comando “insert – raster image”, as distorções de projeção foram corrigidas e, por fim, a vetorização através do comando “polyline”.

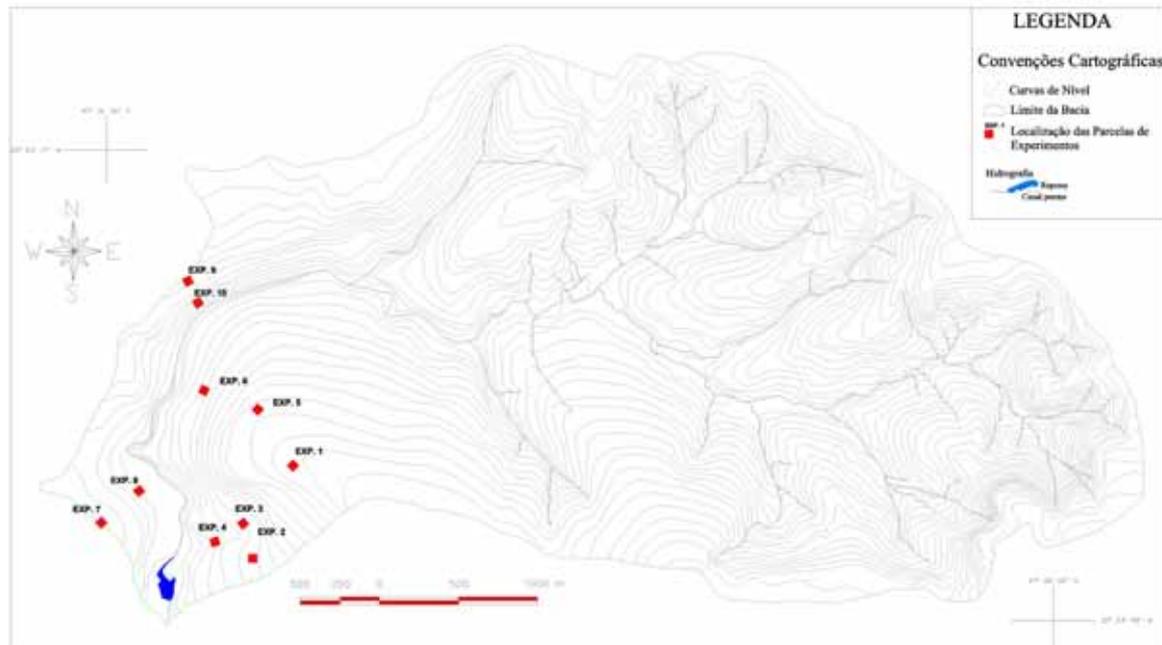
### **5.9. Instalação das Parcelas de Pinos de Erosão**

Foram instaladas parcelas experimentais em vertentes da bacia, no intuito de validar a modelagem erosiva. Foram selecionadas quatro vertentes, duas côncavas e duas convexas, sendo estas últimas as mais extensas da bacia hidrográfica estudada e as outras de extensão menor. As vertentes retilíneas não foram investigadas, pois, possuem pequena expressão espacial na área de estudo.

Os experimentos foram instalados, nas vertentes mais extensas, nos três setores da vertente: na alta, na vertente e na baixa vertente; já nas vertentes menores, nos setores superior e inferior (Figura 17). As vertentes localizam-se na FEENA que, por ser uma unidade de conservação, permite uma maior segurança para a manutenção dos experimentos.

Os dados empíricos foram coletados utilizando a técnica dos pinos de erosão. Trata-se de uma técnica amplamente aplicada, proposta por De Ploey e Gabriels (1980), que utiliza pinos numerados que são cravados no solo e monitorados sistematicamente quanto à sua altura em relação a superfície. Os pinos devem ficar em local protegido da passagem de animais e pessoas. Assim, é possível estimar com um razoável grau de precisão a perda de solo e, através de cálculos, obter a perda em toneladas por hectare.

Figura 17 – Localização dos Experimentos na Bacia Hidrográfica do Ibitinga.

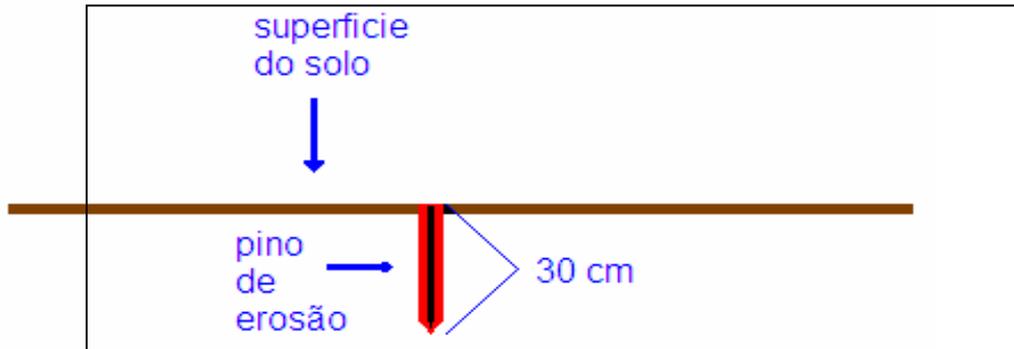


Fonte: Pinheiro, 2012.

A escolha da técnica dos pinos de erosão deveu-se à maior capacidade de quantificação da erosão condicionada pelo escoamento pluvial das partes mais altas da vertente, enquanto que na aplicação de calhas coletoras a área da parcela é isolada e não recebe o escoamento proveniente das porções superiores da vertente. Assim, a aplicação da metodologia das calhas Gërlach não seria satisfatória nesta pesquisa, tendo em vista que a perda de solos quantificada não avalia o potencial erosivo do comprimento da vertente, pois, a quantidade de sedimentos coletados refere-se apenas aqueles desprendidos no espaço circunscrito da parcela experimental.

De modo inverso, os pinos de erosão instalados (Figura 18) não oferecem obstáculo ao fluxo do escoamento hídrico superficial, principal causador da erosão nos ambientes tropicais, permitindo, assim, que a manutenção dinâmica erosiva da vertente. No entanto, também existem fatores limitantes, pois, o livre fluxo do escoamento superficial pode permitir a deposição de sedimentos oriundos das porções superiores das vertentes.

Figura 18 – Pinos de erosão fincados no solo.



Fonte: Ferreira (2011).

A instalação das parcelas na FEENA permitiu uma maior segurança quanto a integralidade dos experimentos e uma razoável mobilidade no interior da Unidade; no entanto, existiram alguns fatores que dificultaram o acesso como troncos de árvores caídas, o que interrompeu o trânsito em alguns aceiros, sendo necessário utilizar caminhos por aceiros alternativos. A instalação dos pinos seguiu os moldes de Borges (2009), com parcelas de experimentos de  $1\text{m}^2$  (Figura 19), contendo 25 pinos de metais medindo 30 cm cada um.

Figura 19 - Montagem das Parcelas.



Fotografias: Venâncio Campos Silva, 2011.

Os pinos foram pintados de amarelo na parte superior (Figura 20), pois assim tem-se maior visibilidade dos mesmos, e enterrados completamente, ficando apenas a parte externa superior (amarela) visível.

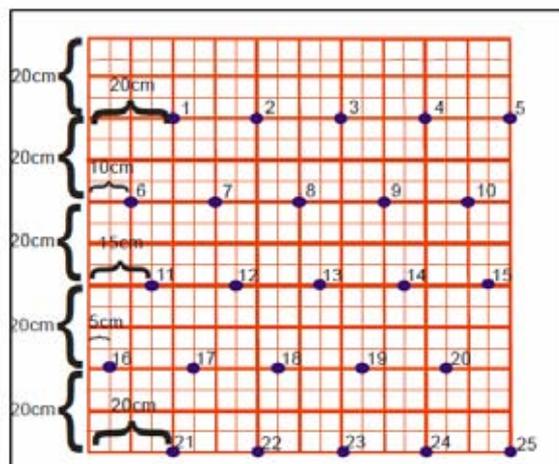
Figura 20 –Instalação dos pinos de erosão.



Fotografias: Venâncio Campos Silva, 2011; Cenira Maria Lupinacci da Cunha, 2011.

Foram instaladas seis parcelas, com distribuição igual dos pinos em todos os experimentos. Os pinos foram dispostos de maneira intercalada, evitando assim o alinhamento dos pinos no sentido do escoamento (Figura 21).

Figura 21 – Disposição esquemática dos pinos em uma parcela de 1m<sup>2</sup>.



Fonte: Borges, P. 2009.

Após o período de coleta dos dados das parcelas de erosão, foram calculadas as perda de solo em cada parcela experimental, para comparação dos resultados, seguindo os mesmos procedimentos para obtenção e análise dos dados de

densidade aparente descritos por Borges (2009). Assim, primeiramente, se procedeu à coleta de amostras indeformadas de solos de cada parcela durante a estação chuvosa; em seguida, foi analisada a densidade aparente do solo no Laboratório de Solos da UEMG - Frutal. Para a determinação da densidade do solo, utilizou-se a metodologia proposta pela EMBRAPA, denominada Método Torrão. Onde se seguiram as etapas:

- ✓ Pesar o torrão depois de secar ao ar;
- ✓ Impermeabilizar o torrão em parafina fundida (60º);
- ✓ Pesar o torrão depois de parafinado e esfriado;
- ✓ Em um bécher de 100 ml colocar o torrão sobre um suporte e encher com álcool etílico e anotar o volume, o aferimento deve ser repetido três vezes, em seguida é calculada a média dos volumes obtidos;
- ✓ Transferir o torrão para o bécher e adicionar álcool etílico até o transbordamento, anotar o volume;
- ✓ Retirar o torrão, partir com uma faca e transferir uma parte deste, sem parafina, para um recipiente para determinação da umidade;
- ✓ Calcular o volume da parafina;
- ✓ Calcular o peso correspondente do torrão utilizado em função da porcentagem de umidade obtida;
- ✓ Calcular o volume do torrão em função do volume do bécher e do volume da parafina;
- ✓ Calcular a densidade aparente pela expressão: Densidade Aparente (g/m<sup>3</sup>) = peso do torrão seco / volume do torrão.

Desta forma, os dados de densidade dos solos e de altura dos pinos foram integrados através da fórmula proposta por Bertoni e Lombardi Neto (1985) para a obtenção da perda de solo:

$$P = h \cdot A \cdot Ds$$

Onde:

P = perda de solo (ton. /ha.<sup>-1</sup>)

h = média de alteração de nível da superfície do solo (m)

A = área da parcela (m<sup>2</sup>)

Ds = densidade do solo (t/m<sup>3</sup>).

### **5.10. Elaboração das Cartas de Potencial Natural à Erosão**

Segundo Oliveira, Pinto e Lombardi Neto (2007, p. 71) “o potencial natural de erosão (PNE) é indicado a partir da integração de dados dos fatores da EUPS, que se referem a elementos do meio físico, considerando a erosividade da chuva, erodibilidade do solo e fator topográfico”.

Esta Carta corresponde às estimativas de perda de solo em áreas destituídas de cobertura vegetal e de intervenção antrópica. De acordo com Stein et. al. (1987), os valores não devem ser observados quantitativamente, no entanto, pode ser feita uma ordenação qualitativa, distinguindo os distintos potenciais de erosão laminar. Deste modo, o Potencial Natural à Erosão Laminar representa a interação dos fatores naturais do meio físico intervenientes no processo da erosão laminar (STEIN et. al., 1987, p.117).

No presente trabalho, a elaboração da Carta de PNE utilizou-se das orientações fornecidas por IPT (1986), Stein et. al. (1987) e Pinto (1991), que foram ajustadas por Bertoni e Lombardi Neto (1985).

Esta Carta evidencia as combinações de K e LS, já que o valor de R é constante para toda a área. Foram elaboradas três Cartas de Potencial Natural à Erosão Laminar (PNE), resultantes da multiplicação dos fatores R, K e LS, retirados da EUPS. As três Cartas de PNE são diferenciadas, pois em cada carta foi utilizado um Fator LS distinto, pois foram obtidos os dados do Fator L através três técnicas diferentes, conforme abordado anteriormente.

O modelo EUPS estima apenas a erosão, assim, nestas Cartas, as áreas de planícies de acumulação não foram consideradas, pois nessas prevalecem os processos de deposição de sedimentos. Para tanto, foi realizada a identificação, através de interpretação de pares estereoscópicos de fotografias aéreas das áreas de acumulação de sedimentos; estas áreas foram definidas como Layer no AutoCAD e sobrepostas às Cartas de PNE.

Os dados referentes aos fatores R, K, L e S da EUPS foram exportados para o SIG Spring, no qual a informação vetorial foi convertida em matriz para exportação ao SIG Idrisi, em formato TIFF. É importante, ainda, que todos arquivos exportados estejam com igual número de linhas e colunas, para possibilitar o cruzamento dos dados.

As Cartas foram importadas no SIG Idrisi para cruzamento dos mapeamentos. No entanto, alguns procedimentos necessitaram ser seguidos para a correta e satisfatória aplicação do cruzamento, pois os arquivos quando importados, no Idrisi, não possuem a informação pertinente aos fatores da EUPS, ou seja, de início são apenas imagens.

O Idrisi considera cada cor em uma imagem como um determinado valor. Assim, é necessária a assinatura de novos valores para cada layer, através do comando "Data Entry - Edit". Esse procedimento é realizado através da geração de um arquivo com os novos valores e inserido na Carta através do comando "Assign".

O arquivo gerado não possui, ainda, o layout para a impressão, no entanto, possui as informações importantes no cruzamento dos dados. Deste modo, o cruzamento dos fatores R, K e LS da EUPS para geração das Cartas de PNE foi realizado através do comando "Image Calculator". O procedimento é relativamente simples, pois trata-se de inserir a equação do PNE, no qual se multiplicam as cartas e valores de cada fator utilizado. Após a operação ser processada, as Cartas de PNE foram geradas.

Desta forma, foram inseridos e cruzados os valores do fator R, as Cartas do Fator LS e a Carta do fator K. No entanto, os valores nas cartas geradas não estão classificados, o que impossibilita a utilização de uma legenda com classes de valores. Em seguida, é preciso aplicar a técnica da reclassificação, através do comando "GIS Analysis - Database Query - RECLASS".

As classes escolhidas basearam-se em Stein et al. (1987), que propuseram a elaboração e aplicação da Carta de PNE para representar a interação dos principais fatores naturais do meio físico atuantes no processo da erosão laminar para todo o estado de São Paulo. No entanto, foram inseridas mais classes de PNE para maior detalhamento das classes e melhor visualização no mapeamento gerado.

A técnica da reclassificação, através do Idrisi, é muito importante porque permite a divisão das classes resultantes do último cruzamento, visto que o mapa gerado não apresenta divisão de classes. Além disso, após esse procedimento, o arquivo é novamente exportado e, assim, torna-se possível a elaboração do *layout* final.

### 5.11. Carta de Perda de Solo

Resultante da multiplicação de todos os fatores da EUPS, compilada por Wischmeier e Smith (1978), esta carta permite a representação espacial da estimativa das perda de solo por erosão laminar. Trata-se de uma estimativa da perda de solo pela erosão laminar considerando as condições atuais da bacia hidrográfica, o que inclui as interferências antrópicas na aplicação da equação.

As planícies de acumulação da área de estudo também foram desconsideradas nessa etapa, similarmente à Carta de PNE. Os procedimentos de elaboração são semelhantes à geração da carta de PNE, no entanto, esta resulta do cruzamento de todos os fatores da EUPS.

A geração desta Carta deu-se no SIG Idrisi, através do comando “Image Calculator”, cruzando os valores do fator R, a Carta do Fator LS, do Fator K, do Fator C e do Fator P. A carta resultante também foi reclassificada, através do comando “GIS Analysis-Database Query-RECLASS”, e sua edição final foi elaborada através do software AutoCAD.

No intuito de atender aos objetivos desta pesquisa, foram geradas três Cartas de Perda de solo, uma para cada tipo de mapeamento e quantificação da extensão das vertentes.

As classes utilizadas foram tomadas como base do trabalho realizado por Paranhos Filho et al. (2003), pela grande confiabilidade os resultados obtidos e pela semelhança na variedade dos resultados obtidos pelos autores com os encontrados nesta presente pesquisa, e, ainda, acrescentadas outro para maior detalhamento dos dados.

Desta maneira, notou-se que o geoprocessamento é um importante procedimento para catalizar o tempo de execução das cartas. No entanto, é indispensável o conhecimento *a priori* dos fatores envolvidos, das técnicas de aplicação das ferramentas, bem como dos processos geomorfológicos condicionantes da dinâmica erosiva. A seguir serão tratados e discutidos os resultados alcançados.

## 6. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Nesta pesquisa adotou-se a abordagem sistêmica, considerando, na análise dos processos erosivos, os fatores de maneira interligada e observando os fluxos de matéria e energia, bem como os fatores condicionantes envolvidos.

Diante dessa perspectiva, busca-se apresentar os resultados considerando os potenciais erosivos da área de estudo, aplicando três diferentes metodologias de obtenção do Fator LS, as quais geraram variadas estimativas de perda de solo. Por fim, são apresentados os resultados das parcelas experimentais, implantadas com os pinos de erosão, as quais são comparadas com os valores obtidos através da modelagem.

O potencial natural à erosão refere-se à propensão da superfície a ser erodida; assim, segundo a metodologia adotada, considera-se o terreno desprovido de vegetação. Desse modo, são importantes os fluxos de escoamento superficial, onde o clima fornece a matéria (água), o relevo fornece energia ao fluxo (declividade e extensão da vertente) e os solos indicam a erodibilidade.

As Cartas de PNE da Bacia Hidrográfica do Córrego Ibitinga foram geradas por geoprocessamento, utilizando a EUPS. Este modelo estima a potencial perda de solo por escoamento superficial, onde as variações de intensidade do escoamento proporcionam diferentes dinâmicas erosivas.

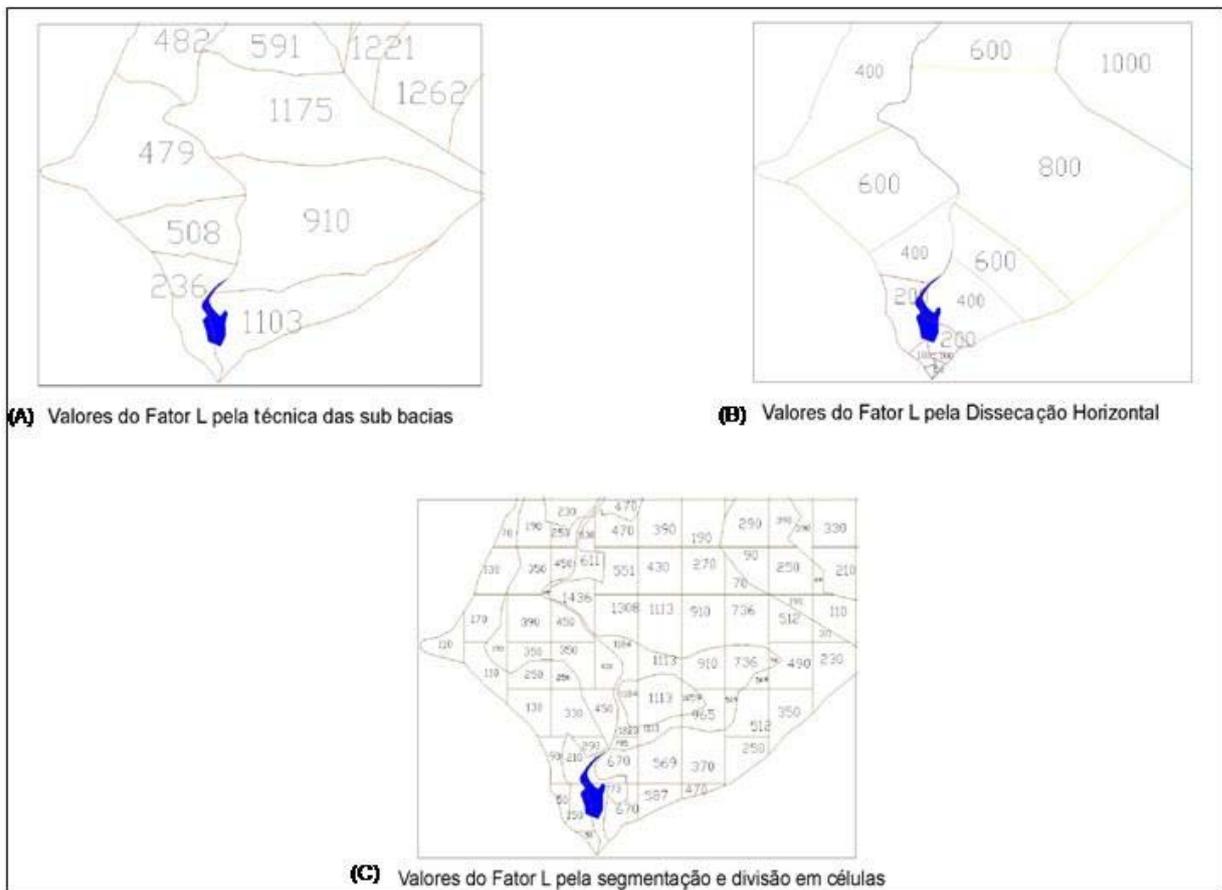
No cenário nacional, o escoamento superficial é preponderante na esculturação do relevo. Nesse aspecto, a análise do Fator LS recebe grande importância, pois, influencia diretamente nos fluxos de matéria e energia, fornecidos pelo escoamento superficial das águas pluviais, que vão condicionar a dinâmica erosiva no sistema vertente.

Segundo Bigarella (2003), o potencial erosivo é intensificado pelo aumento do comprimento de vertente e da declividade. Assim, no início do escoamento ainda não há energia suficiente para o desprendimento e transporte das partículas de solo. Essa energia é rapidamente fornecida no caso das elevadas declividades, no entanto, em situações de menor declividade, mas de grandes extensões de vertente, poderá ocorrer acúmulo de matéria e energia no percurso do escoamento superficial no sistema

vertente. O acúmulo de energia potencializa a dinâmica erosiva, resultando em maiores perda de solo.

Neste trabalho, a diferenciação nas Cartas do Fator LS, que avaliam a questão da declividade e comprimento da vertente, e, conseqüentemente, do PNE, deu-se em virtude das distintas aferições dos comprimentos de vertentes, ou seja, pelo mapeamento diferenciado das extensões de vertentes, conforme podem ser observados na Figura 22.

Figura 22 – Valores do Fator L por meio de três técnicas distintas.

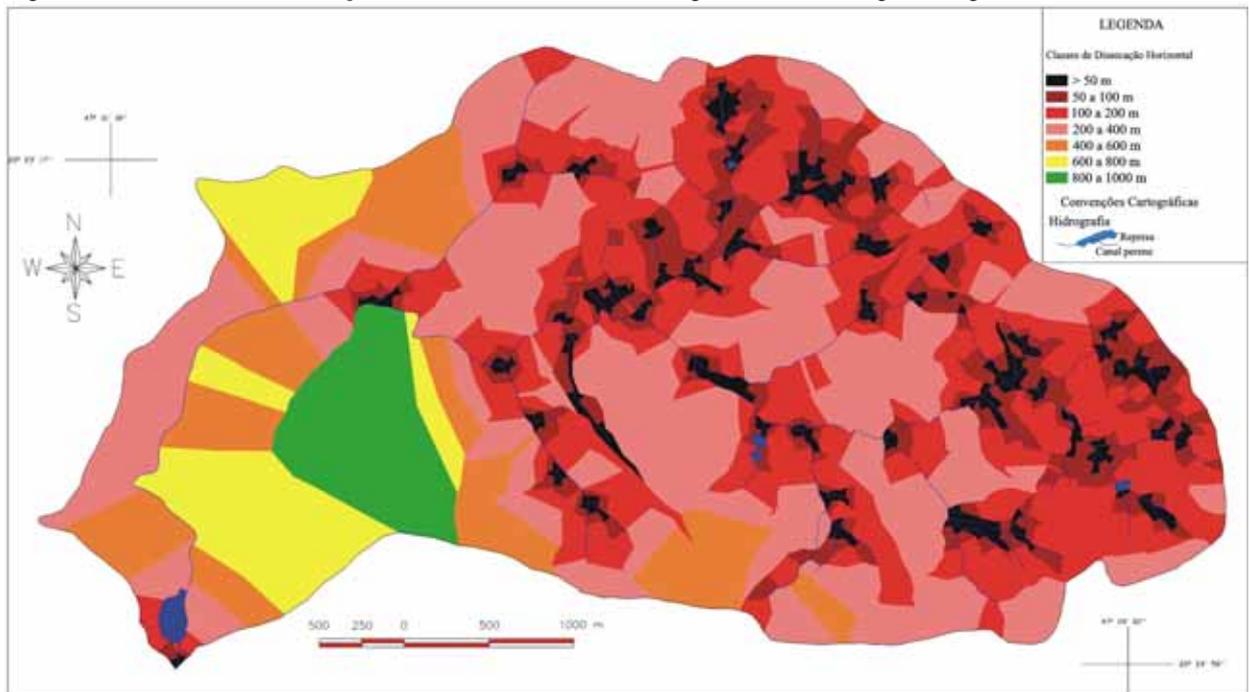


Fonte: Pinheiro, 2012. Situação sem escala.

A técnica das sub bacias leva em consideração os caminhos preferenciais da água, mas o valor de L é generalizado para toda sub bacia (Figura 22A). Assim, os setores da sub bacia com vertentes menos extensas não são retratados, sendo, portanto, mais generalista em relação às vertentes de menor comprimento.

Por meio da técnica da Dissecação Horizontal (Figura 22B e 23) a classificação dos valores permite maior diversificação para uma mesma sub bacia ou setor desta. No entanto, quando os valores são elevados, a generalização é maior em relação aos demais procedimentos. Além disso, não são observados os caminhos preferenciais do escoamento superficial.

Figura 23 – Carta de Dissecação Horizontal da Bacia Hidrográfica do Córrego Ibitinga.

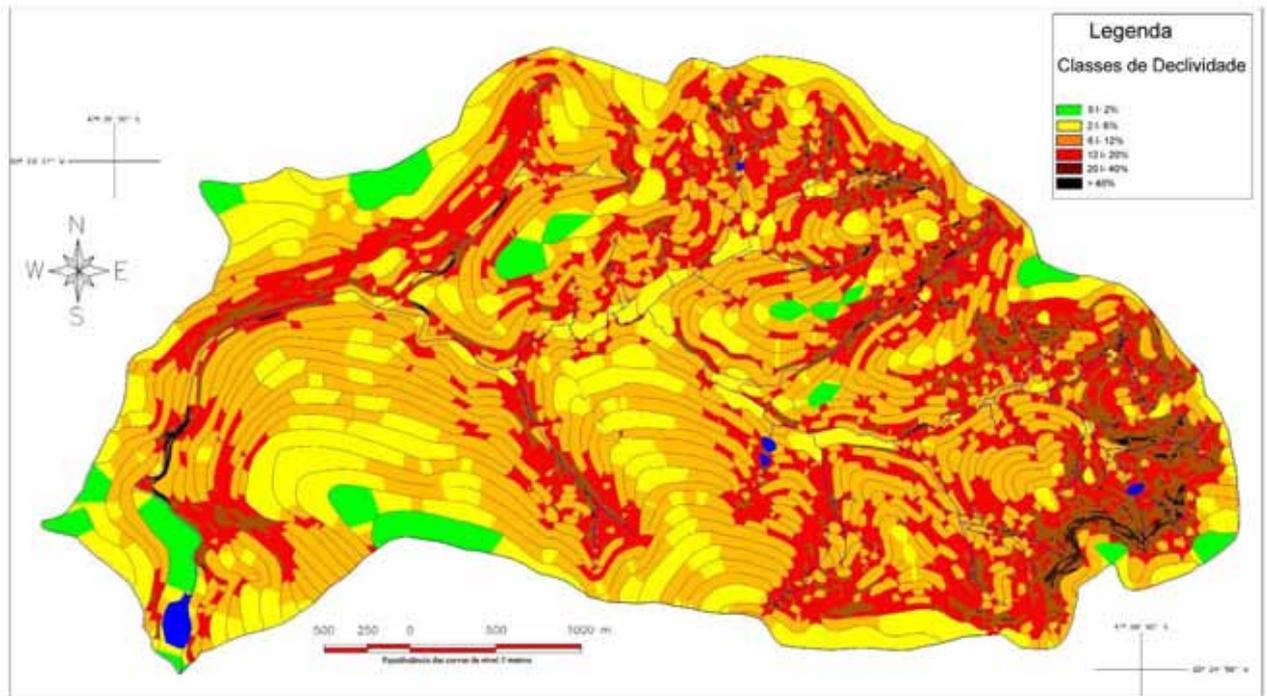


Fonte: Pinheiro, 2012.

Quanto à segmentação e divisão das vertentes em células (Figura 22C), o Fator L é menor na alta vertente e aumenta na média para a baixa vertente; os valores na vertente são, deste modo, cumulativos às células, na medida que se quantifica da alta para baixa vertente. Assim, busca-se a menor generalização dos dados e maior fidelidade as características do terreno, por meio da análise dos caminhos preferenciais do escoamento superficial.

A Carta Clinográfica (Figura 24) apresentou setores com declividades elevadas, principalmente, na alta bacia, no entanto ocorrem, ainda, em setores de médio e baixo curso do Córrego Ibitinga.

Figura 24 – Carta Clinográfica da Bacia do Córrego Ibitinga.



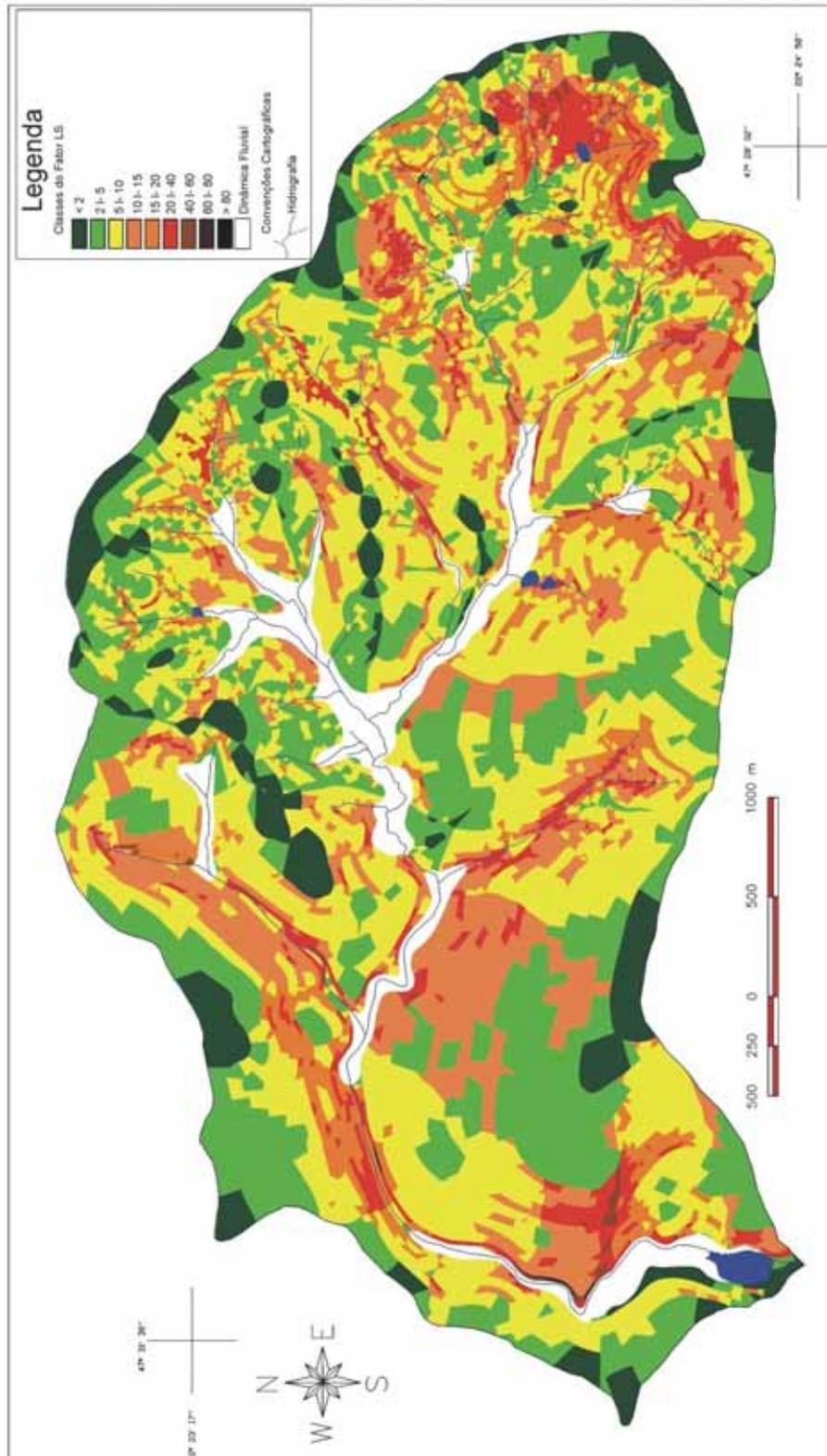
Fonte: Pinheiro, 2012.

A Carta do Fator LS 1, gerada pela técnica das sub bacias (Figura 25), indica, nos setores onde predominam as vertentes mais extensas, pouca diversificação das classes. A maior diferenciação dá-se pela variação da declividade ao longo da superfície da bacia.

Nota-se que as maiores extensões de vertente localizam-se na margem esquerda da baixa bacia, mas nesse setor os valores mais significativos localizam-se apenas em uma área de concavidade, próxima à foz do Ibitinga. Existem também valores significativos na margem direita no setor Noroeste da bacia, em área de vertentes retilíneas. O restante das áreas de maior potencialidade estão nos setores das cabeceiras de drenagem, onde predominam as maiores declividades.

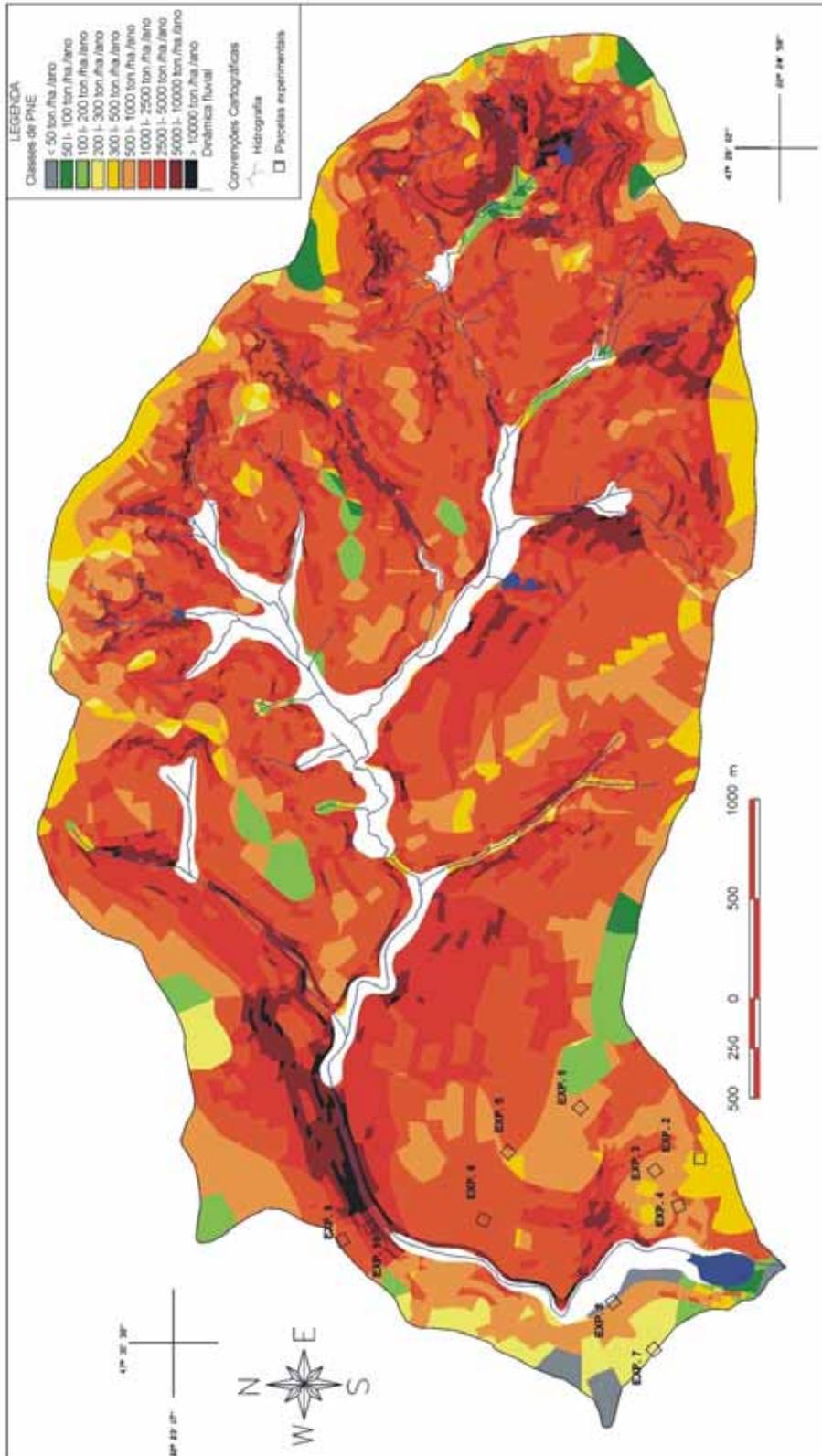
A Carta do Fator LS 1 foi utilizada para a geração da Carta de PNE 1 (Figura 26). As proporções das áreas ocupadas pelas classes de PNE podem ser verificadas na Tabela 5.

Figura 25 – Carta do Fator LS 1 da Bacia do Córrego Ibitinga.



Fonte: Pinheiro, 2012.

Figura 26 – Carta do PNE 1 da Bacia do Córrego Ibitinga.



Fonte: Pinheiro, 2012.

Tabela 5 –Área ocupada pelas classes de Potencial Natural à Erosão (PNE 1)

<b>Classes (ton./ha./ano)</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>Área (%)</b>
0 a 50	19,11	1,13
50 a 100	31,48	1,86
100 a 200	67,68	4,00
200 a 300	50,96	3,01
300 a 500	84,49	5,00
500 a 1000	261,14	15,44
1000 a 2500	655,45	38,76
2500 a 5000	387,70	22,93
5000 a 10000	119,95	7,09
Acima de 10000	12,92	0,76

Fonte: Pinheiro, 2012.

A Carta de PNE 1 revela, no entanto maior potencialidade erosiva onde ocorrem às maiores extensões de vertentes, localizadas na margem esquerda da baixa bacia e também nas áreas de maior declividade na margem direita da média bacia. Prevalece, em área, na bacia a classe de 1000 a 2500 ton/ha/ano, representada pela cor vermelha e predomina, especialmente, nos locais de vertentes mais extensas no setor oeste, porém também se destaca na alta bacia, setor leste, onde se concentram as maiores declividades. As classes que variam de 1000 a 5000 ton/ha/ano representam mais de 3/5 da totalidade, o que indica a predominância de alto potencial erosivo. Os setores de potenciais máximos concentram-se nos locais onde a declividade é muito alta, mas na baixa bacia ocupam também os locais das extensas vertentes.

A bacia apresenta linhas de divisores de água muito suaves (Figura 27), de baixo declive; assim, nesses setores foram constatados os menores potenciais erosivos. Os valores máximos de PNE predominam nos setores ao longo das baixas vertentes que drenam para alguns cursos hídricos, majoritariamente na margem direita do Córrego Ibitinga, e de cabeceiras de drenagem, onde se encontram as maiores declividades da bacia. Seguindo este raciocínio, os setores de maior potencial erosivo encontram-se nas vertentes côncavas e de maior declividade.

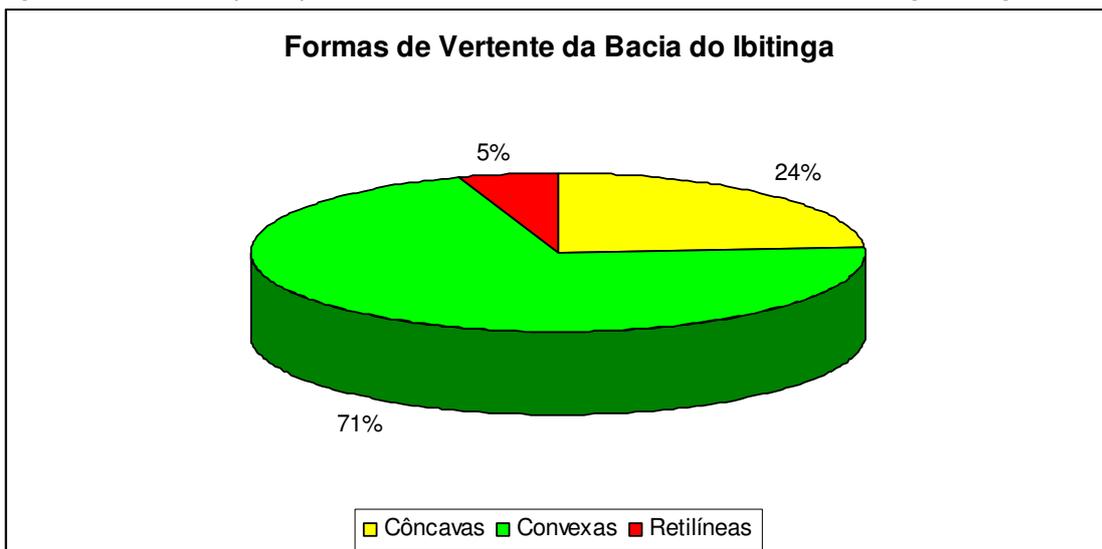
Figura 27 – Visualização de topos suaves e vertentes convexas, em setor da alta bacia.



Fotografia: Plínio Marcos Dainezi, 2012.

A área da bacia tem a grande predominância de vertentes convexas representando 71% da totalidade da área de estudo (Figura 28). Essas vertentes condicionam o escoamento superficial difuso, o que favorece a erosão laminar. As vertentes côncavas estão em maior parte no setor leste da bacia, o que favorece a concentração do escoamento e a erosão linear, fato verificado por Machi (2005) ao identificar diversos sulcos erosivos e ravinamentos (Figura 29) neste setor ocupado pelas atividades rurais.

Figura 28 - Área ocupada pelas diversas formas de vertente na Bacia do Córrego Ibitinga.



Fonte: Pinheiro, 2012.

Ressalta-se ainda que as vertentes côncavas do setor leste apresentam, em sua maioria, elevadas declividades, com valores superiores a 20%, o que potencializa a erosão, fato que justifica a classe de elevado potencial erosivo especializada na Carta de PNE 1. Na área de estudo desta pesquisa, as vertentes, apesar da predominância das formas convexas (Figura 30), possuem diversificação e assim a generalização do Fator L em bacias com vertentes de variadas formas pode acarretar em dados menos satisfatórios.

Figura 29 - Constatação de ravinamentos na porção rural da área de estudo.

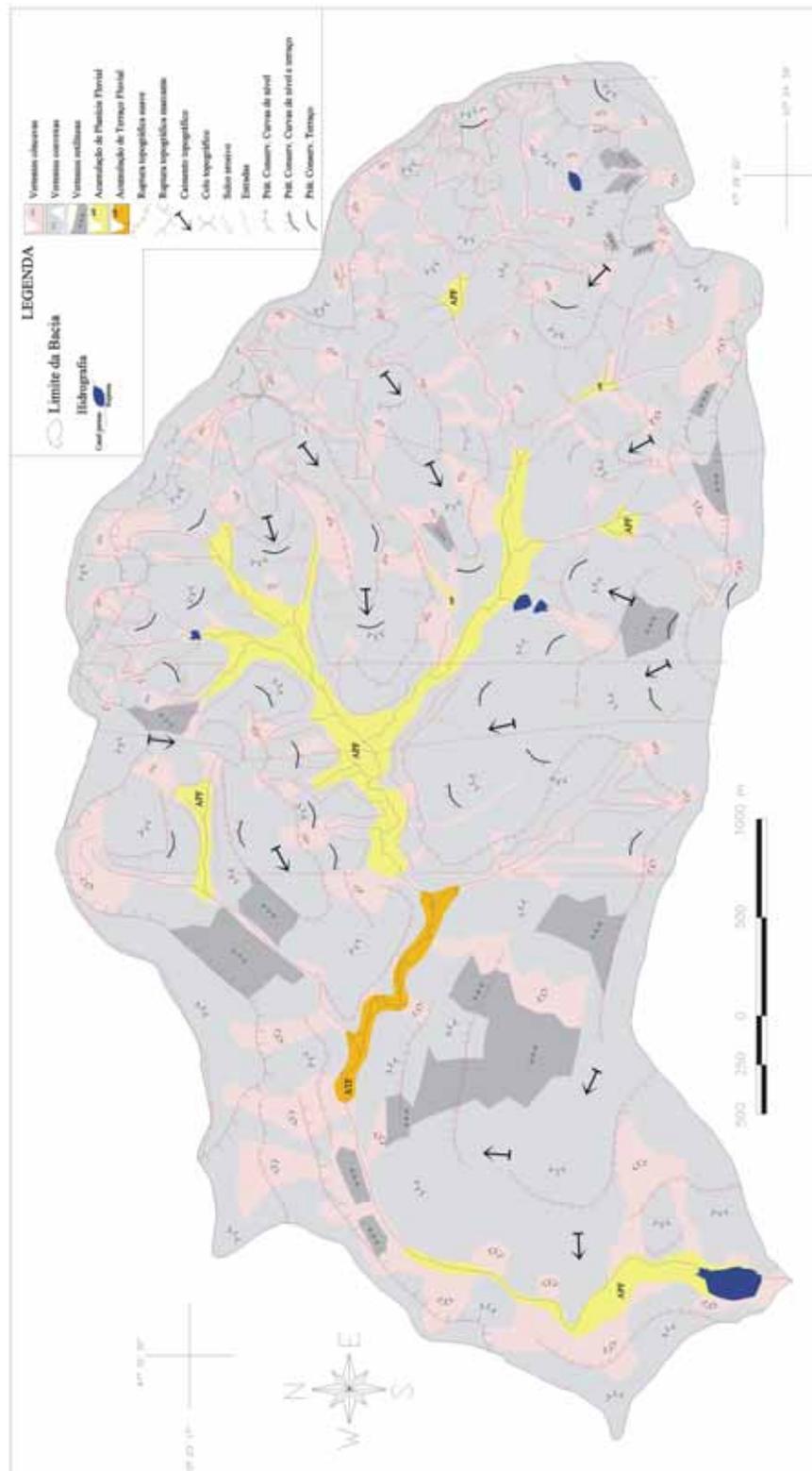


Fotografia: Fábio Vicentin Diniz, 2006.

A predominância de vertentes côncavas é resultado do soerguimento de alguns setores, conforme verificado por Zaine (2000). Conseqüentemente, a elevação destes em relação ao nível de base, torna os processos erosivos nas baixas vertentes muito dinâmicos.

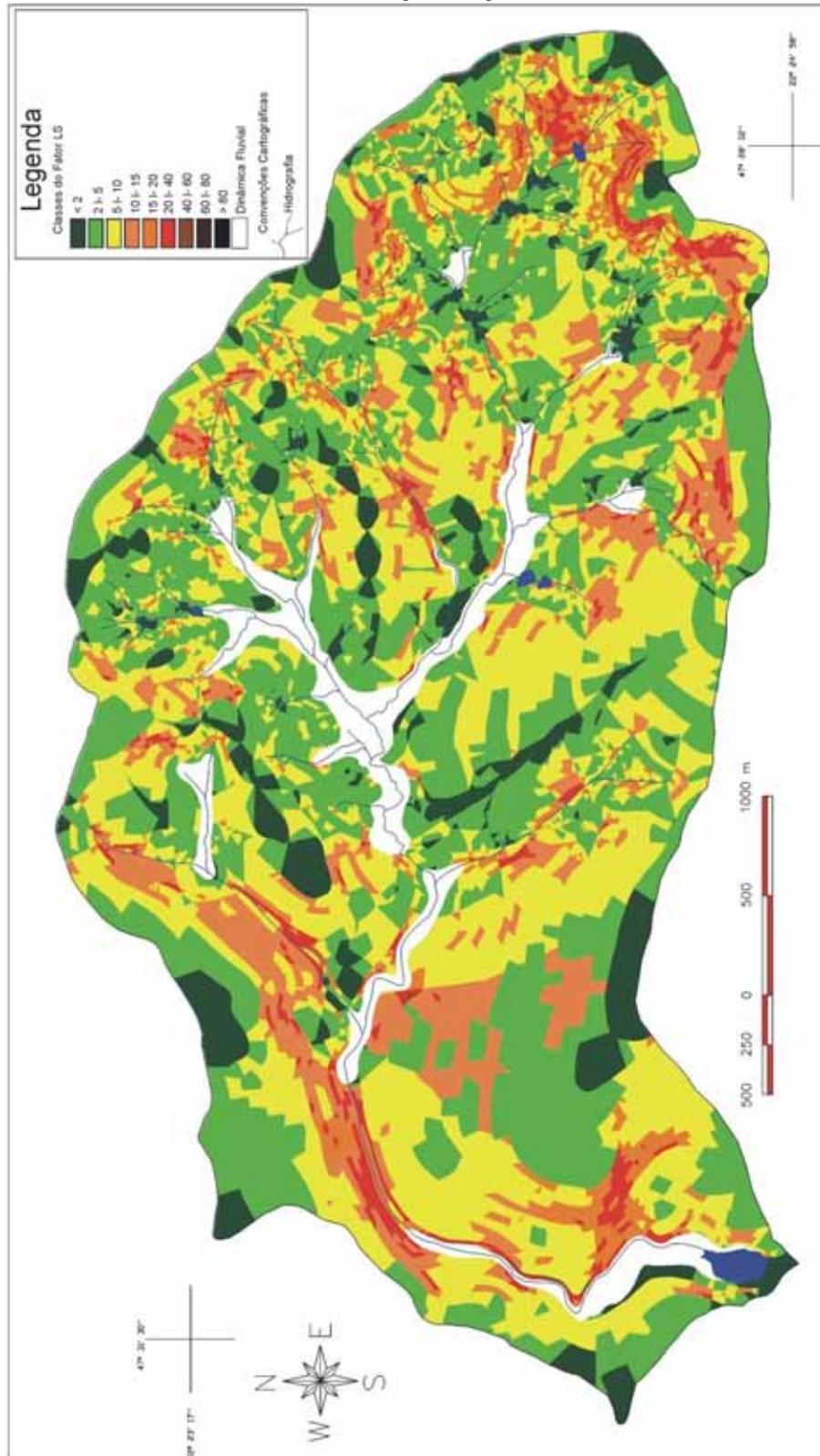
A Carta do Fator LS 2 (Figura 31), gerada pela técnica de Dissecação Horizontal, apresenta menos generalização do Fator L em cada sub bacia; assim a Carta do Fator LS 2 resultou em maior diversificação dos dados. No entanto, no setor Oeste, as longas vertentes possuem pouca variação, pois o comprimento da vertente é quantificado considerando do divisor de água até ao nível de base.

Figura 30 – Carta Geomorfológica da Bacia do Córrego Ibitinga.



Fonte: Pinheiro, 2012.

Figura 31 – Carta do Fator LS 2 da Bacia do Córrego Ibitinga.



Fonte: Pinheiro, 2012.

Nas proximidades dos topos de interflúvio a menor declividade condiciona o predomínio da infiltração, embora este seja variável de acordo com os distintos tipos de solos, face ao escoamento superficial; o menor escoamento resulta em diminuição da capacidade erosiva. Por outro lado, ocorrem rupturas topográficas, mapeadas na Carta Geomorfológica (Figura 30), em diversos setores, incluindo abaixo de topos suaves, o que indica setores com erosão diferencial, interferindo na velocidade do escoamento hídrico superficial, nos locais onde se tem estimativas de perda de solo mais elevadas.

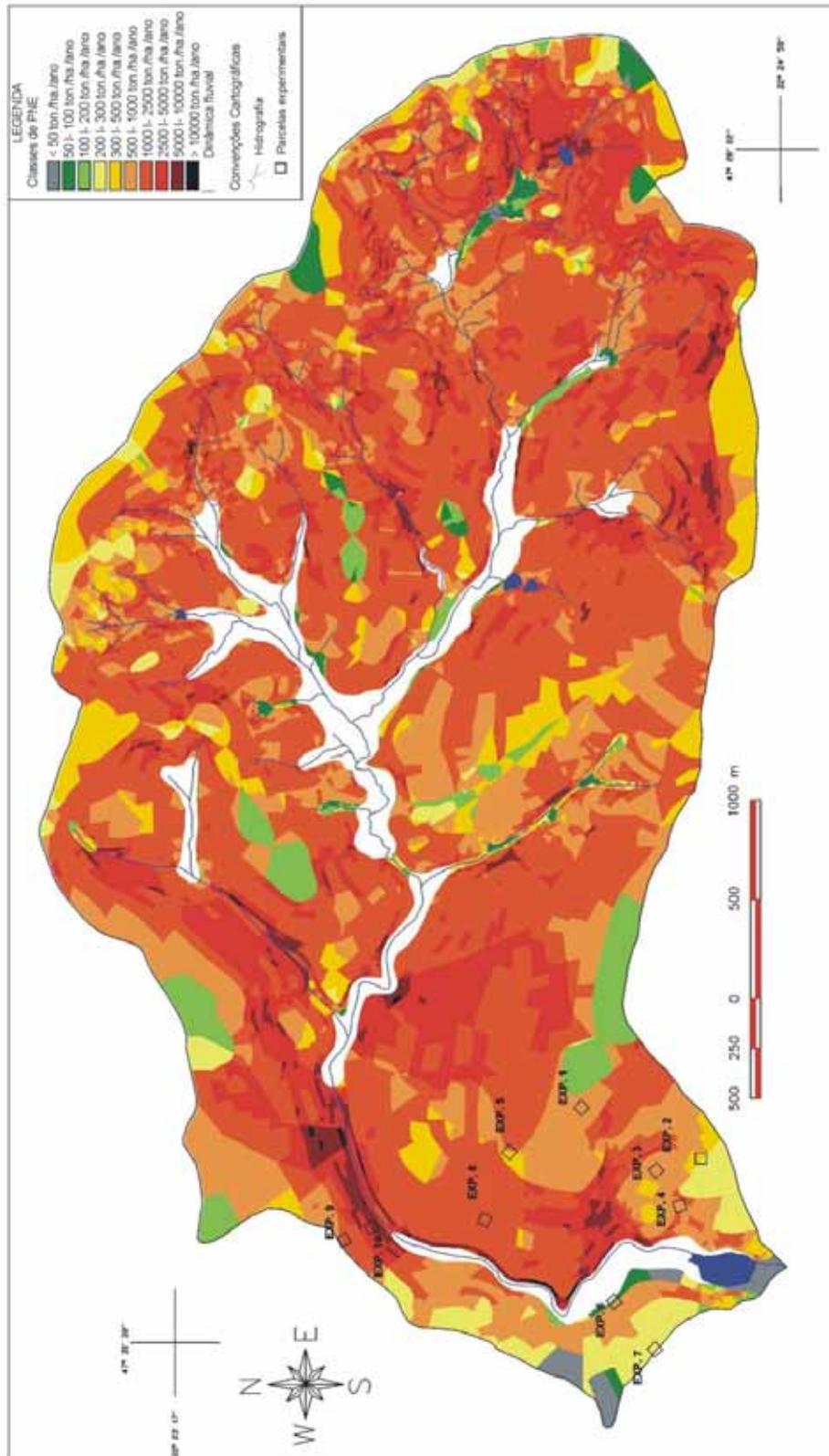
Os maiores comprimentos de vertente ocorrem nas declividades baixas e médias. A exceção desta concentração localiza-se no setor oeste em área de concavidade e alta declividade, o que resultou em elevado potencial erosivo gerado pelo modelo. As vertentes retilíneas, embora representem menor proporção, condicionaram, pela elevada declividade, setores com elevados potenciais de fragilidade.

A Carta de PNE 2 (Figura 32) gerada apresenta menor proporção das áreas com valores elevados de PNE se comparada com a Carta de PNE 1. Os setores de potencial máximo localizam-se, de maneira semelhante ao PNE 1, nas cabeceiras de drenagem, em vertentes côncavas majoritariamente, localizadas na porção leste da bacia. Localizam-se, ainda, margeando cursos hídricos que deságuam à direita do Córrego Ibitinga, no setor da média bacia, dominado por vertentes retilíneas e alta declividade.

Na baixa bacia, permanece como área de potencial elevado um setor de vertente côncava, com grande extensão de vertente e alta declividade. Nesse setor, a concavidade condiciona o escoamento superficial, existindo ainda um canal pluvial.

A Carta do PNE 2 utiliza a Carta do Fator LS 2 que, por sua vez, faz uso da Carta de Dissecação Horizontal. Para obtenção da extensão da vertente faz-se, primeiramente, a compartimentação da área de estudo em sub bacias, no entanto, a Carta de Dissecação Horizontal quantifica de maneira diferenciada as vertentes, gerando dados diferenciados para o Fator L. Assim, a Carta do Fator LS 2 distingue-se da Carta do Fator LS 1 no tocante às variações da vertente dentro de uma mesma sub bacia. Isto se deve ao fato da quantificação da distância entre a linha de cumeada e o seu nível de base local utilizar valores classificados.

Figura 32 – Carta do PNE 2 da Bacia do Córrego Ibitinga.



Fonte: Pinheiro, 2012.

Assim, de acordo com a tabela 6, as áreas ocupadas pela classe de potencial de perda entre 1000 a 2500 ton/ha/ano permanecem como majoritárias, no entanto, a área ocupada é sensivelmente maior em relação ao PNE 1.

Tabela 6 –Área ocupada pelas classes de Potencial Natural à Erosão (PNE 2).

<b>Classes (ton./ha./ano)</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>Área (%)</b>
0 a 50	38,55	2,28
50 a 100	38,89	2,3
100 a 200	69,33	4,1
200 a 300	63,41	3,75
300 a 500	112,78	6,67
500 a 1000	312,65	18,49
1000 a 2500	765,3	45,26
2500 a 5000	249,75	14,77
5000 a 10000	38,55	2,28
Acima de 10000	1,69	0,1

Fonte: Pinheiro, 2012.

É importante destacar o aumento na participação, em área, das classes de 0 a 100 ton/ha/ano; nota-se ainda o aumento, em área, das classes entre 500 e 2500 ton/ha/ano e diminuição das classes acima de 2500 ton/ha/ano. Isto se dá devido à menor generalização dos dados em cada bacia. Assim, pode-se afirmar que a utilização de um valor médio da extensão da vertente para toda a sub bacia (PNE 1) superestima os valores de potencial natural a erosão em comparação como outras técnicas.

Na média bacia, no setor entre o Córrego Ibatinga e o limite sul da bacia, o PNE 2 indica mediano potencial erosivo, devido às declividades e extensões de vertentes predominantemente medianas; assim há uma coerência nos dados do Fator LS 2 e PNE 2. No entanto, existem áreas, nesse setor, com elevado potencial erosivo, que apesar da pouca expressão areal, indicam fragilidade erosiva em setores de vertentes extensas.

Na Carta de PNE 2 o setor oeste, dominado pelas extensas vertentes apresenta proporção menor nas áreas de elevados potenciais erosivos, se comparados ao PNE 1. Assim, foi possível constatar que, próximos aos divisores de água, os valores de PNE são menores em relação às áreas localizadas nos setores próximos aos fundos de vale. No entanto, a quantificação classificada da extensão das vertentes não considera o caminho preferencial do escoamento hídrico, o que culmina por ainda

generalizar (ainda que em proporção menor que no PNE 1) os dados do potencial erosivo da bacia.

Assim, na pesquisa apresentada, buscou-se aprimorar a coleta dos dados de comprimento de vertente, embora não esgote a questão. Procurou-se, assim, diminuir a generalização do Fator L aplicando o mapeamento segmentado e em células das vertentes da área de estudo.

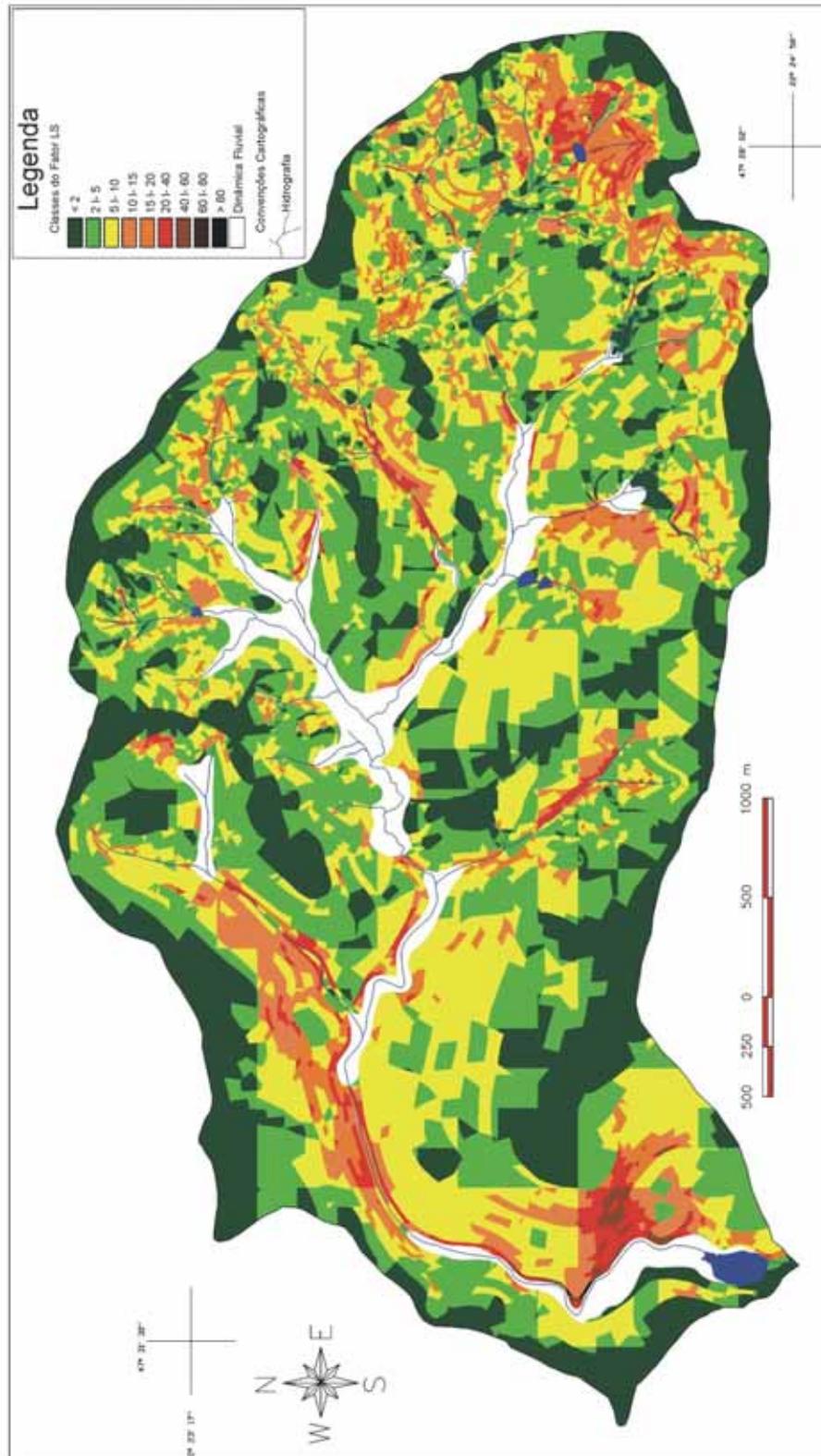
A declividade elevada influencia de maneira significativa na velocidade do escoamento, pois, a vertente sob essa conjuntura, condiciona o escoamento mesmo que não possua grande extensão. Sob perspectiva inversa, as vertentes extensas, mesmo com baixas declividades, podem condicionar escoamentos superficiais com muita energia ao final do fluxo, pois a vertente acumula energia cinética ao transportar uma maior quantidade de partículas, potencializando a capacidade de abrasão, durante o percurso da vertente (BERTONI et al, 1972).

Entretanto, é de conhecimento que, em muitos trabalhos, a declividade adquire maior importância na determinação do Fator LS, ao se utilizar a equação proposta por Bertoni e Lombardi Neto (1985). Valeriano (1999), utilizando uma análise de regressão simples, verificou que a correlação entre o Fator LS e as variáveis de L e S foi de 30% e 70%, respectivamente. Não obstante, a obtenção do Fator L necessita do máximo rigor, pois, do contrário pode significar uma menor correlação ainda do Fator L com o Fator LS do que foi verificado por Valeriano (1999).

Assim, buscou-se através do método da segmentação e divisão das vertentes em células com valores integrados uma menor generalização do Fator L. Seguindo essa perspectiva, a Carta do Fator LS 3 (Figura 33) apresentou valores mais diversificados em relação às áreas das sub bacias.

Foram verificados locais de valores semelhantes aos apresentados pelas Cartas do Fator LS 1 e LS 2, no entanto a menor generalização do Fator L evitou a superestimação dos dados, resultando em potenciais menores para uma mesma área.

Figura 33 – Carta do Fator LS 3 da Bacia do Córrego Ibitinga.



Fonte: Pinheiro, 2012.

A Carta do Fator LS 3 apresenta maior detalhamento espacial da variação do valor de LS em relação às outras do Fator LS, apresentadas anteriormente, fato este devido aos setores onde as vertentes são mais extensas. Neste setor, localizado na porção oeste da bacia, os valores aumentam da alta para a baixa vertente, essa perspectiva é coerente com o pensamento de Bertoni et al. (1972, p. 10) que afirmam que:

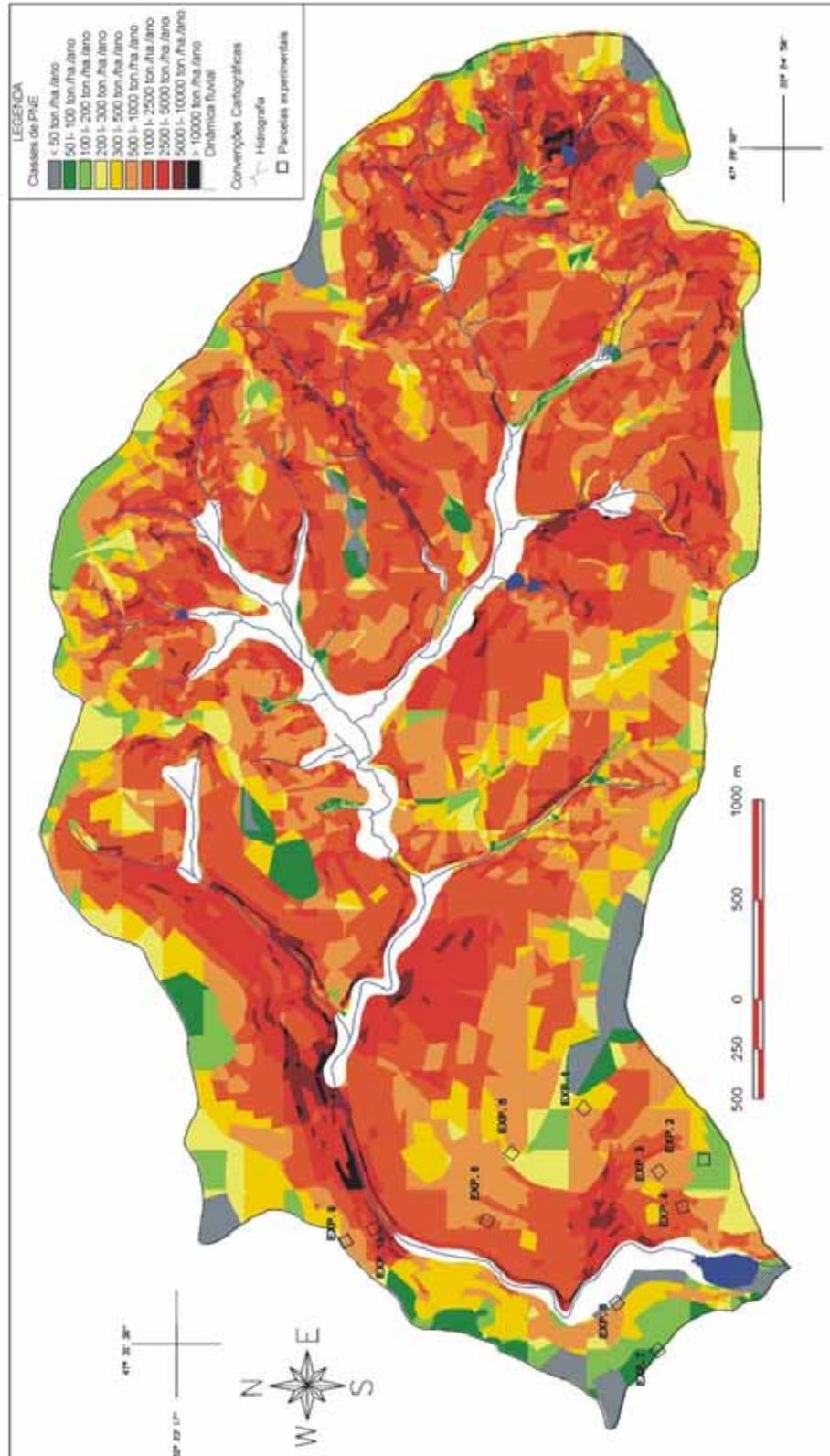
O comprimento de rampa é um dos mais importantes fatores na erosão do solo. Entretanto, os dados são freqüentemente mal interpretados. Duplicando-se o comprimento de rampa, as perdas de solo são mais do dobro, porém a perda por hectare não é duplicada.

O autor supracitado alerta que a quantidade de solo erodido não pode ser generalizada para toda a vertente; não se deve fazer uma média por hectare dos dados quantitativos obtidos no final da vertente. Dessa forma, ao se considerar um único valor para toda a vertente, os dados do Fator L compreendem aqueles que seriam obtidos ao final da vertente.

A Carta de PNE 3 (Figura 34) apresenta dados mais heterogêneos, quando relacionados com as Cartas de PNE 1 e PNE 2. A área ocupada pelas classes mais suscetíveis diminui e aumentam as ocupadas pelas classes de baixo e médio potencial.

Apresenta, ainda, setores com baixos potenciais de perda de solo localizados principalmente nas linhas de cumeada, as quais, por serem suaves, apresentam baixa declividade e, conseqüentemente, menor fragilidade. No entanto, em outros locais, onde os divisores de água não possuem declividade tão baixa, o mapeamento registrou essas áreas como baixo potencial. Isso se dá pelo fato das áreas da alta vertente possuírem menor valor do Fator L, pois se localizam no início do escoamento e, portanto, possuem menor potencial erosivo.

Figura 34 – Carta do PNE 3 da Bacia do Córrego Ibitinga.



Fonte: Pinheiro, 2012.

A tabela 7 expressa a ocupação em área das classes de potencial natural à erosão, geradas pelo cruzamento dos fatores da EUPS.

Tabela 7 –Área ocupada pelas classes de Potencial Natural à Erosão (PNE 3).

<b>Classes (ton./ha./ano)</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>Área (%)</b>
0 a 50	59,01	3,49
50 a 100	51,06	3,02
100 a 200	108,39	6,41
200 a 300	95,87	5,67
300 a 500	155,56	9,2
500 a 1000	343,25	20,3
1000 a 2500	564,42	33,38
2500 a 5000	249,92	14,78
5000 a 10000	57,49	3,4
Acima de 10000	5,92	0,35

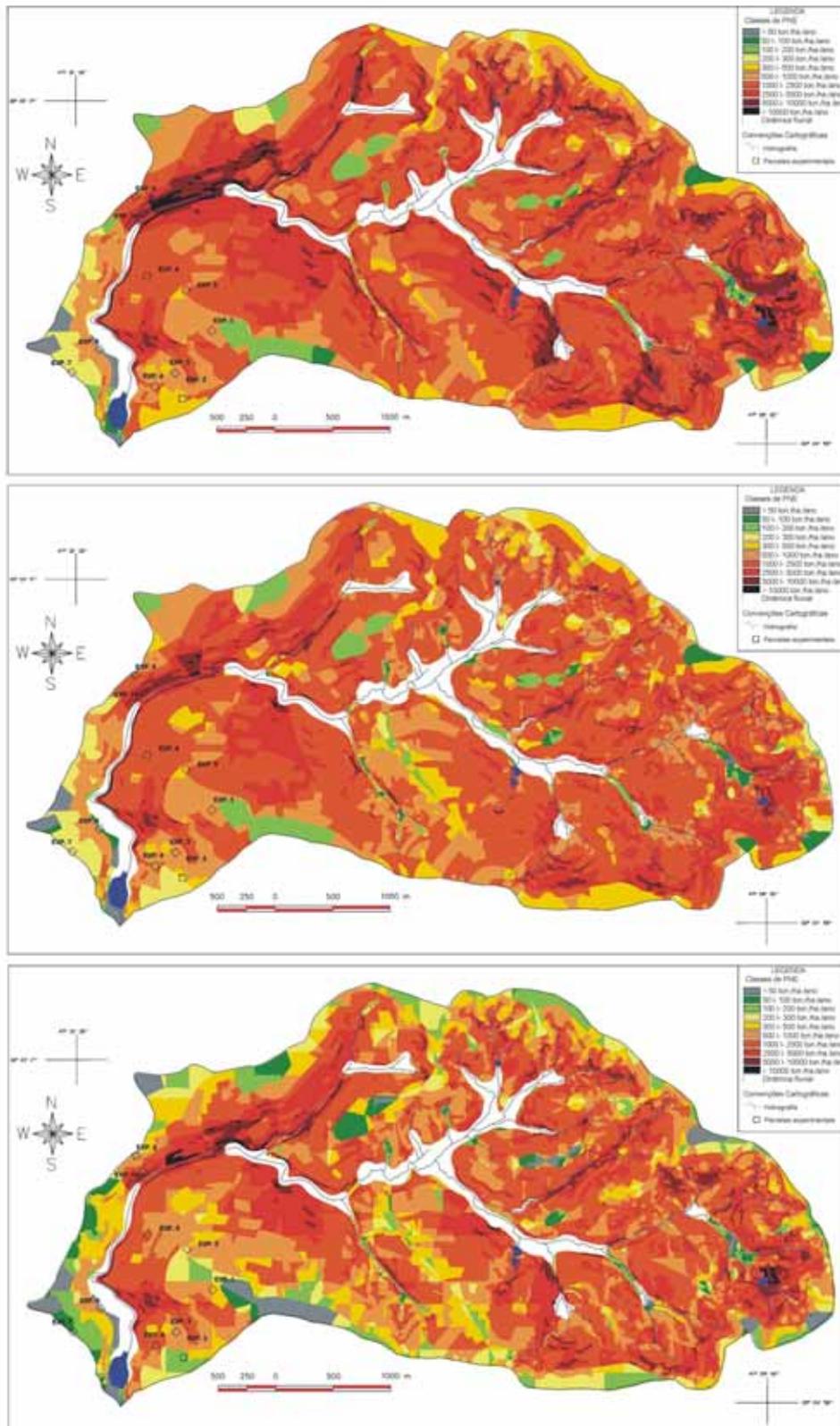
Fonte: Pinheiro, 2012.

De acordo com a tabela, houve aumento nas áreas ocupadas pelas classes de até 1000 ton/ha/ano, confirmando assim que os setores próximos às linhas dos divisores de água, antes generalizados em função de um valor único de LS para toda vertente, possuem menor potencial de erosão. Assim, os valores do Fator L decrescem da baixa para alta vertente, entendendo que na baixa vertente há maior potencial erosivo e maior perda de solo.

A Figura 35 apresenta, para comparação visual, as três Cartas de PNE geradas, assim, observa-se a distinção dos mapeamentos em relação à diferenciação do Fator LS.

Os setores localizados na margem direita da média bacia do Córrego Ibitinga, possuem as classes de potencial erosivo mais elevadas, de maneira semelhante às cabeceiras de drenagem localizadas na alta bacia do Ibitinga, onde prevalecem as maiores declividades.

Figura 35 – Cartas de PNE 1, 2 e 3, respectivamente.

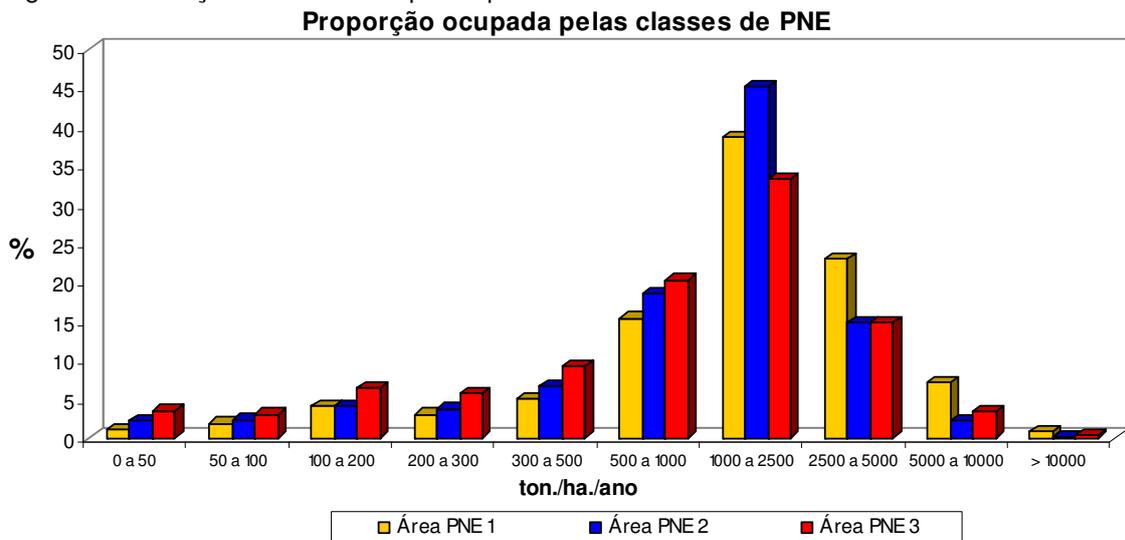


Fonte: Pinheiro, 2012.

Observa-se, assim, que a superfície de cimeira dos interflúvios da bacia apresenta baixos potenciais à erosão, no entanto, nos setores onde a declividade é elevada, o potencial erosivo também é elevado, mesmo que estejam localizados relativamente próximos da alta vertente. Essa situação pode ser verificada nas áreas de altas declividades do setor leste. Nas vertentes retilíneas, por apresentarem maior declividade, os valores de PNE também foram elevados. Na baixa bacia, na área drenada pela margem esquerda do Ibatinga, as grandes extensões de vertente apresentam valores elevados de PNE apenas na baixa vertente. A única exceção localiza-se próxima à foz do curso hídrico, onde uma forte concavidade com elevada declividade condiciona valores de PNE elevados, em média vertente.

A aplicação de diferentes técnicas de obtenção do Fator L possibilitou a distinção entre as Cartas do Fato LS, gerando assim Cartas de PNE também distintas. A Figura 36 abaixo ilustra as áreas ocupadas pelas diferentes Cartas de PNE.

Figura 36 – Relação das áreas ocupadas pelas classes de PNE.

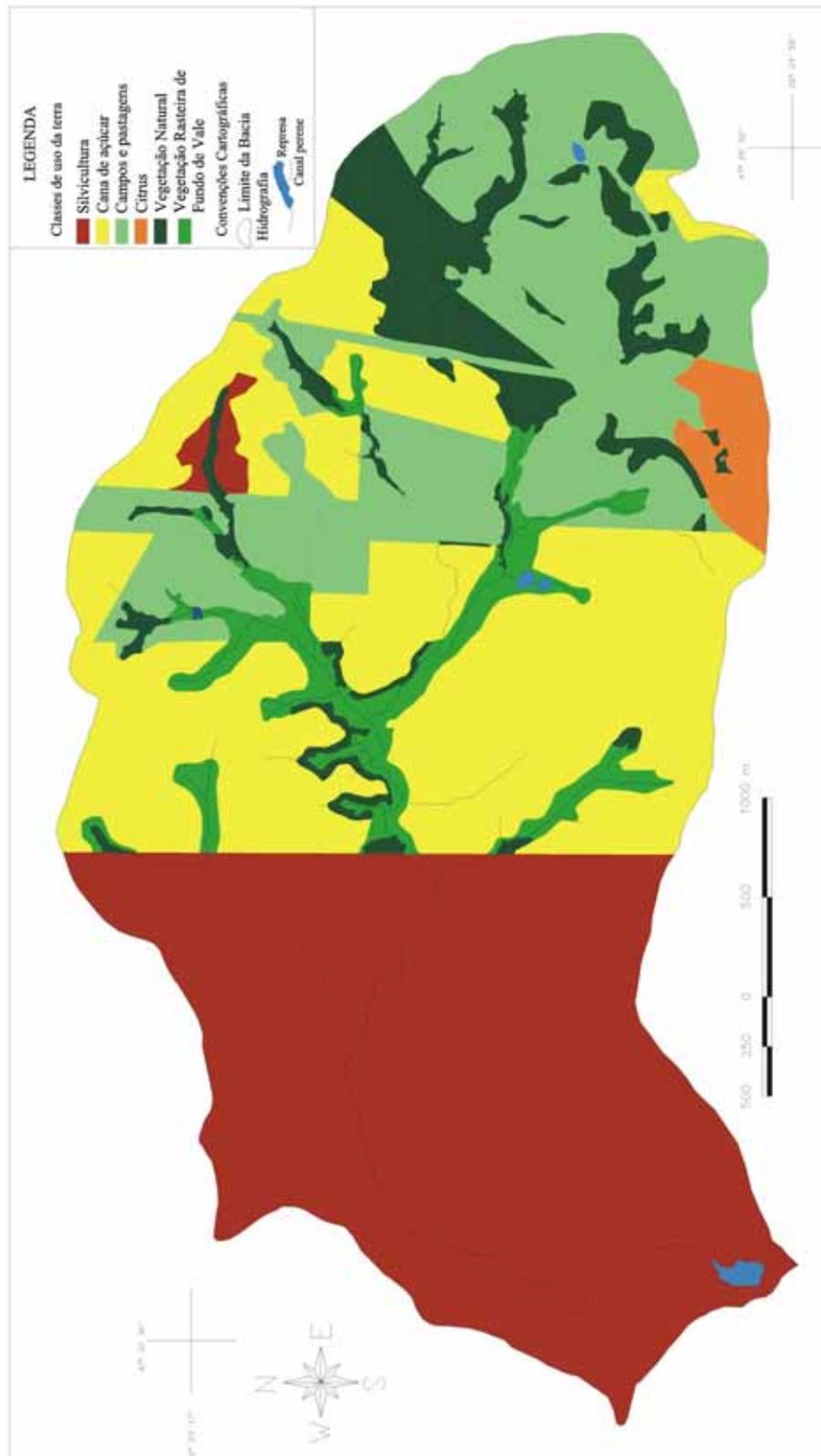


Fonte: Pinheiro, 2012.

As Cartas de PNE revelam o potencial erosivo do terreno, considerando a superfície desprovida de vegetação que, natural ou antrópica, altera a dinâmica erosiva, influenciando diretamente na infiltração e diminuição do escoamento hídrico superficial.

Nesse sentido, foi importante o mapeamento do uso da terra (Figura 37) para a representação da cobertura vegetal. A FEENA possui dimensão bem representativa na totalidade da Bacia do Córrego Ibatinga, no entanto, a monocultura de cana de açúcar e as pastagens também possuem grande expressão espacial.

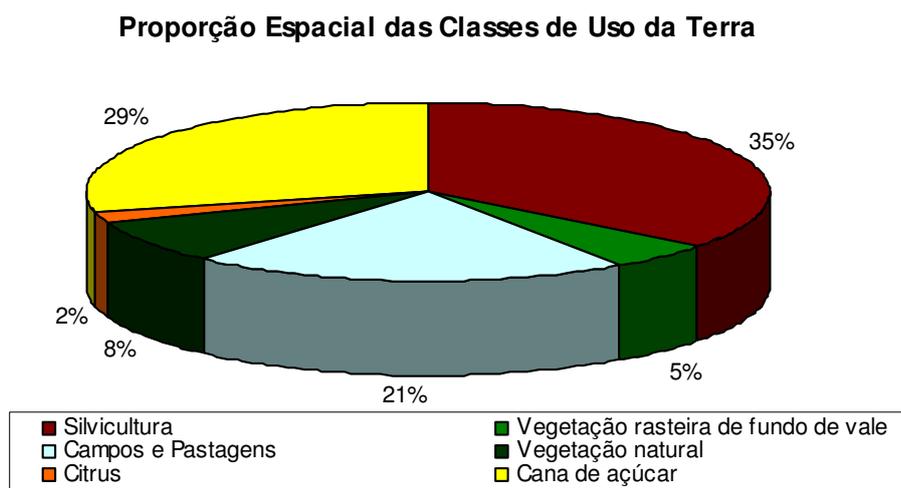
Figura 37 – Carta de Uso da Terra da Bacia do Córrego Ibitinga (2010).



Fonte: Pinheiro, 2012.

As áreas de silvicultura, majoritárias espacialmente, (Figura 38) com maior importância para a porção da bacia cultivada com eucalipto na FEENA, permitem o estabelecimento do sub bosque e a formação da serrapilheira e, assim, oferecem proteção ao solo (Figura 37). As superfícies ocupadas pela cana de açúcar possuem, em sua maioria, manejos que visam a conservação, como terraceamentos, curvas de nível e faixas de vegetação. Em situação mais preocupante, as pastagens não possuem práticas conservacionistas adequadas; em algumas áreas existem curvas de nível ou terraceamento, mas, deveriam ser feitas manutenções no pasto, devido ao pisoteio do gado. Em outras áreas de pastagens inexistem qualquer prática conservacionista, potencializando a dinâmica erosiva.

Figura 38 –Área ocupada pelas diferentes classes de uso da terra (2010).



Fonte: Pinheiro, 2012.

Há também a ocorrência de vegetação rasteira de fundo de vale. Nessas áreas a baixa declividade, aliada à proteção oferecida pela vegetação, diminuem o potencial erosivo. As áreas de vegetação natural oferecem a maior proteção ao solo e estão localizadas próximas aos cursos hídricos e, em sua maioria, no setor leste da bacia.

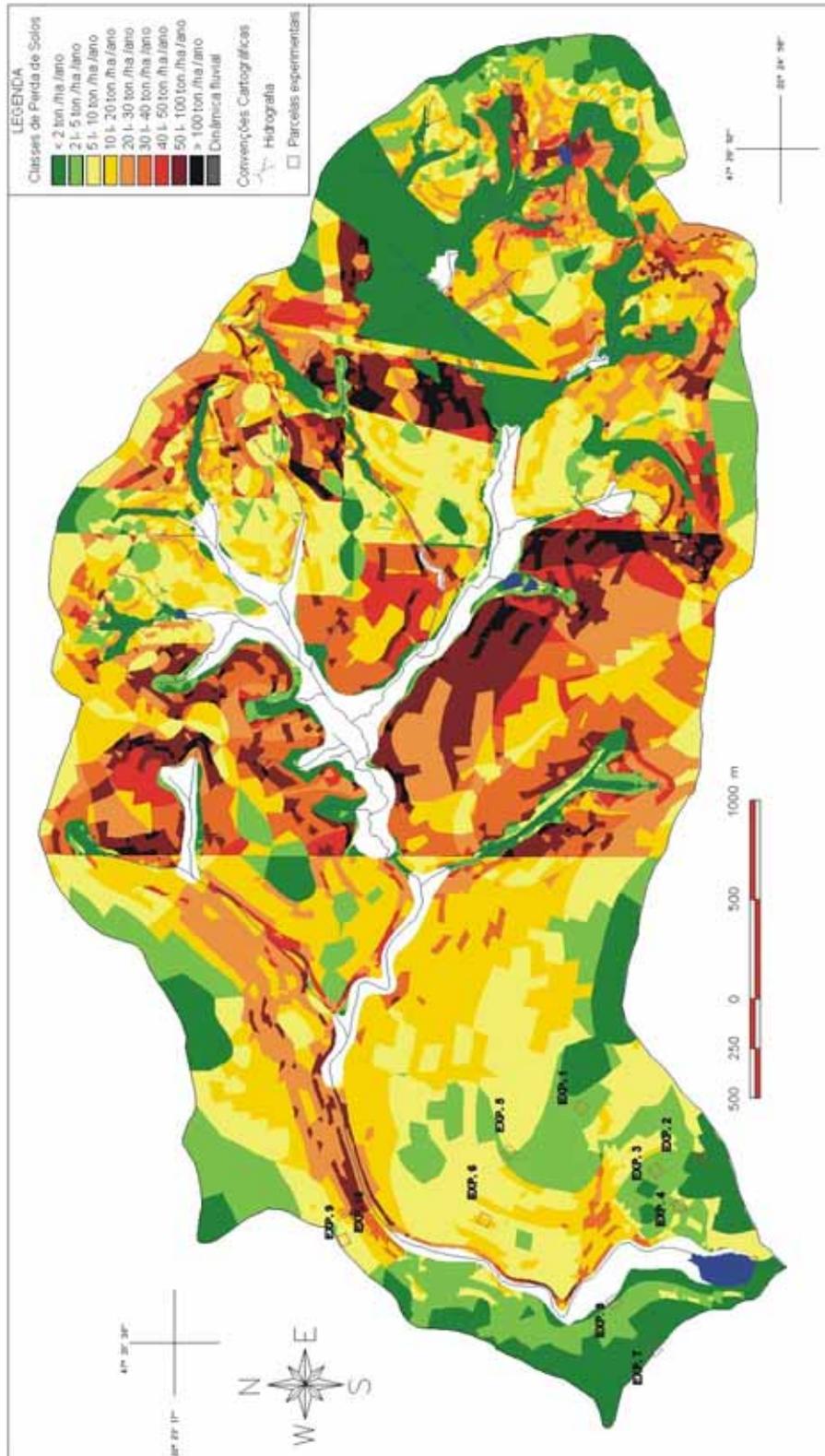
Figura 39 – Vegetação de sub bosque no interior da FEENA.



Fotografia: Leandro de Souza Pinheiro, 2011.

A Carta de Uso da Terra foi elaborada e exportada para ambiente SIG para a geração da Carta de perda de solos. Assim, foram geradas três Cartas de perda de solo diferenciadas, devido ao cruzamento com as três Cartas do Fator LS. A Figura 40 ilustra a Carta de Estimativas de Perda de solo 1, gerada pelo cruzamento das Cartas dos fatores da EUPS, das quais a Carta do Fator LS 1. Nota-se, nessa Carta, que a vegetação natural condiciona as menores perdas de solo por erosão. A proteção oferecida pelos eucaliptos da FEENA diminui as perdas de solo, no entanto, as diferenciações no relevo, como áreas com maior declividade indicam maiores perdas de solo. A tabela 8 indica a proporção das classes de perda de solo para a área da bacia hidrográfica.

Figura 40 – Carta de Estimativa de Perda de solo 1.



Fonte: Pinheiro, 2012.

Tabela 8 –Área ocupada pelas classes de Perda de solo 1.

<b>Classes (ton./ha./ano)</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>Área (%)</b>
0 a 2	329,20	19,47
2 a 5	205,01	12,12
5 a 10	303,43	17,95
10 a 20	336,29	19,89
20 a 30	179,22	10,6
30 a 40	126,05	7,45
40 a 50	62,53	3,70
50 a 100	123,26	7,29
Acima de 100	25,91	1,53

Fonte: Pinheiro, 2012.

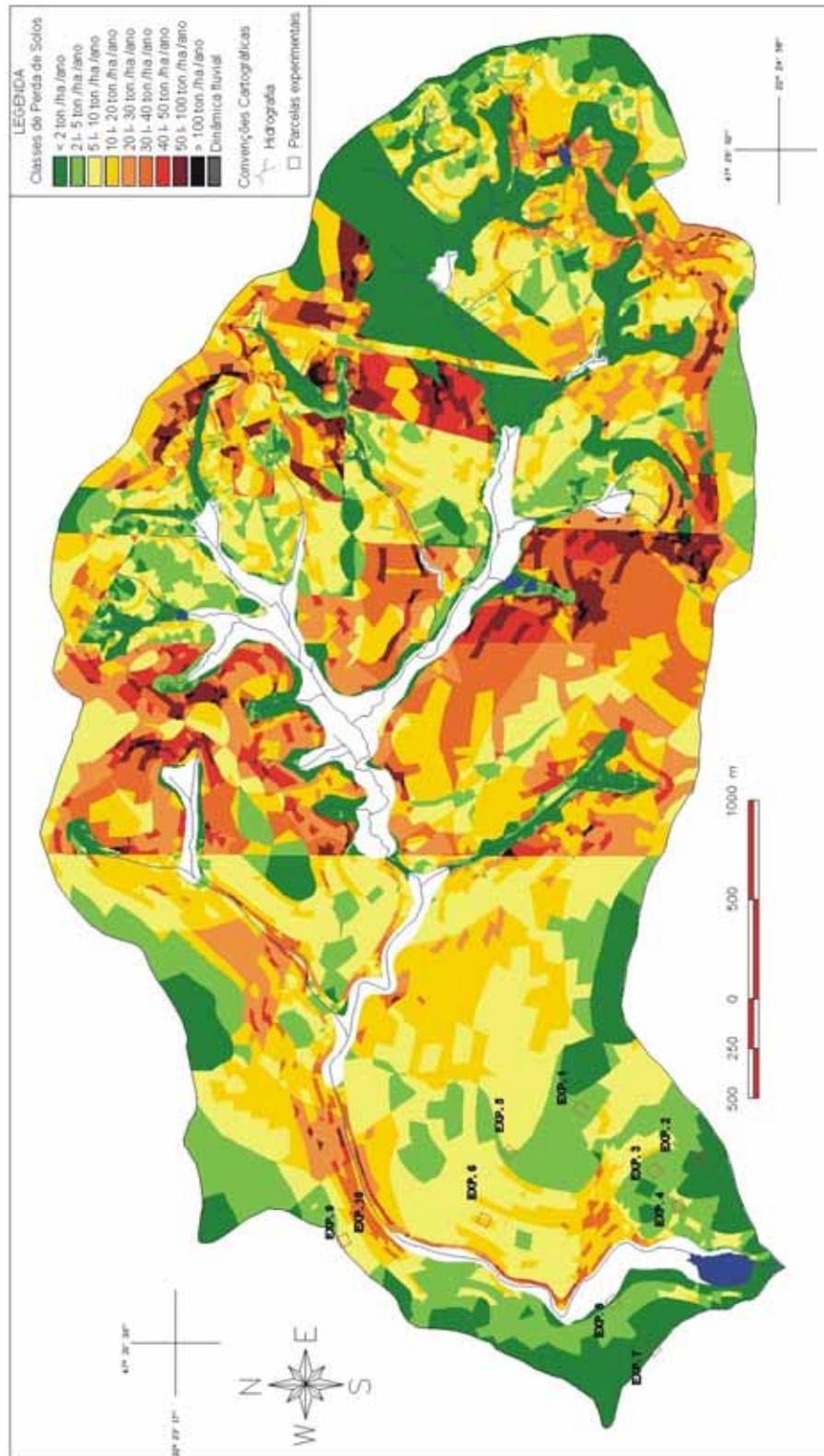
As classes menores que 20 ton./ha./ano ocupam quase 70% da área da bacia, a grande concentração destes valores situa-se nos limites da FEENA. Contudo, também existem áreas, próximas aos cursos hídricos e em locais de mata natural, com perda de solo menores que 20 ton./ha./ano externas à FEENA, localizadas principalmente no setor oeste da bacia.

As maiores perda de solo, principalmente acima de 50 ton./ha./ano, concentram-se no médio curso do Córrego Ibitinga, no entanto, também ocorrem, em menor quantidade no alto curso. Observa-se que as maiores variações foram determinadas pela cobertura vegetal e pela declividade do terreno. Verifica-se que as altas vertentes, por possuírem menor declividade, também apresentaram perda de solo menores, porém, no tocante à extensão da vertente, o valor considerado é o mesmo para toda a vertente, não havendo diferenciação entre alta e baixa vertente nos valores de extensão.

A Carta de Estimativas de Perda de solo 1, utilizou-se das informações contidas na Carta do Fator LS 1, que quantifica as extensões da vertente para toda a sub bacia. Por sua vez, a Carta do Fator LS 2 utiliza a Carta de Dissecação Horizontal, que classifica as distâncias entre o topo do interflúvio até seu nível de base.

Desta forma, utilizando a Carta do Fator LS 2, como um dos fatores do cruzamento dos dados, gerou-se a Carta de Estimativa de Perda de solo 2 (Figura 41). A tabela 9 apresenta a proporção espacial das classes de perda de solos.

Figura 41 –Carta de Estimativa de Perda de solo 2.



Fonte: Pinheiro, 2012.

Tabela 9 –Área ocupada pelas classes de Perda de solo 2.

<b>Classes (ton./ha./ano)</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>Área (%)</b>
0 a 2	358,28	21,19
2 a 5	241,08	14,26
5 a 10	363,67	21,51
10 a 20	336,97	19,93
20 a 30	152,28	9,00
30 a 40	132,47	7,83
40 a 50	47,00	2,78
50 a 100	53,21	3,15
Acima de 100	5,93	0,35

Fonte: Pinheiro, 2012.

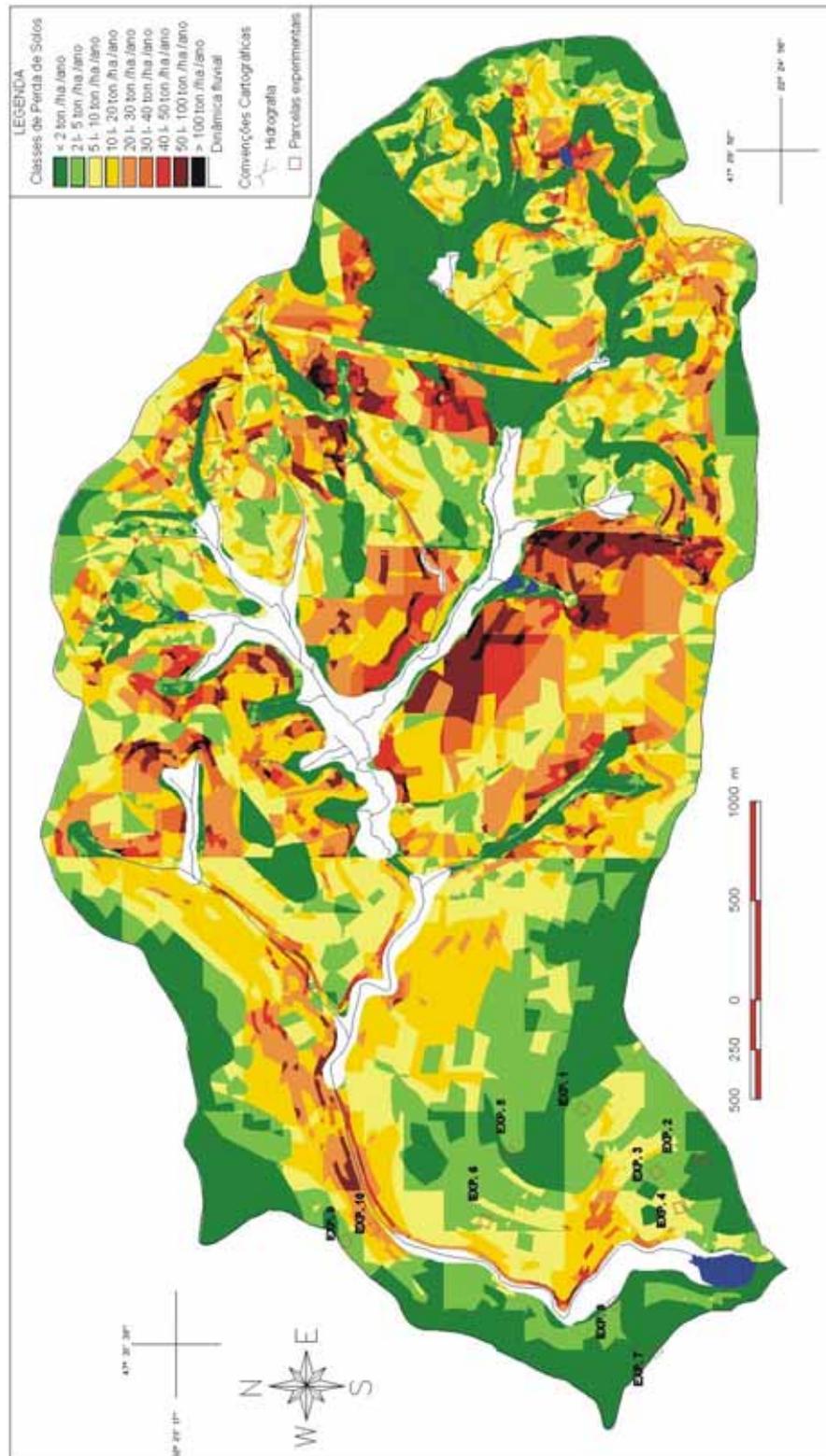
Verificou-se, na Carta de Estimativa de Perda de solo 2, que as classes de perda de solo menores que 20 ton./ha./ano aumentaram em área ocupada em relação à Carta de Estimativa de Perda de solo 1. Assim, as perda de solo nessas classes atingem 3/4 da totalidade da área de estudo. Observa-se que, nessa carta, o Fator LS 2 foi determinante na diferenciação, pois, a elaboração da Carta de Dissecação Horizontal permite a classificação das extensões de vertente dentro de cada sub bacia. Deste modo, a generalização do comprimento da vertente é menor em relação à quantificação por valor médio para toda a sub bacia.

No entanto, o maior destaque é notado na diminuição expressiva das classes de 50 a 100 ton./ha./ano e acima de 100 ton./ha./ano. A localização da ocorrência destas classes é semelhante à Carta de Estimativa de Perda de solo 1, porém, com menor expressão espacial.

Nota-se, que nas vertentes mais extensas a diferenciação permanece condicionada pela declividade e pela vegetação. A vegetação da FEENA oferece maior proteção ao solo, o que concentra a proporção das classes mais baixas de perda de solo. As áreas de vegetação natural, existentes no restante da bacia, indicam os setores de menores perda de solos.

Utilizando-se do Fator LS 3, como um dos componentes da EUPS, foi gerada a Carta de Estimativas de Perda de solo 3 (Figura 42), que apresentou expressivo aumento em área das classes 0 a 2 ton./ha./ano e 2 a 5 ton./ha./ano.

Figura 42 –Carta de Estimativa de Perda de solo 3.



Fonte: Pinheiro, 2012.

Este fato se deu pela diferenciação nos valores dos setores localizados nas altas vertentes. Assim, as altas vertentes foram classificadas com valor inferior de extensão de vertente, gerando valor LS mais baixo.

Cerca de 4/5 da área possuem, nesta Carta, perda de solo menor do que 20 ton./ha./ano. Estas áreas ocorrem nas altas vertentes e em setores ocupados por vegetação natural e silvicultura. No entanto, as características do relevo condicionam as diferenciações nas perda de solo na FEENA, que não apresenta estimativa de perda de solo homogênea.

Notou-se que as classes de perda de solo mais elevadas destacam-se no médio curso do Córrego Ibitinga, em margem esquerda, onde predominam as extensas vertentes. A tabela 10 apresenta a relação espacial das classes de estimativas de perda de solo.

Tabela 10 –Área ocupada pelas classes de Perda de solo 3.

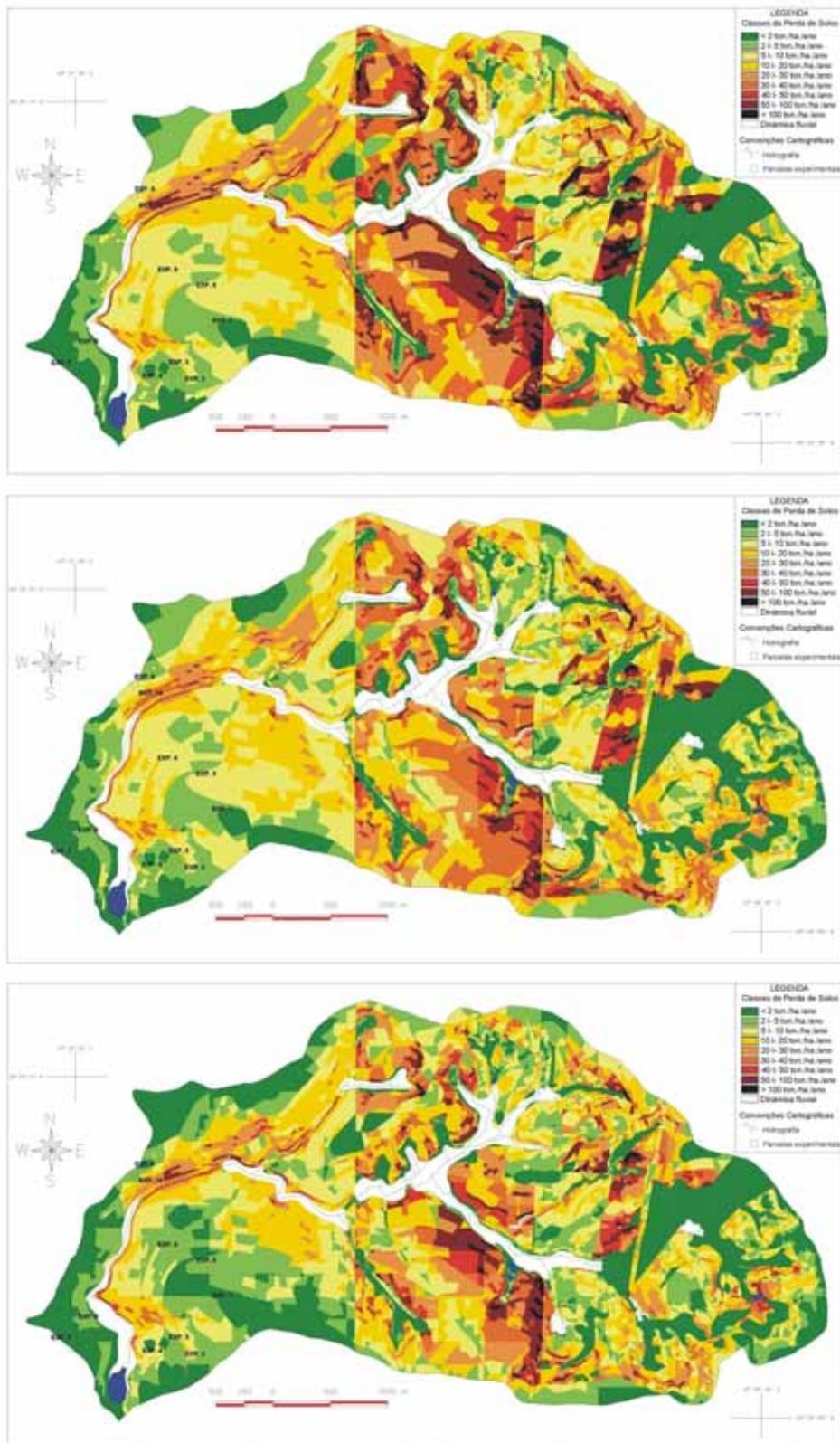
<b>Classes (ton./ha./ano)</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>Área (%)</b>
0 a 2	450,61	26,65
2 a 5	299,36	17,70
5 a 10	302,72	17,90
10 a 20	308,70	18,26
20 a 30	154,16	9,12
30 a 40	68,89	4,07
40 a 50	42,52	2,51
50 a 100	56,45	3,34
Acima de 100	7,49	0,44

Fonte: Pinheiro, 2012.

Verifica-se que, além das diferenciações nas estimativas de perda de solo devido à declividade e à cobertura vegetal, as extensões das vertentes influenciam sensivelmente as classes de perda de solo, pois, os valores de extensão foram considerados cumulativamente. Assim, a baixa vertente perde mais solo em relação à alta vertente.

Para efeito de comparação, a Figura 43 ilustra as três cartas de estimativa de perda de solo, nota-se a diferenciação dos mapeamentos relacionada às distintas Cartas de Fator LS geradas.

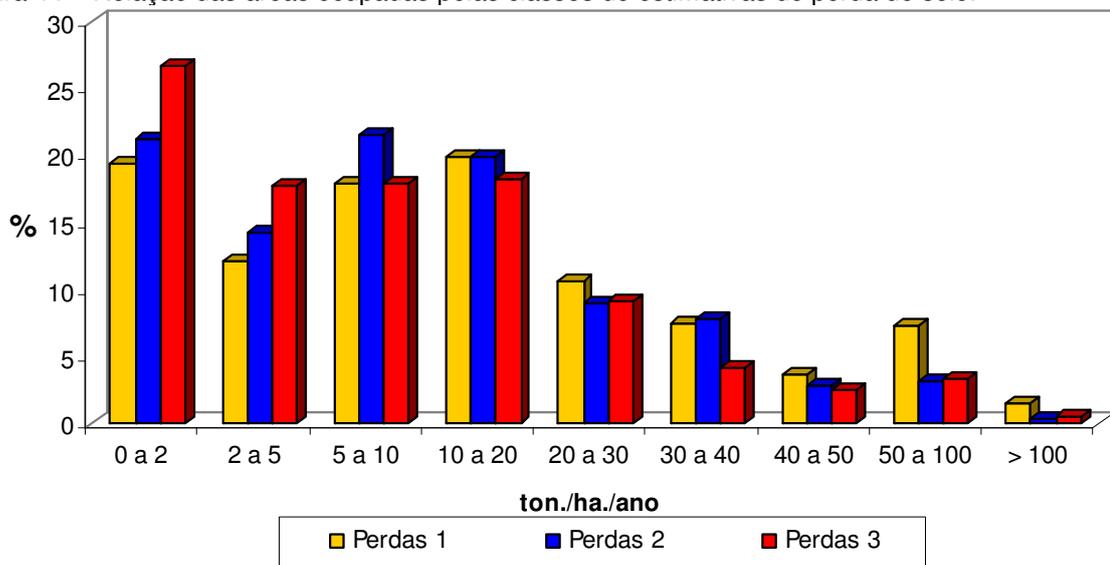
Figura 43 – Cartas de Estimativas de Perda de Solo 1, 2 e 3, respectivamente.



Fonte: Pinheiro, 2012.

A Figura 44 apresenta a proporção das classes de estimativas de perda de solo das três Cartas de Estimativas de Perda. Observa-se que a classe de 0 a 2 ton./ha./ano apresentou a maior divergência em comparação com as outras Cartas de Estimativas de Perda, pois aumentou significativamente em proporção espacial. Esse aumento se deu por essas áreas localizarem-se, em sua maioria, em altas vertentes, próximas a topos suaves, predominantes na bacia do Córrego Ibitinga.

Figura 44 – Relação das áreas ocupadas pelas classes de estimativas de perda de solo.

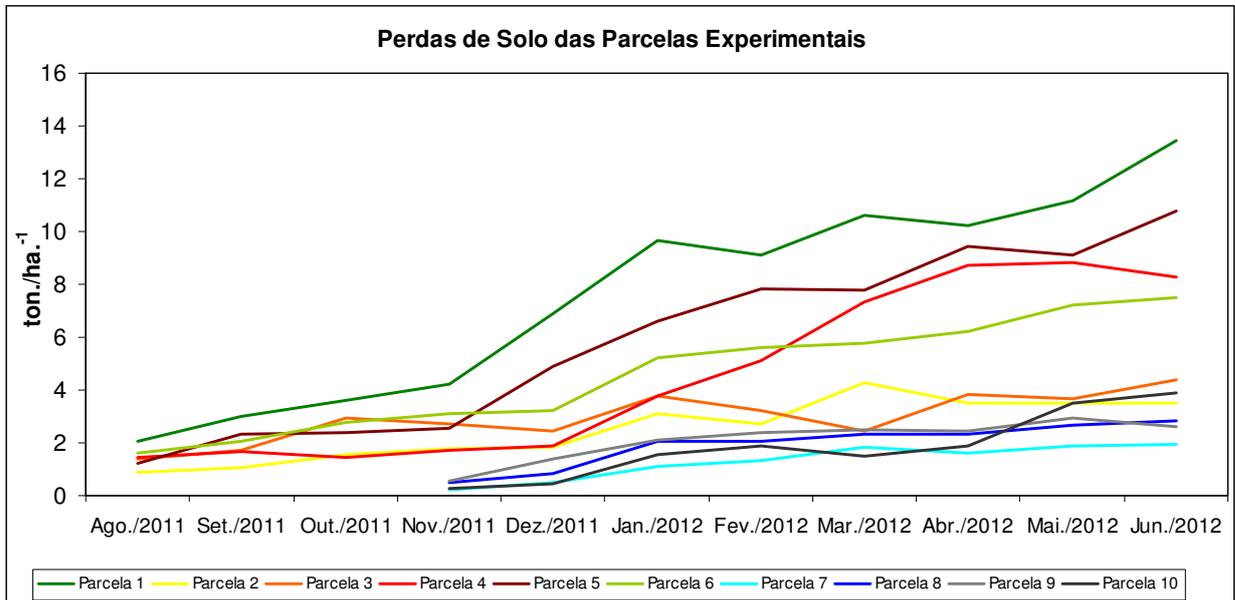


Fonte: Pinheiro, 2012.

De modo geral, nas três Cartas de Estimativas de Perda de solo as classes mais elevadas se mantiveram em alguns locais, o que indica que existem áreas onde a perda de solo é elevada em virtude de diferentes circunstâncias. A declividade condicionou as classes elevadas no baixo e médio curso do Córrego Ibitinga na margem direita, onde prevalecem setores de rupturas topográficas. Nos setores a leste da bacia, a ocupação da área por cana de açúcar, sem práticas conservacionistas adequadas, proporcionou elevada estimativa de perda de solo. De grande destaque são as classes elevadas presentes na margem esquerda do Córrego Ibitinga, onde predominam as vertentes de grande extensão ocupadas por cana de açúcar.

Além dos dados fornecidos por meio da modelagem, os dados fornecidos pela pesquisa empírica são também importantes, pois, permitiram a verificação *in loco* da dinâmica erosiva. A localização das parcelas experimentais foi ilustrada anteriormente na Figura 17. Os resultados das parcelas são apresentados na Figura 45.

Figura 45 – Valores de perda de solo dos experimentos.



Fonte: Pinheiro, 2012.

De acordo com o Quadro 2, os resultados das parcelas de erosão foram satisfatórios; a exceção maior foi a Parcela 1 que, localizada em área de alta vertente, apresentou resultados muito discrepantes se comparados com os resultados da modelagem erosiva.

Quadro 2 – Coincidência de valores das parcelas experimentais com as modelagens de perda de solo<sup>2</sup>.

Experimentos	Carta de Estimativas de Perda 1	Carta de Estimativas de Perda 2	Carta de Estimativas de Perda 3
Parcela 1			
Parcela 2			
Parcela 3			
Parcela 4			
Parcela 5			
Parcela 6			
Parcela 7			
Parcela 8			
Parcela 9			
Parcela 10			

Fonte: Pinheiro, 2012.

<sup>2</sup> Os dados das parcelas 1 a 6 referem-se a um período de 11 meses, enquanto que os dados das parcelas de 7 a 10 são de 9 meses.

As colunas indicam as Cartas de Estimativas de Perda de solo, enquanto que as linhas indicam as parcelas experimentais. As células sombreadas apontam a coincidência ou proximidade dos valores das parcelas experimentais com as três Cartas de Estimativas de Perda de solo.

Assim, com base no Quadro 2, as Parcelas 2, 3, 4, 6, 7, 8 e 9 apresentaram resultados próximos às modelagens. Enquanto que as Parcelas 1, 5 e 10 apresentaram dados diferenciados. As Parcelas 1 e 5 localizam-se no mesmo perfil topográfico em uma extensa vertente na margem esquerda do Córrego Ibitinga, enquanto que a Parcela 10, localiza em uma vertente menos extensa na margem direita do mesmo córrego.

Os dados da Parcela 10 foram menores em relação aos estimados pelas modelagens como resultado da proteção ao solo oferecida pela vegetação. Ressalta-se que o local desta parcela possui como características o neossolo quartzarênico, a alta declividade e vertente de pequena extensão.

Ao se tratar, ainda, da Parcela 10 notou-se que os dados iniciais de perdas foram menores em relação à Parcela 9, localizada próxima ao topo. Nas duas foi notável a diferenciação da vegetação, mais densa na Parcela 10, e a umidade do solo, no final da coleta dos dados e da estação chuvosa, foi maior na Parcela 10; assim com o aumento da saturação do solo houve aumento do escoamento superficial e maior erosão. Assim, apenas no final da estação chuvosa os dados de perda de solo da Parcela 10 foram superiores à Parcela 9.

Na Parcela 5 os valores foram subestimados nas três modelagens de perda de solos, a maior perda pode ser explicada pelo maior espaçamento das árvores de eucalipto e baixa densidade do sub bosque. No entanto, os valores de perda de solo na Parcela 1 foram os maiores entre todas as parcelas; tal discrepância torna-se maior pela localização da Parcela em área de alta vertente, onde todas as modelagens apresentaram baixas perdas de solo.

A parcela 1 também apresentou os valores mais elevados de silte e argila, o que indica maior capacidade de retenção de água e maior escoamento superficial. Assim, apesar de localizada na alta vertente, o processo de escoamento hídrico superficial é potencializado, apesar da baixa declividade.

A divergência dos dados também pode ser resultado da compactação da serrapilheira, abundante nessa parcela. As seis primeiras parcelas foram instaladas mantendo-se a serrapilheira, enquanto que para as quatro últimas a serrapilheira foi retirada, mantendo-se apenas as folhas que caíram posteriormente.

Com o início do período chuvoso é possível que a umidade causou a compactação da vegetação seca, deixando os pinos expostos. Nas outras cinco parcelas, a serrapilheira não alterou drasticamente os resultados, pois, eram menos abundantes em relação à parcela 1. Ressalta-se que, desta forma, os dados de perda de solo são comprometidos nessa situação, pois não há perda de solo, considerando-se o horizonte A, mas apenas a alteração do manto de vegetação seca.

De acordo com Coelho Netto (1995):

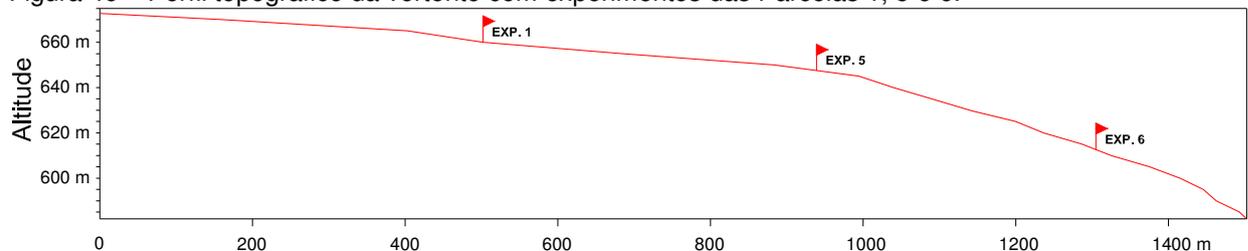
A serrapilheira se desenvolve mais em solos florestados e pode ser composta de duas camadas que formam os horizontes  $O_1$  e  $O_2$  do solo. A camada superior,  $O_1$ , engloba os detritos recém caídos que ainda não sofreram decomposição; a camada inferior,  $O_2$ , é constituída por todos os materiais parcialmente decompostos. [...] A serrapilheira é variável na sua composição e estrutura e nem sempre a camada  $O_2$  está presente.

Assim, a camada  $O_1$  pode ser mais facilmente transportada ou compactada, pois seus detritos ainda não foram alterados. Essa alteração é auxiliada pela ação das águas pluviais; dessa forma, com o início da estação chuvosa, os dados de erosão ficam distorcidos.

As parcelas 1, 7 e 9 foram instaladas em setores de alta vertente, as parcelas 2 e 3 na média vertente; por sua vez as parcelas 4, 6, 8 e 10 foram instaladas na baixa vertente. As parcelas de 1 a 6 forneceram onze meses de dados, enquanto que as parcelas de 7 a 10 forneceram oito meses.

A Figura 46 representa o perfil topográfico da vertente contendo as parcelas experimentais 1, 5 e 6; trata-se de vertente convexa, o que ocasiona o escoamento difuso, contribuindo para a erosão laminar em detrimento da erosão linear.

Figura 46 – Perfil topográfico da vertente com experimentos das Parcelas 1, 5 e 6.



Fonte: Pinheiro, 2012.

De maneira geral, a densidade dos solos das parcelas experimentais é relativamente baixa, o que permite maior porosidade dos solos e maior capacidade de

infiltração. A Tabela 11 apresenta os dados de densidade e umidade dos solos das parcelas dos experimentos.

Tabela 11 – Valores de densidade aparente e umidade dos solos dos experimentos.

	Densidade Aparente	Umidade Base úmida
Parcela 1	0,77	17,15
Parcela 2	0,51	30,55
Parcela 3	0,64	20,37
Parcela 4	0,86	9,91
Parcela 5	0,83	11,65
Parcela 6	0,80	13,33
Parcela 7	0,73	18,77
Parcela 8	0,70	17,50
Parcela 9	0,70	12,09
Parcela 10	0,73	14,36

Fonte: Pinheiro, 2012.

A variação das densidades é relativamente baixa, excetuando-se a parcela 2, que apresentou a mais baixa densidade e maior umidade entre todas as amostras coletadas. Assim, é possível afirmar que nesta parcela a baixa densidade e a alta porosidade permitiram o maior armazenamento de água no horizonte A e, deste modo, o solo saturado favorece o escoamento hídrico superficial.

No entanto, a parcela 2 apresentou baixa perda de solo, como pode ser verificado na tabela 12. A vertente dos experimentos das parcelas 1, 2, 3 e 4, apesar de se tratar de uma extensa vertente, tem o seu fluxo de escoamento superficial alterado pelas estradas que ali existem; assim, o fluxo é condicionado a seguir pela estrada.

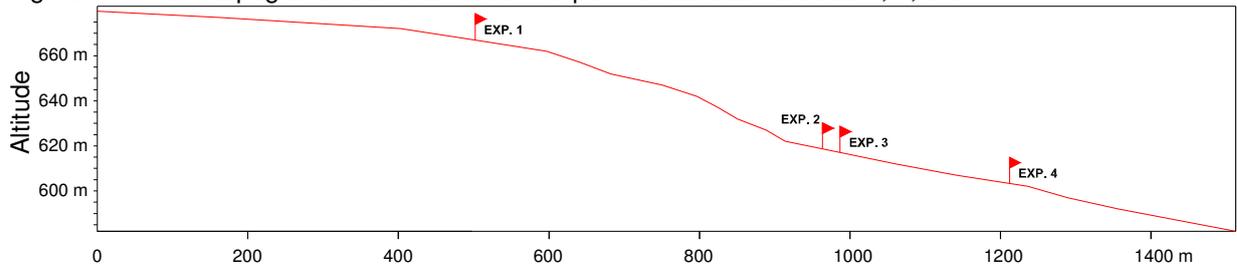
Tabela 12 – Valores acumulados de perda de solos dos experimentos (ton. /ha.<sup>-1</sup>).

	Ago./2011	Set./2011	Out./2011	Nov./2011	Dez./2011	Jan./2012	Fev./2012	Mar./2012	Abr./2012	Mai./2012	Jun./2012
Parcela 1	2,08	3,00	3,61	4,22	6,89	9,67	9,12	10,62	10,25	11,14	13,44
Parcela 2	0,90	1,06	1,57	1,77	1,81	3,10	2,73	4,30	3,52	3,50	3,52
Parcela 3	1,39	1,72	2,93	2,70	2,42	3,76	3,22	2,47	3,81	3,65	4,40
Parcela 4	1,44	1,68	1,44	1,72	1,89	3,78	5,11	7,31	8,72	8,82	8,27
Parcela 5	1,22	2,31	2,41	2,57	4,88	6,63	7,82	7,79	9,44	9,11	10,76
Parcela 6	1,60	2,04	2,78	3,13	3,23	5,24	5,59	5,78	6,20	7,25	7,51
Parcela 7				0,20	0,52	1,13	1,31	1,86	1,63	1,89	1,92
Parcela 8				0,50	0,81	2,03	2,06	2,34	2,31	2,64	2,81
Parcela 9				0,53	1,40	2,10	2,38	2,52	2,43	2,94	2,63
Parcela 10				0,29	0,47	1,58	1,88	1,52	1,88	3,52	3,87

Fonte: Pinheiro, 2012.

Desta forma, não há a continuidade do fluxo no sentido da vertente, embora sua forma côncava (Figura 47) proporcione o escoamento concentrado, o que potencializa a erosão, principalmente a ação linear.

Figura 47 – Perfil topográfico da vertente com experimentos das Parcelas 1, 2, 3 e 4.



Fonte: Pinheiro, 2012.

A interrupção do fluxo do escoamento superficial altera de maneira significativa a perda de solos, pois, o fluxo de água oriundo das porções superiores da vertente, desta maneira, não influencia no restante da vertente. Assim, a dinâmica do escoamento superficial, neste local, recebe água pluvial apenas após a estrada, o que diminui drasticamente o caminho preferencial da água e a potencialidade erosiva, no setor dos experimentos.

A granulometria do solo também influencia diretamente na infiltração e capacidade de retenção hídrica. A tabela 13 apresenta informações granulométricas referentes às amostras coletadas, no horizonte A, nos experimentos. Os dados mais significativos referem-se às parcelas 8, 9 e 10 que apresentaram proporção de areia fina acima de 90 % e as parcelas 2 e 3 que apresentaram mais de 30 % de areia grossa.

Tabela 13 – Valores de granulometria das amostras de solos.

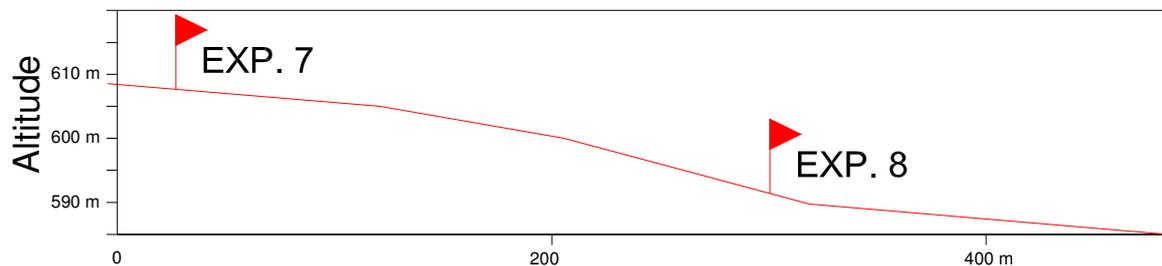
	<b>Calhau (%)</b>	<b>Areia Grossa (%)</b>	<b>Areia Fina (%)</b>	<b>Silte e Argila (%)</b>
Parcela 1	0,06	0,35	86,82	12,77
Parcela 2	2,05	31,94	62,43	3,58
Parcela 3	0,10	30,51	63,69	5,70
Parcela 4	6,91	5,12	84,02	3,95
Parcela 5	0,00	9,38	88,43	2,19
Parcela 6	0,05	10,90	83,68	5,38
Parcela 7	0,21	14,58	80,72	4,49
Parcela 8	0,00	1,00	92,14	6,86
Parcela 9	0,00	0,26	95,85	3,89
Parcela 10	0,00	0,13	95,75	4,11

Fonte: Pinheiro, 2012.

A maior proporção de areia grossa reflete a maior capacidade de absorção de água, o que pôde ser constatado pela maior umidade verificada exatamente nessas parcelas. No entanto, essa característica diminui a retenção de água; assim, a presença de água pode ser explicada pelo fato dessa parcelas estarem localizadas em área côncava de canal pluvial, onde a presença de água é frequente na estação chuvosa.

As parcelas 7, 8, 9 e 10 foram instaladas em duas vertentes de menor extensão e distintas, conforme pode ser observado nas figuras 44 e 45. A vertente das parcelas 9 e 10 é côncava-convexa, enquanto que para as parcelas 7 e 8, a vertente é convexa na porção superior e convexa-côncava na porção inferior (CHRISTOFOLETTI, 1980b). Assim, para a vertente das parcelas 7 e 8, há maior dispersão do escoamento superficial na alta vertente e, apesar da proximidade com a área de acumulação do Córrego Ibitinga, a concavidade favorece a concentração do escoamento superficial, aumentando a perda de solo.

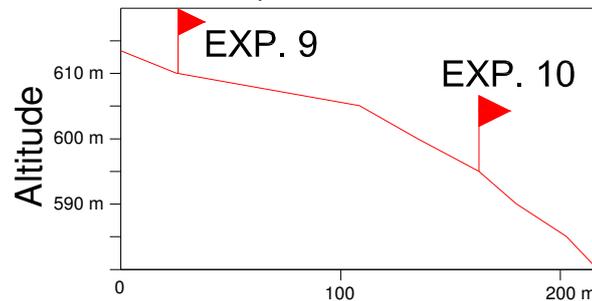
Figura 48 – Perfil topográfico da vertente com experimentos das Parcelas 7 e 8.



Fonte: Pinheiro, 2012.

Verificou-se, na modelagem e nas parcelas experimentais, que as maiores perda de solos ocorreram em vertentes convexas, majoritárias na área de estudo, e de maiores extensões. Salienta-se a importância das diversas rupturas topográficas, resultadas da erosão diferencial, que alteram a dinâmica do escoamento superficial. Assim, as rupturas indicam setores de abrupto aumento de declividade, potencializando a erosão.

Figura 49 – Perfil topográfico da vertente com experimentos das Parcelas 9 e 10.



Fonte: Pinheiro, 2012.

Os solos também influenciaram sensivelmente os resultados das modelagens, principalmente com as variações dos argissolos, que apresentaram valores mais elevados de PNE e estimativa de perda, enquanto que os latossolos apresentaram menores perdas, juntamente com os solos hidromórficos.

A vegetação influenciou de maneira importante, pois ofereceu proteção ao solo mesmo sobre elevada declividade, como ocorreu com a parcela 10. As parcelas instaladas nas vertentes menos extensas, apesar de menor período de coleta, tiveram perda de solo bem menores em relação às instaladas nas extensas vertentes. Excetuando-se a Parcela 1, as parcelas localizadas na alta vertente apresentaram taxas de perda de solo menores, embora em alguns períodos tenha ocorrido o inverso.

Em todas as modelagens, os setores de alta vertente apresentaram, majoritariamente, baixo potencial erosivo e baixas estimativas de perda de solo, devido, principalmente, à menor declividade nessas áreas e, no caso da Carta de PNE 3 e de Estimativas de Perda 3, à técnica de segmentação de vertentes. Desse modo, a declividade interferiu diretamente nos dados de PNE e Estimativas de Perda, no entanto, a técnica da segmentação permitiu maior representação das extensões de vertentes.

Quanto às parcelas experimentais, as variações de perda de solo foram complexas, pois não houve um comportamento constante de perda de solo. Assim, verificou-se a variação dos dados em relação à sazonalidade e às dinâmicas de escoamento superficial, apresentando intercalações de erosão e deposição em diversos setores.

## 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A temática analisada nesta pesquisa é de relevante importância, pois se trata de questão atual, tendo em vista os diversos impactos ambientais e econômicos causados pela erosão em ambiente urbano ou rural, sendo também antiga, pois os impactos ambientais relacionados à erosão acelerada ocorrem a longa data. Apesar de ser um problema conhecido da comunidade acadêmica, as perdas de solo são negligenciadas por boa parte da sociedade, principalmente pelo poder público. Se no passado o homem, por ser nômade, abandonava áreas que deixavam de ser férteis para explorar e esgotar novas áreas, atualmente vemos, em algumas regiões subdesenvolvidas, fatos semelhantes se repetirem.

Nessa perspectiva, a análise dos processos erosivos se faz importante para a implantação das atividades humanas. Assim, a área de estudo dessa pesquisa insere-se em duas situações, de uso privado, pela agricultura e pecuária; e uso social, através da FEENA, Unidade de conservação de uso sustentável. As áreas rurais localizadas na alta e média bacia exercem pressão antrópica sobre o curso hídrico, pois as atividades humanas praticadas ali, em grande parte não atendem satisfatoriamente às práticas corretas de conservação do solo. Assim, é importante, para a sociedade, o entendimento sistêmico, compreendendo que os fatores envolvidos, os fluxos de matéria e energia, podem ser desequilibrados pela atuação humana. Nesse entendimento, o manejo incorreto do solo na alta bacia, acarretará em desequilíbrio na baixa bacia, devido à maior erosão dos solos. Desse modo, a maior perda de solos na alta bacia influencia no assoreamento dos cursos hídricos da baixa bacia, como ocorre no represamento do Córrego Ibitinga, localizado dentro dos limites da FEENA.

Buscando a compreensão dos processos erosivos, verificou-se, nessa pesquisa, que a dinâmica erosiva nas vertentes é, de fato, complexa e sofre influência da inter-relação entre os segmentos da vertente e as formas dos segmentos. Confirmou-se que as perdas de solo variam de acordo com as áreas da alta, média e baixa vertente, fato que não é registrado nos resultados de muitos trabalhos que utilizam a EUPS.

No entanto, os resultados obtidos confirmaram parcialmente a hipótese, pois, tal variação demonstrou maior complexidade. De acordo com os experimentos de erosão, apesar das maiores vertentes apresentarem maiores perda de solo, os setores de baixa vertente não apresentaram uniformidade de resultados em relação às altas vertentes. Assim, o modelo estimou para as baixas vertentes maiores perda de solo, contudo, apesar de ocorrer em muitas situações da modelagem, este fato ocorreu de maneira diferenciada em alguns setores, como nas Parcelas 5 e 10, devido à variações topográficas ou vegetacionais não consideradas na modelagem.

A dinâmica erosiva mostrou-se complexa ainda quando relacionada com a vegetação e ao encharcamento do solo. Sabe-se que fatores como a saturação do solo também influenciam na dinâmica do escoamento; assim, observou-se na vertente, ilustrada na Figura 49, maior saturação hídrica, no final da coleta dos dados, o que possibilita maior escoamento superficial. Nessa situação a vegetação influencia de forma substancial, pois apesar de, em geral prevalecer o escoamento superficial na baixa vertente e na alta vertente ocorrer maior infiltração devido à menor declividade, neste caso, a vegetação mais densa na baixa vertente pode ter auxiliado na retenção do escoamento e na infiltração hídrica.

Esse fato se deveu à capacidade de absorção de água pela vegetação e pela proteção oriunda da cobertura superficial pela serrapilheira, impedindo o efeito “*splash*” causado pelo impacto da gota de água ao solo, pela proteção estabelecida pela estruturação oferecida pelo sistema de raízes das árvores que auxilia na porosidade, matéria orgânica e maior coesão do solo.

As formas das vertentes também influenciaram sensivelmente os resultados de perda de solo; assim, com base nas parcelas experimentais, as vertentes com perfil topográfico convexo apresentaram maiores perda de solo. Contudo, apenas nas vertentes de menor extensão, a perda de solo foi maior na baixa vertente. Para as duas vertentes de maior extensão, a perda de solo foi maior na baixa vertente apenas nas vertentes côncavas (sendo descartados os dados da Parcela 1, devidos aos valores discrepantes e pela problemática na implementação da parcela), enquanto que na vertente convexa a perda foi maior na média vertente. Ressalta-se que as estradas influenciaram a dinâmica do escoamento superficial e apenas as vertentes de menor

extensão não tiveram seus fluxos de escoamentos hídricos superficiais interceptados pelas estradas e aceiros da FEENA, o que justifica em boa parte as discrepâncias nas vertentes mais extensas.

Observou-se, ainda, que as características do relevo, mapeadas na Carta Geomorfológica, indicam setores fundamentais para a dinâmica erosiva, com destaque para a grande quantidade de rupturas topográficas verificadas. Essas rupturas, condicionadas pelo substrato geológico, indicam o trabalho de esculturação do relevo por erosão diferencial, onde o escoamento pluvial em superfície adquire mais velocidade após a linha de ruptura,

Do exposto, nota-se que algumas variáveis não são contempladas na modelagem da EUPS, como a saturação hídrica do solo, a densidade da vegetação e perturbações antrópicas, como, no caso desta pesquisa, as interrupções de fluxos de escoamento pelas estradas e aceiros. Assim, há uma limitação dos dados, o que não compromete o uso de modelos visto que esses não se apresentam como um fim, mas, como parâmetro para a estimativa da perda de solo.

No tocante à modelagem erosiva, esta tese buscou analisar os fatores condicionantes à erosão na área de estudo, com ênfase no Fator L da EUPS. A elaboração da Carta segmentada de vertentes demandou maior porção de tempo, pois, envolveu ainda a análise dedutiva dos fatores envolvidos e a correção dos erros inerentes ao decorrer do processo de elaboração da Carta.

Os resultados obtidos indicaram que a técnica da quantificação por sub bacia, apresentou maior generalização dos dados; assim, as vertentes extensas não demonstraram grandes variações de Estimativas de Perda. Já, quando se aplica a Dissecação Horizontal, os dados foram menos generalizados para as vertentes, no entanto, não houveram variações significativas quando comparadas as altas e baixas vertentes de cada sub bacia. Por outro lado, a segmentação das vertentes permitiu valores diferenciados do Fator LS ao longo da vertente, apresentando a menor generalização dos dados. Além disso, é importante destacar que a carta de perda de solo gerada por essa técnica foi a que apresentou maior coincidência de valores com as parcelas experimentais (Quadro 2). De 10 parcelas, 7 apresentaram perdas que coincidem com os dados da modelagem realizada a partir da segmentação das

vertentes. Por outro lado, os dados da modelagem utilizando as outras duas técnicas coincidiram igualmente em 5 parcelas.

As parcelas que não coincidiram com os valores de estimativas de perda de solo, utilizando a segmentação, também não coincidiram com as outras duas cartas de estimativa de perda; para essas duas últimas, também não houve coincidência com os valores das Parcelas 4 e 9. Enquanto que na Parcela 4, localizada em baixa vertente, os valores de perda de solo foram maiores do que nas Estimativas de Perda de solo 1 e 2, na Parcela 9, em alta vertente, os valores das perdas foram superestimados nas duas modelagens citadas. A causa principal dessa divergência se deu, para as duas metodologias citadas anteriormente, pelo fato do valor do Fator L estar generalizado para toda a vertente; assim, não houve distinção entre os valores de alta, média e baixa vertente.

Para as três parcelas que não coincidiram com a Carta de Estimativas de Perda 1, 2 e 3, cita-se a Parcela 1, cujos dados foram divergentes e considerados discrepantes; a Parcela 5, com vegetação de eucalipto com baixa densidade e menor proteção ao solo, o que aumentou o valor das perdas; e a Parcela 10 cujos valores de perda foram menores devido à proteção oferecida pela vegetação, com maior densidade, em um sub bosque de eucalipto.

A variação dos valores de perda e das modelagens para as vertentes analisadas, bem como a complexidade das informações, justifica a busca por sistemáticas mais precisas para a obtenção do fator L.

A técnica de segmentação das vertentes, para obtenção do Fator L, mostrou-se mais adequada, contudo, esta técnica ainda indicou limitações, pois não analisa a forma longitudinal das vertentes (côncava, convexa ou retilínea), ou seja, o perfil topográfico. Limita-se, ainda, por subestimar o grau de proteção da vegetação, assim, a título de exemplo, em local onde a modelagem indicou alta perda de solo, devido à elevada declividade e pelo solo arenoso, o experimento da Parcela 10 indicou maior papel da vegetação na proteção do solo, resultando em baixas perda de solo.

A utilização dos SIGs permite que os dados sejam processados rapidamente e podem auxiliar no desenvolvimento de metodologias para quantificação do Fator L. Como proposta para futuros trabalhos, torna-se necessária a criação de ferramentas em

SIG que executem o geoprocessamento quantificando a distância percorrida pelo fluxo do escoamento ao longo da vertente. É importante ainda, um banco de dados contendo informações topográficas, pedológicas e vegetacionais, para o processamento de todos os dados. Considera-se importante que além do mapeamento tradicional de uso da terra, sejam implementados dados relacionados também a densidade da cobertura vegetal. A aplicação de trabalho semelhante em áreas de estudo menores, como bacias de 1º ordem, produziria resultados satisfatórios e permitiria a pesquisa em maior nível de detalhe e escala no sistema vertente.

Diante dos objetivos da pesquisa, os resultados foram satisfatórios, mesmo com a confirmação da hipótese apenas parcialmente. A presente pesquisa contribui de maneira substancial à futuros trabalhos, pois, inova na metodologia de obtenção do Fator L e apresenta bases teóricas sólidas que sustentam a aplicação dessa sistemática, gerando dados mais confiáveis. Permite, ainda, que futuros trabalhos possam ser elaborados à luz deste arcabouço teórico e metodológico, mas, que avancem no sentido de otimizar o tempo de execução por meio de novas extensões de aplicativos a serem incorporados nos SIGs.

Como contribuição, esta pesquisa apontou para a importância do Fator L para a dinâmica erosiva face ao maior destaque dado a declividade, mais frequente na maioria das pesquisas em modelagem erosiva. Contudo, apesar da ênfase e notória importância da extensão de vertente, na análise e modelagem da erosão nesta pesquisa, a declividade mostrou-se como fator determinante para o aumento do potencial erosivo em todas as extensões de vertentes. Assim, verificou-se que os setores de elevadas declividades mantiveram altas taxas de PNE, bem como setores de baixas declividades mantiveram baixas taxas de PNE em qualquer extensão de vertente. Porém, essa importância determinante não reduz a importância dos dados de extensão das vertentes e os trabalhos de pesquisa devem buscar o rigor na obtenção destes dados.

Com relação a área de estudo, a proporção maior dessa é ocupada pela classe de perda de solo de até 20 ton./ha./ano, correspondendo a aproximadamente 80 % do total da área. São valores considerados de baixa a média estimativa de perda de solo e ocorrem nas três cartas de estimativa de perda de solo, nas áreas de baixas

declividades e áreas de maior proteção vegetal. Já a Carta de Estimativa de Perda de solo 3 também apresenta baixas taxas de estimativas para as altas vertentes. As taxas mais elevadas de perda de solo se concentraram nas altas declividades e, para a Carta de estimativas de Perda de solo 3, nas porções baixas das vertentes mais extensas.

Dessa forma, os dados de extensão de vertentes influenciaram sensivelmente na geração das Cartas de PNE e de Estimativas de Perda de solo. A quantificação da extensão das vertentes por três metodologias apontou para resultados considerados satisfatórios diante da pesquisa proposta. A quantificação segmentada da extensão das vertentes apresentou dados que corroboram com diversos autores clássicos da literatura pertinente aos estudos erosivos.

A busca pela aproximação dos modelos à realidade permite a aplicação e adaptação de novas metodologias. Assim, a presente pesquisa vem contribuir para as pesquisas relacionadas à modelagem erosiva e para o Planejamento Ambiental.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AB' SÁBER, A. N. A terra paulista. **Boletim Paulista de Geografia**, São Paulo, N. 23, 1956. pp. 5 – 38.

ADEDIJI, A. Land Use, Runoff, And Slopewash In The Opa Reservoir Basin, Southwestern Nigeria. *Journal of Environmental Hydrology*. N. 3, V. 14, 2006. pp. 1 – 8.

ALMEIDA, F. F. M. de. **Os fundamentos geológicos do relevo paulista**. São Paulo: IGEOG, 1974.

ARAÚJO JR., G. J. L. D. **Aplicação dos modelos EUPS e MEUPS na bacia do Ribeirão Bonito (SP) através de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento**. 1997. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, São José dos Campos, 1997.

ARNOLDUS, H.M.J. Prediction des Pertes de Terre par Erosion en Nappe et en Griffes. *In: Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture, Aménagements des Bassins Versants. Cahier FAO: Conservation des Sols*, V.1, 1977. P. 121-149.

BABAN, S. M. J.; YUSOF, K. W. Modelling soil erosion in tropical environments using remote sensing and geographical information systems. **Hydrological Sciences Journal-Journal des Sciences Hydrologiques**. Wallingford, V. 46, N. 2, 2001. p. 191 – 198.

BACCARO, C. A. D. Processos Erosivos no Domínio do Cerrado. *In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S. da; BOTELHO, R. G. M. (Organizadores) Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações*. 2<sup>o</sup> ed., Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005. Cap. 6, pp. 195-227.

BARRETTO, A. G. O. P. **História e Geografia da Pesquisa Brasileira em Erosão do Solo**. 2007. 120 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2007.

BERTOL, I. Avaliação da erosividade da chuva na localidade de Campos Novos (SC) no período de 1981-1990. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.29, n.9, 1994. p.1453-1458.

BERTONI, J. O espaçamento dos terraços em culturas anuais, determinado em função das perdas por erosão. **Bragantia**. IAC, Campinas. V.18(1), 1959. pp.113-140.

BERTONI, J., PASTANA, F. I., LOMBARDI NETO, F., BENATTI JÚNIOR, R. **Conclusões gerais das pesquisas sobre conservação do solo, no Instituto Agrônomo**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1972. (Circular, n.20)

**BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F.; BENATTI JUNIOR, R.** Cálculo dos sistemas coletores de material erodido. Campinas: IAC, 1975. 19 p. (IAC. Circular, 45)

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo**. São Paulo: Ícone, 1985.

BIGARELLA, J.J. **Estrutura e Origem das Paisagens Tropicais e Subtropicais**. V.3, Ed. UFSC, Florianópolis, 2003.

BONN, F. La Spatialisation des Modèles d' érosion des Sols à l' aide de la télédétection et des SIG: Possibilités, Erreurs et Limites. **Sécheresse, science et changements planétaires**, V. 9, N. 3, 1998. pp. 185 – 192.

BORGES, Patrícia. **A Evolução dos Processos Erosivos na Bacia do Ribeirão Alam Grei - SP: Uma Contribuição ao Planejamento Ambiental**. 2009. Dissertação (Mestrado em Geografia). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2009.

Bueno, C. R. P. **Zoneamento da susceptibilidade à erosão dos solos da alta e média bacia do Rio Jacaré-Pepira, SP, com vistas ao planejamento ambiental**. 1994. 137 f. Tese (Doutorado em Geografia). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1994.

BUENO, C. R. P.; STEIN, D. P. Potencial natural e antrópico de erosão na região de Brotas, Estado de São Paulo. **Acta Scientiarum. Agronomy**. Maringá, v. 26, N. 1, 2004. pp. 1-5.

BURIN, R. H. **Avaliação temporal de perda de solo na bacia hidrográfica do Ribeirão Preto (SP) utilizando geoprocessamento**. 1999. 135 f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1999.

CARACRISTI, I. **A Natureza Complexa da Poiésis Climática: Contribuições Teóricas ao Estudo Geográfico do Clima**. 2007. Tese (Doutorado em Geografia). FFCLCH – USP, São Paulo, 2007.

CARDOSO, D. P.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; SÁFADI, T.; FONSECA, S.; FERREIRA M. M.; MARTINS, S. G.; MARQUES, J. J. G. S. M. Erosão hídrica avaliada pela alteração na superfície do solo em sistemas florestais. **Scientia Forestalis**. N. 66, 2004. pp. 25-37

CASTRO, A.G.; VALÉRIO FILHO, M. Simulação da expectativa de perda de solo em microbacia sob diferentes manejos florestais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, V.21, N.3, 1997. p.419 – 26.

CHORLEY, R. J. A Geomorfologia e a Teoria do Sistemas Gerais. **Notícia Geomorfológica**, Campinas, v. 11, n. 21, p. 3 –22, 1971.

CHRISTOFOLETTI, A. **Análise de Sistemas em Geografia**. São Paulo: HUCITEC, 1979.

CHRISTOFOLETTI, A. Sistemas ambientais e análise de sistemas. **Ciência e Cultura**, São Paulo, N. 1, V. 32, 1980b. Jan. pp. 143-145.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2a edição. São Paulo: Edgard Blücher, 1980b.

CHRISTOFOLETTI, A. Aplicabilidade do Conhecimento Geomorfológico nos Projetos de Planejamento. *In*: GUERRA, A. J. T. e CUNHA, S. B. da org. Geomorfologia uma Atualização de Bases e Conceitos. Editora Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 2001. 2 ed.:415-441

COELHO NETTO, A.L. **Hidrologia de Encostas na Interface com a Geomorfologia**. *In*: Guerra, A.J.T. e Cunha,S.B. (org) Geomorfologia: Uma Atualização de Bases e Conceitos. Editora Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 1995. pp. 93 - 148. (2º ed.)

COSTA, A. L. C. **Estudo da vulnerabilidade à erosão com a aplicação da Equação Universal de Perda de Solo na Alta Bacia Hidrográfica do Rio Jacaré Pepira, utilizando SIG/SPRING**. 2005. Dissertação (Mestrado em Geografia). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2005.

Cruz, O. **Estudo dos processos geomorfológicos do escoamento pluvial na área de Caraguatatuba – S. P.** Tese de Livre Docência. FFLCH-USP, S. Paulo, 1982.

CRUZ, J. C. H. O.; NASSER, P. C.; COELHO NETTO, A. L. Dinâmica Hidro-Erosiva Superficial e Revegetação em uma Cicatriz de Movimento de Massa. Maciço Da Tijuca, Rj. *in*: V Simpósio Nacional de Geomorfologia – I Encontro Sul-americano de Geomorfologia, 2004, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria. 1 CD-ROM.

CUNHA, C. M. L. A. **Quantificação e Mapeamento das Perda de solo por Erosão com Base na Malha Fundiária**. 1997. 152 f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1997.

CUNHA, C. M. L. A. **Cartografia do Relevo no Contexto da Gestão Ambiental**. 2001. 128 f. Tese (Doutorado em Geografia). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2001.

DE BIASI, M. Cartas de Declividades: Confecção e Utilização. **Geomorfologia**, São Paulo, n. 21, p. 8 – 12, 1970.

DE PLOEY, J. e GABRIELS, D.. Measuring soil loss and experimental studies. *In*: **Soil Erosion**. Eds. M.J.Kirkby e R.P.C. Morgan. p. 63-108, 1980.

DE SANTISTEBAN, L. M.; CASALI, J.; LÓPEZ, J. J. Assessing soil erosion rates in cultivated areas of Navarre (Spain). **Earth Surf. Process. Landforms** 31, p. 487–506, 2006. Disponível em: <http://www.interscience.wiley.com>. Acesso em: 17 Jan. 2007.

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**, 51, p. 427–433, 1996.

DONZELI, P. L.; VALÉRIO FILHO, M.; PINTO, S. A. F.; NOGUEIRA, F. P.; ROTTA, C. L.; LOMBARDI NETO, F. **Técnicas de sensoriamento remoto aplicadas ao diagnóstico básico para planejamento e monitoramento de microbacias hidrográficas**. Campinas: IAC, Boletim 29, 1992.

DUTRA, K.R.; TEIXEIRA, E. C.; MENDONÇA, A. S. F. Determinação da Estimativa de Perda de Solo por Erosão Superficial em Bacia Hidrográfica Utilizando Sistema de Informações Geográficas –SIG. *In*: 19º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1997, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental - ABES, 1997. p. 793 – 802.

DENARDIN, J.E. **Erodibilidade do solo estimada por meio de parâmetros físicos e químicos**. Piracicaba, 1990. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ), Universidade de São Paulo, 1990.

DUARTE, A. C.; OLIVEIRA, F. H; RAUEN, M. J. Modelagem Tridimensional do Relevo Associado a Barragens. *In*: V Simpósio de Geografia da UDESC, 2005, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis, Cartografia e Geoprocessamento Aplicados ao Planejamento, 2005.

FERNANDES, L. C. **Estudo Multi-Temporal do Uso, Ocupação e Perda de Solos em Projetos de Assentamentos em Rondônia**. 2008. 133 f. Tese (Doutorado em Geografia). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2008.

FERREIRA, J. G. ; SILVA, V. C. ; PINHEIRO, L. S. . Análise de Condicionantes da Vegetação na Dinâmica Erosiva em Vertente Experimental. *In*: XIV Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, 2011, Dourados - MS. **Anais...** Dourados - MS: Universidade Federal da Grande Dourados, 2011. 1 CD-ROM.

FOURNIER, F. **Climat et erosion**. Paris Press Universitaires de France, 1960.

Gabert, P. Premiers résultats des mesures d'érosion sur les parcelles expérimentales dans la région d'Aix-en-Provence. **Méditerranée**, 5º ano, Nº2, 1964. pp. 169-182.

Gaillard, C.; Zagolski, F.; Bonn, F. **Modelisation de L' Influence Anthropique Sur Les Processus d' Erosion des Sols en Milieux Agricole**. *In*: XI Congrès Annuel de l'Association Québécoise des Spécialistes en Science du Sol - AQSSS, Québec - Canada, 1997.

GALDINO, S.; WEILL, M. A. M. Estimativa do fator topográfico (LS) da RUSLE para a bacia do alto Taquari – MS/MT, utilizando algoritmo do ângulo de inclinação limite para erosão / deposição. *In: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, 2011, Curitiba. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2011. p. 4813-4820. Disponível em: <<http://urlib.net/3ERPFQRTRW/3A35AGH>>. Acesso em: 01 Jul. 2011.

Gandomkar, A. Estimating the Real Capacity of Rain Erosion Using GIS. *International Journal of Agricultural Science, Research and Technology*. Iran, **Islamic Azad University Shoushtar Branch**, v. 1, n. 1, 2011. pp. 33-38.

GUERRA, A. J. T. O Início do Processo Erosivo. *In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S. da; BOTELHO, R. G. M. (Organizadores) Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações*. 2ª ed., Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005a. p. 17-50.

GUERRA, J. B. **Avaliação do Potencial Natural Erosivo da Microbacia do Ribeirão Taquara - PR**. 2005. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geografia) - Londrina, Centro de Ciência Exatas, Universidade Estadual de Londrina, 2005b.

HICKEY, R.; SMITH, A.; JANKOWSKI, P. Slope length calculations from a DEM within ARC/INFO GRID. **Computers, Environment and Urban Systems**, v. 18, n. 5, 1994. pp. 365-380.

INSTITUTO FLORESTAL / SMA. **Plano de Manejo da Floresta Estadual Edmundo Navarro de Andrade**. Vol. 1. Rio Claro; IF/SMA, 2005.

INSTITUTO DE PESQUISA TECNOLÓGICA. **Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo**. São Paulo: 1981. V. 1 e 2. Escala 1:1.000.000.

KOFFLER, N. F. et. al. **Solos da Bacia do Rio Corumbataí (SP)**. Rio Claro: CEAPLA, UNESP, 1993. Escala 1:50.000.

LAFLEN, J. M.; MOLDENHAUER, W. C. **Pioneering soil erosion prediction: the USLE story**. Thailand: World Association of Soil and Water Conservation, 2003. 54 p.

Lal, R. Soil Degradation by Erosion. **Land Degradation and Development**. New York. Vol. 12, 2001. p. 519-539.

LIMA, E. R. V. de **Análise espacial de indicadores da erosão do solo através de técnicas estatísticas e de geoprocessamento, com apoio do modelo EUPS**. 2000. 296 f. Tese (Doutorado). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2000.

LUCHIARI, A. **Procedimentos de tratamento da informação geográfica: aplicação de técnicas de geoprocessamento como subsídio à análise de processos denudacionais**. 1993. 204 f. Tese (Doutorado em Geografia). FFCLCH – USP, São Paulo, 1993.

LOMBARDI NETO, F.; BERTONI, J. **Erodibilidade de solos Paulistas**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1975. (Boletim Técnico, 27)

LOMBARDI NETO, F.; MOLDENHAUER, W.C. Erosividade da chuva: sua distribuição e relação com perda de solo em Campinas, SP. **Bragantia**, Campinas, 51(2), 1992. pp. 189-196

MACHI, D. A. **Análise do Relevo da Floresta Estadual Edmundo Navarro de Andrade (Rio Claro-SP) e Circunvizinhanças: Subsídio para a Avaliação da Área de Entorno**. Rio Claro, IGCE/UNESP. 2005 (Trabalho de Conclusão de Curso)

MANNIGEL, A. R. et al. Fator erodibilidade e tolerância de perda dos solos do Estado de São Paulo. **Acta Scientiarum**. Maringá. V. 24, N. 5, 2002. p. 1335-1340.

MARTINS, S. G.; SÁ, M. A. C.; SILVA, M. L. N.; LIMA, J. M.; OLIVEIRA, A. H.; NÓBREGA, J. C. A.; AVANZI, J. C. Perda de solo por erosão em decorrência da ação de adubação fosfatada corretiva sobre a estabilidade de agregados. **Semina: Ciências Agrárias** Londrina, N. 4, V. 32, 2011. out./dez. pp. 1297-1306,

MENDES, I. A. **A Dinâmica Erosiva do Escoamento Pluvial na Bacia do Córrego Lafon – Araçatuba-SP**. 1993. Tese (Doutorado). Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.

MINELLA, J. P. G.; MERTEN, G. H.; RUHOFF, A. L. Utilização de Métodos De Representação Espacial Para Cálculo Do Fator Topográfico Na Equação Universal De Perda De Solo Revisada Em Bacias Hidrográficas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. V.34, 2010. p. 1455-1462.

MONTEIRO. C. A. de F. **A Dinâmica Climática e as Chuvas no Estado de São Paulo**. São Paulo: USP/IG, 1973. 130p.

MONTOYA, R. D.; MONTOYA, L. J.; ANAYA, J. A. Evaluación de la Producción de Sedimentos en a Cuenca del Rio La Miel. **Avances en Recursos Hidráulicos**. Medellín – Colômbia. N. 12, 2005. p. 119 – 134.

MOORE, I. D.; BURCH, G. J. Physical basis of the length-slope factor in the Universal Soil Loss Equation. **Soil Science Society of America Journal**, v. 50, 1986. pp. 1294-1298.

MORSCHER, J.; FOX, D. Une méthode de cartographie du risque érosif: application aux collines du Terrefort lauragais. M@ppemonde. French National Center for Scientific Research (CNRS), N. 76, 2004. pp. 1 – 11. Disponível em: <http://mappemonde.mgm.fr/num4/articles/art04404.html>. Acesso em: 12 Set. 2011.

MORGAN, R.P.C. **Soil erosion and conservation**. Inglaterra, Longman Group, 2005.

NÓBREGA, C.; COSTA, A. C. Estudo da Vulnerabilidade à Erosão na Alta Bacia do Rio Jacaré Pepira Utilizando Modelo Baseado na Equação Universal de Perda de Solo. **HOLOS Environment**. V.8, N. 1, 2008. pp. 01 – 17.

OLIVEIRA, A. M. M. de **Análise da dinâmica do uso da terra: o estudo da bacia hidrográfica do Ribeirão São João, SP**. 2000. 127 f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2000.

OLIVEIRA, A. M. M.; PINTO, S. A. F.; LOMBARDI NETO, F. Caracterização de indicadores da erosão de solos em bacias hidrográficas com o suporte de geotecnologias e modelo preditivo. **Estudos Geográficos**. N. 5, 2007. pp. 63-86.

PARANHOS FILHO, A. C. et al. Avaliação Multitemporal das Perda de solos na Bacia do Rio Taquarizinho-MS. **Boletim Paranaense de Geociências**. Editora UFPR, n. 52, p. 49-59, 2003.

PENTEADO, M. M. A Geomorfologia no Planejamento do Meio Ambiente (geomorfologia Ambiental). **Notícia Geomorfológica**. Campinas, v. 16, n. 31, 1976. p. 3 – 15.

PEREIRA, L. H. **Caracterização da erosão hídrica laminar do solo em bacia hidrográfica com base na malha fundiária, por meio de sensoriamento remoto, geoprocessamento e modelagem**. 2010. Dissertação (Mestrado em Geografia). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2010.

PEREZ FILHO, A.; SEABRA, F. B. Análise Sistêmica Aplicada ao Estudo da Fragilidade de Terras do Cerrado Paulista. in: V Simpósio Nacional de Geomorfologia – I Encontro Sul-americano de Geomorfologia, 2004, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria. 1 CD-ROM.

PINESE JÚNIOR, J.F.; Cruz, L.M.; Nogueira, T.C.; RODRIGUES, S.C. Monitoramento de Processos Erosivos em Parcelas Experimentais no Município de Uberlândia, MG. **Revista Geográfica Acadêmica**. N.3, V.2, 2008. pp. 5-18

Pinto, S.A.F. **Sensoriamento remoto e integração de dados aplicados no estudo da erosão do solo: contribuição metodológica**. 1991. Tese (Doutorado em Geografia). FFCLCH – USP, São Paulo, 1991.

PINTO, S. A. F. P. **Contribuição Metodológica para Análise de Indicadores da Erosão do Solo Utilizando Técnicas de Sensoriamento Remoto, Geoprocessamento e Modelo Predictivo**. 1995. Tese (Livre-Docência). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1995.

PINHEIRO, L. S. **Análise da Dinâmica Plúvio-erosiva na Bacia Hidrográfica do Córrego da Água Branca (SP)**. 2008. Dissertação (Mestrado em Geografia). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2008.

PINHEIRO, L. de S. **O Mapeamento Geomorfológico como Subsídio ao Planejamento Ambiental: Bacia Hidrográfica do Córrego da Água Branca (SP)**. 2006. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2006.

PINHEIRO, L. S.; CUNHA, C. M. L. Determinação do Potencial Natural de Erosão (PNE) na Bacia Hidrográfica do Córrego da Água Branca, Itirapina (SP) – Brasil. *In: XII Encuentro de Geógrafos de América Latina*. Montevideo, Uruguay: 2009. **Anais...** Uruguay: Universidad de la Republica, 2009.

PINHEIRO, L. S.; CUNHA, C. M. L. . Geração do fator topográfico (LS) da EUPS para modelagem erosiva de bacia hidrográfica. *In: VI Seminário Latino-Americano de Geografia Física e II Seminário Ibero-Americano de Geografia Física*, 2010, Coimbra - Portugal. **Anais...** Portugal, 2010. pp. 1-10.

Presbitero, A.L.; Rose, C.W.; Ciesiolka, C.A.A.; Yu, B.; Coughlan, K.J.; Fentie, B. Results And Interpretation Of Soil Loss Measurements From Steep Slopes In The Philippines. *In: XIII International Soil Conservation Organisation Conference*. Austrália, Brisbane: 2004. **Anais...** Australia, 2004.

REGAZZONI, P. Et al. Caracterisation De La Sensibilite A L'erosion Des Sols : Confrontation De Deux Erodimetres. **Journées Nationales de Géotechnique et de Géologie de l'Ingénieur**. Nantes, 2008. p. 1 – 8.

Renard, K.G.; Meyer, L.D.; Foster, G.R. **Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning With the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)**. Department of Agriculture, Washington University, 1997. 384p.

RENSCHLER, C. S.; HARBOR, J. Soil erosion assessment tools from point to regional scales—the role of geomorphologists in land management research and implementation. **Geomorphology**, n. 47, p. 189–209, 2002. Disponível em: <http://www.elsevier.com/locate/geomorphology>. Acesso em: 17 Jan. 2007.

ROOSE, E.; SARRAILH, J. M. Erodibilité de quelques sols tropicaux vingt années de mesure en parcelles d'érosion sous pluies naturelles. **Cahiers Orstom Série Pédologie**, Bondy, v.25, p.7-30, 1989.

Sarrailh J. M. Premières observations sur les pâturages des parcelles de ruissellement et d'érosion. Ecosystème Forestier Guyanais. **Bulletin de Liaison du Groupe de Travail ECEREX**, 1982, pp. 7-18.

SILVA, V. C. Cálculo Automático do Fator Topográfico (LS) da EUPS, na Bacia do Rio Paracatu. **Pesquisa Agropecuária Tropical**. V. 33, N.1, 2003. p. 29-34.

SILVA, A. M. da; ALVARES, C. A. Levantamento de Informações e Estruturação de um Banco Dados sobre a Erodibilidade de Classes de Solos no Estado de São Paulo. São Paulo, UNESP, **Geociências**, v. 24, n. 1, p. 33-41, 2005

SILVA, D. L. da **Análise Morfométrica do Córrego do Lajeado (SP)**. Rio Claro, IGCE/UNESP. 2005 (Trabalho de Conclusão de Curso, IGCE, UNESP, Campus de Rio Claro).

SIMON, A. L. H.; CUNHA, C. M. L. Elaboração do Ábaco Digital Para a Identificação de Classes de Declividade: Aplicações na Baixa Bacia do Rio Piracicaba-SP. *In*: XIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada. Viçosa – MG: 2009. **Anais...** Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2009. pp. 1-10.

SIRVENT, J.; DESIR, G.; GUTIERREZ, M.; SANCHO C.; BENITO, G. Erosion rates in badland areas recorded by collectors, erosion pins and profilometer techniques (Ebro Basin, NE-Spain). **Geomorphology**, n. 18, p. 61-75, 1997.

SOUZA, V. **Estimativa de Perda de solo por Erosão Laminar na Bacia do Córrego Pinhalzinho II com Suporte de Geoprocessamento**. 2010. Dissertação (Mestrado em Geografia). Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes, Universidade Estadual de Maringá, Maringá – PR, 2010.

SPIRIDONOV, A. I. **Princípios de la Metodología de las Investigaciones de Campo y el Mapeo Geomorfológico**. Havana: Universidad de la Havana, Facultad de geografía, 1981. 3v.

STEIN, D. P.; DONZELLI, P. L.; GIMENEZ, A. F.; PONÇANO, W. L.; LOMBARDI NETO, F. Potencial Natural de Erosão Laminar, Natural e Antrópico, na Bacia do Peixe – Paranapanema. *In*: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROÇÃO, 4, 1987, Marília. **Anais...** Marília: S.C.P., 1987.

STOCKING, M. Soil loss estimation for rural development: a position for geomorphology. **Zeitschrift für Geomorphologie**. Berlin-Stuttgart. N. 36, p. 264-273, Dezember, 1980.

TÁNAGO, M.G. La Ecuación Universal de pérdidas de suelo: Pasado, presente y futuro. **Ecología**. Madrid – Espanha. V. 5, 1991. P. 13-50.

TAVARES, A. C. A erosão dos solos no contexto da análise ambiental: o exemplo do alto curso do Rio São José dos Dourados. 1986. Tese (Doutorado em Geografia). FFCLCH – USP, São Paulo, 1986.

TAVARES, A. C.; SOARES, C. A. Considerações sobre Modelos Análogos de Evolução das Vertentes. **Notícia Geomorfológica**, Campinas, v. 18, n. 36, p. 79 –94, 1978.

TAVARES, A. C. F.; MORAES, J. F. L.; ADAMI, S. F.; LOMBARDI NETO, F.; VALERIANO, M. M. Expectativa de degradação dos recursos hídricos em microbacias

hidrográficas com auxílio de sistemas de informação geográfica. **Acta Scientiarum. Agronomy**. Maringá, v. 25, N. 1, 2003. p. 417 – 424.

TERMIER, H.; TERMIER, G. **Érosion et Sedimentation**. Masson & C<sup>ie</sup>, Paris, 1960.

THOMAZ, E. L.; LUIZ, J. C. Mensuração de Remoção do Solo entre Ravinas por meio de Técnica Dinâmica e Volumétrica. in: V Simpósio Nacional de Geomorfologia – I Encontro Sul-americano de Geomorfologia, 2004, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria. 1 CD-ROM.

TRICART, J. **Principes et méthodes de la géomorphologie**. Paris, Masson, 1965.

VALERIANO, M. M. **Estimativa de variáveis topográficas por geoprocessamento para modelagem da perda de solos**. 1999. Tese (Doutorado em Geociências). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1999.

VAN REMORTEL, R.; HAMILTON, M.; HICKEY, R. Estimating the LS factor for RUSLE through iterative slope length processing of DEM elevation data. **Cartography**. V. 30, N. 1, 2001. p. 27 - 35.

VAN REMORTEL, R. D.; MAICHLE, R. W.; HICKEY, R. J. Computing the LS Factor For the Revised Universal Soil Loss Equation Through Array-Based Slope Processing of Digital Elevation Data Using C++ Executable. **Computers & Geosciences**. V. 30, 2004. pp. 1043 – 1053.

VENEZIANI JUNIOR, J. C. T. **Avaliação de índices de vegetação para estimativa da proteção do solo em bacias hidrográficas**. 2004. Dissertação (Mestrado em Geografia). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2004.

VERSTAPEN, H. T.; ZUIDAM, R. A. V. System of geomorphological survey. Netherlands. **Manuel ITC Textbook**, Vol. VII, Chapter VII.3, 1975.

VIEIRA et al. Modelagem da Erosão do Solo e sua Verificação numa Área Florestal Recentemente Ardida em Açores, Centro-Norte de Portugal. **Territorium**. Lousã – Portugal. V. 17, 2010. p. 127 – 134.

WEILL, M. de A. M.; SPAROVEK, G. Estudo da Erosão na Microbacia do Ceveiro (Piracicaba, SP): Estimativa das Taxas de Perda de Solo e Estudo de Sensibilidade dos Fatores do Modelo EUPS. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, V. 32, 2008. p. 801 – 814.

WISCHMEIER, W. H. Storms and Soil Conservation. **Journal of soil and water conservation**. Vol. 17, p. 55-59, March-April, 1962.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting Rainfall-Erosion Losses from Cropland East of the Rocky Mountains: Guide for selection of Practices for Soil and Water Conservation.** EUA. Washington: Department of Agriculture: Agric. Handbook, n. 282, 1965.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses a guide to conservation planning.** EUA. Washington: Department of Agriculture: Agric. Handbook, n. 537, 1978.

ZACHARIAS, A. A. **Metodologias convencionais e digitais para a elaboração de cartas morfométricas do relevo.** 2001. 166f. Tese (Doutorado em Geografia). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2001.

ZAINE, J. E. **Mapeamento Geológico-Geotécnico por Meio do Método do Detalhamento Progressivo: Ensaio de Aplicação na Área Urbana do Município de Rio Claro (SP).** 2000. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2000.