

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS, LETRAS E ARTES
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA - CURSO DE MESTRADO

VLADIMIR DE SOUZA

**ESTIMATIVA DE PERDAS DE SOLO POR EROSÃO LAMINAR NA BACIA
DO CÓRREGO PINHALZINHO II COM SUPORTE DE
GEOPROCESSAMENTO**

MARINGÁ - PR
2010

VLADIMIR DE SOUZA

**ESTIMATIVA DE PERDAS DE SOLO POR EROSÃO LAMINAR NA BACIA
DO CÓRREGO PINHALZINHO II COM SUPORTE DE
GEOPROCESSAMENTO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Estadual de Maringá, como requisito para obtenção do título de Mestre em Geografia. Área de concentração: Análise Ambiental.
Orientador: Prof. Dr. Nelson Vicente Lovatto Gasparetto

MARINGÁ/PR
2010

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
(Biblioteca Central - UEM, Maringá – PR., Brasil)

S729e Souza, Vladimir de
Estimativa de perdas de solo por erosão laminar na
bacia do córrego Pinhalzinho II com suporte de
geoprocessamento. / Vladimir de Souza. -- Maringá,
2010.
xi, 63 f. : il. color., figs., tabs., mapas.

Orientador : Prof. Dr. Nelson Vicente Lovatto
Gasparetto.
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de
Maringá, Programa de Pós-Graduação em Geografia, 2010.

1. Erosão - Paraná (Região Noroeste). 2.
Geoprocessamento. 3. Sistema de Informação Geográfica
(SIG). 4. Equação Universal de Perda de Solos (EUPS).
5. Erosão laminar - Córrego Pinhalzinho II - Paraná
(Região Noroeste). 6. Bacia hidrográfica - Diagnóstico
ambiental. I. Gasparetto, Nelson Vicente Lovatto,
orient. II. Universidade Estadual de Maringá. Programa
de Pós-Graduação em Geografia. III. Título.

CDD 21.ed. 551.3040098162

AGRADECIMENTOS

Ao *Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq)*, pela concessão de bolsa de mestrado (processo: nº: 133404/2008-0) e à *Fundação Araucária* (Convênio 319/2007) pelo apoio à pesquisa no Noroeste do Paraná.

À minha família, em especial meus pais *José Natalino de Souza e Anicia Garcia de Souza* pelo apoio incondicional ao longo da vida.

Ao professor *Dr. Nelson Vicente Lovatto Gasparetto*, pela orientação, incentivo, confiança e amizade nesses anos de convivência.

Aos professores do GEMA (Grupo de Estudos Multidisciplinares do Ambiente), em especial *Dra Marta Luzia de Souza, Dr. Edvard Elias Souza Filho, Dr. Manoel Luís dos Santos e Dr. José Cândido Stevaux*, pela amizade e conhecimentos transmitidos.

Ao professor *Dr. Paulo Milton Barbosa Landim* do IGCE da UNESP/Rio Claro, pelos conhecimentos transmitidos sobre análise estatística de variáveis regionalizada durante o curso no IGCE.

Aos professores da graduação, em especial *Dr. Fernando Luiz de Paula Santil, Dr. Jorge Ulysses Guerra Villa Lobos; Dr. Paulo Nakashima, Dr. Messias Modesto dos Passos, Me. Margarida Facin, Dra Maria Tereza Nóbrega, Dr. Édison Fortes e Me. Américo José Marques*, pela amizade e conhecimentos transmitidos.

A Geógrafa e companheira *Marcela Manetti Skraba*, pelo apoio em todos os momentos de convivência.

A todos os alunos de graduação e pós-graduação do GEMA (Grupo de Estudos Multidisciplinares do Ambiente), em especial, ao *Pedro, Ordilei, Otávio, a Fabiana, Rafaela e Maria Stela*, pela amizade e apoio nos trabalhos de campo e laboratório.

Aos Geógrafos e amigos *Me. Eduardo Moraes, Me. Hiran Zani e Édipo Cremon*, pela amizade, apoio e discussões sobre Geomorfologia, Geoprocessamento e SIG.

Aos Professores do colégio Visconde de Itaúna (São Paulo) *Me. Edgard Belle, Lucia e Me. Vitor Vetorazzo* pela amizade e apoio nas horas difíceis.

Ao Físico e amigo *Aílton Ferreira da Silva* pelo apoio, amizade e pelas constantes discussões sobre geociências e modelagens matemáticas.

RESUMO

Este trabalho visa estimar perdas de solo por erosão laminar na bacia do córrego Pinhalzinho II, localizada na região noroeste do estado do Paraná. A predição foi executada por meio da aplicação da Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS). A partir de informações obtidas em campo, laboratório e gabinete foi possível determinar os índices das variáveis que compõem o referido modelo matemático. A integração dos dados levantados, a estimativa de perdas de solo anual e sazonal foi realizada no Sistema de Informação Geográfica (SIG) SPRING (Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas) com auxílio de técnicas de Geoprocessamento. Os resultados obtidos referentes às perdas de solo anual demonstram que predominam na área de estudo locais com valores abaixo de 3 ton/(ha.ano). No geral, estas áreas estão situadas sobre os Latossolos, em locais onde o índice do fator topográfico é menor que 4 e o uso do solo é destinado à pastagem. Os locais na bacia que apresentaram valores elevados de perdas de solo anual, ou seja, maiores que 10 ton/(ha.ano) estão associados às áreas com elevado índice do fator LS, dispostas sobre os Latossolos, Argissolos e Neossolos e com uso do solo destinado à agricultura. Os dados referentes às perdas de solo sazonais confirmam a maior ocorrência de áreas com pequenas perdas no período compreendido entre janeiro e junho quando comparado ao período compreendido entre o julho e dezembro. A análise geral dos dados obtidos permite concluir que o predomínio de áreas com valores relativamente baixos de perdas de solo obtidos nas simulações realizadas se deve, principalmente, à ocorrência de áreas destinadas à pastagem e ao relevo pouco acidentado existente na bacia hidrográfica.

Palavras – chave: Bacia Hidrográfica, Sistema de Informação Geográfica (SIG), Equação Universal de Perda de Solos (EUPS), Noroeste do Paraná, Diagnóstico Ambiental.

ABSTRACT

This work aims at estimating soil losses which happen through laminar erosion at the Pinhalzinho II stream basin, located in Parana State (Brazil) northwest region. The prediction was carried out by means of Universal Soil Loss Equation (USLE). Using information collected in the field, laboratory and at cabinet, it was possible to determine the indexes of the variables that compose the mathematical model referred to. The integration of the data collected and the estimate of annual and seasonal soil losses were carried out at GIS (Geographical Information System) *SPRING* (*Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas*), with the help of Geoprocessing techniques. The results obtained in relation to the annual soil loss show that, in the area of study, sites with values lower than 3 ton/(ha.year) are the most common. In general, these areas are located on Latosols where the topographic factor index is bellow 4 and the soil is used as pasture. The sites at the basin which presented a high level of annual soil loss, i.e., above 10 ton/(ha.year) are associated to areas with a high LS factor index, placed on Latosols, Argisols and Neosols, with the soil being used for agriculture. The data obtained concerning seasonal soil losses confirm a high number of areas with less soil loss in the period from January to June when compared with the period from July to December. The data general analysis allows us to conclude that the predominance of areas with relatively low values of soil loss obtained at the simulations performed can be justified mainly by the occurrence of areas destined to pasture and by the predominantly plain terrain at he basin.

Key-words: Hydrographic Basin, Geographical Information System (GIS), Universal Soil Loss Equation (USLE), Northwest of Parana, Environmental Diagnostic.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Localização da área de estudo.	4
Figura 2	Principais Formações Vegetais da área de estudo.	5
Figura 3	Principais Formações Geológicas da bacia do córrego Pinhalzinho II.	7
Figura 4	Modelo Digital de Elevação (MDE) da bacia hidrográfica e de seu entorno.	8
Figura 5	Principais formas de relevo presentes na área de estudo.	9
Figura 6	Bloco diagrama demonstrando a distribuição dos principais tipos de solos existentes nas vertentes da região de Umuarama – PR.	10
Figura 7	Precipitação média anual do município de Umuarama – PR entre os anos de 1977 a 2007.	11
Figura 8	Imagem demonstrando as fases de criação do banco de dados.	19
Figura 9	Estrutura hierárquica das etapas realizadas para a construção do banco de dados no SPRING.	19
Figura 10	Localização dos pontos de sondagem e da toposequencia do solo na área de estudo.	21
Figura 11	Exibição do processo de Ponderação dos valores do fator K às classes de solos mapeadas com auxílio do Programador LEGAL do SPRING.	22
Figura 12	Cálculo do Fator LS com auxílio do Programador LEGAL do SIG.	24
Figura 13	Exibição da integração dos fatores da EUPS no editor de modelos do Programador LEGAL do SIG para o cálculo das perdas de solo anual.	26
Figura 14	Cálculo da EUPS considerando o período de máxima cobertura vegetal e valor de R para os seis primeiros meses do ano.	27
Figura 15	Cálculo da EUPS considerando o período de mínima cobertura vegetal e valor de R para o II semestre do ano.	27
Figura 16	Fluxograma com estrutura do banco de dados geográfico da área de estudo e síntese da programação em LEGAL utilizada para estimar perdas de solo.	28
Figura 17	Gráfico demonstrando a precipitação média mensal do município de Umuarama – PR entre os anos de 1977 e 2007.	29

Figura 18	Distribuição espacial dos solos da bacia do córrego Pinhalzinho II.	32
Figura 19	Frequência acumulada da distribuição granulométrica das amostras de solos.	33
Figura 20	Representação gráfica da toposequencia do solo.	34
Figura 21	Gráfico que classifica os materiais que apresentaram alta e baixa erodibilidade.	36
Figura 22	Declividade e Comprimento de Rampa da área de estudo.	38
Figura 23	Distribuição dos índices do fator LS na bacia do córrego Pinhalzinho II.	40
Figura 24	Uso e ocupação do solo na bacia do córrego Pinhalzinho II.	42
Figura 25	Potencial Natural à Erosão Laminar (PNE) da área de estudo estimada por meio das variáveis físicas da EUPS.	44
Figura 26	Estimativa anual de perdas de solo da bacia do córrego Pinhalzinho II.	46
Figura 27	Estimativa de perdas de solo para o período compreendido entre o inverno e a primavera da área de estudo.	48
Figura 28	Estimativa de perdas de solo para o período compreendido entre o verão e o outono da área de estudo.	50
Figura 29	Prancha com alguns dos locais classificados segundo a equação universal de perdas de solo.	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Precipitação média mensal, precipitação média anual e índice de erosividade obtidos a partir da análise de precipitação pluviométrica entre o período de 1977-2007.	30
Tabela 2	Erosividade e sua porcentagem de distribuição mensal e anual da área de estudo.	30
Tabela 3	Distribuição granulométrica dos materiais coletados nas sondagens.	35
Tabela 4	Índice de erodibilidade em t.h/Mj.mm atribuído para as classes de solos mapeadas na bacia hidrográfica.	35
Tabela 5	Área ocupada pelas classes de declividade na bacia do córrego Pinhalzinho II.	37

Tabela 6	Área ocupada pelas classes do índice topográfico na bacia do córrego Pinhalzinho II.	39
Tabela 7	Área ocupada pelas classes de uso na área de estudo e os respectivos índices do fator C.	41
Tabela 8	Valores do fator P da EUPS atribuídos as classes de uso do solo.	43
Tabela 9	Área ocupada pelas classes de Potencial Natural à Erosão Laminar.	45
Tabela 10	Percentil normal, acumulado e área ocupada por cada classe de estimativa anual de perdas de solo na bacia do córrego Pinhalzinho II.	45
Tabela 11	Área ocupada por cada classe de estimativa sazonal de perdas de solo na bacia do córrego Pinhalzinho II.	47
Tabela 12	Área ocupada por cada classe de estimativa sazonal de perdas de solo na bacia do córrego Pinhalzinho II.	49

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

CBERS	<i>China Brazil Resource Satellite</i>
CCD	<i>Charge-Coupled Device</i>
ECPU	Estação Climatológica Principal de Umuarama
EUPS	Equação Universal de Perdas de Solos
HRC	<i>High Resolution Camera</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
LEGAL	Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico
PNE	Potencial Natural à Erosão
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SPRING	Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas
SRTM	<i>Shuttle Radar Topography Mission</i>
TR	Trincheira
ULSE	<i>Universal Soil Loss Equation</i>

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Objetivos	3
1.2 Área de Estudo	4
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	12
2.1 Erosão dos solos	12
2.2 O cálculo de perdas de solo por erosão	13
2.2.1 Fator erosividade da chuva (R)	13
2.2.2 Fator erodibilidade dos solos (K)	14
2.2.3 Fator Topográfico - Declividade (L) e comprimento de Rampa (S)	15
2.2.4 Fator uso e manejo do solo (C)	16
2.2.5 Fator prática conservacionista (P)	16
2.3 O uso de técnicas de Geoprocessamento para aplicação da EUPS	16
3. MÉTODOS E TÉCNICAS	18
3.1 Revisão Bibliográfica	18
3.2 Construção do banco de dados geográfico no SPRING	18
3.3 Determinação das variáveis que compõem a EUPS	20
3.3.1 Fator R – Erosividade da chuva	20
3.3.2 Fator K - erodibilidade dos solos	20
3.3.3 Fatores L e S - Comprimento de rampa e Declividade	23
3.3.4 Fator (C) - Uso e manejo do solo	24
3.3.5 Fator (P) - Prática conservacionista	24
3.4 Mapa de Potencial Natural à Erosão laminar (PNE)	25
3.5 Mapa de Perdas de Solo Anual	25
3.6 Mapa de Perdas de Solo Sazonal	25
4. RESULTADOS OBTIDOS	29
4.1 Fatores que compõem a EUPS	29
4.1.1 Fator R – Erosividade da chuva	29
4.1.2 Fator erodibilidade dos solos (K)	30
4.1.3 Índice de erodibilidade (K) dos solos obtidos em laboratório	36
4.1.4 Fatores L e S - Declividade e Comprimento de rampa	36
4.1.4.1 Fator Comprimento de rampa (L)	37
4.1.4.2 Fator Declividade (S)	37
4.1.4.3 Integração entre os fatores L e S	39
4.1.5 Fator Uso e Manejo do Solo (C)	41
4.1.6 Fator Prática Conservacionista (P)	43
4.2 Potencial Natural à Erosão Laminar (PNE)	43
4.3 Estimativa de perdas de solo anual	45
4.4 Estimativa de perdas de solo sazonal	47

5. DISCUSSÕES DOS RESULTADOS	52
6. CONCLUSÃO	57
7. BIBLIOGRAFIA	59

1. INTRODUÇÃO

A degradação dos solos representa um dos principais problemas socioambientais em áreas usadas para fins agropecuários no Brasil. Os levantamentos e estimativas atuais apontam que a deteriorização dos solos brasileiros ocorre principalmente na forma de processos erosivos acelerados sendo provocados pelo escoamento difuso ou concentrados da água das chuvas na superfície do terreno. Neste sentido, diversas formas de erosão podem ocorrer como a laminar, em sulcos, ravinas e voçorocas.

O processo desequilibrado de transporte e deposição de sedimentos que ocorre na vertente proporciona diversas alterações no ambiente. Dentre essas mudanças, pode-se citar a perda da fertilidade do solo, a desestabilização de vertentes, a alteração quantitativa e qualitativa da atividade biológica no solo, a mudança na composição físico-química da água dos rios, a alteração no regime de competência fluvial, nos processos relacionados ao canal (erosão ou deposição) além do impacto nos ecossistemas fluviais (CARSON e KIRKBY, 1975; BRUSSAARD, 1994; LAL, 2000). Essas mudanças proporcionam conseqüências diretas para os seres humanos, uma vez que alteram o potencial da produção agrícola e a qualidade da água para o consumo.

No noroeste do estado do Paraná, estes problemas também são evidenciados. Mack (1981) foi um dos primeiros a chamar atenção para a problemática da erosão acelerada dos solos nessa região. Diversos estudos com diferentes enfoques e escala de análise foram realizados nos últimos anos abordando essa temática. Dentre outros aspectos, esses trabalhos trataram do comportamento e das características morfogênicas da cobertura pedológica e/ou do potencial geológico-geotécnico de alguns municípios (PERCIRA et al., 1992; GASPARETTO et al., 1993, 1994, 1995; CUNHA, 1996; GASPARETTO 1999; NAKASHIMA 1999; MARTINS, 2000; SOUZA 2001; GASPARETTO et al., 2001; SOUZA et al. 2008). No geral, esses trabalhos contribuíram de forma significativa para o entendimento do meio físico da região, tanto em áreas urbanas quanto em áreas rurais. Mesmo assim, tendo em vista a grande extensão da região noroeste e sua importância socioeconômica para o estado do Paraná, pode-se dizer que o conhecimento da estrutura geoecológica e da dinâmica geomorfológica de alguns locais ainda é bastante limitado.

Diante desta contextualização, surgiu o interesse em desenvolver um estudo sobre as perdas de solo por erosão laminar numa bacia hidrográfica da região noroeste do Paraná, tendo como base metodológica um modelo matemático empírico.

Durante a pesquisa, desenvolveram-se atividades em campo, laboratório e gabinete para o levantamento dos dados que compõem as variáveis do referido modelo. Toda a integração dos dados obtidos, a aplicação do modelo matemático e algumas simulações ambientais foram realizadas com auxílio de técnicas de Geoprocessamento e suporte do SIG (Sistema de Informação Geográfica) SPRING 4.3.3 (Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas), idealizado pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais).

Os resultados obtidos proporcionam um conhecimento considerável sobre a dinâmica geomorfológica da área de estudo, sobretudo, no que diz respeito aos atributos e processos determinantes que atuam nas perdas de solo por erosão laminar.

1.1 Objetivos

O objetivo geral desta pesquisa é realizar a estimativa de perdas de solo por erosão laminar na bacia do córrego Pinhalzinho II com base na EUPS e em estudos conduzidos por simulações computacionais. Para atingir tal meta, foram elencados os seguintes objetivos específicos:

1. Realizar o levantamento e tratamento dos dados das variáveis que serão utilizadas no modelo matemático - EUPS;
2. Construir um banco de dados no SIG SPRING que contemple a estruturação espacial das informações que compõem as variáveis da EUPS;
3. Simular em ambiente computacional as perdas de solo por erosão laminar anual e em períodos sazonais;

1.2 Área de estudo

A área de estudo escolhida para essa pesquisa compreende a bacia do córrego Pinhalzinho II, localizada no noroeste do estado do Paraná entre os municípios de Umuarama e Cruzeiro do Oeste (Figura 1). A bacia hidrográfica abrange uma área de aproximadamente 182 Km² à margem direita rio Goioerê entre as coordenadas 23° 44' a 23° 55'S e 53° 09' a 53° 20'W.

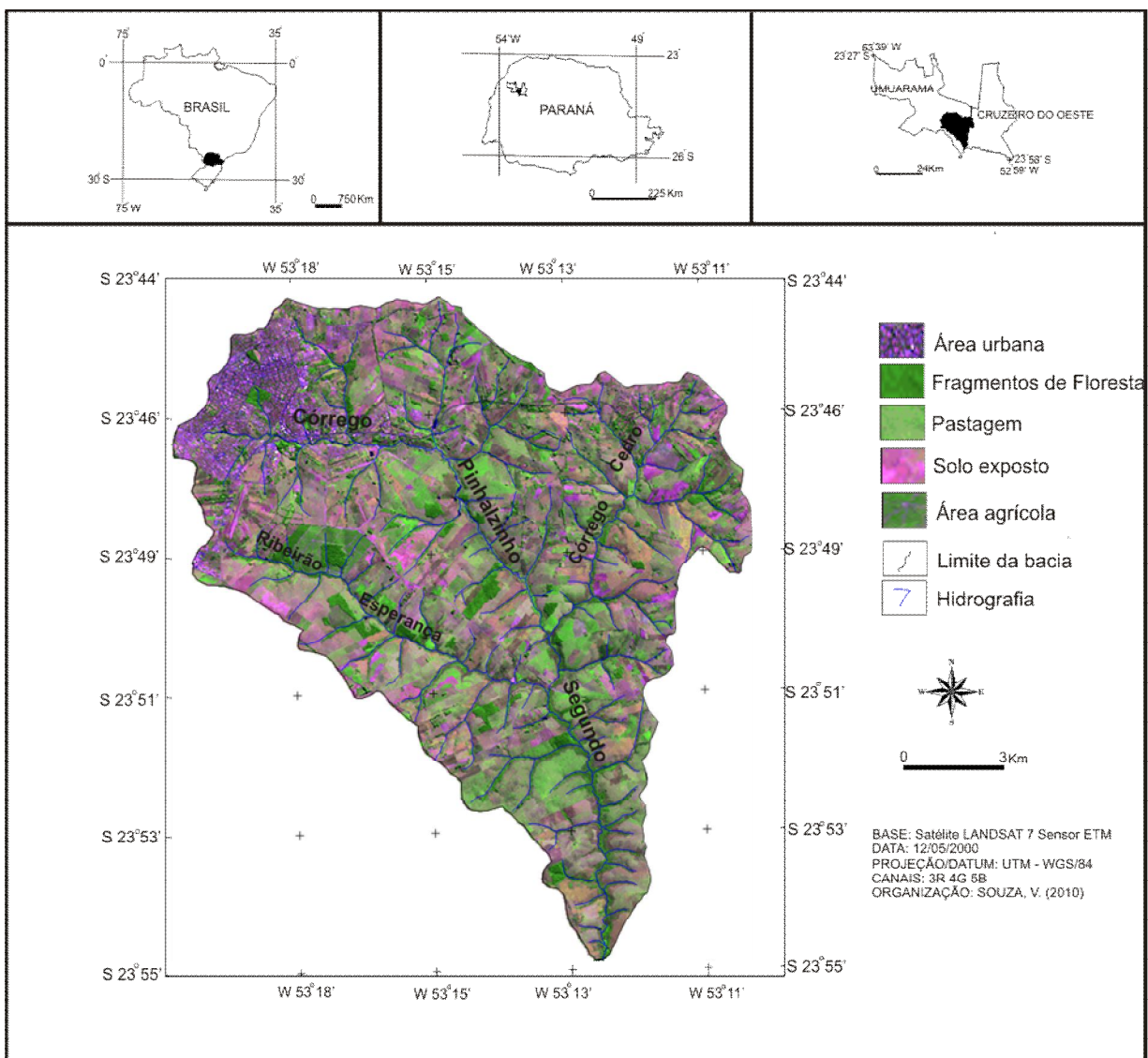


Figura 1 – Localização da área de estudo.

A bacia do córrego Pinhalzinho II apresenta canais drenagem de padrão paralelo, subparalelo e retangular condicionados, sobretudo, pelos fatores estruturais geológicos. A hierarquia de canais é de quinta ordem, segundo a proposta de classificação de Horton (1945). As principais nascentes do córrego Pinhalzinho II estão localizadas no município de Umuarama - PR.

A Formação Vegetal característica do noroeste do Paraná, e conseqüentemente da área de estudo, é a Floresta Estacional Semidecidual Submontana (IBGE, 1992). Os principais gêneros que caracterizam essa formação são: *Himenaea* (jatobá), *Copaifera* (óleo cru), *Peltophorum* (canafístula) e *Aspidosperma* (peroba rosa).

Devido à ocupação antrópica da área de estudo, grande parte da floresta nativa foi extraída e cedeu lugar para as atividades agropecuárias e área urbana. Atualmente, pequenos fragmentos da Floresta Estacional podem ser encontrados em alguns locais da bacia (Figura 2).

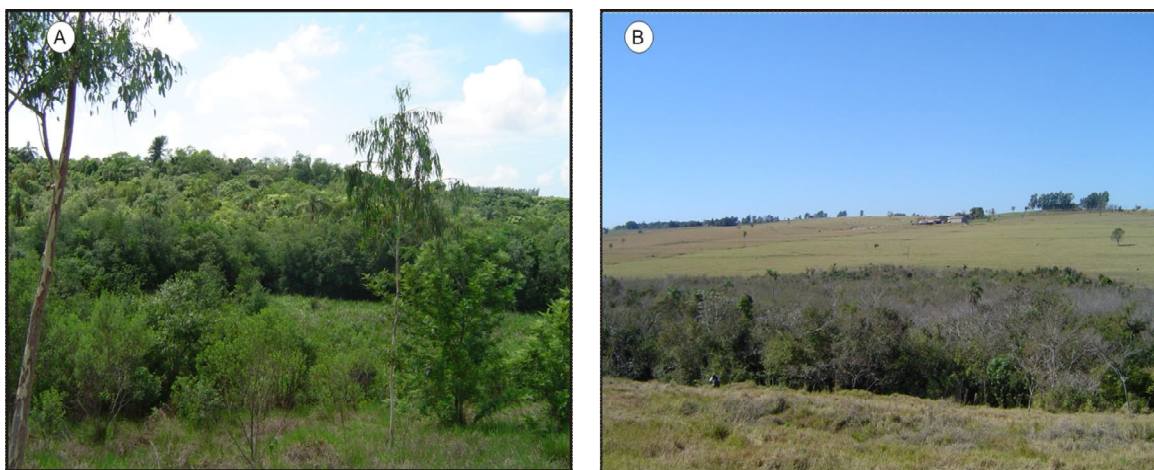


Figura 2 – Principais Formações Vegetais da área de estudo. (A) Floresta Estacional Semidecidual Submontana ao fundo da imagem. (B) Fragmentos Secundários da Floresta Estacional Semidecidual Submontana próximos ao córrego Pinhalzinho II.

A colonização efetiva do noroeste do estado do Paraná ocorreu a partir de meados do século passado idealizada pela Companhia Melhoramentos Norte Paraná (CMNP). Nessa região do estado predominou a ocupação planejada, onde as empresas colonizadoras contemplaram um modelo de organização do espaço que valorizou a pequena propriedade (SERRA, 2009).

As principais cidades fundadas pela Companhia no noroeste do Paraná nesse período foram: Cianorte, Umuarama e Paranavaí. O modelo de exploração e ocupação

do território nessa região consistia basicamente na substituição da Floresta Estacional por lavouras de café e agricultura de subsistência (WACHOWICZ, 2001).

No geral, até meados da década de 1970 o noroeste do Paraná manteve sua base econômica centrada na cafeicultura. A partir de então, devido à ocorrência de diversos fatores o café foi sendo parcial e sucessivamente substituído, sobretudo, por pastagens destinadas à pecuária bovina. Esse tipo de atividade foi a que mais se adaptou as condições geoeconômicas da região na época.

Atualmente, o noroeste do Paraná apresenta um setor econômico bastante diversificado, como pecuária intensiva e extensiva, indústrias de pequeno porte, plantio de culturas agrícolas temporárias (soja e milho), anuais (cana de açúcar e café) além de empresas de vários segmentos. A área de estudo é ocupada por culturas agrícolas temporárias e anuais, pastagem, agricultura de subsistência, área urbana de Umuarama com pequenas indústrias alimentícias além de áreas de preservação permanente (APP).

De acordo com Soares (1980) o substrato geológico da bacia do córrego Pinhalzinho II é constituído pela Formação Caiuá (K) e por depósitos de cascalho, areias, silte e argila de origem fluvial.

A Formação Caiuá (K), datada do período Cretácio, abrange a maior parte da bacia hidrográfica enquanto que os depósitos fluviais, com idade Quaternária, localizam-se restritamente em alguns setores às margens do ribeirão (SOARES 1980).

Os arenitos da Formação Caiuá encontram-se assentados de forma discordante sobre a seqüência de rochas vulcânica da Formação Serra Geral (J/K) na bacia sedimentar do Paraná (BIGARELA e MAZUCHOWSKI, 1985).

A Formação Caiuá é formada basicamente por arenitos com cores que variam do vermelho-arroxeadado ao vermelho escuro, porém quando alterados ou saturados em água as rochas apresentam tons amarelados (GASPARETTO E SOUZA, 2003).

Fernandes (1992) descreve que os arenitos dessa Formação apresentam estrutura cruzada acanalada que evidenciam exposições fluviais em algumas áreas e estrutura cruzada de grande porte com característica eólica em outras localidades. Em relação à mineralogia, os arenitos são constituídos basicamente por quartzo, feldspato potássico e óxidos de ferro.

Embora venha sendo estudada por muitos pesquisadores, a Formação Caiuá necessita de mais informações, sobretudo, referente à sua gênese, idade e distribuição espacial.

Na Figura 3 pode-se observar os depósitos inconsolidados que se localizam próximos das drenagens da bacia hidrográfica (A) e afloramento da Formação Caiuá (B).

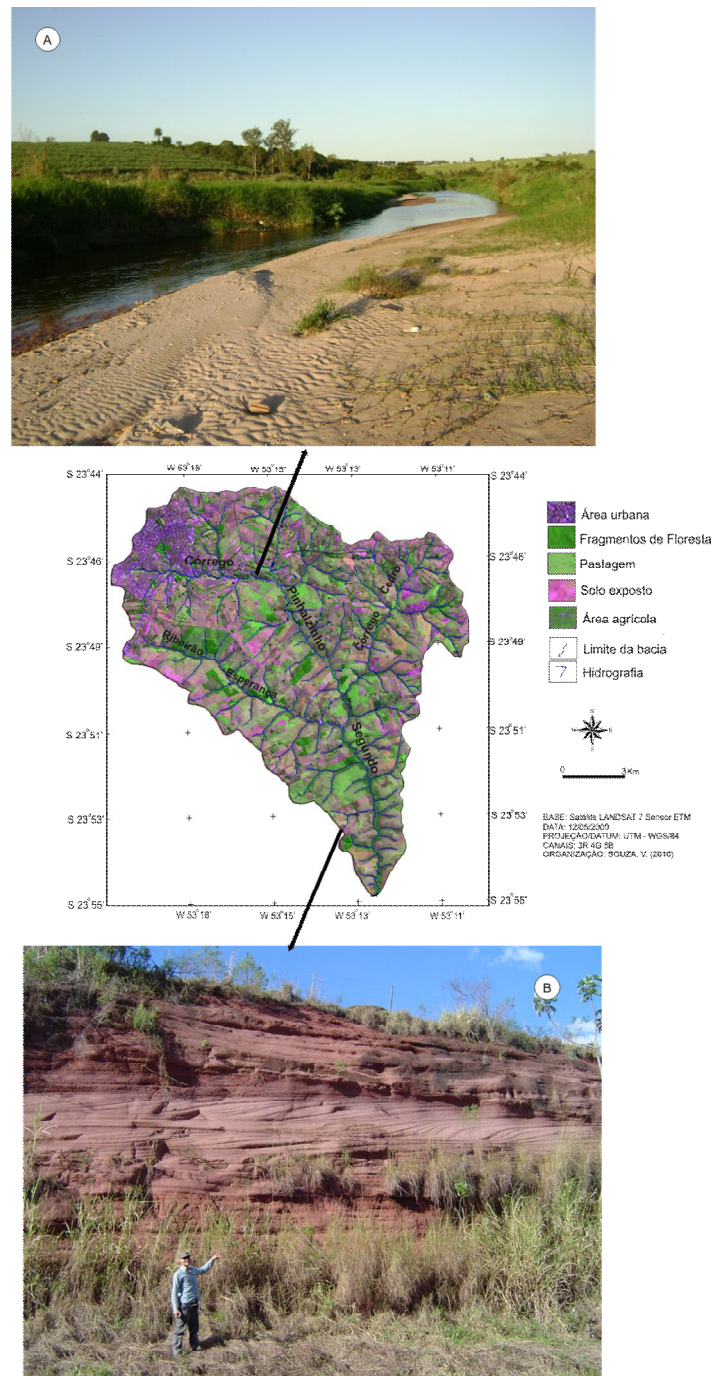


Figura 3 – Principais Formações Geológicas da bacia do córrego Pinhalzinho II. (A) Depósito Fluvial na margem direita do córrego. (B) Afloramento dos arenitos da Formação Caiuá.

Maack (1981) compartimentou o relevo do estado do Paraná em cinco unidades orográficas: Zona litorânea, Serra do mar, Primeiro Planalto, Segundo Planalto e Terceiro Planalto. Os três planaltos fazem parte da bacia sedimentar Fanerozóica do Paraná. A área de estudo está inserida no Terceiro Planalto, compartimento bloco Médio constituído pelo Planalto de Campo Mourão, ou na classificação de Santos et al. (2006), na subunidade denominada Planalto de Umuarama.

O Planalto de Umuarama abrange uma área de aproximadamente 15.300 Km². Predominam nesse compartimento colinas amplas e médias com vertentes do tipo convexas com topos planos e longos. No geral, os vales possuem formas em **V** e as classes de declividades variam de 0-6% e 6-12% (SANTOS et al., 2006). Em relação à altimetria, o Planalto de Umuarama apresenta cotas que variam de 240m a 660m em relação ao nível médio do mar. Na área de estudo a altitude varia de 320m a 480m com amplitude de 160m (Figura 4).

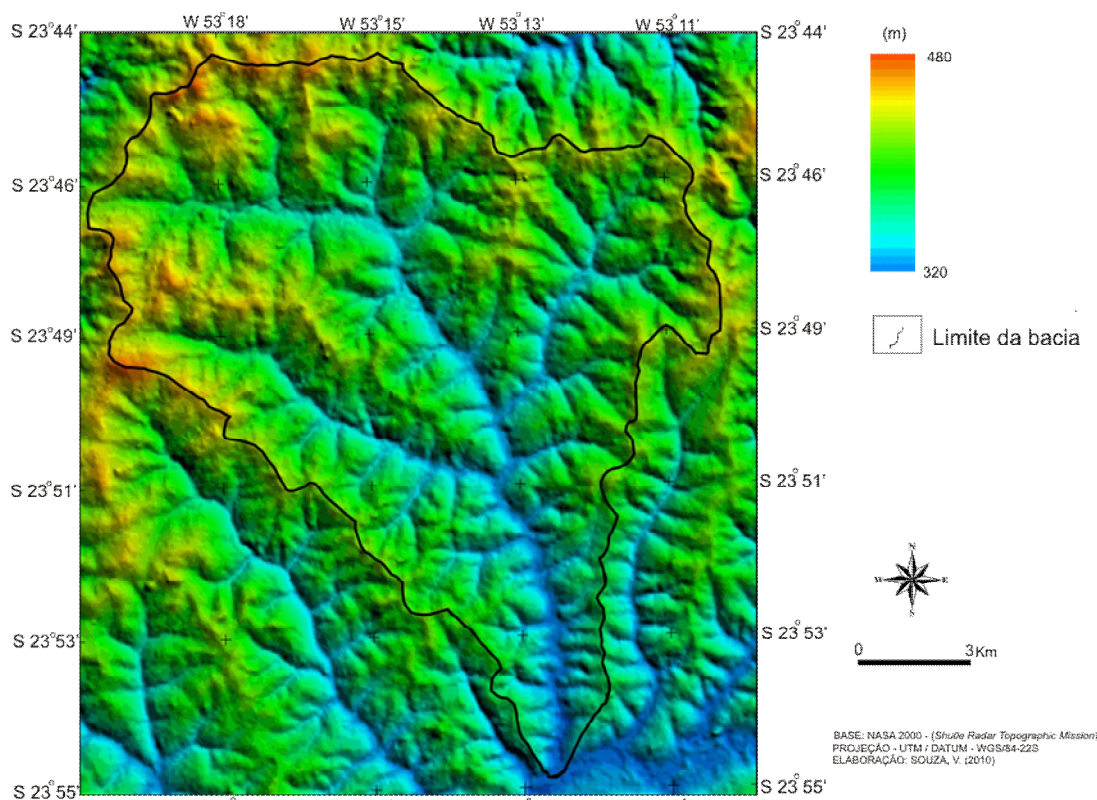


Figura 4 – Modelo Digital de Elevação (MDE) da bacia hidrográfica e de seu entorno.

Predominam na bacia hidrográfica as vertentes do tipo convexa e retilínea (Figura 5). O córrego Pinhalzinho II apresenta um vale em **V** bem aberto com forte assoreamento no talvegue e sérios problemas de solapamento em alguns setores.

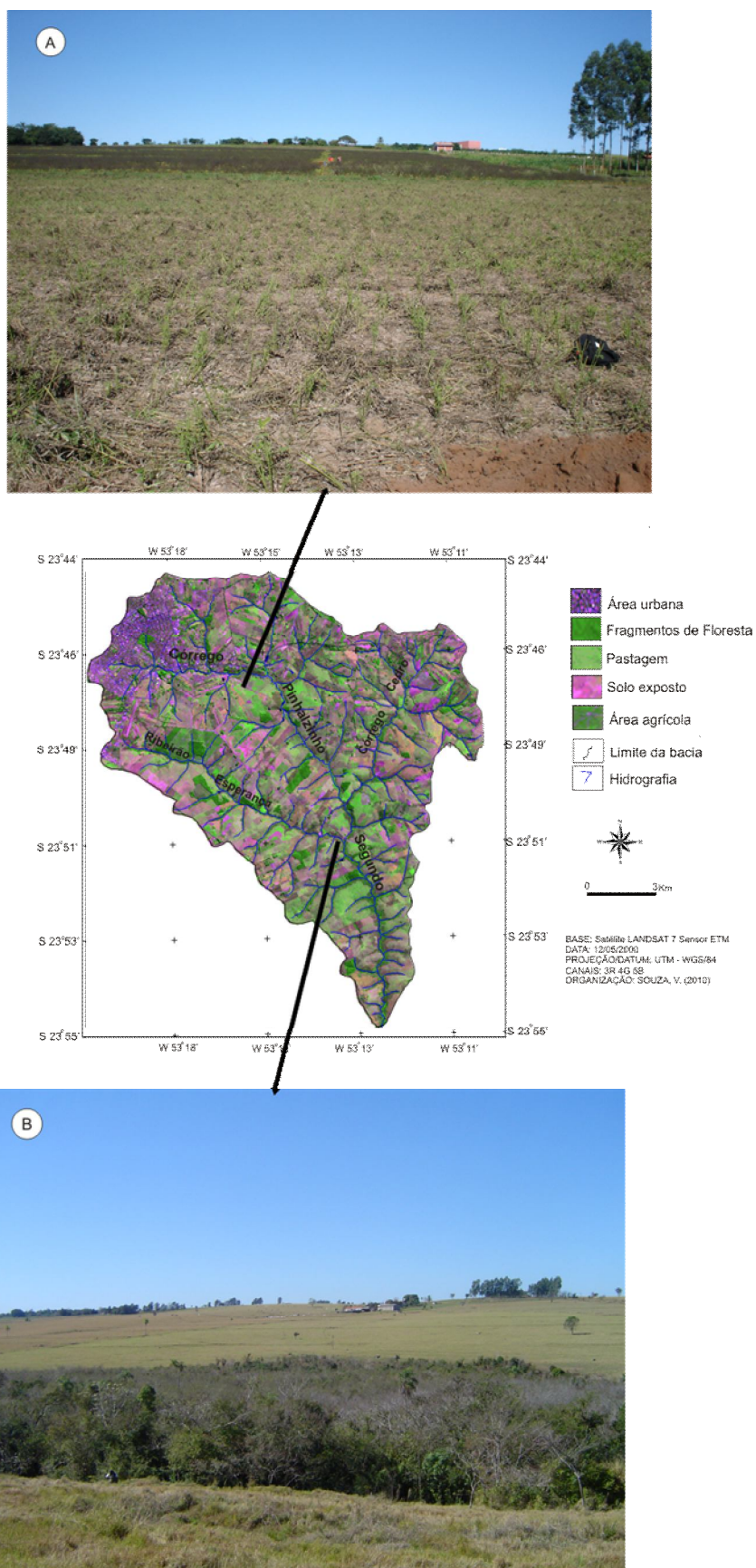


Figura 5 – Principais formas de relevo presentes na área de estudo. (A) Vertente do tipo retilínea. (B) Vertente do tipo convexa.

As peculiaridades litológicas da área de estudo aliadas às características do relevo, tempo, atividades biológicas e condições climáticas permitiram o desenvolvimento de diferentes tipos de solos.

Nakashima (1999) definiu para a região de Umuarama o predomínio do seguinte sistema pedológico: na alta vertente e posições de topo o Latossolo Vermelho com textura média, na média vertente aparece o Argissolo Vermelho Amarelo com textura média e na baixa vertente e /ou próximos às principais drenagens aparecem o Gleissolo pouco húmico ou Neossolo Quartzarênico (Figura 6).

As principais características desses solos no entorno de Umuarama são:

- **Latossolo Vermelho** – corresponde aos solos com horizonte Bw, com seqüência de horizontes A, Bw e C. Apresentam profundidade superior a 2,5m e aparecem associados aos topos dos espigões e as altas vertentes entre as cotas altimétricas de 400 a 450m.
- **Argissolo Vermelho Amarelo** – São solos com horizontes B textural e com seqüência de horizontes A, Bt, E e C. Apresenta espessura que varia entre 1,5 e 2,0m de profundidade. Formam-se em posição de média e baixa vertente.
- **Gleissolo** – Apresentam espessura que varia de 1 a 1,5m de profundidade. Suas características de hidromorfismo ocorrem devido a sua proximidade do lençol freático. Ocorrem nas pequenas rupturas de declive próximas aos cursos d'água.
- **Neossolo Quartzarênico** – Apresentam espessura que varia de 1 a 2m de profundidade. Estão associados aos fundos dos vales amplos e abertos. Apresentam textura arenosa e seqüência de horizontes A e C.

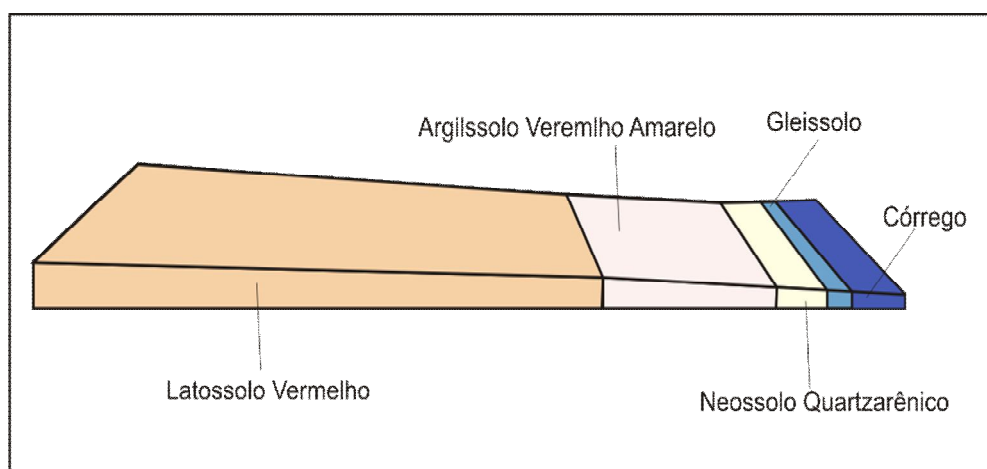


Figura 6 – Bloco diagrama demonstrando a distribuição dos principais tipos de solos existentes nas vertentes da região de Umuarama – PR.

O clima do noroeste do Paraná é classificado como subtropical úmido mesotérmico (Cfa) com chuvas concentradas no verão sem estação seca definida. A precipitação pluvial média anual varia entre 1.250 e 1.500 mm (Figura 7). No verão a temperatura é superior a 22°C enquanto que no inverno a temperatura média é inferior a 18° C (KÖPPEN, 1978).

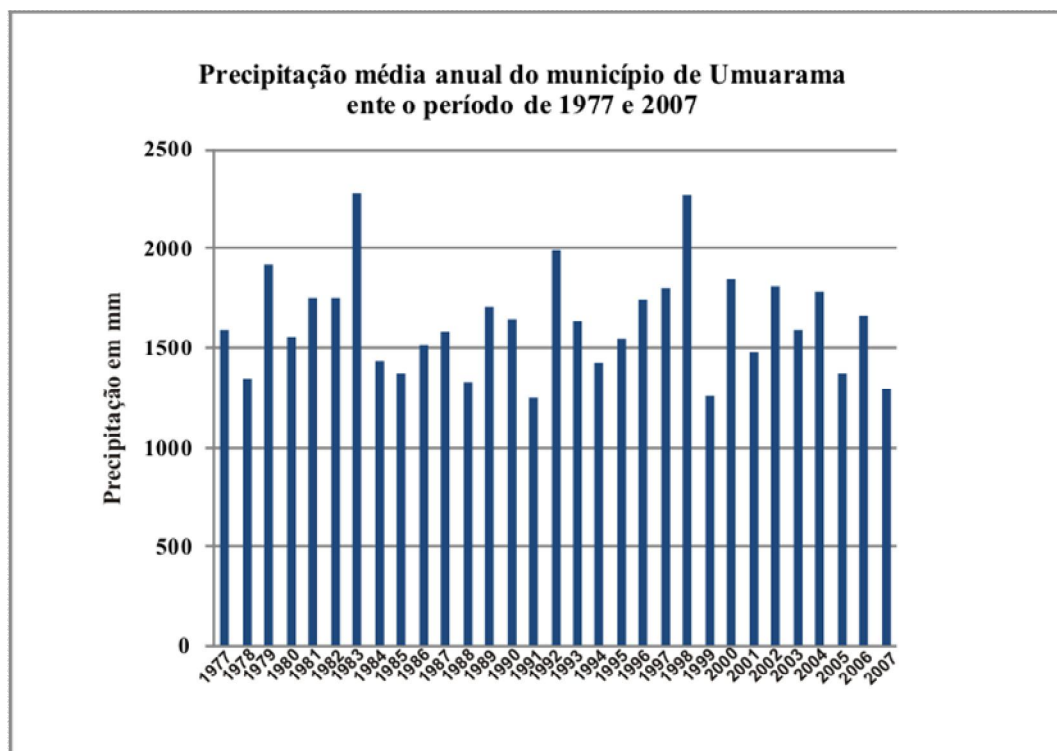


Figura 7 – Precipitação média anual do município de Umuarama – PR entre os anos de 1977 a 2007.

O clima dessa região do Brasil é comandado basicamente por quatro massas de ar, a saber: massa Equatorial continental, massa Tropical atlântica, massa Tropical continental e massa Polar atlântica. Nos meses mais quentes predominam nessa região a atuação dos sistemas de baixa pressão (mTc e mEc) enquanto que nos demais meses do ano há uma alternância entre todos os sistemas (BORSATO, 2009).

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Erosão dos solos

A erosão pode ser entendida como o processo de desagregação e remoção das partículas dos solos pela ação combinada da gravidade com a água, vento, gelo e/ou organismos (IPT, 1985).

Nesse contexto, Zachar (1982) classifica a erosão em geológica ou natural e erosão acelerada. De acordo com o autor, a erosão acelerada pode ainda ser classificada em natural e antrópica. A erosão acelerada antrópica se desenvolve pela ação combinada de águas superficiais e subsuperficiais (erosão hídrica), condicionada por fatores locais como desmatamentos e ocupação desordenada do território (RODRIGUES, 1984). Esse tipo de erosão é a que deve ser identificada e contida.

Carson e Kirkby (1975) consideram dois tipos de processos de erosão causados pela água da chuva: a erosão por fluxo não concentrado (laminar) e a erosão por fluxo concentrado (sulcos).

A erosão laminar pode ser conceituada como a remoção de camadas delgadas do solo sobre uma área (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1999). Mafra (1999) considera esse fenômeno como uma das manifestações mais importantes e menos perceptíveis do processo erosivo.

De um modo geral, os principais fatores que influenciam as perdas de solo por erosão laminar são: chuva, cobertura vegetal ou uso da terra, topografia e tipos de solos (BISSIONAIS et al.; 2001, MORGAN, 1995).

A identificação de áreas propícias às perdas de solo por erosão laminar depende do entendimento sistêmico e dinâmico dessas variáveis.

Os processos erosivos de origem hídrica podem ser estudados com a utilização de diferentes abordagens. Uma das formas mais utilizadas para o estudo desse fenômeno é por meio de métodos indiretos e de modelos matemáticos.

Em termos gerais, os modelos matemáticos expressam uma tentativa de representação da realidade por meio da reprodução de fenômenos que ocorrem no mundo real. No caso da erosão dos solos, os modelos se apóiam nas leis físicas que condicionam o processo.

Dentre os modelos matemáticos utilizados para prever perdas de solo por erosão laminar, a Equação Universal de Perda de Solos (EUPS) ou *Universal Soil Loss*

Equation (ULSE), apresenta grande vantagem em relação aos outros métodos, devido principalmente à sua simplicidade de aplicação (CABECAUER e HOFIERKA, 2008).

A EUPS foi proposta por Wischmeier e Smith (1958) após anos de pesquisas desenvolvidas em alguns estados norte-americanos. O modelo matemático proposto pelos pesquisadores teve como base o monitoramento, coleta e análise de dados conseguidos por meio de experimentos construídos em talhões e pequenas bacias hidrográficas. No final da década de 1970, os referidos pesquisadores americanos realizaram uma revisão da EUPS, incorporaram novos dados ao modelo matemático e o atualizaram (WICSHIMEIER e SMITTH, 1978).

No Brasil, o trabalho publicado por Bertoni et al. (1975) junto ao IAC (Instituto Agrônomo de Campinas) é considerado pioneiro na aplicação da EUPS (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1999).

2.2 O cálculo de perdas de solo por erosão

A EUPS exprime a relação dos principais fatores que influenciam a erosão pela chuva. A Equação (1) apresenta a fórmula desenvolvida para o cálculo da EUPS:

$$A = RKLSCP \quad (1)$$

Sendo:

A = Perda de solo calculada em unidade de área, t/ha.ano

R = Fator erosividade da chuva, MJ.mm/ha.h.

K = Fator erodibilidade do solo, t/ha/(MJ.mm/ha.h)

L = Fator comprimento de rampa (adimensional)

S = Fator grau de declive do terreno (adimensional)

C = Fator uso e manejo do solo (adimensional)

P = Fator prática conservacionista (adimensional)

2.2.1 Fator erosividade da chuva (R)

O fator R da EUPS é uma definição do potencial erosivo de eventos de chuva (KIRKBY e MORGAN, 1980). A melhor forma de expressar a erosividade é através de um índice baseado na energia cinética da chuva (MORGAN, 1995).

No Brasil, devido à carência de aparelhos que registrem valores relacionados a essa energia, alguns autores propuseram calcular o índice de erosividade tendo como base os valores de precipitação pluviométrica.

Nesse sentido, Lombardi Neto e Moldenhauer *apud* Bertoni e Lombardi Neto (1999), propuseram uma equação baseada em valores médios de precipitação anual e mensal (Equação 2). Os autores recomendam uma análise de dados pluviométricos com série histórica mínima de trinta anos para a determinação dos valores médios mensais e anuais.

$$EI_{30} = 67.355 (r^2/P)^{0,85} \quad (2)$$

Sendo:

EI_{30} = média mensal do índice de erosão expressa em Mj.mm/ha.h

r = precipitação média mensal em milímetros (mm);

P = precipitação média anual em milímetros (mm);

Para a determinação do valor anual do índice R , basta somar os resultados dos valores mensais conforme indicado na Equação (3):

$$R = \sum_{j=1}^{12} EI_{30j} \quad (3)$$

2.2.2 Fator erodibilidade dos solos (K)

A erodibilidade é a descrição quantitativa do potencial erosivo de cada solo e representa uma das razões para cada material ser erodido em uma vertente (GREENLAND e LAL, 1977; KIRKBY e MORGAN, 1980; SUMMERFIELD, 1991). Para Morgan (1995) o fator K da EUPS varia com a textura do solo, a estabilidade dos agregados, a capacidade de infiltração, a composição química e orgânica do material além de fatores relacionados à resistência dos constituintes ao destacamento.

Bryan (2000) enfatiza que de um modo geral, os estudos realizados sobre perdas de solos raramente leva em consideração as propriedades que afetam a erodibilidade. Essas propriedades são importantes, pois se referem às particularidades pedológicas de cada material analisado e podem ser decisivas para determinar as áreas com maior fragilidade aos processos erosivos. A determinação do fator K da EUPS pode ser feita das seguintes formas:

- Por meio de ensaios laboratoriais realizados após a coleta de materiais no campo;
- A partir de experimentos realizados diretamente no campo;

- Através de equações matemáticas envolvendo propriedades físicas e químicas do solo.

Bertoni e Lombardi Neto (1999), após anos de estudo, definiram valores de erodibilidade para as principais classes de solos existentes no Brasil. Esses dados são provenientes de anos de medidas experimentais realizadas em monitoramento de campo em diversos grupos de solos que ocorrem no estado de São Paulo. Prado (2005) aplicou a EUPS em uma bacia hidrográfica do noroeste do Paraná e determinou os valores do fator K da EUPS por meio de um modelo matemático que se baseia em dados físicos e químicos do solo. As classes de solos existentes na área estudada por Prado (2005) são semelhantes às encontradas na bacia do córrego Pinhalzinho II.

2.2.3 –Fator Topográfico - Declividade (L) e comprimento de Rampa (S)

O fator topográfico (LS) expressa a expectativa de perda de solo por unidade de área em função dos valores de comprimento da rampa e de declividade do terreno. No geral, esses fatores irão influenciar na quantidade e na velocidade do fluxo d'água pelo escoamento superficial.

As duas variáveis topográficas são obtidas por meio de diferentes métodos. No entanto, para o cálculo da EUPS, considera-se a integração entre os dois fatores e por se tratar de uma relação entre perdas de solo na condição real e em determinada condição padrão (declive de 9% e comprimento de 25m), este fator é adimensional (VALERIANO, 1999). Além disso, no cálculo do fator topográfico (LS), o comprimento de rampa e o grau de declive são considerados uniformes. Assim, as características morfológicas das vertentes não são consideradas.

Bertoni (1959), após anos de pesquisas desenvolvidas experimentalmente em parcelas com diferentes comprimentos de rampa e graus de declive, desenvolveu uma equação que permite calcular as perdas médias de solo em função do fator topográfico.

Na Equação (4) pode-se observar a fórmula desenvolvida pelo autor.

$$LS=0.00984 C^{0,63} D^{1,18} \quad (4)$$

Sendo:

LS = Fator topográfico

C = Comprimento da rampa em metros

D = grau de declive em porcentagem

2.2.4 Fator uso e manejo do solo (C)

O fator uso e manejo do solo é a relação esperada entre as perdas de solo em um terreno cultivado e em um terreno desprotegido. Nesse sentido, o fator C da EUPS corresponde a um índice que determina o quanto cada espécie de cobertura vegetal oferece de proteção ao solo ao longo de diferentes épocas do ano. Essa proteção está relacionada com as características biofísicas de cada cultura e com manejo adotado em cada propriedade.

2.2.5 Fator prática conservacionista (P)

Tanto o fator C quanto o fator P da EUPS representam as influências humanas sobre o uso da terra e influenciam diretamente no processo de erosão (MORGAN, 1995). O fator Prática Conservacionista determina a relação entre as perdas de solo esperadas em um terreno cultivado com adoção de algumas práticas de conservação e aquelas em que o cultivo está sendo realizado sem métodos conservacionistas. Com isso, o fator P da EUPS é representado por um índice relacionado às diversas formas de práticas de conservação adotadas pelas propriedades agrícolas.

2.3 O uso de técnicas de Geoprocessamento para aplicação da EUPS

O Geoprocessamento é uma disciplina do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento de informações Geográficas. Os Sistemas de Informações Geográficas (SIG's) representam os instrumentos computacionais do Geoprocessamento e permitem a realização de análises complexas ao integrar dados de diversas fontes e ao criar banco de dados georreferenciados (ASSAD, 1999). Uma das principais ferramentas dos SIG's é a modelagem da informação espacial (MEIRELES et al., 2007).

Para Xavier da Silva (2007) o apoio tecnológico e metodológico do Geoprocessamento é o fator que o qualifica como poderoso agente na criação de pontes entre as concepções teóricas, como a visão sistêmica, e a prática da pesquisa ambiental.

No geral, o uso dessas ferramentas é importante uma vez que elas proporcionam praticidade na integração de dados espaciais e auxiliam na percepção e predição de fenômenos ambientais.

Em termos práticos, alguns modelos ambientais que antes possuíam apenas uma concepção teórica e/ou um caráter linear puderam ser aplicados e aprimorados a partir do uso do uso dessas Geotecnologias.

A estimativa de perdas de solos por erosão laminar com auxílio de técnicas de Geoprocessamento se baseia em operações lógicas e analíticas entre planos de informação (PI) básicos, ponto a ponto do espaço geográfico considerado (VALERIANO, 1999).

No SPRING, *software* adotado para essa pesquisa, a integração entre os dados é realizada por meio do programador LEGAL (Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico). A linguagem LEGAL é baseada na integração entre os diversos tipos de modelo de dados SPRING. Os operadores atuam sobre as representações de dados dos modelos, que podem ser do tipo numérico, imagem, temático, cadastral e objeto (CAMARA, et. al., 1996).

No caso do cálculo das perdas de solos, o modelo de dados utilizado é do tipo numérico e o operador utilizado dentro da linguagem LEGAL é do tipo pontual, especificamente Operador Matemático.

Em termos gerais, as expressões do tipo numérico envolvem valores reais sentenciados dentro de um polígono mapeado. Este tipo de pesquisa normalmente é desenvolvido sobre o espaço de uma bacia hidrográfica.

Diversos trabalhos que utilizaram técnicas de Geoprocessamento e SIG para aplicação da EUPS ou de parte dela podem ser encontrados na literatura, a saber: Valeriano (1999), Bissonais et al. (2001), Bueno e Stein (2004), Pedro e Lorandi (2004), Prado (2005), Tomazoni e Guimarães (2005), Moraes (2007), Ribeiro e Alves (2007), Cabecauer e Hofierka (2008).

3. MÉTODOS E TÉCNICAS

Para a realização dessa pesquisa foram realizadas as seguintes atividades:

3.1 Revisão Bibliográfica

Foi realizada uma revisão bibliográfica referente aos temas que subsidiam a pesquisa, a saber:

- Erosão de solos;
- EUPS (Equação Universal de Perdas de Solo);
- Uso de técnicas de Geoprocessamento e SIG (Sistema de Informação Geográfica) para o estudo de perdas de solos por erosão.

3.2 Construção do banco de dados geográfico no SPRING

Nesta fase, foram realizadas as seguintes etapas:

- Criação do banco de dados e definição de seu sistema de gerenciamento no SIG SPRING 4.3.3;
- Criação do Projeto em ambiente SIG com as informações geodésicas da área de estudo e definição da escala de trabalho, no caso, 1:50.000;
- Modelagem dos dados. Nesta etapa realizou-se a escolha e definição dos modelos de dados e das categorias utilizados no projeto. No SPRING, o processo de modelagem do banco de dados consiste em desenvolver um conjunto de especialização definida pelo Modelo de Dados, que funciona como um aglomerado de ferramentas conceituais cujo objetivo é estruturar as informações no sistema computacional. Os modelos de dados disponíveis no SPRING são: Imagem, Numérico, Temático, Cadastral, Objeto, Rede e Não Espacial.
- Entrada das informações;
- Processamento dos dados.

Na Figura 8 é apresentada a tela com as três primeiras fases descritas anteriormente e a Figura 9 exibe um fluxograma com a estrutura do banco de dados geográfico e os modelos de dados utilizados no projeto da área de estudo.

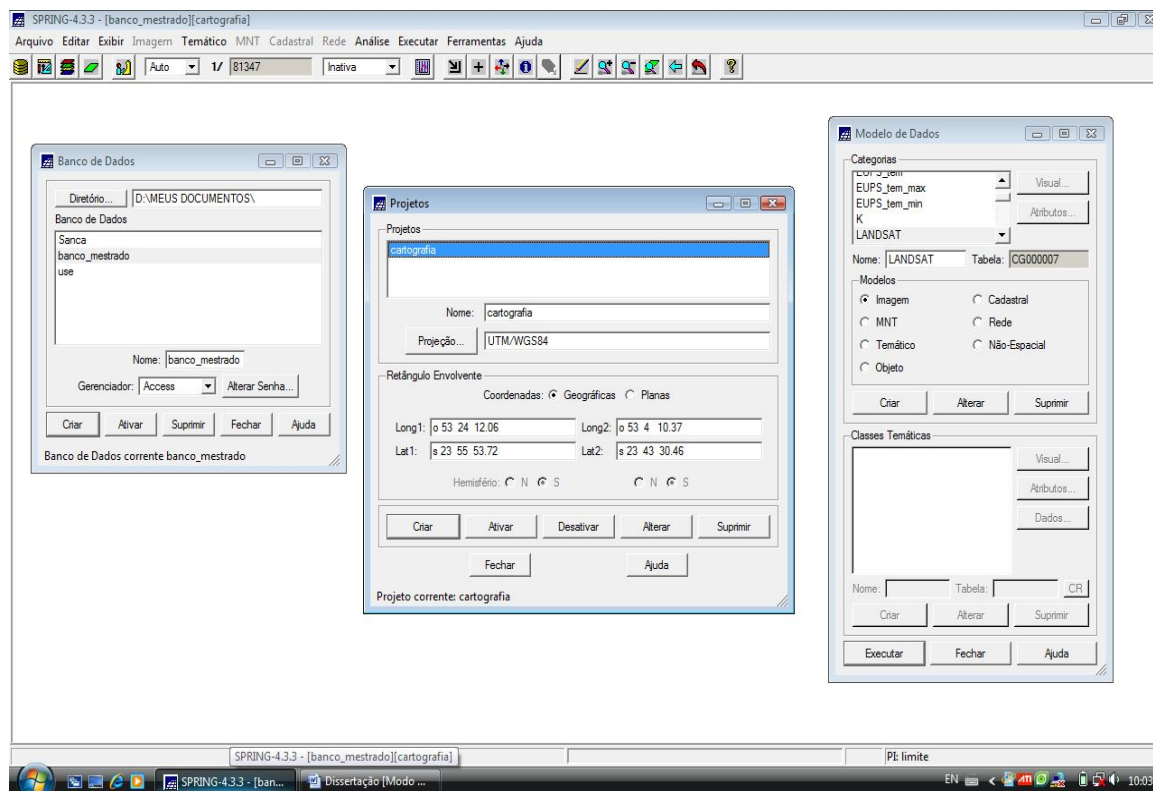


Figura 8 – Imagem demonstrando as fases de criação do banco de dados, definição do projeto com as informações geodésicas da área de estudo, escolha de alguns modelos de dados e categorias utilizadas.

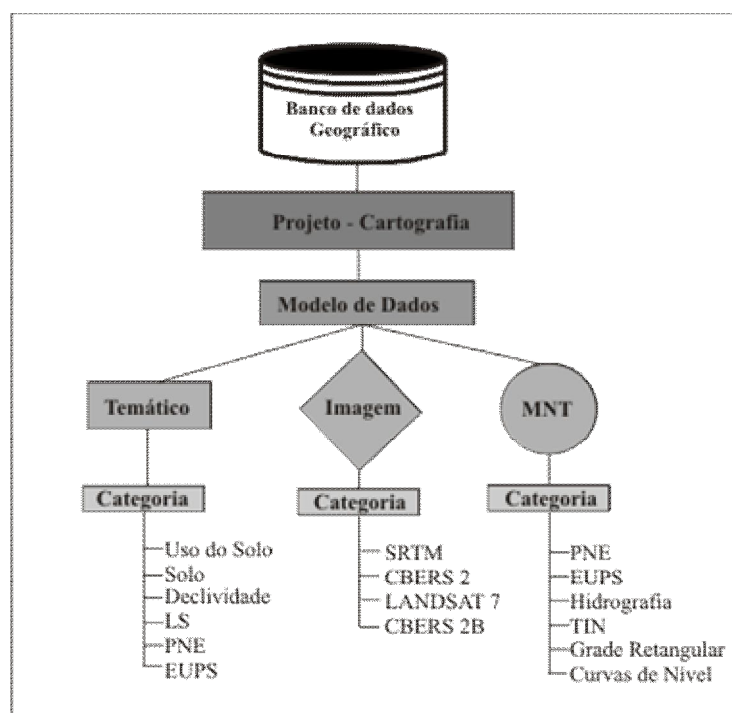


Figura 9 – Estrutura hierárquica das etapas realizadas para a construção do banco de dados no SPRING.

3.3 Determinação das variáveis que compõem a EUPS

Os fatores que compõem a EUPS foram inicialmente determinados em etapas individuais. A seguir, são descritos os métodos e técnicas utilizados para a determinação de cada variável.

3.3.1 Fator R – Erosividade da chuva

Inicialmente pretendia-se utilizar dados pluviométricos para área de estudo oriundos de duas estações climatológicas. Com isso, os valores do fator R ficariam mais bem distribuídos e representariam melhor a dinâmica climática da bacia. Entretanto, os dados de pluviosidade coletados por uma das estações climatológicas não apresentam série histórica longa. Esse fato fez com que se utilizassem os dados somente de uma estação climatológica e o considerasse para toda bacia hidrográfica.

Nesse sentido, foram usados dados diários de precipitação pluviométrica com séries históricas de trinta anos da Estação Climatológica Principal de Umuarama (ECPU), localizada entre as coordenadas geográficas 23°44'S e 53°17'W. O Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR) é o órgão responsável pelo gerenciamento da ECPU e foi quem forneceu os dados para a pesquisa.

Após o tratamento estatístico dos dados, realizou-se o cálculo da erosividade da chuva por meio da equação 02, proposta por Lombardi Neto e Moldenhauer (1980) *apud* Bertoni e Lombardi Neto (1999).

Os valores obtidos foram atribuídos espacialmente para toda área da bacia do córrego Pinhalzinho II por meio do processo de ponderação, disposto no programador LEGAL do SIG SPRING 4.3.3.

A bacia hidrográfica foi delimitada em ambiente SIG a partir da interpretação visual dos dados *SRTM* (*SHUTTLE RADAR TOPOGRAPHY MISSION*), disponíveis gratuitamente no endereço eletrônico <ftp://e0srp01u.ecs.nasa.gov/srtm/>.

3.3.2 Fator K - erodibilidade dos solos

Em virtude da escassez de uma carta de solo, compatível com a escala de análise da pesquisa, fez-se necessário construir um mapa pedológico da área de estudo. Para isso, foram realizadas 92 tradagens ao longo da bacia. Realizou-se também uma toposequência de solos numa vertente representativa da bacia, conforme metodologia proposta por Boulet (1988). Foram realizadas análises morfológicas de todas as

amostras levantadas em campo e análise granulométrica dos materiais provenientes dos horizontes superficiais de algumas dessas amostras (SANTOS et al. 2005; CAMARGO et al. 1986).

A partir da interpretação desses dados foi possível classificar os diferentes tipos de solos, em nível de subordem, existentes na área de estudo (EMBRAPA, 1999) e determinar sua distribuição espacial. A Figura 10 exhibe a localização dos pontos de sondagens e da toposequencia realizada na bacia hidrográfica.

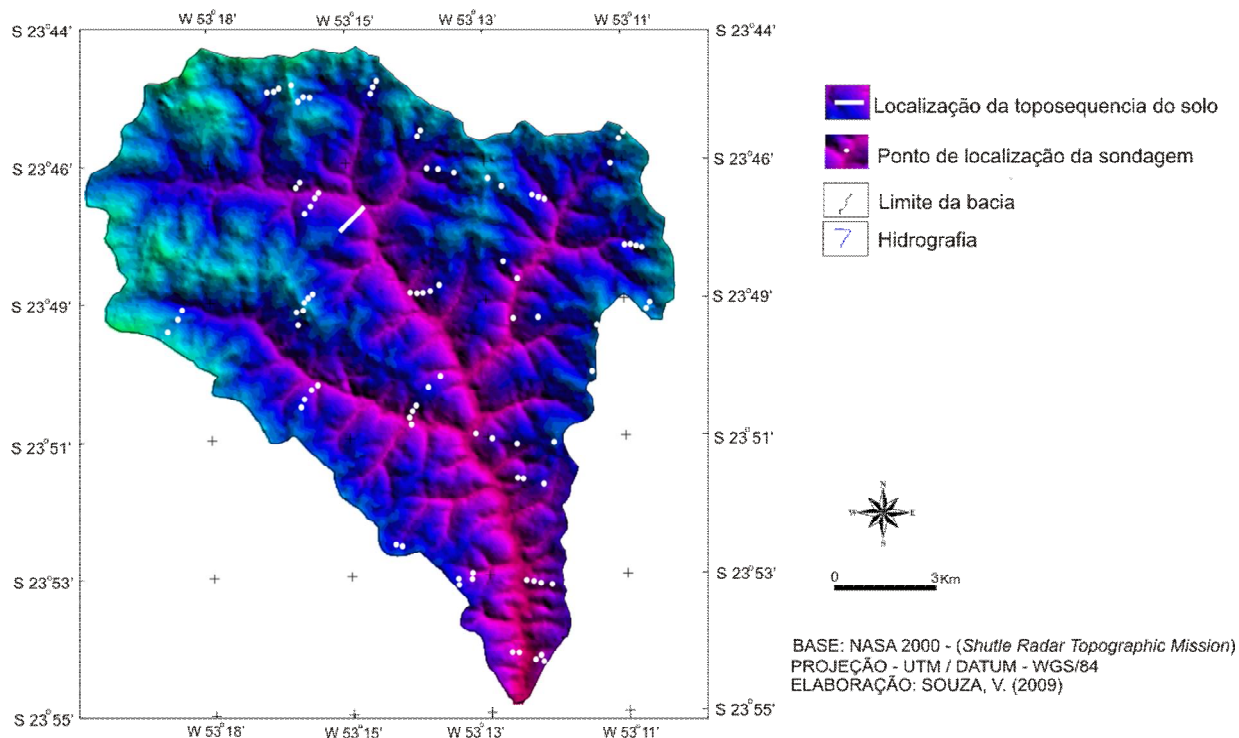


Figura 10 – Localização dos pontos de sondagem e da toposequencia do solo na área de estudo sobrepostos ao Modelo Digital de Elevação (MDE) proveniente dos dados SRTM.

A carta de solos da bacia hidrográfica foi então construída a partir da interpretação visual dos tipos de solos identificados nas sondagens e na toposequencia, sobrepostos ao Modelo Digital de Elevação (MDE). O mapa de solos também foi elaborado em ambiente SIG, por meio do modelo de dados temático.

Os valores do fato K da EUPS aferidos aos solos classificados neste trabalho foram estipulados por Bertoni e Lombardi Neto (1999), Prado (2005) e Amorim e Silva (2009). São índices determinados em laboratório em classes de solos semelhantes as da área de estudo.

Todos os dados obtidos foram aferidos espacialmente ao banco de dados geográfico por meio do processo de ponderação, disposto no programador LEGAL do SIG SPRING (Figura 11).

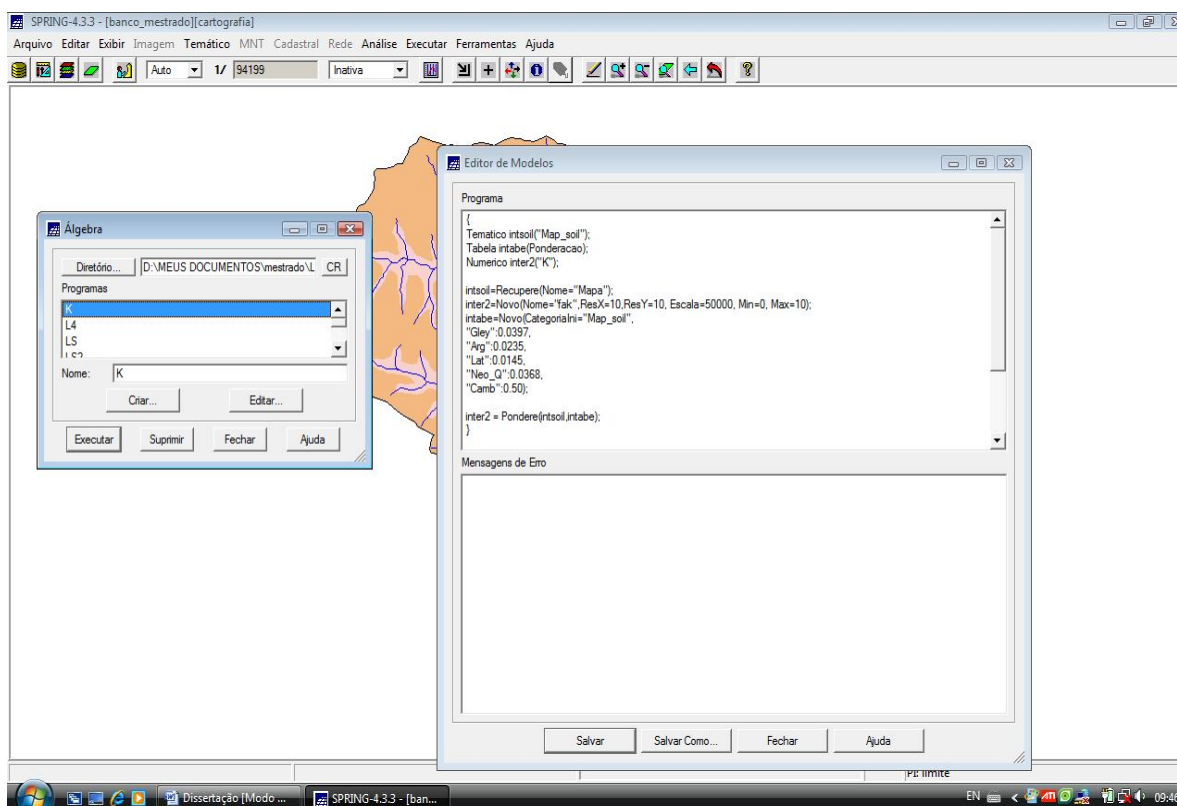


Figura 11 – Exibição do processo de Ponderação dos valores do fator K às classes de solos mapeadas com auxílio do Programador LEGAL do SPRING

Para complementar o entendimento do potencial erosivo dos solos na área de estudo, realizou-se o ensaio laboratorial de erodibilidade sugerido por Nogami e Villibor (1979) e adaptado por Pejon (1992). A proposta metodológica utilizada consiste na coleta de amostra indeformada de solo para os ensaios laboratoriais de absorção de água (S) e perda de massa por imersão (P). O coeficiente (S) é determinado através da relação entre tempo e volume de absorção de água em aparelho específico. Já a variável (P) é estipulada através da coleta e pesagem do material desprendido no processo de imersão em água, que dura 24 horas. O índice de erodibilidade foi obtido através da Equação (5):

$$E = 40S/P, \quad (5)$$

Sendo:

E = Erodibilidade;

S e P são valores determinados em ensaios de laboratório.

O valor numérico obtido na equação é categorizado de forma qualitativa, ou seja:

$E > 1$ = Baixa erodibilidade;

$E < 1$ = Alta erodibilidade.

Foram analisadas seis amostras de solo, coletadas a 15 e 30 cm de profundidade em três trincheiras da topossequência.

3.3.3 Fatores L e S - Comprimento de Rampa e Declividade

O fator L da EUPS foi calculado no ambiente SIG a partir da função “mapa de distâncias” contida no ícone MNT do *software* adotado. A partir da digitalização dos divisores de água principais e secundários da bacia, gerou-se uma grade numérica retangular, com resolução em X(10 m) e Y(10 m), armazenada no modelo de dados MNT do SIG. Os divisores principais e secundários foram cotados como o comprimento de rampa 0 m enquanto que a rede de drenagem de cada sub-bacia serviu como linha de quebra ou limite final, recebendo o valor máximo no cálculo do comprimento de rampa. Ressalta-se aqui, que o caminho percorrido pelas águas da chuva durante o processo de erosão laminar inicia-se no divisor de água e vai até a rede de drenagem.

Já a variável S da EUPS foi obtida a partir da geração de uma grade triangular (TIN), também com resolução X(10 m) e Y(10 m) e armazenada no modelo MNT do SPRING. Este produto altimétrico foi gerado a partir da interpolação das curvas de nível, eqüidistantes em 20m. As isolinhas topográficas foram obtidas a partir da interpolação de dados da missão SRTM (*SHUTTLE RADAR TOPOGRAPHY MISSION*) reamostrados de 90m para 30m (VALERIANO, 2004). A partir da grade triangular altimétrica, usando a ferramenta MNT – Declividade do *software* adotado, com as opções de entrada grade, saída declividade, unidade porcentagem, gerou-se o Plano de Informação (PI) Declividade, com resolução X(10 m) e Y(10 m).

O fator LS da EUPS foi obtido através da equação 3, calculado e integrado espacialmente no SIG por meio do processo de operação numérica, contido no programador LEGAL do SPRING 4.3.3 (Figura 12). Em termos práticos, o *software*

utiliza as duas grades numéricas (L e S), confeccionadas individualmente nas fases descritas anteriormente, para a operação matemática espacial.

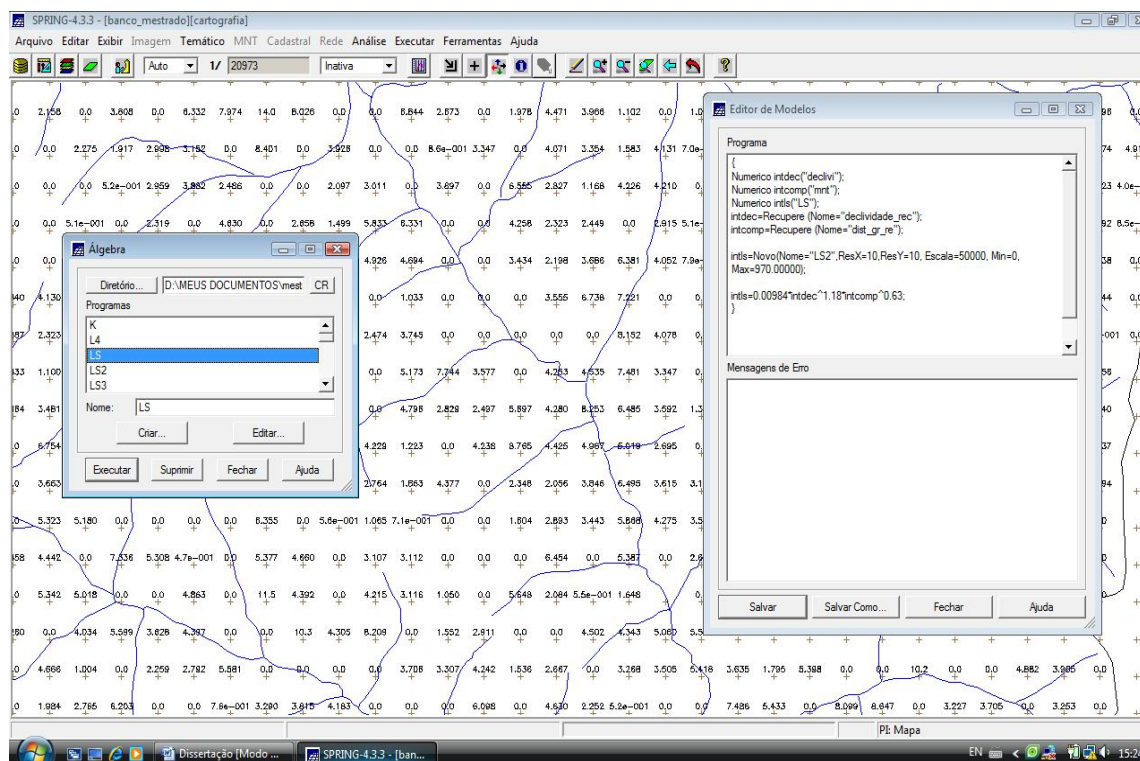


Figura 12 – Cálculo do Fator LS com auxílio do Programador LEGAL do SIG.

3.3.4 Fator (C) - Uso e manejo do solo

Os valores utilizados para compor o fator C no cálculo da EUPS foram obtidos a partir de dados compilados de Bertoni e Lombardi Neto (1999), Fujihara (2002) e Tomazoni e Guimarães (2005). No entanto, para a aferição desses valores foi necessário construir um mapa de uso e ocupação do solo. Este produto cartográfico foi construído por meio da interpretação visual de cenas mensais do sensor CBERS 2 e CBERS 2B, câmaras CDD e HRC respectivamente. Utilizaram-se também as informações obtidas em trabalhos de campo para a confirmação e/ou correção dos dados mapeados. Com isso, os valores do fator C foram integrados ao mapa de uso do solo, contido no banco de dados geográfico, por meio do processo de Ponderação do programador LEGAL do SPRING.

3.3.5 Fator (P) - Prática conservacionista

Assim como o fator C da EUPS, a variável prática conservacionista (P) foi integrada do mapa de uso e ocupação do solo do banco de dados pelo processo de

Ponderação. Os valores do fator P utilizados neste trabalho foram definidos de acordo com os dados determinados por Bertoni e Lombardi Neto (1999).

3.4 Mapa de Potencial Natural à Erosão laminar (PNE)

O Mapa de Potencial Natural à Erosão laminar (PNE) foi construído a partir da integração dos fatores naturais que compõem a EUPS (WISCHMEIER e SMITH, 1978). A equação (6) demonstra as variáveis utilizadas:

A seguinte equação foi realizada no programador LEGAL do SIG SPRING:

$$PNE = R.K.L.S, \quad (6)$$

Sendo:

PNE = Potencial Natural à Erosão laminar calculada em unidade de área, t/ha.ano

R = Fator erosividade da chuva, Mj.mm/ha.h.

K = Fator erodibilidade do solo, t/ha/(Mj.mm/ha.h)

L = Fator comprimento de rampa (adimensional)

S = Fator grau de declive do terreno (adimensional)

De acordo com o IPT (1989), os valores numéricos obtidos pelo produto dos índices representativos dos fatores naturais da EUPS não devem ser tomados como dados quantitativos de perdas de solo, servem somente para categorizar qualitativamente as áreas quanto sua maior ou menor fragilidade à erosão laminar. Neste trabalho, a categorização qualitativa dos dados quantitativos foi determinada a partir do trabalho descrito por Pedro e Lorandri (2004).

3.5 Mapa de Perdas de Solo Anual

O Mapa de Perdas de Solo Anual foi construído a partir da integração da Equação 1 no programador LEGAL do SIG, onde todos os fatores que compõem a EUPS são utilizados para o cálculo (WISCHMEIER e SMITH, 1978). Este produto cartográfico demonstra numericamente os valores de perdas de solo anual que ocorre na área de estudo.

3.6 Mapas de Perdas de Solo Sazonal

Nesta etapa do trabalho realizaram-se algumas simulações ambientais no SIG visando prever perdas de solo por erosão laminar sazonal. Utilizou-se também a Equação 1, porém, atribuiu-se outros valores aos fatores R e C. Foram considerados dois períodos para a análise:

1. Período de máxima cobertura vegetal, compreendido entre os meses de Janeiro a Junho, que corresponde às fases de máximo desenvolvimento das culturas até a colheita. Utilizou-se para o cálculo o índice fator R determinado para essa época do ano e valores do fator C de máxima cobertura sugeridos por Fujihara (2002).
2. Período de mínima cobertura vegetal, compreendido entre os meses de Agosto a Dezembro, que corresponde às épocas em que o solo está descoberto, sendo preparado para o plantio ou com plantações em estágio de desenvolvimento. Utilizou-se para o cálculo o valor de R para essa época do ano e valores do fator C considerando a mínima cobertura, também estipulados por Fujihara (2002).

Assim, foi possível construir mais dois mapas de perdas de solo da área de estudo, levando em consideração o estágio biofísico de cada cultura e a erosividade de cada período.

As Figuras 13, 14 e 15 demonstram a tela do SIG com o editor de modelos do programador LEGAL integrando os fatores da EUPS para o cálculo de perdas de solo anual e sazonal.

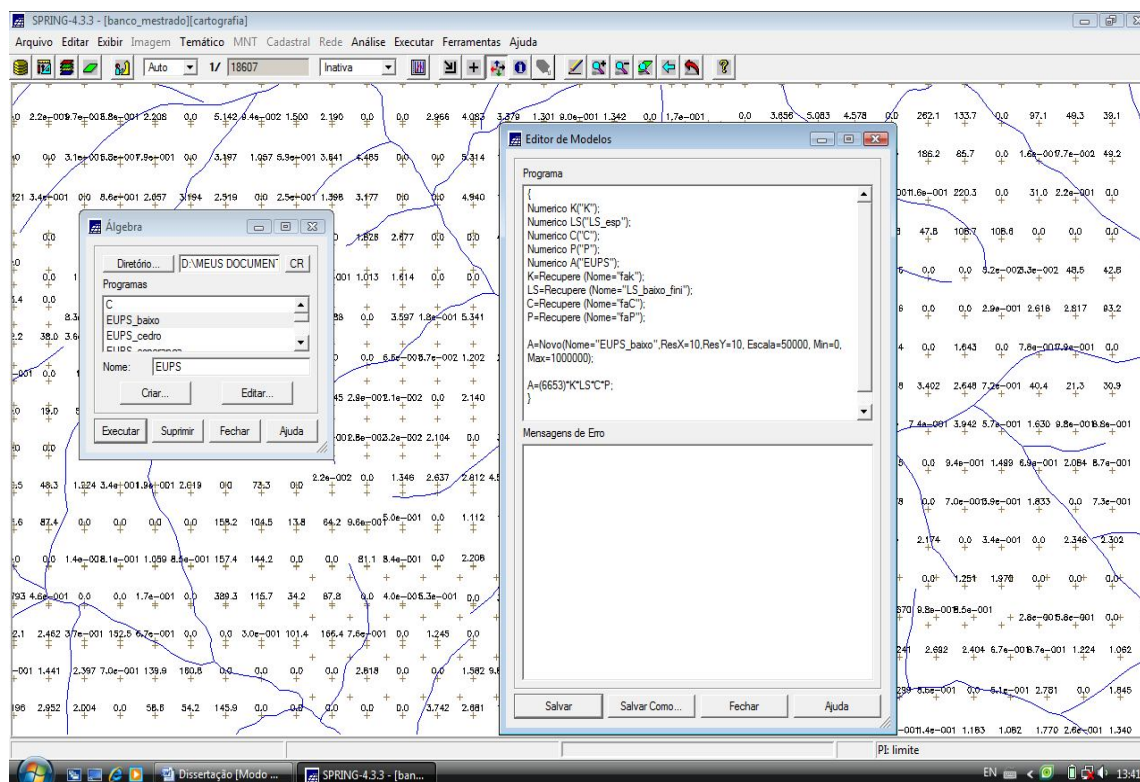


Figura 13 – Exibição da integração dos fatores da EUPS no editor de modelos do Programador LEGAL do SIG para o cálculo das perdas de solo anual. Notar o valor de 6653 Mj.mm/ha.h atribuído ao índice de erosividade anual.

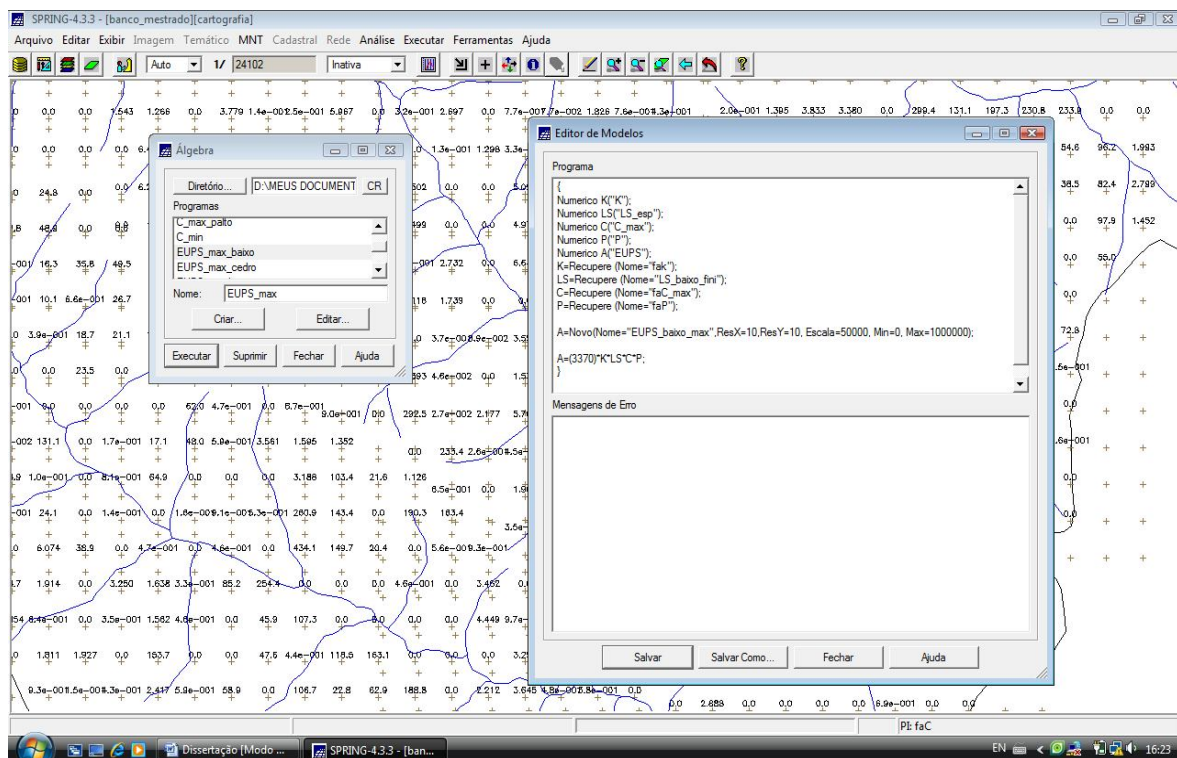


Figura 14 – Cálculo da EUPS considerando o período de máxima cobertura vegetal e valor de R para os seis primeiros meses do ano.

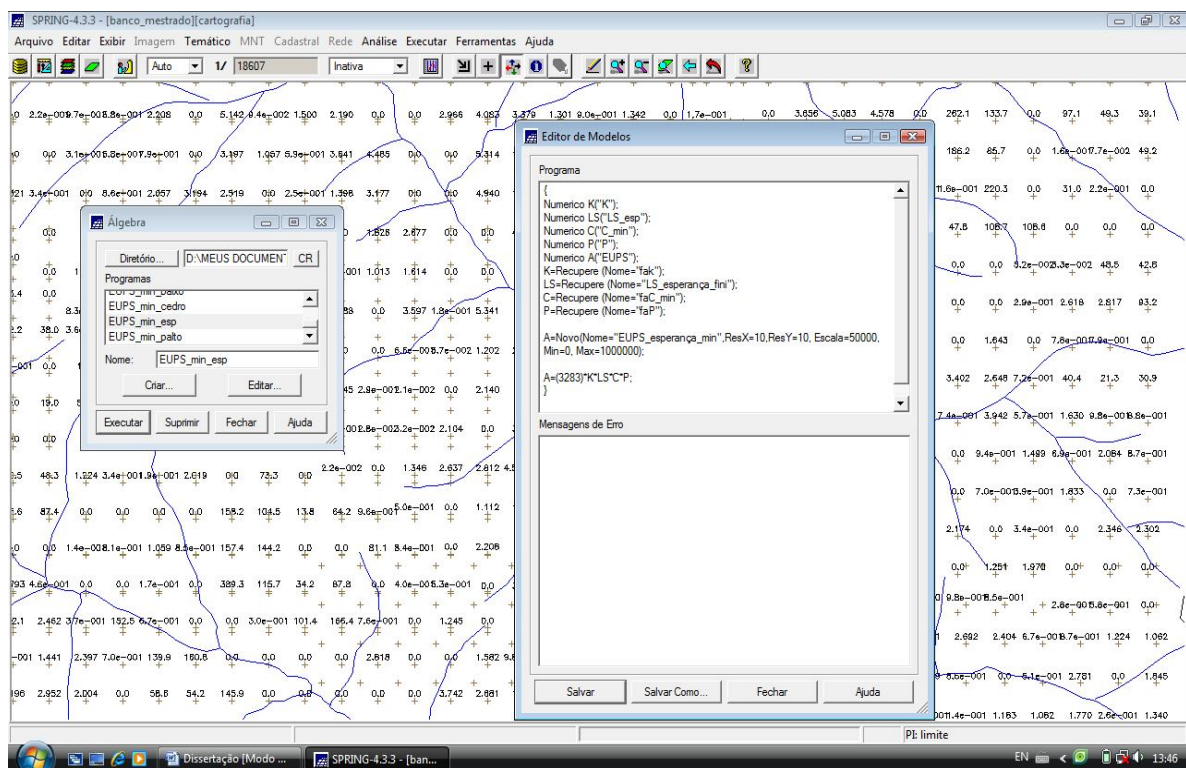


Figura 15 – Cálculo da EUPS considerando o período de mínima cobertura vegetal e valor de R para o segundo semestre do ano.

Na Figura 16 pode-se observar o fluxograma com a estrutura do banco de dados da bacia do córrego Pinhalzinho II e alguns dos programas em LEGAL desenvolvidos para sistematização da EUPS.

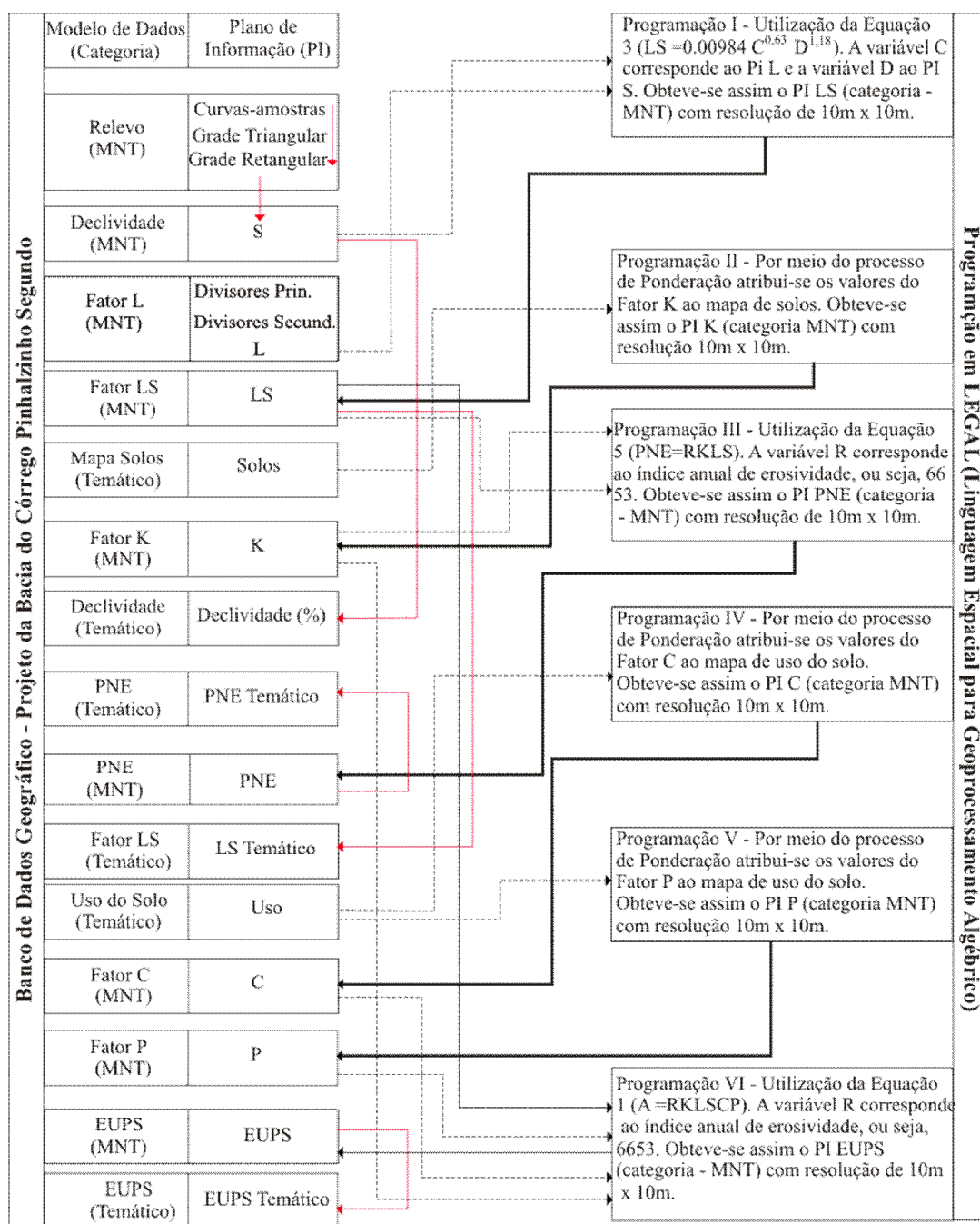


Figura 16- Fluxograma com estrutura do banco de dados geográfico da área de estudo e síntese da programação em LEGAL utilizada para estimar perdas de solo.

4. RESULTADOS OBTIDOS

Os resultados obtidos na pesquisa são apresentados na seguinte sequência: Fatores que compõem a EUPS (RKLSCP), Cálculo do Potencial Natural à Erosão Laminar (PNE) e Cálculo das Perdas de solo anual e sazonal.

4.1 Fatores que compõem a EUPS

Os resultados obtidos referentes aos fatores que compõem a EUPS são apresentados a seguir de maneira individual.

4.1.1 Fator R – Erosividade da chuva

O fator R da EUPS foi determinado a partir da quantificação dos dados de precipitação pluviométricos obtidos junto à Estação Climatológica de Umuarama. Para isso, foi necessário analisar valores diários de pluviosidade ao longo de uma série histórica de trinta anos (1977-2007).

A média mensal do período analisado demonstra que os maiores valores de pluviosidade estão concentrados entre os meses de outubro a janeiro, enquanto que os meses de julho e agosto demonstraram menor quantidade de chuva (Figura 17).

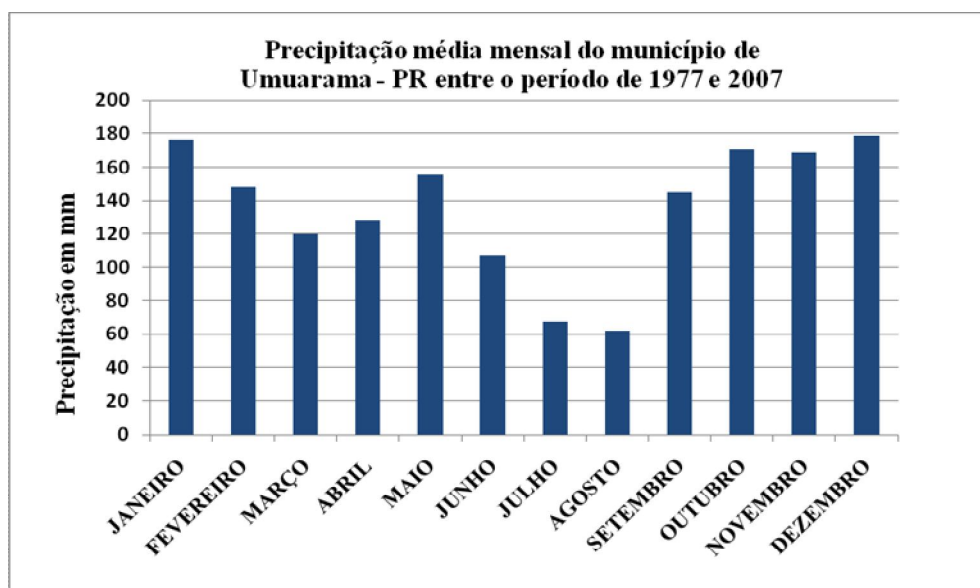


Figura 17 – Gráfico demonstrando a precipitação média mensal do município de Umuarama – PR entre os anos de 1977 e 2007.

Na tabela 1 pode-se observar os valores de precipitação pluviométrica média mensal e anual calculados para a área de estudo.

Tabela 1- Precipitação média mensal e precipitação média anual obtidos a partir da análise de precipitação pluviométrica entre o período de 1977-2007.

Precipitação média mensal em mm	135,7
Precipitação média anual em mm	1628,4

Os valores obtidos referentes ao índice de erosividade mensal e total, bem como a porcentagem normal e acumulada podem ser observados na tabela 2. Verifica-se que os meses de dezembro e janeiro apresentam os maiores valores enquanto que agosto e julho demonstram os menores índices de erosividade. Os três primeiros meses do ano e os três últimos são responsáveis por mais de 60% do valor total do índice de erosividade.

Tabela 2- Erosividade e sua porcentagem de distribuição mensal e anual da área de estudo.

Mês	Mj.mm/ha.h	%	% acumulada
Janeiro	825,7	12,5	12,5
Fevereiro	614,6	9,3	21,8
Março	427	6,5	28,3
Abril	480,5	7,3	35,6
Maio	667,7	10	45,6
Junho	354,5	5,4	51
Julho	161,6	2,4	53,4
Agosto	138,8	2	55,4
Setembro	591,6	8,8	64,2
Outubro	782,3	11,7	75,9
Novembro	766	11,5	87,4
Dezembro	843,1	12,6	100
Total	6653,4	100	

Para o cálculo das perdas de solo anual foi considerado o valor total do fator R, ou seja, 6653,4 Mj.mm/ha.h. Para a estimativa de perdas de solo do período considerado com máxima cobertura vegetal foi ponderado na equação o resultado da somatória dos valores do índice de erosividade dos seis primeiros meses da tabela acima, ou seja, 3370 Mj.mm/ha.h. A predição da produção de sedimentos do período considerado com mínima cobertura vegetal foi realizada utilizando a soma dos valores do fator R dos seis últimos meses, a saber, 3283 Mj.mm/ha.h.

4.1.2. Fator erodibilidade dos solos (K)

Conforme descrito no decorrer deste trabalho, antes do levantamento dos valores do fator K da EUPS foi necessário identificar e verificar a distribuição espacial dos tipos

de solos existentes na área de estudo, para a construção de um mapa. Os dados provenientes da análise morfológica e granulométrica obtidos na coleta de amostras de solos, nas sondagens e nas trincheiras da toposequencia evidenciaram que ocorre o predomínio dos seguintes tipos de solos na bacia:

No topo das vertentes ocorre o Latossolo Vermelho de textura arenosa, com profundidade superior a 2m, matiz variando de 2,5YR 3/4 a 2,5YR 3/6. Apresenta estrutura de blocos granulares com forte presença de macro poros ao longo de todo perfil.

Em situação de média e baixa vertente aparece o Argissolo Vermelho Amarelo com horizonte A variando de 10 a 20cm de profundidade, matiz 2,5YR 3/4, estrutura de blocos granulares e textura arenosa. Demonstra transição abrupta para o horizonte inferior (E), onde a espessura média varia de 5 a 30cm, matiz 2,5 YR 5/6 e textura arenosa. Abaixo deste, aparece o horizonte B textural com matiz variando de 2,5YR 3/6 a 5YR 5/6, textura areno argilosa e estrutura de blocos subangulares e angulares.

No terço inferior das vertentes e nas pequenas planícies de inundação dos canais de drenagem, sobretudo no baixo curso da bacia, aparece o Gleissolo. Este tipo de solo apresenta excesso de água ao longo de todo o perfil durante um período do ano, condicionado, sobretudo, pela proximidade do lençol freático. Apresenta textura que varia de arenosa a areno-argilosa, estrutura granular no horizonte superficial e sub-angular no horizonte sub-superficial. A profundidade é superior a 1m e a matiz de coloração varia de 10YR 3/3 a 10YR 5/3.

No alto curso da bacia do córrego Pinhalzinho II, em situação de baixa vertente, aparece o Neossolo Quartzarênico. Apresenta profundidade superior a 2m em alguns trechos, textura arenosa, com matiz de cor variando de 5YR 4/6 a 7,5YR 4/6. Apresenta macro-poros ao longo de todo perfil. A estrutura é formada por grãos simples.

No setor nordeste da bacia em um afluente do córrego Cedro, aparece associado a uma ruptura de declive em situação de baixa vertente, uma associação de solos rasos, classificado neste trabalho como Cambissolo. Apresenta profundidade inferior a 1m, textura areno-siltosa, estrutura granular e matiz de cor variando de 2,5YR 3/6 a 5YR 5/6. A Figura 18 exibe a distribuição espacial dos tipos de solos da área de estudo, compatível com a escala de análise.

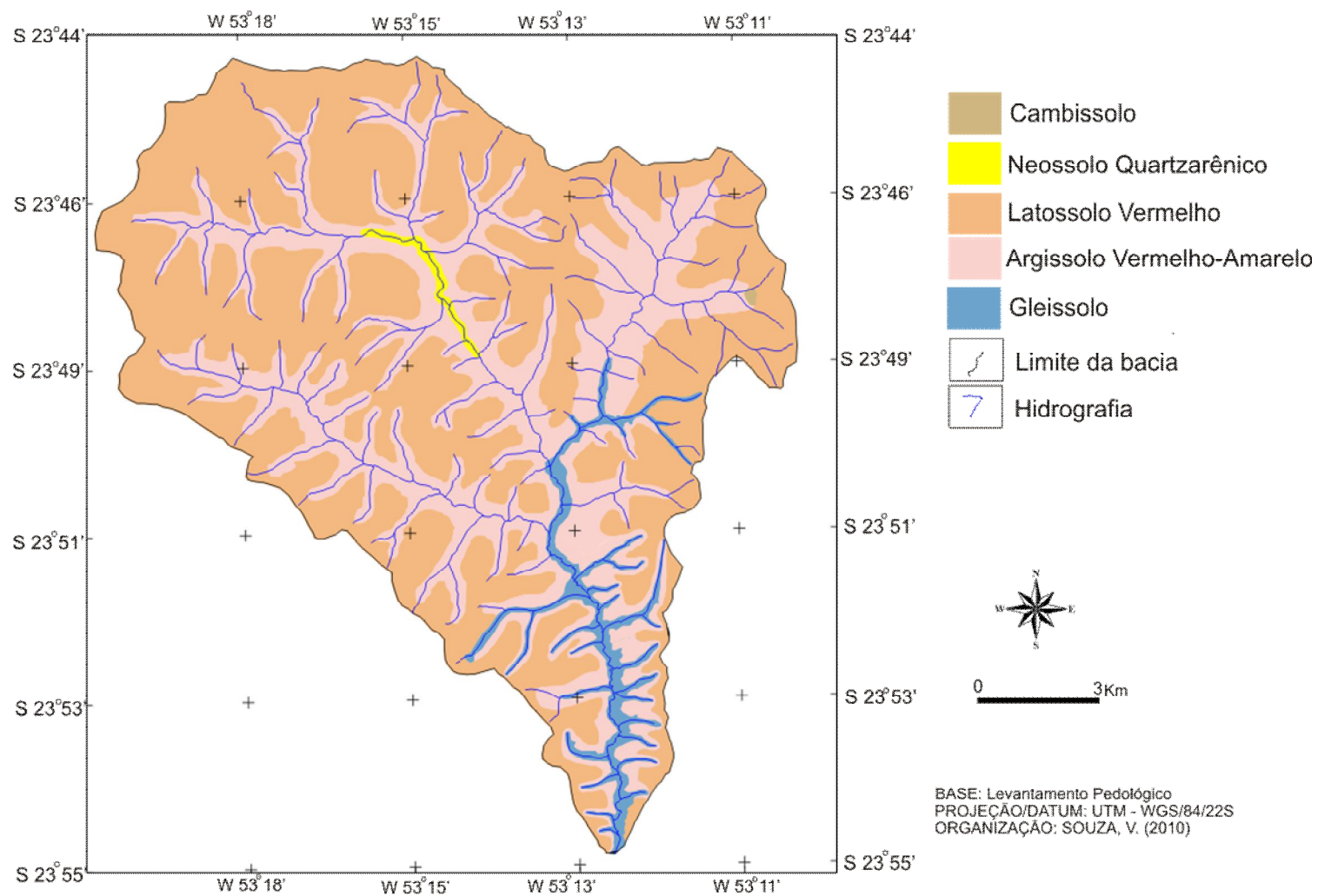


Figura 18- Distribuição espacial dos solos da bacia do córrego Pinhalzinho II.

Ao longo da toposequência Pinhalzinho II ocorrem os seguintes tipos de solo: Latossolo Vermelho na TR I, Argissolo Vermelho Amarelo nas TR's II e III e o Neossolo Quartzarênico na TR IV. Junto à drenagem do córrego Pinhalzinho II, neste segmento da vertente, aparecem depósitos fluviais.

Na Figura 19 são apresentados os resultados obtidos na análise granulométrica dos materiais coletados nas trincheiras da toposequencia dos solos. Na seqüência, a figura 20 demonstra a representação gráfica da toposequencia e as fotos dos perfis dos solos analisados.

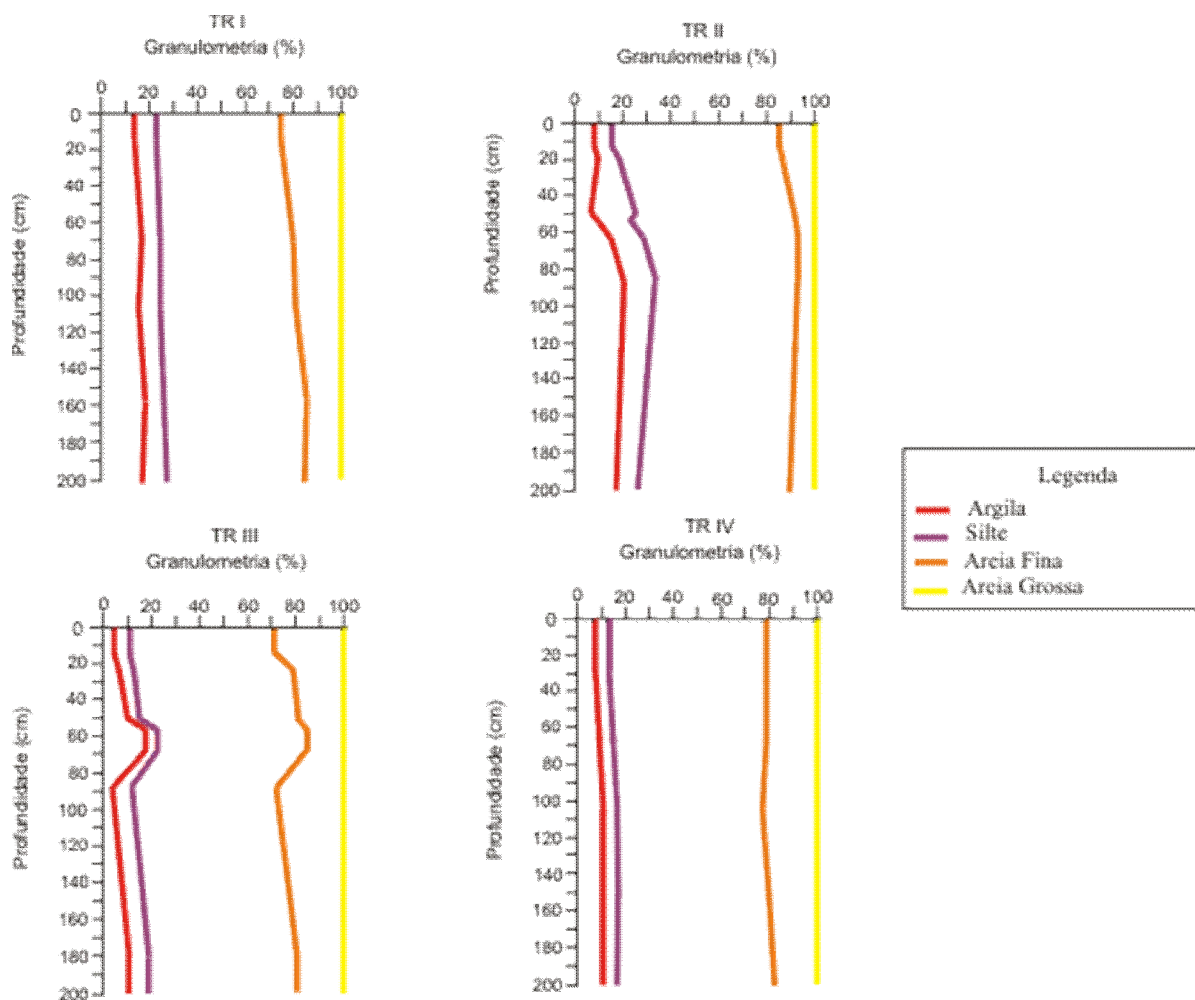


Figura 19 – Frequência acumulada da distribuição granulométrica das amostras de solos provenientes das trincheiras I, II, III e IV da toposequencia do solo.

Toposequência Pinhalzinho Segundo
SW ←→ NE

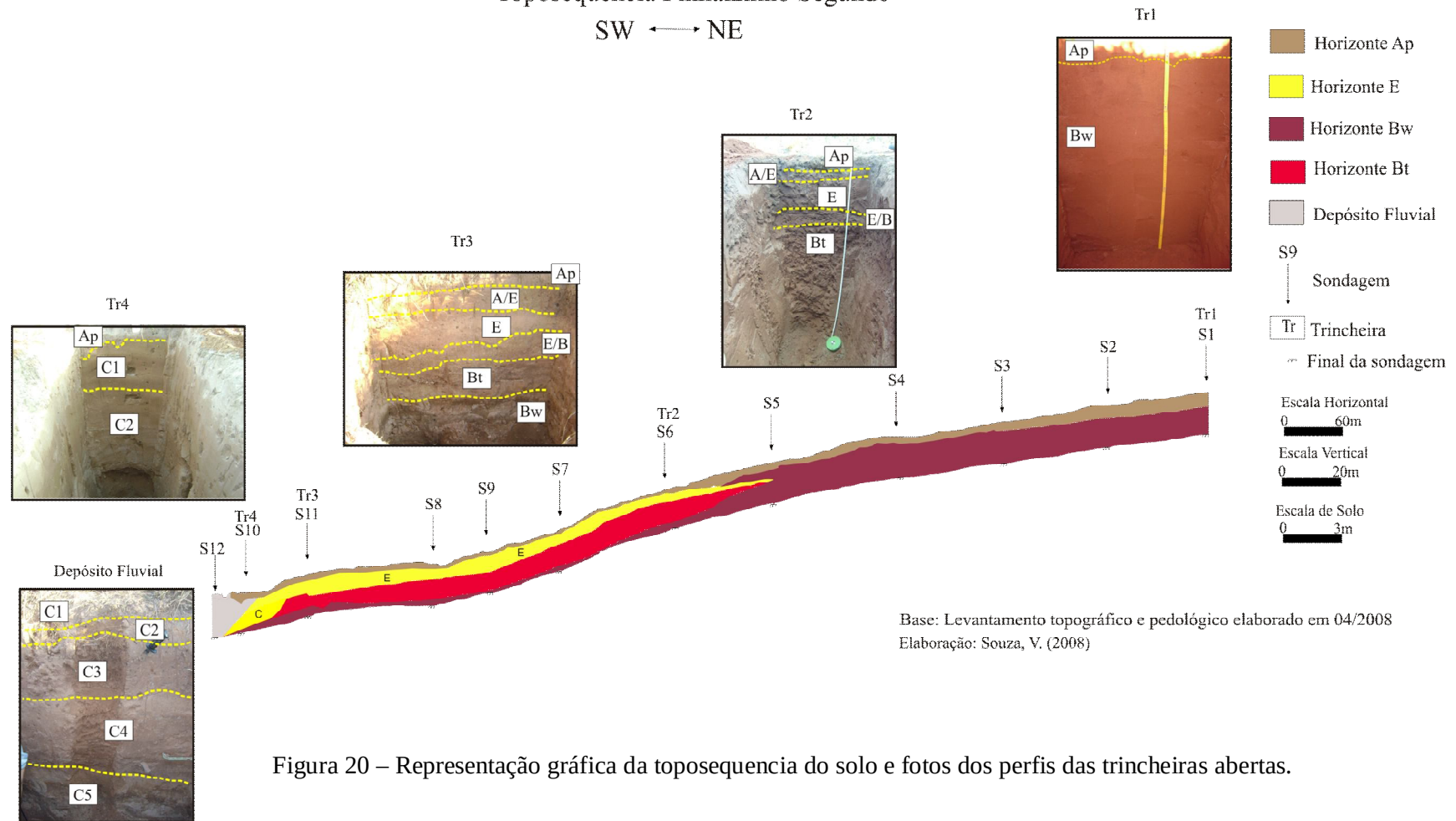


Figura 20 – Representação gráfica da toposequencia do solo e fotos dos perfis das trincheiras abertas.

Na Tabela 3 são apresentados os resultados obtidos na análise granulométrica dos materiais coletados nas sondagens realizadas ao longo da bacia hidrográfica. Os dados demonstram que os materiais coletados nos pontos 3,6,7,8 e 10 apresentam uma diferença textural abrupta na fração argilosa. Tal fato, aliado as características morfológicas dos materiais analisados em campo confirmou a classificação destes tipos de solos como Argissolo Vermelho Amarelo. Já os resultados obtidos dos demais materiais analisados confirmam as características típicas de Latossolos de textura média (EMBRAPA, 1999).

Tabela 3- Distribuição granulométrica dos materiais coletados nas sondagens.

Ponto	Profundidade (cm)	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila
1	15	62,8%	19,7%	4,9%	12,6%
1	70	64,5%	17,9%	5,2%	11,4%
2	20	70,6%	10,7%	6,7%	12%
2	75	69,7%	9,4%	5,7%	15,2%
3	15	63%	22,9%	7,6%	5,5%
3	60	59,5%	17,8%	9,8%	12,9%
4	15	35%	51,4%	5,6%	8%
4	80	37,1%	45,8%	4,9%	10,7%
5	20	51,6%	26,4%	6,9%	15,1%
5	70	55,1%	26,6%	2,4%	15,9%
6	20	70,8%	17,3%	7,7%	4,2%
6	60	59,6%	14,8%	9%	16,6%
7	15	60,9%	26,1%	8,6%	4,4%
7	70	54,3%	20,2%	8,1%	17,4%
8	20	67,9%	19,1%	9,8%	3,2%
8	80	58,9%	14,8%	8,9%	17,4%
9	15	59,8%	17,7%	6,2%	16,3%
9	80	58,6%	15,1%	8,8%	17,5%
10	20	68,6%	21,1%	8%	2,3%
10	70	67,6%	17,6%	7,4%	7,4%

Após a elaboração do mapa de solo, aferiu-se o valor do fator erodibilidade (K) para cada classe mapeada. A tabela 4 exhibe os valores atribuídos para esses tipos de solo.

Tabela 4- Índice de erodibilidade em t.h/Mj.mm atribuído para as classes de solos mapeadas na bacia hidrográfica – dados fornecidos por Bertoni e Lombardi Neto (1999), Prado (2005) e Amorim e Silva (2009).

Tipos de Solo	Área ocupada em Km ²	Erodibilidade em t.h/Mj.mm
Argissolo Vermelho Amarelo	63,2	0,0235
Latossolo Vermelho	109,3	0,0145
Gleissolo	8,02	0,0397
Cambissolo	0,1	0,50
Neossolo Quartzarênico	1,05	0,0368

4.1.3 Índice de erodibilidade (K) dos solos obtidos em laboratório

Os resultados obtidos por meio da aplicação do ensaio de erodibilidade dos solos demonstram que todas as amostras analisadas apresentam baixa erodibilidade, com exceção da amostra coletada no horizonte B da TRII (Argissolo Vermelho). Este material, ao contrário dos demais, apresentou elevada porcentagem de perda de massa no ensaio de imersão, alcançando 76%. A figura 21 demonstra os resultados alcançados por cada amostra analisada no ensaio de absorção de água e na perda de massa por imersão. O modelo teórico de ajuste 40S separa o material que apresentaram alta e baixa erodibilidade. Ressalta-se aqui que os valores obtidos neste ensaio não foram utilizados para compor o fator K no cálculo da EUPS, serviram apenas para verificar o comportamento qualitativo das amostras.

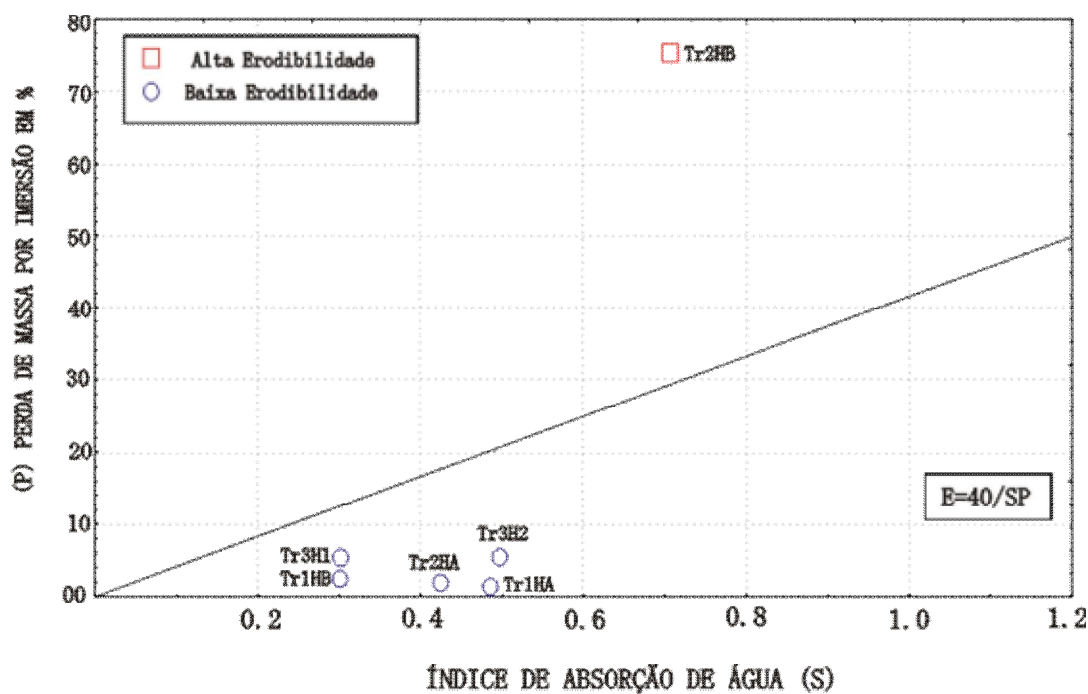


Figura 21- Gráfico que classifica os materiais que apresentaram alta e baixa erodibilidade.

4.1.4 Fatores L e S - Declividade e Comprimento de rampa

Os resultados obtidos dos fatores L e S da EUPS são apresentados inicialmente de maneira individual. Na sequência, são demonstrados os resultados alcançados por meio da integração entre as duas variáveis (LS).

4.1.4.1 Fator Comprimento de rampa (L)

Além da declividade, o comprimento das vertentes também influencia no processo de erosão hídrica. Quanto maior o comprimento de rampa, maior a energia resultante no processo de transporte de sedimentos das vertentes (BERTONI E LOMBARDI NETO, 1999). A Figura 22 demonstra dois mapas: o de comprimento das vertentes em relação à rede de drenagem (L) e o de declividade das encostas (S) na bacia do córrego Pinhalzinho II.

Verifica-se no mapa de comprimento de rampas que as vertentes com distância superior a 500m estão dispostas nos setores norte e noroeste da bacia. O restante da área de estudo apresenta rampas com comprimento inferior ou igual a 500m.

4.1.4.2 Fator Declividade (S)

Do fator declividade estão sujeitos o volume e a velocidade de escoamento das águas sobre as rampas. Na tabela 5 é apresentada a área ocupada na bacia por cada faixa de declividade. Os valores demonstram que mais de 90% do total da área de estudo apresenta declividade inferior a 13%. No geral, as vertentes da área de estudo são suavemente onduladas.

Tabela 5- Área ocupada pelas classes de declividade na bacia do córrego Pinhalzinho II

Classe de declividade em %	Área ocupada em Km ²
>20	0,003
13-20	2,19
8-13	47,96
3-8	69,45
0-3	63,27
Total	182,89

Na carta clinográfica da figura 21 observa-se que os declives mais acentuados, variando de 8 a 13% e 13 a 20%, localizam-se no terço inferior das vertentes e próximos as redes de drenagem da área de estudo. Os declives que variam de 3 a 8% correspondem à classe com a maior representatividade na área e estão dispostos por toda a bacia hidrográfica. As áreas com declive menor que 3% situam-se nos interflúvios da bacia e nas pequenas planícies de inundação das drenagens. Os locais com declividade maior que 20% são inexpressivos.

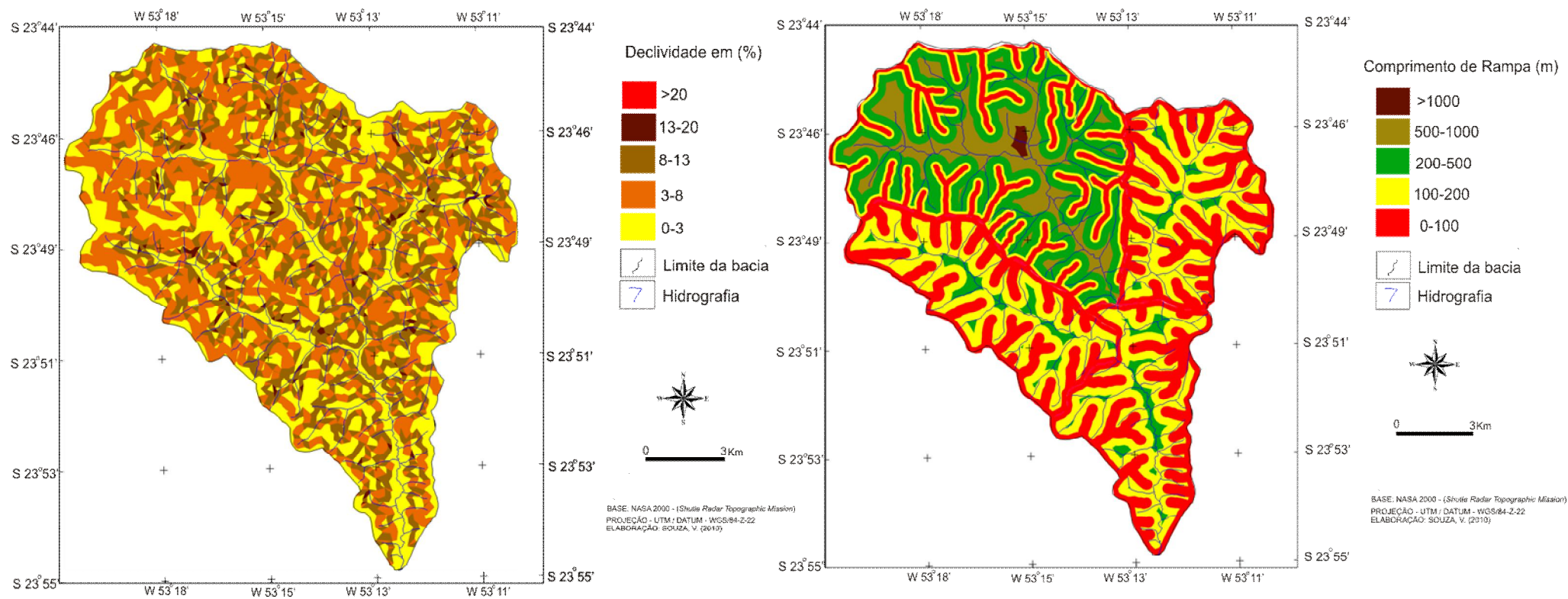


Figura 22- Declividade e Comprimento de Rampa da área de estudo.

4.1.4.3 Integração entre os fatores L e S

De acordo com a EUPS, a integração entre os fatores L e S por meio da equação 3 é o que determinará a real influência da topografia no processo de perdas de solo por erosão laminar. Em termos práticos, quanto maior o comprimento das rampas e mais acentuado o declive, maior será a velocidade do escoamento superficial na vertente e o conseqüente transporte de sedimentos.

Na tabela 6 é apresentada a área ocupada na bacia por cada índice topográfico.

Tabela 6- Área ocupada pelas classes do índice topográfico na bacia do córrego Pinhalzinho II.

Índice do Fator Topográfico	Área ocupada em Km ²
>4	46,87
2-4	43,91
0-2	91,48
Total	182,26

Na figura 23 pode-se observar a distribuição espacial dos valores numéricos obtidos por meio do cálculo dos fatores LS na área de estudo. Quanto maior o valor numérico do índice topográfico, maior o potencial erosivo das encostas em função das duas variáveis mencionadas. Nota-se que os valores com índice topográfico superiores a 4 localizam-se no terço inferior das vertentes enquanto que nos interflúvios o índice é menor que 2. As áreas que apresentaram o intervalo compreendido entre 2 e 4 estão dispostas, no geral, em posição de média vertente.

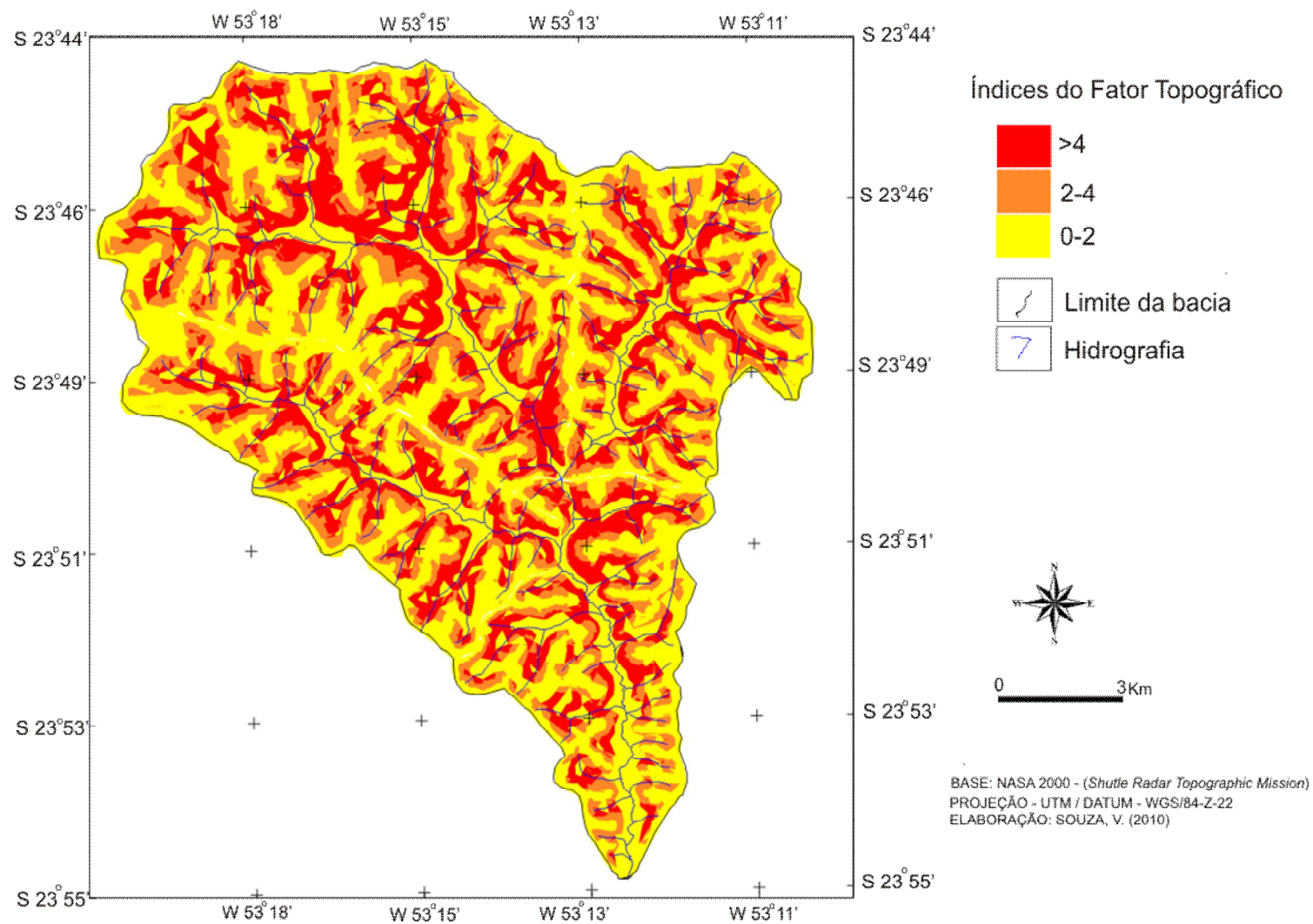


Figura 23 - Distribuição dos índices do fator LS na bacia do córrego Pinhalzinho II.

4.1.5 Fator Uso e Manejo do Solo (C)

Para a atribuição dos valores do fator C da EUPS elaborou-se inicialmente um mapa de uso e ocupação do solo, usando como referência os trabalhos de campo, as cenas do Sensor CBERS2 e CBERS2B. Para cada classe de uso do solo mapeada foi atribuído um valor, de acordo com a proposta de Fujihara (2002) e Tomazoni e Guimarães (2005).

As imagens do satélite sino-brasileiro serviram para demonstrar além do uso e ocupação do solo, o período ao longo do ano em que ocorre a maior e menor cobertura vegetal nas áreas destinadas a agricultura. Assim, constatou-se que o período compreendido entre o verão e o outono apresenta máxima cobertura vegetal, enquanto que a temporada existente entre o inverno e a primavera a cobertura vegetal do solo é mínima. A partir dessas informações, foi possível atribuir os índices do fator C da EUPS ao banco de dados e estimar perdas de solos por erosão laminar para as áreas destinadas às culturas temporárias de acordo com a sazonalidade agrícola existente na bacia do córrego Pinhalzinho II.

Os resultados obtidos demonstram que o uso de solo predominante na área de estudo é a pastagem, seguida por áreas de vegetação natural campestre, área urbana, lavoura temporária de soja, área agrícola permanente (cana de açúcar), áreas de vegetação natural de porte arbóreo e lagos naturais e artificiais.

A figura 24 exibe o mapa de uso e ocupação do solo da área de estudo. Na tabela 7 pode-se observar a área ocupada pelas classes de uso na área de estudo e os respectivos índices do fator C atribuído para cada época do ano.

Tabela 7- Área ocupada pelas classes de uso na área de estudo e os respectivos índices do fator C – (1) Verão-Outono (2) Inverno-Primavera.

Uso do solo	Área ocupada em Km ²	Índice atribuído Sazonal (1)	Índice atribuído Sazonal (2)	Índice atribuído Período anual
Lago	0,19	0,0	0,0	0,0
Vegetação Natural (Campestre)	29,57	0,003	0,003	0,003
Área Urbana	17,74	0,005	0,005	0,005
Vegetação Natural (Florestal)	7,94	0,001	0,001	0,001
Cana-de-açúcar	12,68	0,05	0,306	0,1783
Soja	15,41	0,1	1	0,5
Pastagem	98,73	0,001	0,03	0,01
Total	182,26			

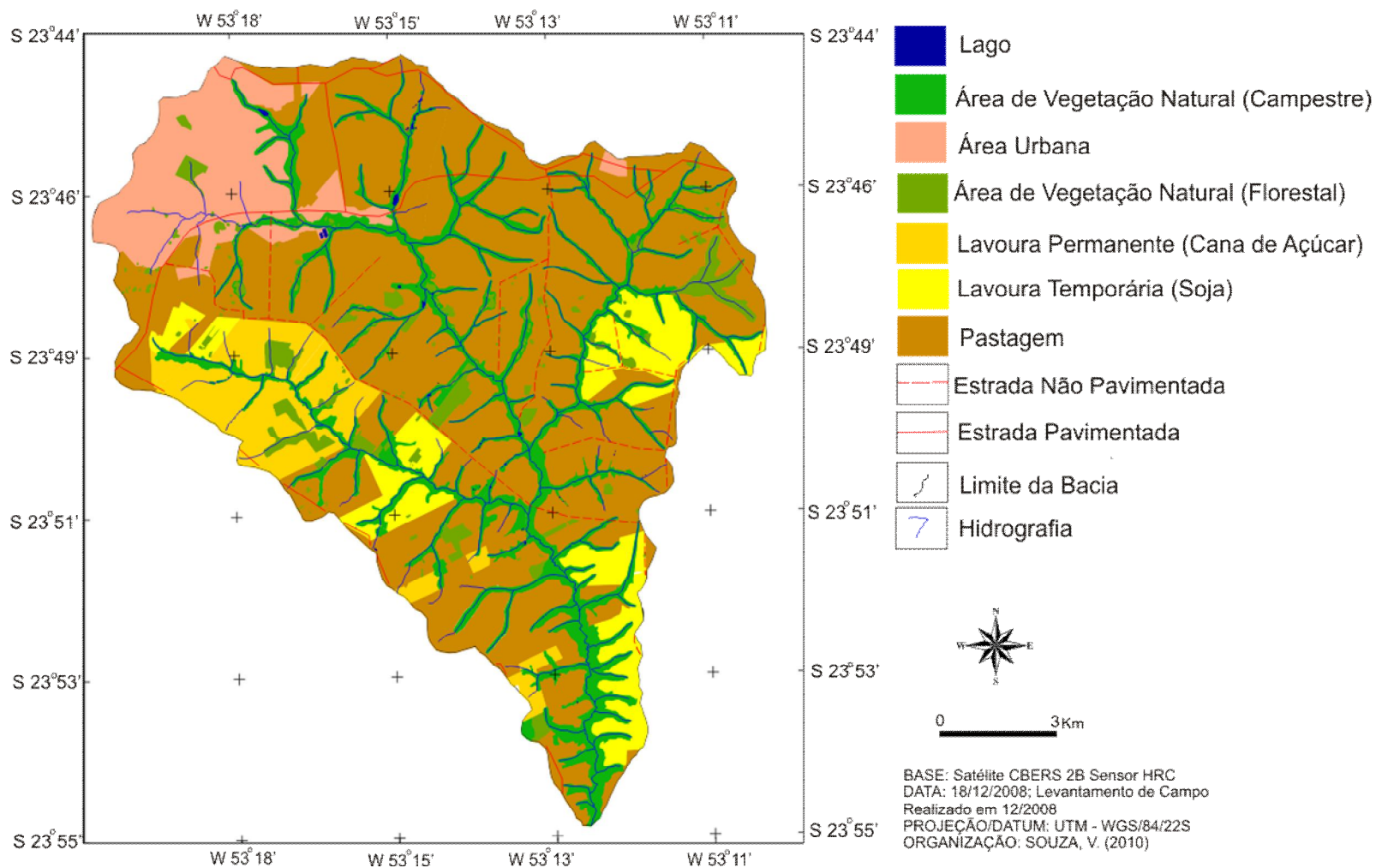


Figura 24 - Uso e ocupação do solo na bacia do córrego Pinhalzinho II

4.1.6 Fator prática conservacionista (P)

A principal atividade conservacionista adotada nas áreas destinadas ao uso agrícola da bacia é o do plantio em contorno. A atribuição dos valores seguiu as orientações de Bertoni e Lombardi Neto (1999).

A Tabela 8 demonstra os valores do fator P da EUPS atribuídos a cada classe de uso do solo.

Tabela 8- Valores do fator P da EUPS atribuídos as classes de uso do solo

Uso do solo	Índice atribuído ao fator P
Lago	1,0
Vegetação Natural (Campestre)	0,2
Área Urbana	1,0
Vegetação Natural (Florestal)	0,2
Cana-de-açúcar	0,5
Soja	0,5
Pastagem	0,5

4.2 Potencial Natural à Erosão Laminar (PNE)

Os resultados obtidos demonstram que na área de estudo predomina locais classificados com baixo potencial natural à erosão laminar, com intervalo compreendido entre 0 e 120 ton/(ha.ano). São áreas dispostas sobre o Latossolo Vermelho, em situação topográfica de alta vertente e com declividade menor que 8%. Destacam-se também alguns locais situados próximos aos córregos Pinhalzinho II, Cedro e ao ribeirão Esperança.

As áreas com médio potencial natural à erosão laminar compreendem a segunda categoria com maior representatividade de área na bacia hidrográfica. Estão dispostas em situação de média vertente, sobre o Argissolo Vermelho Amarelo e com índice do fator topográfico >4 .

Os locais classificados com baixo e alto potencial natural à erosão laminar ocupam praticamente a mesma área na bacia hidrográfica. As áreas com baixo potencial localizam-se no terço superior das vertentes, sobre o Latossolo Vermelho e com índice do fator topográfico < 2 . Já os locais com alto e muito alto potencial, estão dispostos em área onde o fator topográfico ≥ 4 , no terço inferior das encostas sobre o Cambissolo, o Neossolo Quartzarênico e o Argissolo Vermelho Amarelo.

Na figura 25 é apresentada a distribuição espacial das classes de potencial natural à erosão laminar na área de estudo enquanto que a tabela 9 demonstra a área ocupada por cada categoria considerada.

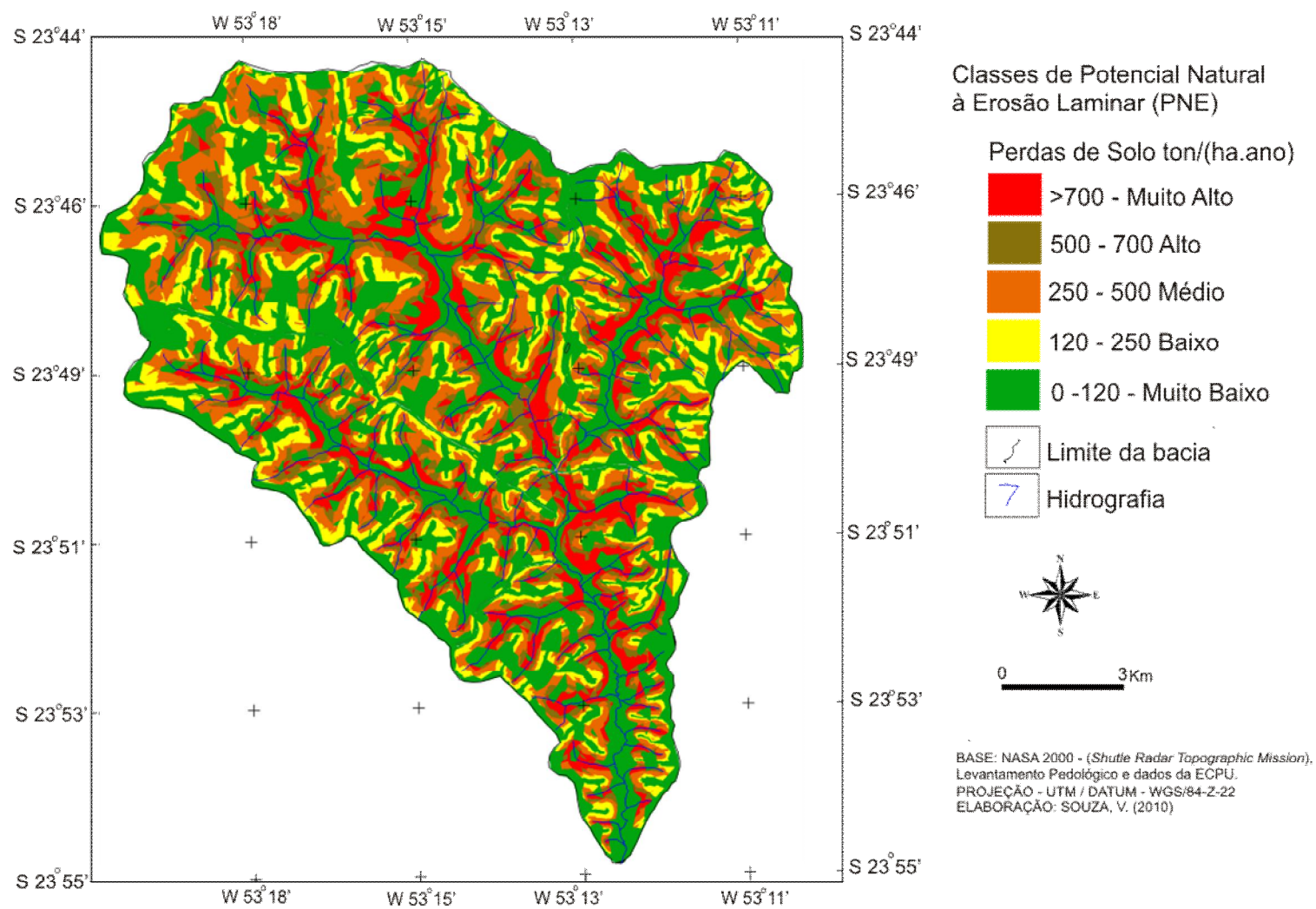


Figura 25 - Potencial Natural à Erosão Laminar (PNE) da área de estudo estimada por meio das variáveis físicas da EUPS.

Tabela 9- Área ocupada pelas classes de Potencial Natural à Erosão Laminar

Classes/ Perdas de Solo em ton/(ha.ano)	Área ocupada em Km ²
Muito Alto (>700)	24,59
Alto (500-700)	18,17
Médio (250-500)	38,63
Baixo (120-250)	24,84
Muito Baixo (0-120)	76,03
Total	182,26

4.3. Estimativa de perdas de solo anual

Os resultados obtidos por meio da aplicação da EUPS demonstram que mais de 80% da área de estudo apresenta locais onde a perda de solo é menor que 3 ton/ (ha.ano). Na seqüência, aparecem as áreas onde o intervalo de perdas de solo varia de 3 a 5, 20 a 50, 50 a 100, 5 a 10 e 10 a 20 ton/ (ha.ano). A área ocupada por cada classe de perdas de solo, a porcentagem destas classes em relação à área total da bacia e a frequência acumulada das classes são demonstradas na tabela 10.

Tabela 10- Percentil normal, acumulado e área ocupada por cada classe de estimativa anual de perdas de solo na bacia do córrego Pinhalzinho II.

Perdas de Solo em ton/(ha.ano)	Área ocupada em km ²	%	% acumulada
0-3	146,12	80,17	80,17
3-5	12,7	6,96	87,13
5-10	4,43	2,43	89,56
10-20	2,44	1,33	90,89
20-50	5,84	3,27	94,16
50-100	5,31	2,92	97,08
>100	5,31	2,92	100
Total	182,26	100	

A figura 26 exhibe a distribuição espacial dos locais classificados por meio da aplicação da EUPS. O mapa demonstra que os locais onde ocorrem as maiores perdas de solo estão localizados nos setores leste, oeste e partes da porção sul da bacia hidrográfica. O restante da bacia apresenta perdas de solo que variam de 0 a 10 ton/ (ha.ano).

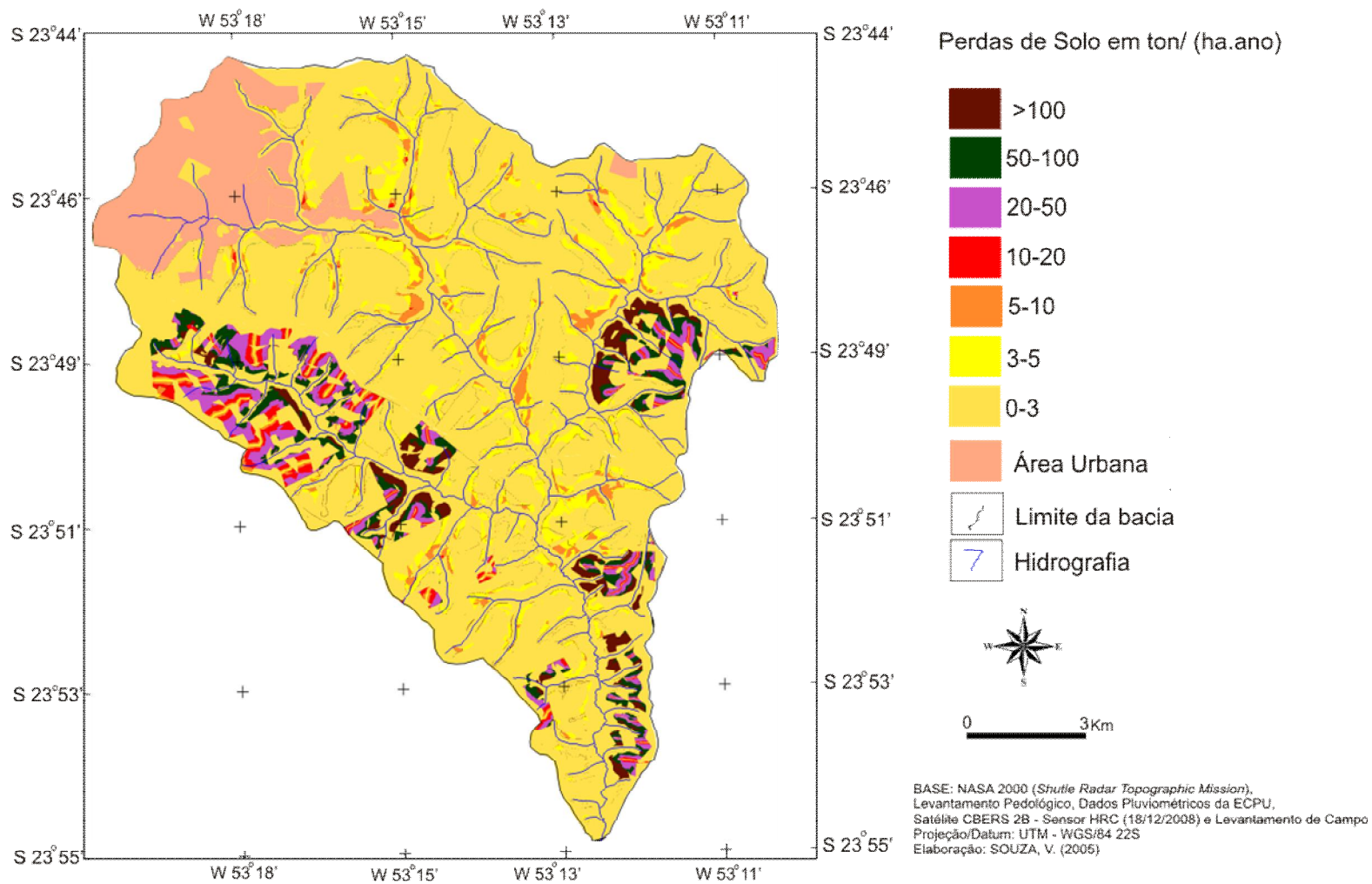


Figura 26 - Estimativa anual de perdas de solo da bacia do córrego Pinhalzinho II.

4.4 Estimativa de perdas de solo sazonal

Os procedimentos das simulações em ambiente SIG para estimar as perdas de solo por erosão laminar durante os períodos sazonais resultaram em dois produtos cartográficos: 1) Mapa de estimativa de perdas de solo para o período compreendido entre julho a dezembro, onde a cobertura vegetal do solo foi considerada mínima. 2) Mapa de estimativa de perdas de solo para o período compreendido entre janeiro e junho, onde a cobertura vegetal do solo foi considerada máxima;

Os dados obtidos do produto 1 evidenciam que mais de 70% do total da área da bacia hidrográfica apresentam perdas de solo menor que 3 ton/ (ha.inverno primavera). Em seguida, aparecem os locais onde as perdas de solo variam entre 3 a 5, 5 a 10, 10 a 20, 20 a 50, >100 e 50 a 100 ton/ (ha.inverno primavera). A tabela 11 demonstra os valores de área em km² que cada uma dessas classes ocupa na bacia do córrego Pinhalzinho II. O percentil normal e acumulado que cada classe temática ocupa em relação à área total da bacia também são exibidos nessa tabela.

Tabela 11- Área ocupada por cada classe de estimativa sazonal de perdas de solo na bacia do córrego Pinhalzinho II

Perdas de Solo em ton/(ha.in pr)	Área ocupada em km ²	%	% acumulada
0-3	134,52	73,80	73,25
3-5	17,44	9,56	83,36
5-10	16,74	9,02	92,38
10-20	5,84	3,20	95,58
20-50	4,61	2,52	98,1
50-100	1,63	0,9	99
>100	1,82	1	100
Total	182,26	100	

Na figura 27 pode-se observar o mapa de estimativa de perdas de solo para o período compreendido entre janeiro e junho. Percebe-se que os intervalos de perdas de solo que variam de 0 a 3, 3 a 5 e 5 a 10 ton/ (ha.inverno primavera) localizam-se por toda a área de bacia. No setor leste da bacia e em partes do setor sul aparecem além dos intervalos citados acima, locais onde as perdas de solo variam de 10 a 20 e 20 a 50 (ha.inverno primavera). Os locais onde ocorrem as maiores perdas de solo aparecem na porção oeste da área de estudo. Neste local, em especial no alto curso da bacia do córrego Esperança, todas as classes temáticas de perdas de solo estão representadas.

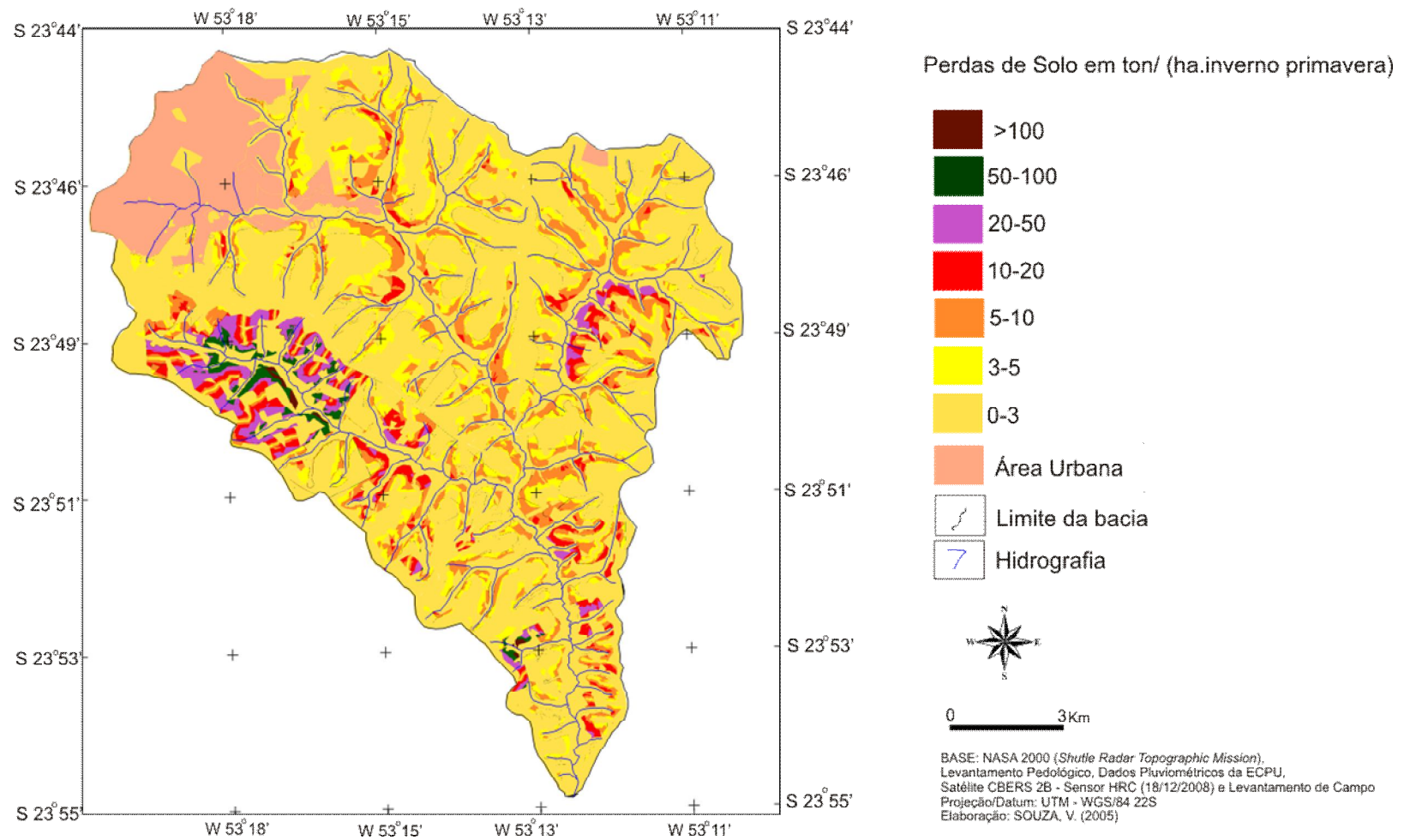


Figura 27 - Estimativa de perdas de solo para o período compreendido entre o inverno e a primavera da área de estudo.

Os dados referentes à estimativa de perdas de solo para o período compreendido entre janeiro e junho são apresentados na tabela 12. Percebe-se que mais de 90% do total da área de estudo apresenta perdas de solo menor que 3 ton/ (ha.verão outono). As demais classes de intervalo de perdas de solo representaram menos de 10% do total da área da bacia hidrográfica. A classe de perda de solo com a segunda maior representatividade na bacia está entre o intervalo que varia de 5 a 10 ton/ (ha.verão outono) seguidas pelas classes 3 a 5, 10 a 20, 20 a 50, >100 e 50 a 100 ton/ (ha.verão outono).

Tabela 12- Área ocupada por cada classe de estimativa sazonal de perdas de solo na bacia do córrego Pinhalzinho II

Perdas de Solo em ton/(ha.ve ou)	Área ocupada em km ²	%	% acumulada
0-3	165,74	90,93	90,93
3-5	3,99	2,18	93,11
5-10	6,17	3,38	96,49
10-20	3,55	1,96	98,45
20-50	1,12	0,61	99,06
50-100	0,47	0,25	99,31
>100	1,22	0,69	100
Total	182,26	100	

Na Figura 28 pode-se observar a distribuição espacial dos valores estimados acima. Percebe-se que os valores de perdas de solo menores que 3 ton/(ha.verão outono) localizam-se por toda a área de estudo. As demais classes ocupam restritamente alguns locais nos setores leste, oeste e partes do sul da bacia hidrográfica.

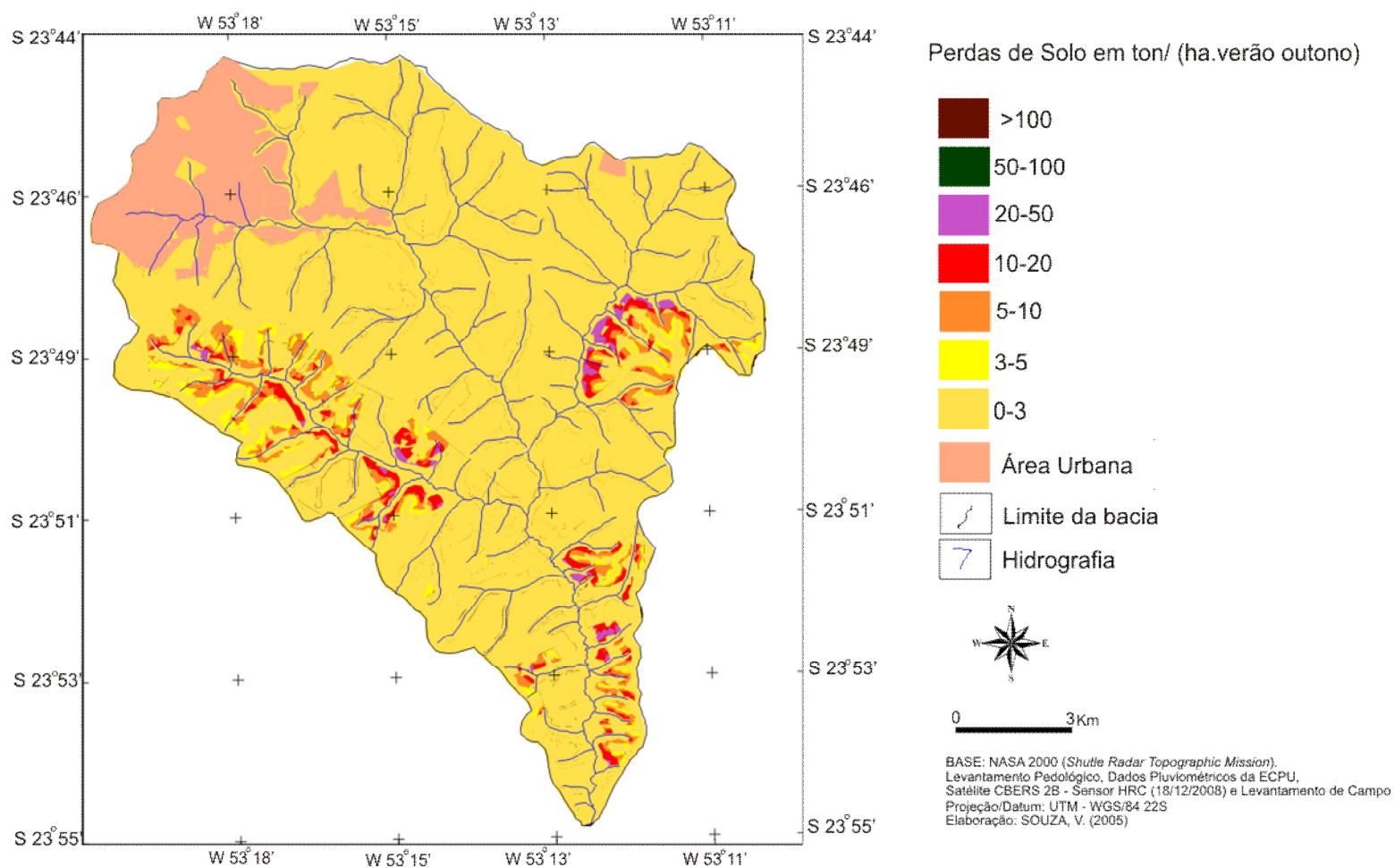


Figura 28 - Estimativa de perdas de solo para o período compreendido entre o verão e o outono da área de estudo.

A figura 29 exhibe algumas áreas da bacia hidrográfica classificadas com diferentes valores de perdas de solo anuais obtidos por meio da EUPS.

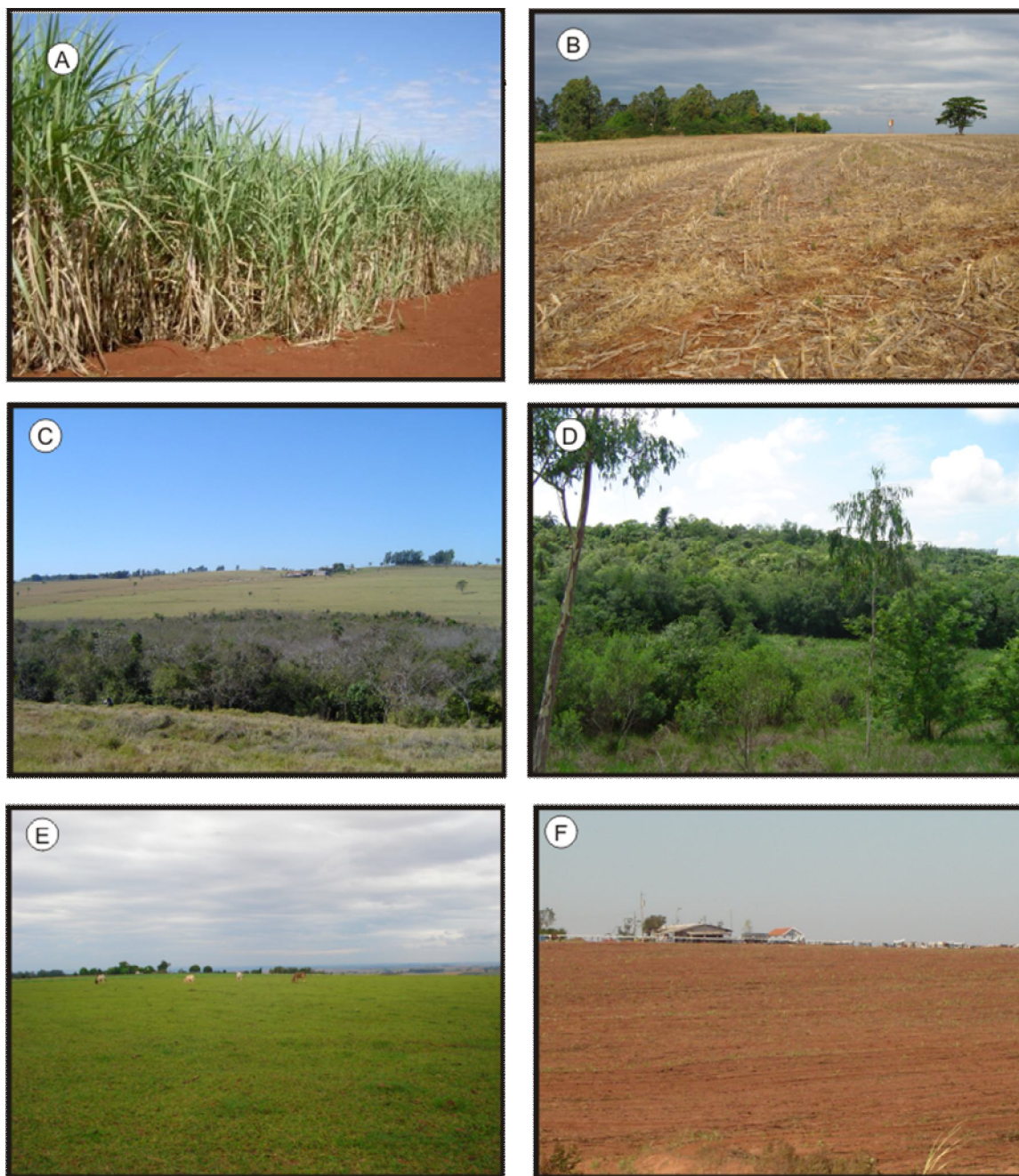


Figura 29 – Prancha com alguns dos locais classificados segundo a equação universal de perdas de solo: A - Área destinada à agricultura de Cana-de-açúcar em Latossolo Vermelho - Perda estimada 5 a 10 ton/ha.ano; B- Área destinada à agricultura temporária em Latossolo Vermelho - Perda estimada 10 a 20 ton/ha.ano; C e D- Áreas de Preservação Permanente situadas sobre o Argissolo Vermelho Amarelo - Perda estimada < 3ton/ha.ano; E - Local destinado à Pastagem em Latossolo Vermelho estimada - Perda estimada < 3ton/ha.ano; F- 14.5 - Área destinada à agricultura temporária em Latossolo Vermelho - Perda estimada - 20 a 50 ton/ha.ano.

5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O valor obtido referente ao fator R da EUPS, ou seja, 6653,4 Mj.mm/ha.h é semelhante ao encontrado por Bertoni e Lombardi Neto (1999) na região de Araçatuba-SP. Esse resultado foi decisivo para os valores alcançados no cálculo final de perdas de solo anual da área de estudo.

Já a análise mensal do fator R indica que os maiores índices de erosividade da área de estudo concentram-se nos três primeiros e três últimos meses do ano (Tabela 2). No entanto, os índices de erosividade utilizados para calcular as perdas de solo sazonais foram semelhantes, ou seja, 3370 Mj.mm/ha.h para o período de máxima cobertura vegetal e 3283 Mj.mm/ha.h para o período de cobertura vegetal mínima. A similaridade obtida entre esses resultados indicam que o fator R da EUPS não foi determinante para a diferença obtida entre os resultados finais do cálculo de perdas de solo sazonais (Figuras 27 e 28).

Os resultados obtidos no ensaio de absorção de água e perda de massa por imersão demonstram que os materiais analisados, no geral, apresentam baixa erodibilidade. No ensaio laboratorial as amostras apresentaram baixa porcentagem de perda de massa quando imergidas em água, e isso, influenciou de forma decisiva na classificação final dos materiais. A única amostra classificada com alta erodibilidade é proveniente do horizonte Bt do Argissolo Vermelho Amarelo, situada no terço inferior da vertente.

Esse resultado apresentou coerência com o resultado do modelo utilizado para classificação de áreas com potencial natural à erosão laminar. As áreas com alto e muito alto potencial situam-se principalmente sobre esse tipo de solo.

Os materiais analisados da TR3, apesar de apresentarem alta porcentagem de areia em sua composição física, também foram classificados com baixa erodibilidade. Ao longo de todo perfil dessa trincheira foi possível notar algumas feições de alteração geoquímica como pequenas concreções de ferro, formadas provavelmente pelo fluxo hídrico subsuperficial. Pode-se afirmar que a ocorrência dessas feições pedológicas influenciou de forma decisiva na classificação desses materiais como baixa erodibilidade. Partes das amostras analisadas formaram grumos estáveis e não se desagregaram durante o ensaio de perda de massa por imersão.

A partir da análise geral dos resultados obtidos sobre a erodibilidade (K) da cobertura pedológica e do mapa de solos pode-se afirmar que mais de 94% do total da

área de estudo é ocupada por Latossolo Vermelho e Argissolo Vermelho Amarelo. São materiais naturalmente suscetíveis à erosão devido as suas características físicas e morfológicas. No entanto, os resultados obtidos referentes às perdas de solo demonstram que nos locais da área de estudo onde se localizam esses tipos pedológicos a produção de sedimentos é baixa quando os mesmos encontram-se providos de cobertura vegetal e dispostos em relevo de baixa declividade. Os altos valores de perdas desses materiais ocorrem, sobretudo, quando esses são destinados às áreas agrícolas e dispostos sobre os locais onde o índice topográfico está entre 2 e 4 ou quando é >4 .

Os valores alcançados referentes ao fator LS da área de estudo demonstram que mais da metade da área da bacia hidrográfica apresenta índice do fator topográfico <2 . No geral, nos locais da bacia onde predomina esse índice topográfico e o uso do solo é destinado à pastagem as perdas anuais de solo são baixas, ou seja, <3 ton/ (ha.ano). Reforça-se aqui que os altos valores de perdas anuais de solo verificados na bacia ocorrem, sobretudo, nos locais onde o índice LS varia de 2-4 ou >4 sobre as áreas destinadas ao uso agrícola ou ainda, em áreas destinadas à pastagem com fator topográfico >4 . Os tipos de solos verificados na bacia aliados as formas atuais de uso e manejo dispostos em situação hipotética de declividades mais acentuadas e rampas mais extensas acarretariam em valores bem mais elevados de perdas de solo anual e sazonal.

Em relação ao fator uso e manejo do Solo (C) e ao fator prática conservacionista (P) existentes na área de estudo verifica-se o predomínio de áreas destinadas à pastagem e a prática do plantio em contorno, sobretudo nas áreas agrícolas. Tais fatores influenciaram de forma significativa nos valores relativamente baixos obtidos sobre as perdas de solo anual. Os locais da bacia hidrográfica destinados ao plantio de soja e de cana de açúcar foram os que apresentaram os maiores valores de perdas de solo. Tais cultivos, naturalmente, oferecem pouca proteção ao solo. No período existente entre as safras, os locais da área de estudo destinados às essas culturas ficam totalmente expostos à erosividade da chuva, o que acarreta em grandes perdas de solo. Os locais na bacia destinados às APP'S, no geral, também apresentaram valores baixos de perdas de solo anual e sazonal.

Em relação ao PNE, os resultados obtidos demonstram que na bacia do córrego Pinhalzinho II ocorre o predomínio de locais classificados com muito baixo potencial natural à erosão laminar, seguidos por áreas com médio, baixo, muito alto e alto potencial. A partir dos dados obtidos percebe-se que a área ocupada por locais

classificados com alto e muito alto potencial natural à erosão laminar é semelhante a área ocupada por locais classificados com o índice do fator topográfico (LS) >4 (Tabelas 6 e 9). As classes com alto e muito alto potencial natural à erosão laminar abrangem 23,75% do total da área da bacia enquanto que os locais classificados com o índice do fator topográfico >4 ocupam 26,03%. Algo semelhante ocorre com a área dos locais classificados com baixo e muito baixo potencial natural à erosão laminar e a área ocupada por lugares classificados com o índice do fator topográfico (LS) <2 . Os locais com baixo e muito baixo potencial abrangem a 55,42% do total da área de estudo enquanto 50,26% da área da bacia está situada em locais onde o fator topográfico é menor que 2. A análise das figuras 22 e 24 permitem verificar espacialmente a relação entre esses resultados.

Outro fato que se pode notar é a relação espacial entre aos locais classificados com alto e muito alto potencial natural à erosão laminar e as áreas situadas sobre o Argissolo Vermelho Amarelo (Figuras 17 e 24).

Em relação à estimativa anual de perdas de solo, os resultados demonstram que predominam na área de estudo locais onde as perdas de solo são menores que 3 ton/ (ha.ano), seguida por locais onde o intervalo de perdas varia de 3 a 5, 20 a 50, 50 a 100, 5 a 10 e 10 a 20 ton/ (ha.ano). O produto cartográfico obtido por meio desse cálculo evidencia que os locais de maiores perdas de solo localizam-se, sobretudo, nos setores leste e parte das porções oeste e sul da bacia hidrográfica. Uma comparação rápida entre as figuras 24 e 26 permite verificar que os locais onde ocorrem as maiores perdas anuais de solo situam-se em áreas semelhantes aos locais destinados ao uso agrícola. São regiões que se encontram desprovidas de cobertura vegetal em certos períodos do ano devido à sazonalidade agrícola, situadas sobre solos arenosos e sujeitas a chuvas intensas durante esses períodos.

Os dados exibidos na tabela 9 demonstram que pouco mais de 50% do total da área de estudo apresenta locais classificados com muito baixo e baixo potencial natural à erosão. Esse fato aliado ao predomínio de locais designados à pastagem na bacia hidrográfica favoreceu o domínio de áreas classificadas com intervalo de perdas de solo menor que 3 ton/ (ha.ano). Isso sugere que apesar da fragilidade natural dos solos da região, a produção de sedimentos nas vertentes da bacia não será elevada caso a cobertura pedológica mantenha-se protegida ao longo do ano. A pastagem oferece proteção ao solo e funciona como um amenizador do impacto das gotas de chuvas, um

dispersor da água e colabora para a diminuição da velocidade de escoamento da enxurrada.

Conforme descrito acima, outro fator que influenciou no resultado predominante de perdas de solo menor que 3 ton/ (ha.ano) na área de estudo é o fato de prevalecer na bacia locais onde o índice do fator topográfico é menor que 2, ou seja, além do uso e ocupação do terreno as características do relevo também contribuíram para a baixa produção de sedimentos na bacia hidrográfica.

No que diz respeito às perdas de solo entre os meses de julho a dezembro (período considerado com mínima cobertura vegetal), os dados demonstram que predominam na área de estudo os locais onde as perdas são menores que 3 ton/ (ha.inverno primavera). No entanto, os valores obtidos nessa simulação ambiental são diferentes dos resultados alcançados por meio do cálculo de perdas de solo anual (Tabelas 10 e 11). Os dados obtidos demonstram um pequeno aumento de área nas classes de perdas de solo compreendidas entre 3-5, 5-10 e 10-20 ton/ (ha.inverno primavera). Os demais intervalos de perdas de solo diminuíram suas áreas de abrangência na bacia. O principal motivo que influenciou nesta diferenciação entre os resultados alcançados foram os índices atribuídos ao fator C da EUPS. No período considerado com mínima cobertura vegetal, os índices estabelecidos às áreas destinadas ao uso agropecuário são maiores que os valores ponderados ao cálculo de perdas de solo anual (Tabela 7). Em relação à distribuição espacial dos valores de perdas de solo percebe-se que, no geral, não ocorreu alteração na localização dos locais. Assim como no mapa de estimativa de perdas de solo anual as maiores perdas de solo dos períodos sazonais localizam-se, sobretudo, nas áreas destinadas à agricultura.

Os resultados obtidos referente ao cálculo de perdas de solo para o período considerado com máxima cobertura vegetal (janeiro a junho) demonstram que, assim como nas outras simulações realizadas, predominam na área de estudo os locais onde as perdas são menores que 3 ton/ (ha.verão outono). Contudo, nessa simulação, a referida classe de perdas de solo, foi a que apresentou a maior área de abrangência na bacia hidrográfica (Tabelas 10, 11 e 12). Isso ocorreu devido aos valores do fator C da EUPS atribuídos para esse período do ano. Nesta situação, os índices do fator mencionado são menores quando comparados aos aferidos nas outras duas simulações realizadas. Um acesso rápido a tabela 12 permite verificar que pouco mais de 96% do total da área de estudo apresenta valores de perdas de solo menores que 10 ton/ (ha.verão outono). Já os

locais de perdas de solo maiores que 10 ton/ (ha.verão outono) ocuparam menos de 4% do total da área da bacia hidrográfica.

Campagnoli (2006) utilizou dados geológicos, geomorfológicos, pedológicos, climáticos e de uso e ocupação do solo para estimar a produção de sedimentos na América do Sul, na escala de 1:5000000. Os valores determinados por este autor para o noroeste do Paraná variam entre 0 a 5, 5 a 70 e 70 a 200 ton/ (ha.ano). Prado e Nóbrega (2005) aplicaram a EUPS em uma bacia hidrográfica no noroeste do Paraná com condições geoecológicas semelhantes às da área de estudo e determinaram que mais de 80% do total da área estudada por eles apresenta locais onde as perdas de solo varia entre 0 e 5 ton/(ha.ano). Os resultados dessas pesquisas são semelhantes aos encontrados nestes trabalhos.

6. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos ratificam a contribuição das técnicas de Geoprocessamento para a execução dos objetivos sugeridos. A aplicação do modelo matemático em ambiente SIG proporcionou a obtenção de informações eficientes, permitiu a realização de algumas simulações ambientais e a confecção de vários mapas temáticos da área de estudo.

Os trabalhos realizados em campo, laboratório e gabinete possibilitaram o levantamento e tratamento dos dados das variáveis que compõem o modelo matemático utilizado.

As rotinas de programação realizadas no SPRING proporcionaram a espacialização dos fatores R, K, C, P da EUPS junto ao banco de dados geográfico construído para a área de estudo. Além disso, por meio dessas programações computacionais foi possível integrar e espacializar as variáveis topográficas (fator LS), executar o cálculo das perdas de solo anual e sazonal da bacia hidrográfica além de definir a localização espacial desses resultados.

A análise geral dos dados obtidos permite concluir que os valores relativamente baixos de perdas de solo obtidos nas simulações realizadas se devem, principalmente, ao predomínio de áreas destinadas à pastagem e ao relevo pouco acidentado existente na bacia hidrográfica. Nas simulações realizadas onde as condições topográficas, os tipos de solo e os valores de erosividade são iguais e somente o uso do solo é diferente, ou seja, locais destinados às áreas agrícolas, os valores de perdas de solo obtidos são muito maiores. Isso ocorre devido às peculiaridades biofísicas das culturas plantadas e da exposição dos solos existentes ao longo dos períodos existentes entre as safras. Diante disso, pode-se afirmar que para a atual estrutura física da área de estudo o tipo de uso mais adequado é a pastagem ou a silvicultura.

Os dados obtidos referentes às perdas de solo sazonais confirmam a maior representatividade de áreas com menores perdas no período compreendido entre o verão e o outono quando comparado a temporada compreendida entre o inverno e a primavera.

Diante do exposto, recomenda-se aos agricultores e aos órgãos públicos responsáveis pelo planejamento ambiental da área de estudo uma atenção especial às áreas identificadas com altos valores de perdas de solo, sobretudo durante o período existente entre o inverno e a primavera. Os responsáveis pelo gerenciamento das terras da bacia devem adotar as medidas conservacionistas necessárias para evitar perdas excessivas de solo nas áreas agrícolas durante esse período do ano.

A perda de perdas de solo realizada por meio da EUPS no SIG, apesar de suas limitações, contribuiu para o diagnóstico ambiental da área de estudo e permitiu um prévio conhecimento sobre o dinâmico processo de produção de sedimentos que ocorrem nas vertentes da bacia hidrográfica.

Conclui-se que os valores obtidos por meio da aplicação da EUPS podem não representar a realidade existente em campo, porém, os dados alcançados oferecem subsídios para se estabelecer uma identificação das áreas com maiores tendências às perdas de solo na bacia hidrográfica.

A realização de estudos com maiores detalhamentos, que utilizem equipamentos específicos e que monitorem valores de perdas de solo coletados em campo na bacia estudada é a chave para se estabelecer uma aproximação da realidade e verificar a veracidades dos dados obtidos nas simulações realizadas.

Assim, acredita-se que esse trabalho traz algumas contribuições para se determinar perdas de solo por erosão laminar a partir da EUPS, sistematizada no SIG SPRING, para a região Noroeste do estado do Paraná.

7. BIBLIOGRAFIA

AMORIM, R.F.; SILVA, F.M. **Modelagem do processo de vulnerabilidade à erosão do solo utilizando o SPRING**. Anais do XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, p. 5073-5080. Natal, 2009.

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**. Dissertação de Mestrado. São José dos Campos: INPE, 1997

ASSAD, D. C.; SANO, E. E. **Sistema de Informações Geográficas – Aplicações em Agricultura**. Embrapa. 2ª edição revista e ampliada Brasília, 1999.

BERTONI, J. LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. São Paulo, 1999. Editora Ícone, 4ª Edição.

BIGARELLA, J.J; MAZUCHOWSKY, Y. Z. **Visão integrada da problemática da erosão**. Simpósio Nacional de Controle de Erosão, Maringá, 1985.

BISSIONAIS, Y.L.; MONTIER, C.; JAMAGNE, M.; DAROUSSIN, J.; KING, D.; **Mapping erosion risk for cultivated soil in France**. Catena, (46) 207-220, 2001.

BORSATO, V.A. **A dinâmica atmosférica e a gênese das chuvas na zona de transição climática – Campo Mourão PR**. Anais do XII EGAL – Encontro de Geógrafos da América Latina. Montevideu, 2009.

BOULET, R. Análise Estrutural da cobertura Pedológica e Cartografia. In: **XI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**. Anais. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1988, 79-90.

BRYAN, R. B. (2000). **Soil erodibility and processes of water erosion on hillslope**. Geomorphology, 32 (3): 385-415.

BUENO, C. R. P.; STEIN, D. P. (2005). **Potencial Natural e Antrópico de erosão na região de Brotas, Estado de São Paulo**. Acta Scientiarum, Vol. 26, pp.1-5.

CABECAUER, T.; HOFIERKA, J. **The consequences of land cover changes on soil erosion distribution in Slovakia**. Geomorphology (98) 187-198, 2008.

CAMARA, G.; SOUZA, R.C.M.; FREITAS, U.M.; GARRIDO, J. **SPRING: Interating remote sensing and GIS by object-oriented data molding**. J. Computers & Graphics, 20: (3) 395-403, May-Jun 1996.

CAMARGO, M.N.; MONIZ, A.C.; JORGE, J.A.; VALADARES, J.M.A.S. (1986) **Métodos de análise química, mineralógica e física dos solos do Instituto Agrônomo do Estado de São Paulo**. Campinas, Instituto Agrônomo, 94p. (Boletim Técnico).

CAMPGNOLI, F. **Production of Sediments from South America: a proposal of erosion rates mapping based on geological and geomorphological data characteristics.** Revista Brasileira de Geomorfologia, 7 (1), 3-8 (2006).

CARSON, M.A.; KIRKBY, M.J. **Hillslope form and process.** Oxford, Candbridge University Press - 1975, p.475.

CUNHA, J.E. **Caracterização morfológica (macro e micro) e comportamento físico hídrico de duas topossequências em Umuarama: subsídio para avaliação dos processos erosivos.** USP-FFLCH. Departamento de Geografia. Dissertação de Mestrado. São Paulo 130p. 1996.

EMBRAPA. CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE SOLOS. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 1999.

FERNANDES, L.A. **A cobertura cretácea suprabasáltica no Paraná e pontal do Paranapanema (SP): os grupo Bauru e Caiuá.** Instituto de Geociências, São Paulo-SP 1997. Dissertação de Mestrado, 129p.

FUJIHARA, A.K. **Predição de erosão e capacidade de uso do solo numa microbacia do oeste paulista com suporte de geoprocessamento.** Dissertação (Mestrado em Ciências), Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. Piracicaba – SP, 2002.

GASPARETTO, N.V.L, NAKASHIMA,P. NÓBREGA,M.T. **Mapeamento geológico geotécnico de Umuarama.** Convênio SUCEAM/DGE-UEM. Relatório final. 1993.

GASPARETTO, N.V.L, NAKASHIMA, P. NÓBREGA, M.T. **Caracterização do meio físico; subsídio para o planejamento urbano e periurbano. Cidade Gaúcha.** Convênio SUCEAM/DGE-UEM. Relatório final. 1994.

GASPARETTO, N.V.L.; NAKASHIMA, P.; NÓBREGA, M.T. **Caracterização do meio físico; subsídio para o planejamento urbano e periurbano. Cianorte.** Convênio SUCEAM/DGE-UEM. Relatório final. 1995.

GASPARETTO, V. L. N.; SOUZA, L. M. **Contexto geológico-geotécnico da Formação Caiuá no Terceiro Planalto Paranaense – Pr.** Anais do ENGEOPAR– I Encontro Geotécnico do Terceiro Planalto Paranaense – Maringá – UEM, 2003.

GASPARETTO, N.V.L. **As formações superficiais do noroeste do Paraná e sua relação com o Arenito Caiuá.** Tese de Doutorado. Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, 1999.

GASPARETTO, N.V.L.; NÓBREGA, M.T. E CARVALHO, A. **A reorganização da cobertura pedológica no noroeste do Paraná e as suas relações com o Arenito Caiuá.** In: ENCUESTRO DE GEOGRAFOS DE AMERICA LATINA, 8., 2001, CD-Rom,Santiago, EGAL. 2001. p. 164 -169.

GREENLAND, D.J.; LAL, R. **Soil conservation and management in the umid tropics**. John Wiley & Sons Ltda. London, 1977.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Manual Técnico da Vegetação Brasileira**. Série Manuais Técnicos em Geociências, nº 1. Rio de Janeiro, 1992.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - IPT. **Orientações para o combate à erosão no estado de São Paulo, Bacia do Pardo-Grande**. São Paulo: 3v. IPT. Relatório, 1990. 184p.

KIRKBY, M.J; MORGAN, R.P.C. **Soil Erosion**. Jonh Wiley & Sons Ltda. New York, 1980.

KÖPPEN, W. **Climatologia**. Fondo de Cultura Economica. Mexico, 1978. 478p.

LAL, R. **Physical Management of soil of the tropics: priorities for the 21st century**. Soil Sci., 165:191-203, 2000.

MAACK, R. **Geografia física do Estado do Paraná**. 2ed. Curitiba: Secretaria da Cultura e do Esporte do Governo do Estado do Paraná, 1981.

MAFRA, N.M.C. **Erosão e Planificação do uso do solo**. In: GERRA, A.J.T.; SILVA, A.S; BOTELHO, R.G.M.(org) Erosão e Conservação dos solos – Conceitos, Temas e Aplicações. Editora Bertrand Brasil, Rio de Janeiro - 1999 - 301-320.

MARTINS, V.M. **Caracterização morfológica e da circulação hídrica dos solos da cabeceira de drenagem do córrego Bom Jesus no município de Cidade Gaúcha**. Dissertação de Mestrado. Departamento de Geografia. FFLCH-USP. 135p. 2000.

MORAIS, E. S. **Aplicação de modelos para estimativa de produção de sedimentos na bacia do ribeirão Maringá – PR**. Monografia de Bacharelado. Universidade Estadual de Maringá, 2007.

MEIRELLES, M.S.P.; MOREIRA, F.R.; CAMARA, G. **Técnicas de Inferência Espacial**. In: MEIRELLES, M.S.P.; CAMARA, G.; ALMEIDA, C.M. Geomática: Modelos e aplicações ambientais. EMBRAPA Informação Tecnológica. Brasília, 2007.

MORGAN, R.P.C. **Soil erosion and Conservation**. Longman Group Limited, 2ª edição, 1995.

MINEROPAR. **Mapas Geológicos do estado do Paraná**. Escala 1: 650.000, 1989.

NAKASHIMA, P. **Sistemas pedológicos da região noroeste do Paraná: Distribuição e subsídios para o controle da erosão**. Volume I. Tese de Doutorado. Departamento de Geografia. FFLCH-USP, 1999.

NOGAMI, J. S.; VILLIBOR, D. F.. **Soil characterization of mapping units for highway y purposes in a tropical area**. Bulletin of the International Association of Engineering Geology, (19):196-199, 1999.

PEDRO, F. G.; LORANDI, R. **Potencial Natural de Erosão na área periurbana de São Carlos – SP**. Rev. Bras. Cartografia, 56 / 1, p. 28 – 33, 2004.

PEJON, O. J. **Mapeamento geotécnico regional da folha de Piracicaba-SP escala 1:10.000: estudo de aspectos metodológicos, de caracterização e de apresentação de atributos**. Tese de Doutorado, 224p. EESC/USP, São Carlos, 1992.

PERCIRA, V.P.; PEREIRA, M.N.; CRUZ, M.C.P.. **Solos altamente susceptíveis à erosão**. Jaboticabal. Editora UNESP/SBCS (1992).

PRADO, J.P.B. **Aplicação da Equação Universal de Perdas de Solo com auxílio de técnicas de Geoprocessamento para a bacia hidrográfica do córrego Ipiranga no município de Cidade Gaúcha**. Monografia de Bacharelado, Universidade Estadual de Maringá, 2005.

PRADO, J.P.B; NÓBREGA, M.T. **Determinação de perdas de solo na bacia hidrográfica do córrego Ipiranga em Cidade Gaúcha, Estado do Paraná, com aplicação da Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS)**. Maringá - Acta Scientiarum Technology, 27 (1), 33-42 (2005).

RIBEIRO, L.S.; ALVES, M.G. **Quantificação da perda de solo por erosão no município de Campos do Goytacazes/RJ através de técnicas de Geoprocessamento**. XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Florianópolis, 2007. (3039-3046).

RODRIGUES, J. E. **Estudo geotécnico de fenômenos erosivos acelerados**. São Carlos. Tese de Doutorado. EESC – USP. 162p. 1984.

SERRA, E. **Noroeste do Paraná: o domínio das lavouras de cana e a nova dinâmica da paisagem nas zonas de contato arenito-basalto**. Anais do XII EGAL – Encontro de Geógrafos da América Latina. Montevideu, 2009.

SANTOS, R.D.; LEMOS, R.C.; SANTOS, H.G.; KER, J.C. & ANJOS, L.H. **Manual de descrição e coleta de solos no campo**. 5.ed. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005, 100p.

SANTOS, L.J.C.; CHISATO, O.F.; CANALI, E.; FIORI, A.P.; SILVEIRA, C.T.; SILVA, J.M.F.; ROSS, J.L.S. **Mapeamento Geomorfológico do Estado do Paraná**. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 7 (2), 3-12 (2006).

SOARES, P. C. **Ensaio de caracterização estratigráfica do Cretáceo no estado de São Paulo**. Revista Brasileira de Geociências. São Paulo, n. 10, 1980.

SOUZA, M.L. **Proposta de um Sistema de Classificação de Feições Erosivas Voltadas à Estudos de Procedimentos de Análises de Decisões Quanto a Medidas Corretivas, Mitigadoras e Preventiva: aplicação no município de Umuarama (PR)**. Tese de Doutorado, Geociências e Meio Ambiente – Universidade Estadual Paulista - UNESP/Rio Claro, 284p. - 2001.

SOUZA, M.L.; GASPARETTO, N.V.L.; NAKASHIMA, P. **Diagnóstico geoambiental da bacia do córrego Tenente em Mariluz, Paraná, Brasil.** Revista Brasileira de Geociências. 2008. 38(2): 379-391.

SUMMERFIELD, M.A- **Global Geomorphology.** Rd. Longman. 535p. 1991.

VALERIANO, M.M. **Estimativa de variáveis topográficas por geoprocessamento para modelagem da perda de solos.** Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas 172p, Rio Claro, 1999.

VALERIANO, M.M. **Modelo Digital de Elevação com dados SRTM disponíveis para a América do Sul.** INPE. São José dos Campos, 2004.

TOMAZONI, J.C.; GUIMARÃES, E. **A sistematização dos fatores da EUPS em SIG para quantificação da erosão laminar na bacia do rio Jirau.** Revista Brasileira de Cartografia (57) 235-244, 2005.

XAVIER da SILVA, J. **Geoprocessamento em estudos ambientais: uma perspectiva sistêmica.** In: MEIRELLES, M.S.P.; CAMARA, G.; ALMEIDA, C.M. Geomática: Modelos e aplicações ambientais. EMBRAPA Informação Tecnológica. Brasília, 2007.

ZACHAR, D. **Soil erosion,** In: Developments in Soil Science, Elsevier Scientific Publishing Company. Bratislava, Czechoslovakia, 1982.

WACHOWICZ, R. **História do Paraná.** 9ª edição. Curitiba: Imprensa Oficial do Paraná, 2001. 360p.

WISCHIMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Rainfall energy and its relationship to soil loss.** Transaction American Geophysical Union, v.39, pp 285-291, 1958.

WISCHIMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning.** Washington: USDA, 1978. 58p.