

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Instituto de Geociências e Ciências Exatas

Campus de Rio Claro

**Estudo da vulnerabilidade à erosão com a aplicação da
Equação Universal de Perda de Solo na Alta Bacia Hidrográfica do
Rio Jacaré Pepira, utilizando SIG/*SPRING***

Ana Lúcia Carneiro da Costa

Orientador: Prof. Dr. Carlos de Almeida Nóbrega

Dissertação de Mestrado elaborada junto ao
Programa de Pós Graduação em
Geociências - Área de Concentração em
Geociências e Meio Ambiente para obtenção do
Título de Mestre em Geociências e Meio Ambiente

Rio Claro (SP)
2005

551.302 Costa, Ana Lúcia Carneiro da
C837e Estudo da vulnerabilidade à erosão com a aplicação da Equação Universal de Perda do Solo na Alta Bacia Hidrográfica do Rio Jacaré Pepira, utilizando SIG/SPRING / Ana Lúcia Carneiro da Costa. – Rio Claro : [s.n.], 2005
166 f. : il., tabs., fots., gráfs., + mapas

Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual Paulista,
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Orientador: Carlos de Almeida Nóbrega

1. Erosão. 2. Equação universal de perda do solo. 3. bacia hidrográfica. 4. Banco de dados. I. Título.

Ficha Catalográfica elaborada pela STATI – Biblioteca da UNESP
Campus de Rio Claro/SP

Comissão Examinadora

Prof. Dr. Carlos de Almeida Nóbrega

Prof. Dr. Luiz Roberto Cottas

Prof. Dr. Henry Lesjak Martos

Ana Lúcia Carneiro da Costa

Rio Claro, 11 de novembro de 2005.

Resultado: APROVADO

Dedico ao Júnior, pela sua coragem e amor à Natureza que me inspira.

AGRADECIMENTOS

Ao meu Orientador, Prof. Dr. Carlos de Almeida Nóbrega, pela orientação e amizade.

Aos professores do Programa de Pós Graduação do IGCE/UNESP-Rio Claro que conheci, pelos ensinamentos e apoio.

À Fundação Instituto de Terras- ITESP pela liberação de horas semanais durante dois anos, através do programa de incentivo à formação profissional.

A todas as pessoas, professores e técnicos que consultei durante a pesquisa, principalmente ao Flávio Rossi.

À minha família pelo estímulo e carinho, em especial à minha filha Catarina e aos meus pais José Américo e Maria Wanda.

Ao meu marido Júnior pelo seu companheirismo e ajuda prestimosa.

Aos amigos, parentes, colegas de trabalho, e todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização desta pesquisa.

Foi sempre necessária muito mais imaginação para aprender a realidade do que para ignorá-la.

J. Giradoux. Citado por Vivian, Jorge in: Agricultura & Florestas: princípios de uma interação vital. Rio de Janeiro: Ed. Agropecuária, 1998.

RESUMO

A expansão territorial do agronegócio e da área urbana na Alta Bacia Hidrográfica do Rio Jacaré Pepira impacta a preservação de seus recursos naturais. A erosão se destaca como um processo do meio físico que possui uma relação estreita com o uso do solo. Para estudo da vulnerabilidade à erosão realizou-se uma análise segmentada dos fatores naturais e antrópicos, apoiando-se no modelo matemático da Equação Universal de Perda de Solo (EUPS). O meio físico foi compartimentado nas sub-bacias que estão parcial ou totalmente inseridas na Área de Proteção Ambiental (APA) de Corumbataí. As sub-bacias foram consideradas como unidades de análise, com a medição de parâmetros morfométricos. Para estudo dos fatores antrópicos, realizou-se levantamentos de campo para caracterização do uso e manejo do solo praticado nas principais explorações agropecuárias com a identificação de feições erosivas lineares. As informações de ocupação do solo foram extraídas da classificação automática de imagens de satélite dos anos de 1988 (TM/Landsat) e 2004 (CBERS) com controle de campo. O trabalho apresentou como resultado o zoneamento da área quanto à susceptibilidade natural, vulnerabilidade e adequação ao uso do solo. As informações integradas em um banco de dados em SIG/*SPRING* permitem fornecer instrumentos para trabalhos de gerenciamento ambiental.

Palavras chaves: erosão, Equação Universal de Perdas de Solo, bacia hidrográfica, banco de dados.

ABSTRACT

Territorial expansion of agrobusiness and urban areas in the Jacaré Pepira River watershed impact its natural resources. Erosion stands out as a physical environment process that has a close relationship with land use. The study of erosion vulnerability was accomplished on a natural and human factors segmented analysis, based on Universal Soil Loss Equation (USLE) model. Physical environmental was shared on the sub-basin belong to APA de Corumbataí (Corumbataí Environmental Protection Area). Sub-basins were considered as units of analysis, with the morfometric parameters measurements. Field work was used on human factor study, aiming the management characterization for main crops, including the identify of areas affected by gullies. Data about land use were obtained by automatic classification of 1988 (TM/Landsat) and 2004 (CBERS) satellite images with field control. Zoning of the area was accomplished based on natural erosion potential (PNE), erosion vulnerability and wishing land use. Data input to a GIS/*SPRING* database can provide tools for environmental management.

Key words: erosion, watershed, Universal Soil Loss Equation, database.

LISTA DE TABELAS

	Páginas
Tabela 1. Índice de tolerância de perdas de solo.	32
Tabela 2. Valores adotados de erodibilidade dos solos (K)	35
Tabela 3. Valores adotados do fator uso-manejo para as classes de uso do solo.	39
Tabela 4. Valores adotados do fator práticas conservacionistas.	39
Tabela 5. Características das Imagens de satélite TM/LANDSAT.	54
Tabela 6. População rural e urbana dos municípios de Brotas e Torrinha.	76
Tabela 7. Pessoal ocupado na agricultura nos municípios de Brotas e Torrinha.	76
Tabela 8. Número de pés plantados de café e laranja nos municípios de Brotas e Torrinha.	77
Tabela 9. Cultura da cana de açúcar nos municípios de Brotas e Torrinha.	78
Tabela 10. Pastagem nos municípios de Brotas e Torrinha.	78
Tabela 11. Florestas plantadas nos municípios de Brotas e Torrinha.	79
Tabela 12. Matas naturais nos municípios de Brotas e Torrinha.	79
Tabela 13. Classificação da declividade (%).	86
Tabela 14. Classificação dos índices de erodibilidade.	92
Tabela 15. Classificação dos valores do fator topográfico.	93
Tabela 16. Classificação do Potencial natural de erosão (PNE).	93
Tabela 17. Classificação do grau de vulnerabilidade à erosão.	98

LISTA DE QUADROS

	Páginas
Quadro 1. QUADRO RESUMIDO DA ESTRUTURA DO BANCO DE DADOS EROSÃO: PROJETO JACARÉ CATEGORIAS E RESPECTIVOS PLANOS DE INFORMAÇÃO (PIs).	85
Quadro 2. QUADRO RESUMIDO DOS ATRIBUTOS DO MEIO FÍSICO CARACTERÍSTICOS DAS UNIDADES DE ANÁLISE.	103
Quadro 3. QUADRO COMPARADO DAS CLASSES DE OCUPAÇÃO DE SOLO NOS CENÁRIOS DE 1988 E 2004 SEGUNDO CLASSIFICAÇÃO DAS IMAGENS DE SATÉLITE.	114
Quadro 4. DISTRIBUIÇÃO EM ÁREA DO GRAU DE VULNERABILIDADE À EROSÃO.	115
Quadro 5. DISTRIBUIÇÃO DAS CLASSES DE SUSCEPTIBILIDADE NATURAL SEGUNDO O GRAU DE VULNERABILIDADE À EROSÃO.	116
Quadro 6. DISTRIBUIÇÃO DAS CLASSES DE OCUPAÇÃO DO SOLO SEGUNDO O GRAU DE VULNERABILIDADE À EROSÃO.	116

LISTA DE FIGURAS

	Páginas
Figura 1. Localização da área de estudo.	56
Figura 2. Mapa de geologia.	62
Figura 3. Sistema de relevo das cuestas.	63
Figura 4. Mapa das formas de relevo.	67
Figura 5. Mapa dos níveis planálticos.	68
Figura 6. Médias pluviométricas mensais de postos localizados na área de estudo com diferentes séries históricas.	70
Figura 7. Mapa pedológico.	74
Figura 8. Carta das classes de declividade.	87
Figura 9. Unidades de análise.	88
Figura 10. EI-Potencial de erosividade médio mensal.	91
Figura 11. Carta de erodibilidade.	94
Figura 12. Carta do fator topográfico.	95
Figura 13. Carta do Potencial natural de erosão.	96
Figura 14. Grupos das unidades de análise.	102
Figura 15. Ocupação do solo no Cenário de 1988.	ANEXO
Figura 16. Ocupação do solo no Cenário de 2004.	ANEXO
Figura 17. Carta de vulnerabilidade à erosão-1988.	120
Figura 18. Carta de vulnerabilidade à erosão-2004.	121
Figura 19. Carta do zoneamento da adequação do uso do solo.	ANEXO
Figura 20. Abrangência da APA de Corumbataí sobre a área de estudo.	ANEXO

LISTA DE FOTOGRAFIAS

	Páginas
Foto 1. Terraço embutido em canavial.	123
Foto 2. Destruição de terraços em renovação de canavial.	124
Foto 3. Remoção do solo causada por erosão a montante.	124
Foto 4. Erosão na encosta da Cachoeira de Santa Maria.	125
Foto 5. Desenvolvimento de feições erosivas em carreador de cana.	125
Foto 6. Floresta plantada de eucalipto.	126
Foto 7. Pomar adulto de laranja.	128
Foto 8. Erosão decorrente de superpastejo.	128
Foto 9. Área de concentração do rebanho.	129
Foto 10. Erosão linear em pastagem.	130
Foto 11. Assoreamento do Córrego da Lagoa Seca.	131
Foto 12. Erosão urbana.	131
Foto 13. Foto aérea com destaque de ravina em pastagem	133
Foto 14. Ravina em pastagem.	133
Foto 15. Foto aérea de ravina.	135
Foto 16. Ravina em pomar de laranja.	135
Foto 17. Pomar de laranja plantado sem considerar a curva de nível.	136
Foto 18. Foto aérea com destaque da voçoroca	137
Foto 19. Voçoroca em estágio avançado.	138
Foto 20. Detalhe dos drenos para contenção da voçoroca	139
Foto 21. Feições erosivas em pastagens.	140
Foto 22. Sulcos de erosão em pastagem.	141

LISTA DE FÓRMULAS

- (1) Equação Universal de Perdas de Solo (**EUPS**)
- (2) Equação de Perda Universal dos Solos Modificada (**Y**)
- (3) Potencial Natural de Erosão do Solo (**PNE**)
- (4) Índice de Erosividade da chuva (**EI**)
- (5) Fator topográfico (**LS**)
- (6) Comprimento médio das vertentes na bacia hidrográfica (**L**)
- (7) Potencial Antrópico (**CP**)
- (8) Índice de CP tolerável (**CPt**)
- (9) Risco de erosão
- (10) Grau de Vulnerabilidade à erosão
- (11) Índice de forma da bacia hidrográfica (**Kf**)
- (12) Densidade de drenagem (**Dd**)
- (13) Declividade (**De**)
- (14) Relação de relevo (**Rr**)
- (15) Extensão do percurso superficial (**Eps**)

LISTA DE ABREVIATURAS

- EUPS**= índice que representa a perda de solo por unidade de área (toneladas/ha)
- R**=índice de erosividade da chuva (tm.mm/ha.h.ano)
- K**=índice de erodibilidade do solo (ton/ha.ano $\text{tm}^{-1} \text{ha}^{-1}\text{mm}$)
- L**=índice relativo ao comprimento da encosta (metros)
- S**=índice relativo à declividade da encosta (%)
- LS** = fator topográfico
- C**=índice relativo ao fator uso e manejo do solo
- P**=índice relativo à prática conservacionista adotada
- Y**= aporte de sedimentos em determinado exutório da Bacia após evento chuvoso
- Q**=volume de escoamento superficial (m^3)
- qp**= vazão-pico (m^3)
- EI**= Média mensal do índice de erosividade, em tm.mm/ha.h.ano
- r** = precipitação média mensal (mm)
- P** = precipitação média anual (mm)
- PNE** = Potencial Natural de Erosão
- CP** = Potencial Antrópico
- A** = área de drenagem da bacia hidrográfica (km^2)
- Lt**=comprimento total dos canais da bacia hidrográfica (km)
- T**= Índice de Tolerância de Perda de Solo (ton/ha)
- CPT**= Índice do Potencial Antrópico Tolerável
- Kf**= índice de forma da bacia hidrográfica
- Lc** = comprimento do curso d'água mais longo (km)
- Dd** = densidade de drenagem (km/km^2)
- De** = declividade (%)
- Dh** = distância vertical (metros)
- DI** = distância horizontal (metros)
- Rr** = relação de relevo (m/m)

Hm = amplitude topográfica máxima (metros)

Ld = comprimento máximo medido paralelamente ao canal principal (metros)

Eps = extensão do percurso superficial (km)

GVE = Grau de Vulnerabilidade à erosão

SUMÁRIO

	Páginas
RESUMO	06
ABSTRACT	07
LISTA DE TABELAS	08
LISTA DE QUADROS	09
LISTA DE FIGURAS	10
LISTA DE FOTOGRAFIAS	11
LISTA DE FÓRMULAS	12
LISTA DE ABREVIATURAS	13
1. INTRODUÇÃO	17
2. OBJETIVO	20
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	21
3.1. EROSÃO: Fundamentação teórica	21
3.2. Equação Universal de Perdas de Solo	30
3.3. As sub-bacias como unidade de análise	42
3.4. Estudos de erosão em SIG- Sistema de Informação Geográfica	47
3.5. Processamento de imagens digitais	52
4. DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	55
4.1. A Bacia Hidrográfica do Rio Jacaré Pepira	55
4.2. Área de Proteção Ambiental- APA	57
4.3. Geologia	59
4.4. Geomorfologia	63
4.5. Clima	69
4.6. Pedologia	71
4.7. O histórico da ocupação segundo dados censitários do IBGE	75
5. MATERIAIS E MÉTODO	80
5.1. MATERIAIS	80
5.2. MÉTODO	81
6. RESULTADOS	100
6.1. DESCRIÇÃO DO MEIO FÍSICO	100

6.2. USO E MANEJO DO SOLO	112
7. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS	142
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	146
ANEXOS	154

I. INTRODUÇÃO

O Estado de São Paulo, ao longo de cinco séculos, sofreu uma drástica devastação florestal. Assim, inúmeras formações vegetais foram reduzidas a pequenos fragmentos dispersos, sobretudo no interior do território, acarretando expressiva redução da biodiversidade. Analisando-se o processo de ocupação do Estado de São Paulo, verifica-se que algumas áreas permanecem preservadas por se terem mantido relativamente à margem dos ciclos econômicos que nortearam a história da ocupação no Estado (SÃO PAULO, SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE, 2001).

A porção alta da Bacia Hidrográfica do Rio Jacaré Pepira, objeto deste estudo, localiza-se na região central do Estado de São Paulo e se encontra parcialmente abrangida pela APA - Área de Proteção Ambiental de Corumbataí. Trata-se de uma região que viveu uma fase de prosperidade durante a época da expansão do café para o interior paulista, fase que durou até o declínio do ciclo do café no início da década de 30. A crise do café trouxe um período de estagnação econômica, resultando em um processo de migração que se reverteu somente na década de 80. Esta situação, que levou a região à margem do desenvolvimento econômico durante décadas, criou condições favoráveis à preservação de suas qualidades ambientais.

O interesse ambiental pela Bacia do Jacaré Pepira foi despertado no final da década de 80, quando se implantou o Consórcio Intermunicipal do Rio Jacaré Pepira. Favorecida pelas características naturais, localização, e baixos níveis de poluição, resultado do reduzido desenvolvimento industrial, a região apresentava um forte potencial para o desenvolvimento do ecoturismo como alternativa econômica.

Nesta época surgiu a ONG Movimento Ecológico Rio Vivo na cidade de Brotas, fruto da mobilização da comunidade contra a instalação de um curtume que trabalhava com técnicas altamente poluidoras. Com apoio do Poder Público Municipal, o município passou a fomentar o ecoturismo como alternativa econômica de geração de empregos através da valorização da qualidade ambiental do lugar, redefinindo assim sua vocação.

Durante a década de 90, Brotas viveu uma fase de intensa transformação de seu perfil sócio-econômico. Com uma economia até então baseada quase que exclusivamente

na agropecuária, a cidade passou por um forte desenvolvimento do ecoturismo com ênfase para os esportes aquáticos, sendo hoje considerada a capital do turismo de aventura.

A vocação turística da região está relacionada diretamente com suas características geomorfológicas: o Rio Jacaré Pepira possui corredeiras próprias à prática de esportes de aventura e o relevo de cuestas forma diversas cachoeiras e exhibe uma paisagem de beleza cênica.

A dinamização da economia na região em parte é promovida pelo crescimento do ecoturismo e por outro lado, ocorre pela expansão territorial das explorações agropecuárias aliadas aos Complexos Agroindustriais, em que se destaca o setor sucro-alcooleiro, impulsionado pelo programa Pró-Álcool das últimas décadas do século XX.

Entre os impactos ambientais relevantes na atual fase de desenvolvimento sócio-econômico da região, a erosão se destaca como um processo do meio físico que possui uma relação estreita com a forma de uso do solo, apresentando como consequência o assoreamento dos cursos d'água.

Entende-se por erosão o processo de “desagregação e remoção de partículas do solo ou de fragmentos e partículas de rochas, pela ação combinada da gravidade com a água, vento, gelo e/ou organismos (plantas e animais)” (IPT, 1986). Em geral, distinguem-se duas formas de abordagem para os processos erosivos: “natural” ou “geológica”, que se desenvolve em condições de equilíbrio com a formação do solo, e a erosão “acelerada ou “antrópica”, cuja intensidade, sendo superior à da formação do solo, não permite a sua recuperação natural. (SALOMÃO; IWASA, 1995).

O processo de erosão hídrica inicia-se com a desagregação das partículas do solo sob ação do impacto das gotas de chuva. A enxurrada transporta os sedimentos ao longo das vertentes até atingir os mananciais causando assoreamento dos cursos d'água. O assoreamento reduz a profundidade dos canais, causa poluição das águas e aumenta o risco de ocorrência das cheias, alterando a dinâmica fluvial.

Segundo Bertoni e Lombardi Neto (1985), a erosão hídrica é o principal problema da agricultura paulista, compromete a qualidade dos recursos naturais da água e do solo e causa elevados prejuízos à produção econômica, empobrecendo o solo pela remoção da camada fértil.

O estudo da vulnerabilidade à erosão é a proposta deste trabalho. Seu desenvolvimento se deu pela comparação e mensuração dos fatores naturais e antrópicos atuantes no processo erosivo, utilizando principalmente a aplicação do modelo matemático da Equação Universal de Perda de Solo.

Segundo conceituação do Manual da Defesa Civil (1999), a vulnerabilidade é uma condição intrínseca ao corpo receptor que, em interação com a magnitude do evento, define os efeitos adversos, medidos em termos de intensidade dos danos previstos.

A definição de vulnerabilidade está em construção, amplamente utilizada embora pouco precisa. Encontra-se, porém, predominantemente associada à capacidade de resposta aos danos ou resiliência (MARANDOLA JR; HOGAN, 2003).

Já o conceito de risco representa a medida de danos e prejuízos potenciais, expressa em termos de probabilidade de ocorrência de um acidente, associada à intensidade de suas conseqüências econômicas e sociais (BRASIL, DEFESA CIVIL, 1999).

A principal finalidade do estudo ambiental é capacitar o homem para a ação sobre uma dada região ao identificar suas potencialidades de uso e vulnerabilidades. Dessa maneira, favorece decisões visando ao ecodesenvolvimento.

2.OBJETIVO

O presente trabalho teve como objetivo estudar a vulnerabilidade à erosão na Alta Bacia Hidrográfica do Rio Jacaré Pepira que se encontra inserida na Área de Proteção Ambiental -APA de Corumbataí, através da aplicação da Equação Universal de Perdas de Solo em uma análise segmentada dos fatores naturais e antrópicos.

O estudo apoiou-se na compartimentação do meio físico em sub-bacias hidrográficas, consideradas como unidades de análise. Na análise dos fatores naturais utilizou-se a medição de parâmetros morfométricos das sub-bacias.

Para estudo dos fatores antrópicos, realizou-se levantamentos de campo para caracterização do uso e manejo do solo praticado nas principais explorações agropecuárias com a identificação de feições erosivas lineares presentes nestas áreas.

Os dados de ocupação do solo foram extraídos da classificação automática de imagens de satélite dos anos de 1988 e 2004 com controle de campo.

As informações foram integradas em um banco de dados em Sistema de Informação Geográfica (SIG), que pode ser atualizado, oferecendo instrumentos passíveis de uso no acompanhamento da ocupação do solo e da evolução dos processos erosivos.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. EROSÃO: Fundamentação teórica

Segundo Bertoni e Lombardi Neto (1985), erosão hídrica é o processo de desprendimento e arraste acelerado de partículas do solo causado pela água. A capacidade erosiva da chuva depende da energia da queda da massa de água por unidade de área da gota individual. Essa energia cinética da queda de uma gota determina a força do golpe que deve ser absorvida em cada ponto do impacto, enquanto a área horizontal da gota determina a quantidade de solo que deve suportar o golpe. O processo de salpicamento das partículas do solo é afetado pelo tamanho das gotas, pela sua velocidade de queda e pela intensidade da chuva.

Salomão e Iwasa (1995), afirmam que a ação erosiva da chuva depende de sua distribuição pluviométrica, mais ou menos regular, no tempo e no espaço, e de sua intensidade. Chuvas torrenciais ou pancadas de chuvas intensas, como tromba d'água, constituem a forma mais agressiva de impacto da água no solo.

Bertoni e Lombardi Neto (1985) explicam que a **erosividade** da chuva tem sido atribuída geralmente à intensidade dos eventos chuvosos, embora o limite crítico para que o evento efetivamente seja considerado de alta erosividade pode depender de características regionais. A erosividade das águas pluviais depende também das condições de relevo que potencializam a energia de transporte da água.

Segundo Magalhães (1995), o poder erosivo da água depende da densidade e velocidade do escoamento, da espessura da lâmina d'água, da inclinação e comprimento da vertente, e da presença de vegetação. A erosão pode ocorrer tanto em terrenos levemente ondulados, quanto em terrenos acidentados. A topografia, a forma e o comprimento da vertente influem muito na velocidade de formação e desenvolvimento do processo erosivo.

Bertoni e Lombardi Neto (1985) salientam que o comprimento de rampa é um dos mais importantes fatores da erosão do solo e que a forma do declive também é relevante, perfis convexos são mais vulneráveis aos processos erosivos que os côncavos.

Christofoletti (1974) afirma que no processo de escoamento pluvial, as gotas atingem a velocidade terminal, qualquer que seja o diâmetro, quando a distância percorrida ultrapassa oito metros. O escoamento pluvial é um importante fator de esculturação das vertentes, podendo ocorrer de forma difusa, quando as águas escorrem sem hierarquia e fixação de leitos, anastomosando-se constantemente ou de forma concentrada ou enxurrada, quando as águas se concentram, possuindo maior competência erosiva e fixando o leito, deixando marcas sensíveis na superfície topográfica.

Segundo Guerra e Cunha (1996), as chuvas representam o principal elemento climático altamente relacionado com os desequilíbrios que se registram na paisagem das encostas. A variação espacial da intensidade das precipitações (volume) associada à sua frequência (concentração em alguns meses do ano) é o fator primordial a ser avaliado em situações críticas.

Bertoni e Lombardi Neto (1985) explicam que a frequência das chuvas é um fator que também influi nas perdas de terra pela erosão. Se os intervalos entre elas são curtos, o teor de umidade do solo é alto, e assim as enxurradas são mais volumosas, mesmo com chuvas de menor intensidade. Outro aspecto importante é a ação de compactação que as gotas de chuva causam ao solo, que perde sua capacidade de infiltração; fator responsável pelo grande volume de enxurrada durante as chuvas mais intensas. Quando a superfície está sendo golpeada pelas gotas de chuva, a velocidade de infiltração de água no solo diminui rapidamente com a proporção do tamanho das gotas, e vai diminuindo progressivamente à medida que aumenta o grau de declive do terreno.

O entendimento dos processos erosivos permite destacar dois importantes eventos iniciais, envolvendo, por um lado, o impacto das gotas de chuva na superfície do solo, promovendo a desagregação e liberação das suas partículas; e, por outro, o escoamento superficial das águas permitindo o transporte das partículas liberadas. Dependendo da forma em que se dá o escoamento superficial ao longo da vertente, pode-se desenvolver dois tipos de erosão: erosão laminar ou em lençol, quando causada por escoamento difuso das águas de chuva, resultando na remoção progressiva e relativamente uniforme dos horizontes superficiais do solo; e erosão linear, quando causada por concentração das linhas de fluxo das águas de escoamento superficial, resultando em pequenas incisões na

superfície do terreno, em forma de sulcos, que podem evoluir por aprofundamento a ravinas (SALOMÃO; IWASA, 1995).

Magalhães (2001) explica que a erosão hídrica desenvolve-se em quatro estágios: formação de canal onde há concentração de escoamento; incremento rápido em profundidade e largura onde a cabeceira move-se para montante; declínio do aumento com início de crescimento da vegetação natural; e eventual estabilização com o canal locado num perfil de equilíbrio com paredes estáveis e vegetação desenvolvida “segurando” o solo.

Salomão (1994) diferencia a erosão linear por sulcos e ravinas das voçorocas. Os primeiros são provocados apenas pelo escoamento concentrado superficial das águas de chuvas. Já as voçorocas resultam da conjunção do escoamento concentrado superficial com o sub-superficial (“piping”), capaz de promover importantes mobilizações de terra.

O processo conhecido como erosão interna ou “piping”, que ocorre na evolução das voçorocas, avança para o interior do solo na forma de tubos. Quando os vazios criados no interior do solo tornam-se significativos, podem dar origem a colapsos do terreno, com desabamentos que alargam a voçoroca ou criam novos ramos. Estão associados também aos processos de erosão interna, os descalçamentos e solapamentos da base das paredes da voçoroca que provocam desmoronamentos ou escorregamentos de solos (IPT,1989).

A erosão em profundidade ou subterrânea, por fluxos tubulares, acontece pela existência de um gradiente hidráulico (diferença de nível), favorecido por perfurações abertas pelo sistema radicular de plantas, animais escavadores, movimento de dessecação do manto rochoso pelo intemperismo, deslizamentos nos depósitos colúvio-aluvionares de encostas ou nas estruturas reliquiares das rochas originais, impressas na massa de solo residual. A coesão e granulometria dos solos são determinantes para a evolução da erosão (MAGALHÃES, 1995).

Queiroz Neto (2001) explica que nos sopés das vertentes ou em rupturas de declive nas vertentes, com substrato rochoso aflorante ou a pouca profundidade, os fluxos de água sub-superficiais adicionam-se aos superficiais concentrados, originando sulcos e ravinas; ao encontrarem os lençóis permanentes mais profundos podem originar voçorocas.

Diversos processos estão presentes na voçoroca, dentre eles podemos citar os relacionados com o escoamento pluvial (lavagem superficial e formação de sulcos), de erosão interna do solo (piping), solapamentos e escorregamentos dos solos, além da erosão feita pela água do escoamento pluvial. No interior da voçoroca há surgências d'água, que durante o ano são alimentadas pelo lençol freático (BACCARO, 1994 apud MAGALHÃES, 2001).

Oliveira (1994) cita que as forças de percolação na voçoroca são capazes de arrastar as partículas de solo e assim formar vazios subterrâneos que se podem propagar a distâncias de vários metros, provocando colapsos e subsidências do terreno.

O processo erosivo não ocorre da mesma forma em solos com diferentes propriedades. O comportamento de um solo frente à ação das águas varia principalmente em função de sua permeabilidade, estrutura, densidade e textura, que definem o grau de **erodibilidade** do solo. Estas características conferem maior ou menor resistência das partículas do solo à desagregação e capacidade de absorver e infiltrar água pluvial, aumentando o limite para início do escoamento pluvial (BERTONI ; LOMBARDI NETO, 1985).

O conteúdo de matéria orgânica pode alterar a estrutura do solo, melhorando a porosidade nos solos argilosos e promovendo a aglutinação de partículas que firmam a estrutura nos solos arenosos. Primavesi (1987) menciona a agregação do solo, denominada *bioestrutura* do solo, a qual é caracterizada pelos agregados secundários ou grumos formados pelos microorganismos a partir de agregados primários, de formação química.

Magalhães (1995) cita que os solos mais propícios à erosão são os arenosos, sobretudo os finos, secos, ácidos, pouco coesivos, coluviais e porosos.

O manejo dos solos e a cobertura vegetal podem alterar significativamente a resistência dos solos à erosão. Segundo Bertoni e Lombardi Neto (1985), são vários os efeitos da vegetação: proteção direta contra o impacto das gotas de chuva, interceptação da água, decomposição das raízes das plantas que contribuem na infiltração, melhoramento da estrutura do solo pela adição de matéria orgânica e diminuição da velocidade de escoamento da enxurrada pelo aumento do atrito na superfície.

Segundo Oliveira (1994) o início do desmatamento no Planalto Paulista remonta os séculos XVII e XVIII, quando a vegetação nativa era francamente derrubada para a

implantação das lavouras de subsistência como café, algodão, pastagens, que alavancaram o povoamento do interior do País. O autor cita que vários pesquisadores observaram alterações importantes nas taxas de erosão após desmatamentos, principalmente quanto ao comportamento hídrico do meio físico, promovido pela eliminação da cobertura vegetal.

A mudança do regime de escoamento superficial e subterrâneo, consequência do desmatamento e das diversas formas de uso do solo, é apontada como principal causa dos processos erosivos. Essa mudança implica maior velocidade de escoamento superficial e, ao menos nos primeiros anos após os desmatamentos, num aumento de infiltrações que aumentam os gradientes e desencadeiam o fenômeno de erosão interna tubular (FORNASARI FILHO; INFANTI JR., 1998).

Os trabalhos de preparo do solo destroem a estrutura natural da camada arável e, se realizados sob condições úmidas, provocam a compactação que reduz as taxas de infiltração e aumenta o volume de escoamento superficial, em solos com declividade. Nos solos planos a redução das taxas de infiltração provocada pela compactação reflete-se no aumento do tempo de encharcamento destes, reduzindo consideravelmente o tempo disponível para preparo do solo (BELTRAME et al., 1981).

As operações de motomecanização aumentam o nível de compactação, comprometendo a capacidade natural de infiltração do solo. Trabalhos realizados por Estandislau et. al. (1999) demonstraram o efeito da cobertura vegetal em diferentes graus de compactação através de curvas de infiltração para três tipos de solo. Sob diferentes formas de cobertura vegetal, o grau de compactação alterou significativamente a infiltração dos solos.

O tema erosão tem sido intensivamente estudado sob vários pontos de vista em todas as partes do mundo e crescem as pesquisas visando à compreensão de mau manejo do solo e de drásticas alterações ambientais. (SILVA et al, 2003).

Salomão e Iwasa (1995) afirmam que para o estudo da erosão linear (sulco, ravina e voçoroca) em áreas urbanas, é fundamental conhecer o comportamento das águas de chuva e do lençol freático em coberturas pedológicas ao longo das vertentes.

A erosão linear profunda, nas áreas urbanas, está associada à concentração do escoamento das águas superficiais através das ruas, rede de galerias pluviais e de esgotos

que, quando lançados de forma inadequada nos talvegues receptores, resultam na abertura de grandes ravinhas e mesmo voçorocas (IWASA; FENDRICH, 1988).

Queiroz Neto (2001) aponta que faltam estudos sobre erosão que integram as erosões por escoamento superficial e sub-superficial das águas pluviais ao universo da dinâmica global da água no solo, incluindo as drenagens internas, vertical e lateral. Entre as propostas para incrementar as pesquisas sobre o tema, o autor cita o cadastramento das erosões, relacionando-as aos fatores condicionantes do meio físico e de manejo, procurando identificar as áreas mais sensíveis.

Em trabalho realizado pelo IPT (1989) de cadastramento de ravinhas e voçorocas na Bacia do Peixe-Paranapanema, verificou-se que o desenvolvimento destas feições depende da conjugação de fatores naturais com antrópicos. Os fatores naturais condicionantes são basicamente o tipo de solo e relevo e, de forma mais indireta, o tipo de substrato rochoso na medida em que está intimamente associado às coberturas pedológicas. As características do solo que se mostraram importantes são a textura, pois há uma relação exclusiva com solos de textura arenosa a média; a estrutura, com maior incidência em solos de estrutura prismática ou em blocos, o que facilita a concentração das águas de escoamento em filetes coincidentes com a disposição das macroestruturas; e a profundidade, pois o aprofundamento das feições depende da espessura do solo. Quanto ao relevo, em linhas gerais, há correlação com relevos acentuados e/ou com menores interflúvios e as cabeceiras de drenagem.

As principais medidas para minimizar a realimentação do processo de erosão na cabeceira da voçoroca são: terraceamento; canais de desvio; beiras com vegetação ou cordões de pedra. As águas provenientes do escoamento pluvial devem ser conduzidas desde a cabeceira da voçoroca até o fundo, de tal forma que haja uma diminuição da energia da água. A formação de um maciço arbóreo diminui a evolução do processo da voçoroca, pois auxilia na estruturação do solo, na redução de velocidade das águas superficiais e na regularização da infiltração. O isolamento da feição é importante de forma que evite a passagem de animais, pessoas, veículos, etc. Para controle das águas subterrâneas e subsuperficiais, responsáveis pela erosão tubular no interior das vertentes e pela liquefação do material no rodapé das paredes da voçoroca, podem ser adotados drenos com material filtrante e drenos de bambu, entre outros (MAGALHÃES, 2001).

Oliveira (1995) explica, porém, que a perda de solos de uma bacia não significa necessariamente produção de sedimentos, pois há vários fatores que influem nesta relação, ou seja, na transformação da perda de solos em sedimentos que saem de uma bacia como: o tamanho das áreas-fonte e sua proximidade da saída da bacia, o tamanho das partículas que se relacionam com o tipo de solo, a declividade e a forma do relevo, a forma dos canais e sua composição litológica. Todos estes fatores são ativados pelo uso do solo e pelo clima, especialmente as chuvas que geram a dinâmica de transporte das partículas desde as áreas-fonte até as drenagens permanentes (transporte por enxurradas) e destas até a saída ou exutório da bacia (transporte fluvial).

Foster et al.(1982, apud OLIVEIRA, 1994) salientam que a produção de sedimentos de uma bacia pode ser mais indicativa da capacidade de transporte do escoamento superficial que da própria intensidade dos processos erosivos.

Carvalho (1994) cita o parâmetro de informação hidrossedimentométrica que é o coeficiente de remoção de sedimentos, ou razão de transferência. Trata-se da relação entre a quantidade de carga sólida medida na seção transversal do curso d'água e a quantidade total de erosão da bacia contribuinte. Os fatores que mais afetam esse parâmetro são: relevo, área de drenagem, razão relevo-comprimento e densidade de drenagem.

Segundo Dunne e Leopold (1978), o transporte de sedimentos é uma característica natural dos sistemas fluviais necessária à manutenção da estabilidade relativa entre os processos de erosão e deposição. Dependendo do clima, geologia e vegetação, mesmo sem a interferência antrópica, o sistema fluvial possui uma carga de sedimentos natural e adequada às suas características.

Carvalho (1994) explica que um fluxo de água tem a capacidade de transportar uma certa quantidade máxima de material sólido que é conhecido como valor de saturação. Esse valor depende de vários fatores como vazão, declividade do rio, granulometria e peso específico do sedimento. Caso a quantidade de material seja maior que o valor de saturação, haverá formação de depósito. Neste caso, com a carga sólida do rio elevada, o leito começa a se elevar devido a grande sedimentação, sendo que enchentes podem tornar mais frequentes devido à diminuição de capacidade da calha. Caso haja um reservatório, este passará a reter todo o sedimento, assoreando-se.

Oliveira (1995) afirma que, de um ponto de vista amplo, o assoreamento deve ser considerado num quadro de desequilíbrio ambiental de vários caracteres: geomorfológico, porque o assoreamento faz parte do conjunto de processos de modelado do relevo; pedológico, porque o assoreamento responde à erosão que acompanha transformações importantes dos solos, tanto fisicamente quanto quimicamente, e também hidrológico, porque todos os processos respondem a alterações significativas do comportamento hídrico dos terrenos, especialmente a relação entre taxas de escoamento superficial e de infiltração. Portanto, o assoreamento constitui aspecto de um problema maior, que pode ser designado como degradação dos recursos naturais (solos e águas), provocada por formas inadequadas de uso do solo urbano ou rural.

Bordas e Semmelmann (1993) afirmam que, com o passar do tempo, os processos em ação no ciclo hidrossedimentológico acabam por moldar as feições das bacias hidrográficas. Estas alterações resultam de um demorado processo de adaptação, produto da degradação lenta do relevo sob ação dos processos presentes no ciclo hidrossedimentológicos. No sistema fluvial predominam a erosão no trecho superior da rede de drenagem, o transporte no trecho médio e os depósitos no curso inferior. Onde existe solo, a erosão nas vertentes processou-se em ritmo compatível com a formação deste, garantindo dessa forma a evolução equilibrada do sistema, mantidas as condições tectônicas e climáticas. Já, com a presença e ação do homem, há uma aceleração da erosão natural dos interflúvios, aumentando as agressões às calhas dos rios, aumentando os depósitos e a instabilidade dos leitos fluviais.

Dunne e Leopold (1978) explicam que uma mudança na descarga de sedimentos não produz uma alteração imediata no curso d'água, mas inicia uma mudança que se estende por um determinado período. O canal se altera tanto pela mudança na vazão, como pela mudança na produção de sedimento, e estas duas alterações podem não ocorrer ao mesmo tempo. O canal fluvial pode exibir diferentes respostas às mudanças das condições superficiais na Bacia Hidrográfica, dependendo da magnitude. Assim, é importante determinar o grau de alteração na relação chuva-escoamento-erosão necessária para realizar uma mudança significativa no canal fluvial. A resposta do canal fluvial não irá depender somente do tipo de mudança na cobertura vegetal e condição do solo, mas na porcentagem

afetada da Bacia, no clima da região, na topografia, forma das vertentes, e em outras características interrelacionadas na Bacia Hidrográfica.

Oliveira (1995) aponta que o assoreamento não responde de forma linear nem concomitante à progressão da erosão. As características dos depósitos e seu entalhe mostram que não há uma condição contínua de erosão, transporte e deposição, mas sim saltos qualitativos que definem fases bem marcadas da evolução do meio físico. O autor considera, que a caracterização da dinâmica superficial de uma bacia hidrográfica e do comportamento dos canais de drenagem constituem etapa essencial para a elaboração de modelos de assoreamento mais realistas, que podem auxiliar na avaliação e interpretação dos dados sedimentométricos disponíveis e, na falta destes, permitindo caracterizar qualitativamente a produção de sedimentos de uma bacia hidrográfica. Nesta análise, salienta a importância do conhecimento das características da Bacia, especialmente de sua dinâmica ante o uso do solo, de forma a enriquecer o estudo do assoreamento, qualificando o ambiente como atual para destacar que os processos atuais são acelerados e relativos à transformação tecnogênica da paisagem ou morfogênese antrópica, extremamente veloz e intensa.

3.2. Equação Universal de Perda de Solo

Modelos matemáticos são largamente empregados na predição do processo erosivo, tanto para planejamento conservacionista (preventivo) como em seu controle. A principal vantagem da aplicação de modelos reside na possibilidade de estudar vários cenários diferentes, e diferentes tipos de manejos e práticas conservacionistas, com baixo custo e de forma rápida. Contudo, todo modelo tem limites de aplicação (SILVA et al., 2003).

Os primeiros trabalhos para desenvolver equações que avaliassem as perdas de solo de uma área datam de 1940, na região do *Corn Belt* dos Estados Unidos; sendo que o processo empregado a partir daquela época até 1956 era conhecido por método do “plantio em declives”. Somente no final da década de 50, uma equação de perdas de solo foi aprovada superando restrições geográficas e climáticas surgidas nas equações anteriormente propostas e, devido à sua aplicação generalizada, o modelo aperfeiçoado passou a denominar-se equação universal de perda de solo (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1985).

A “Equação Universal de Perda de Solos” desenvolvida por Wischmeier e Smith em 1965, nos EUA, é reconhecida para estudo da erosão laminar, expressa pela relação:

$$\text{EUPS} = R K L S C P \quad (1)$$

onde (sistema métrico),

EUPS= índice que representa a perda de solo por unidade de área, em toneladas/ha;

R=índice de erosividade da chuva, em tm.mm/ha.h.ano;

K=índice de erodibilidade do solo, em ton/ha ano $\text{tm}^{-1}\text{ha}^{-1}\text{mm}^{-1}$;

L=índice relativo ao comprimento da encosta, em metros;

S=índice relativo à declividade da encosta, em %;

C=índice relativo ao fator uso e manejo do solo (adimensional);

P=índice relativo à prática conservacionista adotada (adimensional).

Este modelo, porém apresenta limitações. Em estudos regionais de erosão (escalas pequenas), os valores numéricos da Equação Universal de Perda de Solo por erosão não podem ser tomados como dados reais de erosão, servindo tão-somente para categorizar qualitativamente as áreas quanto a sua maior ou menor susceptibilidade à erosão laminar, podendo cartografá-las em mapas de suscetibilidade (IPT, 1986).

Não levando em conta a erosão linear ou por escoamento concentrado, que provoca a formação de sulcos, ravinas e voçorocas, a EUPS, segundo Oliveira (1994), exclui os processos mais eficientes para o transporte de sedimentos.

Segundo Stein (1999), a EUPS representa quantificações de perdas de solo admitidas contínuas ao longo da encosta, desconsiderando a deposição parcial nas vertentes, que sabidamente ocorre, e também a complexidade imposta pela intervenção da dinâmica fluvial, com erosão e deposição associadas.

Usualmente, a Equação Universal de Perda de Solo é avaliada frente ao Índice de Tolerância de Perdas de Solo. Segundo Bertoni e Lombardi Neto (1985), o estabelecimento desta tolerância é de difícil determinação, pois envolve aspectos econômicos e ambientais nesta avaliação. Conceitualmente, este índice pode ser definido como a intensidade máxima de erosão do solo que mantém a produtividade de uma exploração agrícola economicamente viável e a capacidade de formação do solo para recompor as perdas.

Os autores procuraram estabelecer padrões de tolerância de perdas para solos considerando principalmente a profundidade do solo favorável ao desenvolvimento do sistema radicular e a relação textural dos horizontes superficiais. Solos com gradiente textural entre os horizontes apresentam um menor valor de tolerância, pois têm uma profundidade pequena no horizonte superficial que fica mais sujeito ao processo de erosão. Os solos profundos, sem diferença textural, apresentam maior permeabilidade e assim os limites são mais elevados.

O limite de tolerância de perdas de solo por erosão é estabelecido para cada classe de solo. A **Tabela 1** apresenta os valores da média ponderada em relação à profundidade dos limites de tolerância para as classes de solo encontradas na área de estudo.

Tabela 1. Índice de tolerância de perdas de solo.

Classe de solo	toneladas/ hectare
Latossolo Vermelho Amarelo	14,2
Latossolo Vermelho Escuro	15,0
Latossolo Roxo	12,0
Podzólico Vermelho Amarelo	6,60
Terra Roxa Estruturada	13,4
Litólico	4,20
Areia quartzosa profunda	14,0

Fonte: Bertoni e Lombardi Neto (1985)

A Equação Universal de Perda dos Solos foi modificada por Willians em 1975, com o objetivo de criar um modelo para prever o aporte de sedimentos na Bacia Hidrográfica. A equação MUSLE (Modified Universal Soil Loss Equation) utiliza os mesmos fatores da equação anterior, com exceção do fator R (erosividade da chuva), o qual foi substituído por fatores que contemplam os processos hidrológicos da Bacia (SILVA et.al.,2003). A equação é:

$$Y = 89,6 (Q * qp)^{0,56} K LS C P \quad (2)$$

onde,

Y= aporte de sedimentos em determinado exutório da Bacia após evento chuvoso

Q=volume de escoamento superficial (m³)

qp= vazão-pico (m³)

Contudo, para trabalhar com a EUPS modificada, os fatores hidrológicos necessários à estimativa do aporte de sedimentos nem sempre são de simples obtenção. Mesmo que a EUPS apresente limitações científicas, em função de sua relativa simplicidade, tem sido largamente utilizada, principalmente no caso do Brasil, onde a base de dados e informações cartográficas é normalmente escassa (SILVA et al., 2003).

A Equação Universal de Perda de Solos pode ser fracionada em duas equações: Equação do Potencial Natural de Erosão (PNE) que considera apenas os fatores naturais do

meio físico, intervenientes no processo de erosão e Equação do Potencial Antrópico, com os fatores que dependem das ações antrópicas sobre o meio físico.

Este fracionamento, que permite realizar uma análise segmentada do processo erosivo, já foi realizado em diversos trabalhos por Stein et al. (1987), Pinto (1991), Valério Filho (1994) e Oliveira (2000).

A equação do Potencial Natural de Erosão é:

$$\mathbf{PNE} = \mathbf{R K L S} \quad (3)$$

onde,

R = erosividade da chuva, em tm.mm/ha.h.ano;

K = erodibilidade do solo, em ton/ha ano $\text{tm}^{-1}\text{ha}^{-1}\text{mm}$;

LS = fator topográfico

O Potencial Natural à Erosão representa a interação dos principais fatores naturais do meio físico intervenientes no processo da erosão laminar. Corresponde às estimativas de perdas de solo em áreas continuamente destituídas de cobertura vegetal e sem qualquer intervenção antrópica (STEIN et al., 1987).

O índice de erosividade da chuva (**R**) expressa a capacidade da chuva, esperada em uma localidade, de causar erosão em uma área sem proteção.

Estudos de dados de perdas de solo associados às características de chuva mostraram que quando outros fatores, à exceção da chuva, são mantidos constantes, as perdas de solo ocasionadas pelas chuvas nos terrenos cultivados são diretamente proporcionais ao valor do produto de duas características da chuva: sua energia cinética total e sua intensidade máxima em trinta minutos. O resultado é usado como medida da potencialidade erosiva da chuva: **EI** – erosividade das chuvas, em tm.mm/ha.h.ano.

Lombardi e Moldenhauer (1981) pesquisando sobre o índice erosivo da chuva, utilizaram 22 anos de registros de precipitação em Campinas (de 1954 a 1975) e chegaram ao índice de erosividade médio anual de 690, cuja variação foi de 351 a 1410. Os dados mostraram que cerca de 62% do potencial de erosividade anual ocorre durante os meses de dezembro a fevereiro. Neste trabalho, foi encontrada uma alta correlação entre a média mensal do índice de erosividade e a média mensal do coeficiente de chuva, o que simplifica o método de calcular o índice de erosividade de um local. A relação obtida é:

$$\mathbf{EI} = 6,886 (\mathbf{r}^2 / \mathbf{P})^{0,85} \quad (4)$$

onde,

EI= média mensal do índice de erosividade, em tm.mm/ha.h.ano;

r = precipitação média mensal, em milímetros;

P = precipitação média anual, em milímetros.

Para obtenção do índice de erosão médio anual, somam-se os valores mensais dos índices de erosão em um período mais longo possível e, desta forma, estima-se com relativa precisão os valores médios de **EI** de um local usando somente totais de chuva.

O fator erodibilidade do solo é a relação das perdas de solo por unidade do índice de erosividade da chuva, em solo preparado convencionalmente, no sentido do declive, mantido continuamente descoberto, com 9% de declividade e 25 metros de comprimento de rampa.

Vários métodos vêm sendo desenvolvidos para determinação indireta da erodibilidade, com base nas características físicas e químicas de cada solo (SILVA et.al., 2003). A aplicação do nomograma de propriedades do solo desenvolvido por Wischmeier em 1971, não se apresentou satisfatório para os solos tropicais, com elevados teores em óxidos (CASSOL et. al., 1981).

Bertoni e Lombardi Neto (1975, apud BERTONI; LOMBARDI NETO, 1985) estudaram perfis de solos com horizonte B textural e latossólico para determinação da erodibilidade de acordo com o método de Middleton, que se baseia nas propriedades físicas do solo. O índice de erodibilidade foi definido como sendo a razão entre a relação de dispersão (teor de argila natural/ teor de argila dispersa) e a relação argila dispersa/umidade equivalente. Os trabalhos realizados no Estado de São Paulo normalmente utilizam os valores de erodibilidade obtidos neste estudo, com algumas modificações.

Tabela 2. Valores adotados de erodibilidade dos solos (**K**).

Classes de solos	Erodibilidade (ton/ha ano $\text{tm}^{-1}\text{ha}^{-1}\text{mm}^{-1}$)
Latossolo Roxo	0,12 ⁽¹⁾
Latossolo Vermelho Amarelo	0,13 ⁽¹⁾
Latossolo Vermelho Escuro	0,17 ⁽¹⁾
Terra Roxa Estruturada	0,18 ⁽¹⁾
Areias Quartzozas	0,22 ⁽²⁾
Podzólico Vermelho-Amarelo	0,33 ⁽²⁾
Litossolo	0,50 ⁽²⁾
Hidromórfico	0,11 ⁽³⁾

Fonte: ⁽¹⁾ Lombardi e Bertoni Neto (1985) ⁽²⁾ Bueno (1994) ⁽³⁾ Pinto (1995)

O fator topográfico **LS** é definido como a relação esperada de perdas de solo por unidade de área em um declive qualquer em relação a perdas de solos correspondentes de uma parcela unitária para o mesmo solo, de 25 metros de comprimento e 9% de declive.

Os valores elevados do fator topográfico, de maneira geral, correspondem a relevos mais enérgicos. Em relevos suaves, os valores mais altos do fator topográfico se devem ao comprimento de rampa e em relevos mais acentuados, os valores do fator topográfico são comandados quase que exclusivamente pela declividade (STEIN et al., 1987).

Quanto maiores a declividade e o trecho percorrido encosta abaixo, maior energia é produzida pela enxurrada que se acumula e maior a erosão resultante (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1985).

O fator topográfico é obtido pela equação:

$$\mathbf{LS} = 0,00984 \mathbf{C}^{0,63} \mathbf{D}^{1,18} \quad (5)$$

Onde,

C= comprimento de rampa em metros;

D= grau de declividade em porcentagem.

Williams e Berndt (1976 apud RISSO; CHEVALLIER, 1992) descrevem a aplicação da EUPS a bacias hidrográficas. Para determinação do comprimento da vertente, considerou-se a bacia como sendo retangular com um canal no centro deste retângulo, na direção longitudinal. A largura da bacia é igual a razão da área do retângulo pelo comprimento do canal. Como o canal está localizado no centro da bacia, a distância percorrida pela água corresponde à metade da largura do retângulo. Desta forma o comprimento médio da vertente para bacia de maior complexidade é estimado pela equação:

$$L=0,5 A /L_t \quad (6)$$

onde,

A =área de drenagem da bacia em km²;

L_t=comprimento total dos canais da bacia em km.

A Equação do **Potencial Antrópico** considera apenas os fatores na EUPS que dependem do uso e manejo dos solos, podendo ser usada para avaliar níveis de impacto sobre o meio físico em função de diferentes formas de uso do solo. A equação do **Potencial Antrópico** é:

$$\text{Potencial Antrópico} = C P \quad (7)$$

onde,

C = índice relativo ao fator uso e manejo do solo;

P = índice relativo à prática conservacionista adotada.

Stein (1999) salienta que em avaliações regionais, os fatores uso-manejo e práticas conservacionistas só podem ser considerados genericamente, o que obriga a simplificações que incluem a relatividade de suas expressões. Assim, são abordados a partir da ocupação atual das terras que, aliada ao uso histórico, é imprescindível para o estudo da erosão.

O fator de uso e manejo (**C**) expressa a relação entre perdas de solo de um terreno cultivado em dadas condições e as perdas correspondentes de um terreno mantido continuamente descoberto.

Bertoni e Lombardi Neto (1985) explicam que a proteção da cobertura vegetal não só depende do tipo de vegetação, do stand e do seu desenvolvimento como, também, varia grandemente nos diferentes meses ou estações do ano. A eficácia de reduzir a erosão,

portanto, depende da quantidade de chuvas erosivas que ocorrem durante o período da estação chuvosa, quando a cultura e as práticas de manejo apresentam uma proteção mínima por se encontrarem na fase de plantio ou início do desenvolvimento. O fator C mede o efeito combinado de todas as relações das variáveis de cobertura e manejo.

Os valores atribuídos ao fator C adotados na presente pesquisa, baseiam-se em médias anuais, pois para algumas regiões e conforme o tipo de vegetação, há variação sazonal da eficácia da cobertura do solo em função do estado de estresse hídrico, existência ou não de cobertura morta sobre a superfície, entre outros fatores (SILVA et. al., 2003).

A cultura da cana de açúcar, por exemplo, durante seu ciclo vegetativo semiperene, atravessa várias fases em que apresenta diferentes níveis de proteção ao solo. Na fase adulta, a cultura oferece boa proteção ao solo, o que não acontece durante as etapas de plantio e início de seu desenvolvimento. Nos canaviais, porém, as áreas mais sujeitas à erosão são os carregadores entre talhões, intensamente compactados, desprovidos de cobertura vegetal e posicionados normalmente no sentido do declive (STEIN, 1999).

Em culturas anuais, o preparo do solo, determinando maior ou menor desagregação de suas partículas, tem sensível efeito nas perdas de solo e água. Estudos apontam a necessidade de revolvimento reduzido da camada arável, de forma a limitar a desagregação das partículas de solo. Bertoni e Lombardi Neto (1985) salientam a importância do manejo de resíduos da cultura após colheita, pois quando são deixados na superfície oferecem alta proteção ao solo, a exemplo da prática de plantio direto, ou plantio na palha.

As culturas perenes, como laranja e café, conferem de média a alta proteção ao solo em virtude do baixo grau de revolvimento da terra após implantação da lavoura. O tipo de manejo da cultura pode aumentar o nível de proteção do solo. A redução das capinas e substituição pela ceifa do mato, de forma a manter os sistemas radiculares das ervas invasoras, preserva a capacidade de infiltração da água, reduzindo o risco de erosão.

Entre as formas de exploração agropecuária, as pastagens são consideradas como o tipo de ocupação agrícola que confere alta proteção ao solo. Segundo Bertoni e Lombardi Neto (1985), as gramíneas formadoras das pastagens são plantas, cuja densidade de hastes e sistema radicular adaptam-se bem no controle da erosão. Pela sua capacidade de diminuir a intensidade da enxurrada e prender as partículas de solo contra a pressão da água, formando

pequenas rugosidades no terreno, agem como minúsculas barragens e retardam o movimento da água.

O tipo de manejo da cultura pode alterar a expectativa de proteção do solo atribuída à cobertura vegetal. As pastagens extensivas, em geral, apresentam superpastejo devido à baixa capacidade de suporte da gramínea, cultivada em solos de baixa fertilidade e manejada sem rotação. Este superpastejo diminui a massa vegetal e, conseqüentemente, expõe mais o solo aos processos erosivos.

As florestas artificiais de pinus e eucalipto ou áreas de reflorestamento, em estágio de completa formação arbórea, apresentam alta densidade de cobertura vegetal com acúmulo de matéria orgânica na superfície do solo, favorecendo a proteção do solo.

Em condições naturais, as copas das árvores, a vegetação de sub-bosque e, principalmente, a serrapilheira de uma floresta, fazem o papel de “amortecedores” da energia cinética contida na gota d’água da chuva, impedindo o contato direto entre a gota d’água e as partículas do solo, evitando o salpicamento (SILVA et. al., 2003).

A cobertura vegetal nativa na área de estudo consiste na Mata Tropical Caducifólia de encosta que ocupa as escarpas das cuestas basálticas e o Cerrado com suas variações, outrora dominante, atualmente ocupa áreas esparsas e restritas (MAIER, 1983).

A fisionomia do Cerrado é de uma savana mais ou menos densa com uma cobertura herbácea contínua, e com um dossel descontínuo de elementos arbóreos e arbustivos, de galhos retorcidos, cascas espessas e, em algumas espécies, folhas coreáceas. Ecologicamente, os dois principais fatores determinantes da presença dos Cerrados são os solos ácidos, de baixa fertilidade, e o clima estacional. Quando estas condições ambientais combinam com a ocorrência de solos arenosos, litólicos ou hidromórficos, as fisionomias resultantes tendem a formas mais abertas, localmente chamadas de campo cerrado, campo sujo ou campo limpo. Ao contrário, quando ocorrem condições ambientais que implicam em compensações parciais, hídricas ou edáficas, as fisionomias tendem a formas mais densas como cerrado denso ou cerradão (ADÁMOLI et. al. , 1983).

Os valores do fator C foram baseados em informações da Seção de Conservação dos Solos do Instituto Agrônomo de Campinas, com modificações que surgiram em trabalhos posteriores, conforme **Tabela 3**.

Tabela 3. Valores adotados do fator uso-manejo para as classes de uso do solo.

Classes de uso do solo	Valores do fator C
Agricultura anual/culturas temporárias	0,1 ⁽¹⁾
Cana de açúcar	0,050 ⁽¹⁾
Citrus/culturas perenes	0,020 ⁽²⁾
Pastagem	0,010 ⁽¹⁾
Reflorestamento	0,0001 ⁽²⁾
Cerrado	0,0007 ⁽¹⁾
Mata/Cerradão	0,00004 ⁽¹⁾
Várzea	0 ⁽²⁾
Solo exposto	1 ⁽³⁾

Fonte: ⁽¹⁾ Bueno (1994) ⁽²⁾ Pinto (1995) ⁽³⁾ Ribeiro (2000)

O fator da prática conservacionista (**P**) expressa a relação entre as perdas de solo de um terreno cultivado com determinada prática e as perdas quando se planta morro abaixo.

Os valores do fator P apresentados na **Tabela 4** também foram baseados em informações da Seção de Conservação dos Solos do Instituto Agronômico de Campinas

Tabela 4. Valores adotados do fator práticas conservacionistas.

Práticas conservacionistas	Valores de P
Plantio morro abaixo	1,0
Plantio em contorno	0,5
Plantio em contorno + redução capina	0,4
Cordões de vegetação permanente	0,2

Fonte: Bertoni e Lombardi Neto (1985)

O plantio em contorno é aquele em que as linhas de cultura acompanham as curvas de nível, promovendo uma barreira no caminho da enxurrada e aumentando a oportunidade de infiltração da água. Em declives acima de 3%, o plantio em contorno não é suficiente para conter o potencial erosivo da enxurrada, havendo necessidade da construção de terraços. Os cordões de vegetação permanente são fileiras de cultura perene e crescimento denso plantadas em contorno com determinado espaçamento horizontal, formando barreiras vivas para controle da erosão (BERTONI ; LOMBARDI NETO, 1985).

Amaral (1978) define o terraceamento como prática agrícola que consiste no levantamento de uma série de embarcamentos que acompanham a curva de nível cortando o declive, cujas funções consistem em captar a enxurrada antes que atinja velocidades desastrosas. De acordo com a faixa de movimento da terra, evidenciam-se três tipos de terraços de drenagem ou em nível: terraços de base estreita, base média e base larga.

Bertoni e Lombardi Neto (1985) explicam que o terraceamento é uma prática eficiente no controle de erosão, sendo o terraço de base larga, indicado para terrenos até 12% de declividade e o terraço de base estreita indicado em terrenos de maior declividade e em culturas perenes, já que a forte inclinação dos taludes do camalhão e da valeta dos terraços de base estreita dificulta o cruzamento de máquinas, não sendo indicados para culturas anuais. Quando o tipo de solo apresenta boa capacidade de absorção de água, os terraços são construídos em nível absoluto para retenção total da água de chuva: esse tipo de terraço é denominado de retenção. Nas terras pouco permeáveis, é necessário construí-los com um pequeno gradiente no sentido dos canais escoadouros. Esse tipo é denominado terraço de drenagem.

Já o terraço embutido é construído de modo que o canal tenha a forma triangular, ficando o talude que separa o canal do camalhão praticamente na vertical. Este tipo de terraço normalmente é feito com motoniveladora ou trator com lâmina, de maneira a permitir o máximo aproveitamento da área cultivada com plantio tanto no canal como no camalhão (IPT, 1989). Sua implantação é mais onerosa, sendo comumente utilizado em áreas de declive acentuado.

Quando os terraços e as curvas de nível não são dimensionados adequadamente, favorecem a formação rápida de sulcos devido ao rompimento pelas águas pluviais, cuja velocidade acelerada nesse ponto provoca tal formação, caracterizando o processo de

ravinamento (MAGALHÃES 1995). Bertoni e Lombardi Neto (1985) explicam que nestes casos, as leiras, rompendo-se, podem soltar a água que estava acumulada, e o volume da enxurrada, aumentando em cada leira sucessiva, causa um prejuízo acumulativo.

Os índices de tolerância de perda de solo estabelecem limites que podem orientar as escolhas técnicas quanto ao uso e manejo do solo. A partir deste conceito, definiu-se o índice CP tolerável, que consiste no valor em que a relação de uso e manejo do solo, aliada às práticas conservacionistas, permite respeitar estes limites (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1985). O valor do CP tolerável é obtido através da equação:

$$\mathbf{CPt=T/PNE} \quad \mathbf{(8)}$$

onde,

T= índice de tolerância de perda de solo, em ton/ha;

PNE=potencial natural de erosão

Cavalieri (1998) definiu o risco de erosão como sendo a razão entre a perda de solo e a perda tolerável do solo, conforme equação:

$$\mathbf{Risco\ de\ eros\til{a}\til{o} = EUPS/ T} \quad \mathbf{(9)}$$

onde,

EUPS = índice que representa a perda de solo por unidade de área (toneladas/ha);

T= índice de tolerância de perda de solo (toneladas/ha).

Considerando que o CP tolerável permite a medição do Potencial Antrópico (CP), envolvendo a avaliação das ações antrópicas de uso do solo frente às condições do meio físico de susceptibilidade natural à erosão, a razão entre os valores de CP e CP tolerável foi identificada neste estudo como grau de vulnerabilidade à erosão, sendo obtido através da equação:

$$\mathbf{Vulnerabilidade\ \til{a}\ eros\til{a}\til{o} = CP/CPt} \quad \mathbf{(10)}$$

onde,

CP = Potencial Antrópico (adimensional);

CPt = Potencial Antrópico tolerável (adimensional).

Neste estudo optou-se pelo uso do conceito de vulnerabilidade por estar mais adequado como medida da capacidade de resposta dos solos ao processo erosivo, não envolvendo a análise das conseqüências do evento, inerentes ao conceito de risco.

3.3. As sub-bacias como unidade de análise

A bacia hidrográfica, definida por Christofolleti (1974), como a área drenada por um determinado rio ou por sistema fluvial, constitui-se na unidade de análise ambiental mais adequada aos propósitos de planejamento, pois se caracteriza como uma unidade física bem definida, em razão da interdependência dos atributos bióticos e abióticos no seu interior (RESENDE, 1995).

Cunha e Guerra (1996) afirmam que a bacia hidrográfica é uma unidade integradora dos setores naturais e sociais, devendo ser administrada com esta função a fim de que os impactos ambientais sejam minimizados, evitando uma visão setorial dentro do conjunto de elementos que compõem a paisagem.

Christofolleti (1969) comenta que a análise de aspectos relacionados à drenagem, relevo e geologia pode levar à elucidação e compreensão de diversas questões associadas à dinâmica ambiental local.

O estudo da morfometria, que compreende o levantamento de índices, relações e valores numéricos que definem a natureza de um sistema natural de drenagem, pode contribuir para o estudo da erosão, uma vez que a análise dos atributos morfométricos do relevo permite avaliar o seu grau de energia e sua susceptibilidade à ocorrência de processos erosivos e deposicionais (MOREIRA; PIRES NETO, 1998).

A escolha das sub-bacias como unidade de análise, neste estudo, tem como objetivo favorecer o diagnóstico ambiental e facilitar um possível monitoramento da área de estudo. O estabelecimento das unidades de análise considerou o sistema fluvial e sua hierarquização, através da ordem dos canais.

Os dados morfométricos discutidos aqui foram escolhidos por acrescentar informações sobre o meio físico que interferem nos processos erosivos como as condições de infiltração, a capacidade de produção de sedimentos e a energia de relevo.

3.3.1. Ordem dos canais

Christofolleti (1974) explica que a hierarquia fluvial, classificação de cada curso d'água na bacia hidrográfica, é realizada para facilitar os estudos morfométricos. O sistema de ordenação dos canais adotado neste trabalho foi determinado por Strahler, em 1952. Nele, os canais sem tributários são considerados de primeira ordem, estendendo-se desde a nascente até a confluência; os canais de segunda ordem surgem da confluência de dois canais de primeira ordem e só recebem afluentes de primeira ordem, e assim, sucessivamente.

3.3.2. Área da bacia

Segundo Christofoletti (1974), a área da bacia (**A**) é toda a área drenada pelo conjunto do sistema fluvial, projetada em plano horizontal, em km².

Oliveira (1994) cita que em estudos de bacias hidrográficas na região leste e central dos Estados Unidos, detectou-se uma relação inversa da capacidade de produção de sedimentos com a área, ou seja, bacias menores produzem mais sedimentos. O autor destaca a importância da caracterização da dinâmica dos processos de erosão e assoreamento, no qual há um conjunto de fatores inerentes à bacia como o tamanho da área-fonte e sua proximidade de saída, densidade de drenagem, padrões de relevo e outros.

3.3.3. Índice de forma

Uehara e de Jorge (1998) descrevem que o índice de forma (**Kf**) é a relação entre a largura média e o comprimento axial da bacia. A largura média é obtida pela divisão da área da bacia pelo seu comprimento. Quanto menor o índice de forma, mais estreita e alongada a bacia, e quanto maior for este índice, mais circular a forma da bacia. É obtido pela fórmula:

$$\mathbf{Kf}=\mathbf{A/Lc}^2 \quad (\text{adimensional}) \quad (11)$$

Onde,

A = área da bacia, em km²;

Lc = comprimento do curso d'água mais longo, em km.

Prandi (1996), em estudo sobre a evolução de feições erosivas de grande porte na região de Marília, verificou que há tendência de uma relação entre a declividade média do perfil de fundo da erosão e a área de drenagem da bacia e seu índice de forma, sendo que as erosões que se estabelecem em menores bacias e/ou com maior índice de forma, apresentam maiores declividades de fundo. Maiores valores do índice de forma determinam maiores vazões de enchente, portanto bacias com estas características devem ser mais sujeitas a fenômenos erosivos.

3.3.4. Densidade de drenagem

Christofoletti (1974) explica que a densidade de drenagem (**Dd**) foi inicialmente definida por Horton (1945) como sendo a razão entre o comprimento total dos canais de escoamento com a área da bacia hidrográfica, sendo calculada pela seguinte equação:

$$\mathbf{Dd=Lt/A \text{ em km/km}^2} \quad (12)$$

Onde,

Dd = densidade de drenagem;

A = área da Bacia, em km^2 ;

Lt = comprimento total dos canais, em km.

Uehara e de Jorge (1998) explicam que os padrões de drenagem são indicativos da permeabilidade relativa dos solos e dos controles exercidos pelas estruturas e pelos tipos de rocha sobre a infiltração e os movimentos da água subterrânea, sendo a densidade de drenagem um dos parâmetros para a análise dos padrões de drenagem da bacia. Em geral, terrenos relativamente impermeáveis apresentam densa rede de drenagem, enquanto que os mais permeáveis possuem densidade menor.

Christofoletti (1969) utilizou a seguinte classificação para a densidade de drenagem em bacias hidrográficas:

Dd < 7,5 km/km² – Baixa

Dd entre 7,5 a 10 km/km² – Média

Dd > 10 km/km² - Alta

3.3.6. Declividade média

A declividade média da bacia hidrográfica (**Dem**), incluída neste estudo como um dos parâmetros morfométricos, é um indicador do grau de energia do relevo, aspecto fundamental no estudo dos processos erosivos.

Este parâmetro é obtido através da média aritmética dos valores da grade de declividade de cada sub-bacia hidrográfica. Os valores da declividade são obtidos pela equação:

$$\mathbf{De} = \mathbf{Dh/Dl} \times 100 \quad (13)$$

Onde,

De = declividade, em %;

Dh = distância vertical, em metros;

Dl = distância horizontal, em metros.

3.3.7. Relação de relevo

Christofolletti (1974), explica que a relação de relevo (**Rr**) foi inicialmente apresentada por Schumm em 1956, considerando o relacionamento existente entre a amplitude altimétrica de uma bacia e a maior extensão da referida bacia, medida paralelamente à principal linha de drenagem. A relação de relevo é calculada pela expressão:

$$\mathbf{Rr} = \mathbf{Hm/Ld}, \text{ em m/m} \quad (14)$$

Onde,

Rr = relação de relevo;

Hm = amplitude topográfica máxima, em metros;

Ld = comprimento máximo medido paralelamente ao canal principal, em metros.

3.3.8. Extensão do percurso superficial

Segundo Christofolletti (1974), este parâmetro representa a distância média percorrida pelas enxurradas entre o interflúvio e o canal permanente, sendo uma variável que afeta o desenvolvimento hidrológico e fisiográfico da bacia hidrográfica. Seu valor está relacionado ao inverso da densidade de drenagem e é obtido pela expressão:

$$Eps = 1/2Dd, \text{ em km} \quad (15)$$

Onde,

Eps = extensão do percurso superficial;

Dd = densidade de drenagem, em km/km².

3.4. Estudos de erosão em SIG - Sistema de Informação Geográfica

Uma característica básica de um Sistema de Informação Geográfica - SIG é tratar relações espaciais entre objetos geográficos, considerando-se, no processo de integração, as relações entre as classes de cada tema, as quais se denominam relações topológicas (CELESTINO; DINIZ, 1998).

O SIG pode gerar novas informações a partir do processamento de informações espaciais e dados alfa-numéricos. Segundo Cowen (1988), o SIG pode ser entendido como um sistema de suporte às decisões envolvendo integração de dados espaciais georreferenciados, sendo que a parte mais importante na definição do SIG é a ênfase na sua capacidade de integração de dados e combinação de mapas com dados de sensoriamento remoto ou outras formas de dados espaciais.

O aspecto mais fundamental dos dados tratados em um SIG é a natureza dual da informação: um dado geográfico possui uma *localização geográfica* (expressa como coordenadas em um mapa) e *atributos descritivos* (que podem ser representados em um banco de dados convencional). Outro aspecto muito importante é que os dados geográficos não existem sozinhos no espaço: tão importante quanto localizá-los é descobrir e representar as relações entre os diversos dados (Ajuda do *SPRING*).

Por estas características, o SIG tem uma aplicação importante em trabalhos como mapeamentos temáticos, avaliação geotécnica, análise de riscos e gerenciamento ambiental. O uso do SIG em estudos sobre erosão pode facilitar a integração de dados e aplicação de modelos matemáticos.

Câmara et al. (1996) explicam que no contexto de aplicações de SIG, o mundo real é freqüentemente modelado segundo duas visões complementares: o modelo de campos e o modelo de objetos. O modelo de campos enxerga o mundo como uma superfície contínua, sendo normalmente representado em formato matricial. Já o modelo de objetos representa o mundo como uma superfície ocupada por objetos identificáveis, com geometria e características próprias, sendo tipicamente representados no formato vetorial, utilizando pontos, linhas e polígonos.

O *software SPRING*, escolhido neste trabalho para integração e armazenamento de dados, é um Sistema de Informação Geográfica nacional e de domínio público,

desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisa Espacial (INPE), que utiliza o modelo de campos e objetos de forma unificada, permitindo a existência de múltiplas representações para um mesmo fenômeno geográfico.

No *SPRING*, o banco de dados corresponde fisicamente a um diretório e o sub-diretório é o projeto, onde se delimita a área física de trabalho. Os dados são armazenados em planos de informação (PIs), também conhecidos como níveis ou camadas de informação, vinculados ao projeto. Os dados, contidos nos PIs, são divididos em categorias.

As informações pertencem às categorias conforme seu modelo de dados, havendo categorias temáticas, numéricas, imagem, cadastral, rede ou objeto. A categoria do modelo temático refere-se a dados que classificam uma posição geográfica quanto a um determinado tema (tipos de solo, classes de uso do solo). Para as categorias de dados do modelo temático é necessário definir as classes temáticas, especializações da categoria temática.

A categoria do modelo numérico refere-se a dados que possuem uma variação contínua de seus valores numéricos em função de sua posição na superfície (altimetria, pH do solo, etc). A categoria do modelo imagem refere-se a dados provenientes de sensoriamento remoto em formato matricial (imagens de satélite, fotografias aéreas transformadas em imagens digitais através de “scanners”).

Já a categoria de dados do modelo objeto refere-se à especialização de um tipo de objeto geográfico, como municípios, logradouros, propriedades, etc, e a categoria do modelo cadastral refere-se aos mapas que contêm a representação de determinado tipo de objeto, por exemplo: divisão política é a categoria cadastral que conterà o mapa com as representações dos municípios.

Os objetos são associados a uma lista de atributos, permitindo a realização de consultas a partir da geração de critérios sobre estes atributos, além da inserção de novos atributos criados na integração das informações.

A categoria do modelo não-espacial refere-se aos dados que não possuem representação espacial como, por exemplo, os dados de cadastros rurais e urbanos.

A categoria do modelo rede refere-se aos dados geográficos que possuem relações de fluxo e conexão entre os inúmeros elementos que se deseja representar e monitorar. Ex: rede de energia elétrica, esgoto, água, drenagem, telefonia etc.

As categorias numéricas também são conhecidas como modelo numérico de terreno - MNT (em inglês, DTM = Digital Terrain Model), que é uma representação matemática da distribuição espacial de uma determinada característica vinculada a uma superfície real. A superfície é em geral contínua e o fenômeno que representa pode ser variado. Para a representação de uma superfície real no computador, o modelo digital pode estar representado por equações analíticas ou uma rede (grade) de pontos, de modo a transmitir ao usuário as características espaciais do terreno. No *SPRING*, um MNT é criado na forma de uma grade de pontos regulares e irregulares.

Um mapa de MNT pode ser armazenado na forma vetorial (quando a representação referente às amostras ou grade triangular existir) ou matricial (quando uma grade regular existir). A representação matricial é do tipo grade retangular, ou seja, uma dada área será dividida em células de tamanho fixo, onde cada célula terá um valor de acordo com o tipo de dado amostrado e o interpolador utilizado. A partir das grades pode-se calcular, entre outras operações, gerar mapas de declividade, fatiamentos nos intervalos desejados e perspectivas tridimensionais.

Na modelagem da superfície por meio de grade irregular triangular, cada polígono que forma uma face do poliedro é um triângulo. Esta modelagem permite que as informações morfológicas importantes, como as discontinuidades representadas por feições lineares de relevo (cristas) e drenagem (vales), sejam consideradas durante a geração da grade triangular, possibilitando assim, modelar a superfície do terreno preservando as feições geomórficas da superfície. (Ajuda do *SPRING*).

Risso e Chevallier (1992) estudaram a aplicação do Modelo Numérico de Terreno (MNT) em ambiente SIG ao cálculo automático dos parâmetros de comprimento de vertente e declividade, que constituem o fator topográfico da EUPS.

Existem vários trabalhos sobre erosão que estudaram a aplicação de modelos matemáticos, como a EUPS, em ambiente SIG. A seguir são apresentados aqueles que contribuíram para a realização do presente estudo.

Valério Filho (1994) associou o uso da EUPS com o SIG na avaliação da susceptibilidade natural à erosão na bacia hidrográfica do Ribeirão Bonito (Santa Maria da Serra, SP) e ainda estudou a evolução da ocupação dos solos da região utilizando fotografias aéreas para o ano de 1972 e imagens de satélite TM/Landsat de 1988.

Pinto (1995) também utilizou SIG/*STIM* para caracterizar indicadores da erosão do solo através de produtos de sensoriamento remoto e geoprocessamento, com apoio do modelo da EUPS/MUSLE, comparando os cenários de 1972 e 1992.

Santos et al. (1999) realizaram estudo para avaliação de perdas de solo por erosão hídrica na bacia do Rio Ivaí-PR através da EUPS, utilizando o SIG/*ArcView* e verificaram os índices do potencial de perdas em relação à tolerância dos solos. Neste trabalho, considerou-se a extensão do percurso superficial da bacia hidrográfica como sendo um valor médio para o comprimento de rampa, utilizado para obtenção do fator topográfico.

Oliveira (2000) aplicou o modelo EUPS com apoio do SIG/*IDRISI*. O autor obteve os valores do uso da terra permissível (CP tolerável) pela relação entre o índice de perda de solo tolerável para cada tipo de solo e o potencial natural de erosão, e depois sobrepôs aos dados de uso da terra para as realidades dos anos de 1962, 1972 e 1996.

Ribeiro (2000) utilizou o SIG/*SPRING* para aplicar a EUPS na microbacia hidrográfica do Ribeirão Araquá no município de São Pedro-SP e verificou o uso da terra frente ao índice de tolerância de perda de solo da área.

Rosa (2001) estudou a erosão no município do Prata- MG, pela aplicação da EUPS usando software *IDRISI*. Os dados de comprimento de rampa foram obtidos utilizando uma relação com a área da bacia e os comprimentos de todos os cursos d'água.

Torezan e Lorandi (2001) elaboraram Carta de Risco Potencial à Erosão Acelerada da Bacia do Rio Bonito no município de Descalvado-SP, utilizando SIG/*IDRISI* conforme metodologia atribuída a Pejon (1992), consistindo basicamente na hierarquização e atribuição de pontos aos diversos fatores intervenientes no processo erosivo, os quais incluem características do material inconsolidado (textura, profundidade, erodibilidade, permeabilidade) bem como características ambientais, como o potencial ao escoamento superficial, que por sua vez considera atributos como a litologia, declividade e densidade de drenagem.

Ridente Jr. et al. (2001) elaboraram Carta de suscetibilidade à erosão no município de São Manuel através da integração dos dados de declividade do terreno e associações pedológicas realizado com o software "*Map Info*", permitindo a definição de unidades homogêneas do terreno frente ao comportamento dos processos erosivos. Neste trabalho, os intervalos de classes de declividade do terreno foram previamente estabelecidos em função

da análise da ocorrência e tipologia das feições erosivas e os tipos de solos foram hierarquizados conforme seu comportamento frente à erosão, identificando, neste caso, as áreas com maior e menor suscetibilidade à ocorrência de feições erosivas.

Fujihara, A K. (2002) utilizou SIG para testar modelos de predição de erosão pela EUPS e capacidade de uso da terra para fins de planejamento ambiental em uma microbacia do oeste paulista. O modelo de risco de erosão simulado (CAVALIERI, 1998) com cálculo automático do fator LS pelo programa “LS-USLE2D” versão 4.1, compatível com o *Idrisi 2.0*, foi o que apresentou a melhor correlação com os processos erosivos levantados em campo com equipamento GPS. Neste trabalho foi criado um banco de dados de atributos físicos construído com o auxílio de três *softwares*: *Idrisi*, *Ilwis* e *ArcView*.

Paranhas Filho et al. (2003) realizaram estudo de avaliação multitemporal das perdas de solos na bacia do Rio Taquarizinho-MS, região que apresentou grandes modificações no tipo de uso e ocupação do solo no período analisado. A EUPS foi aplicada em três diferentes momentos: 1966, 1985 e 1996. Esta aplicação multitemporal mostrou a tendência evolutiva do processo erosivo na região e apontou que, em alguns locais, o desmatamento implicou num aumento da taxa de erosão laminar dos solos em mais de 50 vezes.

3.5. Processamento de Imagens digitais

Uma imagem digital consiste em uma matriz de números digitais ou de pixels. Em uma imagem espectral, os pixels contêm valores relacionados à reflectância ou à emitância do solo e sua cobertura para a área retratada pela imagem. De um modo geral, denomina-se imagem multiespectral a coleção de imagens de uma mesma cena, num mesmo instante, obtida por vários sensores com respostas espectrais diferentes (CÂMARA et al, 1996).

A função primordial do processamento digital é a de fornecer ferramentas para facilitar a identificação e a extração da informação contidas nas imagens, para posterior interpretação (CRÓSTA, 1992).

Segundo Câmara et al. (1996), o processamento digital de imagens pode ser dividido em três etapas independentes: pré-processamento, realce e classificação. O pré-processamento refere-se ao processamento inicial de dados brutos para calibração radiométrica da imagem, correção de distorções geométricas e remoção de ruído.

A classificação automática de imagens multiespectrais de sensoriamento remoto diz respeito a associar cada pixel da imagem a um “rótulo” descrevendo um objeto real (vegetação, solo, etc.). Dessa forma, os valores numéricos associados a cada pixel, definidos pela reflectância dos materiais que compõem esse pixel, são identificados em termos de um tipo de cobertura da superfície terrestre imageada (água, tipo de vegetação, solo, rocha, etc), chamadas de temas. Quando esse tipo de operação é efetuado para todos os pixels de uma determinada área, o resultado é um mapa temático (CRÓSTA, 1992).

Para imagens multiespectrais, os critérios de classificação são agrupados em dois grupos: classificação não supervisionada e classificação supervisionada. A classificação supervisionada é comumente utilizada para extração de informações temáticas referentes ao uso e ocupação do solo. Para efetuar este tipo de classificação necessita-se um conhecimento prévio sobre a área, quando as informações conhecidas são convertidas em amostras de treinamento, que representam a média de cada uma das classes a serem mapeadas.

Crósta (1992) explica que entre os métodos utilizados para a classificação supervisionada, o método da máxima verossimilhança é recomendado quando se conhece a

região a ser classificada. Este método utiliza-se parâmetros estatísticos considerando a probabilidade do pixel ser incluído em cada classe.

O processamento de imagens digitais do *SPRING* estabelece que o primeiro passo em um processo de classificação multiespectral é o treinamento, quando é feito o reconhecimento da assinatura espectral das classes. Durante o treinamento supervisionado, o usuário deve identificar na imagem uma área representativa de cada classe. É importante que a área de treinamento seja uma amostra homogênea da classe respectiva, mas ao mesmo tempo deve-se incluir toda a variabilidade dos níveis de cinza do tema em questão. Para a obtenção de classes estatisticamente confiáveis, são necessários de 10 a 100 "pixels" de treinamento por classe. O número de "pixels" de treinamento necessário para a precisão do reconhecimento de uma classe aumenta com o aumento da variabilidade entre as classes.

O *SPRING* permite a entrada direta de imagens provenientes de satélites como os satélites Landsat e CBERS. Cada uma destas imagens apresenta características distintas quanto à resolução, que consiste na medida da habilidade que um sistema sensor possui de distinguir entre respostas que são semelhantes espectralmente ou próximas espacialmente.

A resolução espacial é definida pela capacidade do sistema sensor em “enxergar” objetos na superfície terrestre; quanto menor o objeto a ser visto, maior a resolução espacial. A resolução espectral é inerente às imagens multiespectrais de sensoriamento remoto, definida pelo número de bandas espectrais do sistema sensor e pela largura do intervalo de comprimento de onda coberto por cada banda. Quanto maior o número de bandas e menor a largura do intervalo, maior é a resolução espectral de um sensor. A resolução radiométrica é dada pelo número de níveis digitais, representando níveis de cinza, usados para expressar os dados coletados pelo sensor (CRÓSTA, 1992).

A partir do Landsat 4 e 5, o satélite passou a contar com o sensor TM (Thematic Mapper), operando em 7 faixas espectrais com resolução espacial de 30 metros. O TM (Thematic Mapper) é um sistema avançado de varredura multiespectral concebido para proporcionar resolução espacial mais fina, melhor discriminação espectral entre objetos da superfície terrestre, maior fidelidade geométrica e melhor precisão radiométrica em relação aos sensores anteriores.

Cada faixa espectral permite uma visualização diferente, permitindo várias aplicações, conforme se observa na tabela a seguir.

Tabela 5. Características das Imagens de satélite TM/LANDSAT

Satélite Landsat - Sensor TM

Canal	Faixa Espectral (μm)	Principais aplicações
1	0.45 - 0.52	Mapeamento de águas costeiras Diferenciação entre solo e vegetação Diferenciação entre vegetação coníferas e decídua
2	0.52 - 0.60	Reflectância de vegetação verde sadia
3	0.63 - 0.69	Absorção de clorofila Diferenciação de espécies vegetais
4	0.76 - 0.90	Levantamento de biomassa Delineamento de corpos d'água
5	1.55 - 1.75	Medidas de umidade da vegetação Diferenciação entre nuvens e neve
6	10.4 - 12.5	Mapeamento de estresse térmico em plantas Outros mapeamentos térmicos
7	2.08 - 2.35	Mapeamento hidrotermal

Fonte: INPE (Instituto Nacional de Pesquisa Espacial)

O Programa CBERS (China Brazil Earth Resources Satellite- satélite sino-brasileiro de recursos terrestres) é resultado da cooperação entre o Brasil e a China para a construção de satélites de sensoriamento remoto de recursos terrestres.

A câmera CCD de alta resolução espacial (20 metros), coleta dados de 5 canais:

B1- 0,45 a 0,52 micrômetros – região do azul

B2 – 0,52 a 0,59 micrômetros – região do verde

B3- 0,63 a 0,69 micrômetros – região do vermelho

B4- 0,77 a 0,89 micrômetros – infravermelho próximo

B5- 0,51 a 0,73 micrômetros – pancromático

4. DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

4.1. BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO JACARÉ PEPIRA

A Bacia Hidrográfica do Rio Jacaré Pepira situa-se na porção central do Estado de São Paulo e integra a bacia Tietê-Jacaré que corresponde à Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos Tietê-Jacaré (UGRHI-13).

O Rio Jacaré Pepira nasce na Serra de São Pedro (47°55' W e 22°30'S) a uma altitude de 960 metros e, após percurso de 174 km, deságua no Rio Tietê no município de Ibitinga, a 400 metros de altitude. O rio desenvolve um traçado geral de SE/NW.

Ao atingir a cota de 800 metros, a 16 km da nascente, o rio encontra-se artificialmente represado por uma barragem de 10 metros, na localidade do Patrimônio de São Sebastião da Serra, distrito do município de Brotas. A Bacia do Jacaré Pepira ocupa uma área total de 2.612 km², estende-se pelos municípios de São Pedro, Itirapina, Torrinha, Brotas, Dois Córregos, Ribeirão Bonito, Dourado, Jaú, Bocaína, Boa Esperança do Sul, Bariri, Itaju e Ibitinga.

A área objeto deste estudo abrange somente parte da Alta Bacia do Jacaré Pepira. Sua definição baseou-se na delimitação das sub-bacias que estão inseridas total ou parcialmente no perímetro da APA- Área de Proteção Ambiental de Corumbataí, entre os paralelos 22°10' e 22°35'S e os meridianos 47°50' e 48°20'W.

Esta porção da Bacia possui aproximadamente 927 km² e engloba área dos municípios de São Pedro (70 km²), Brotas (651 km²), Torrinha (176 km²) e Itirapina (30 km²).

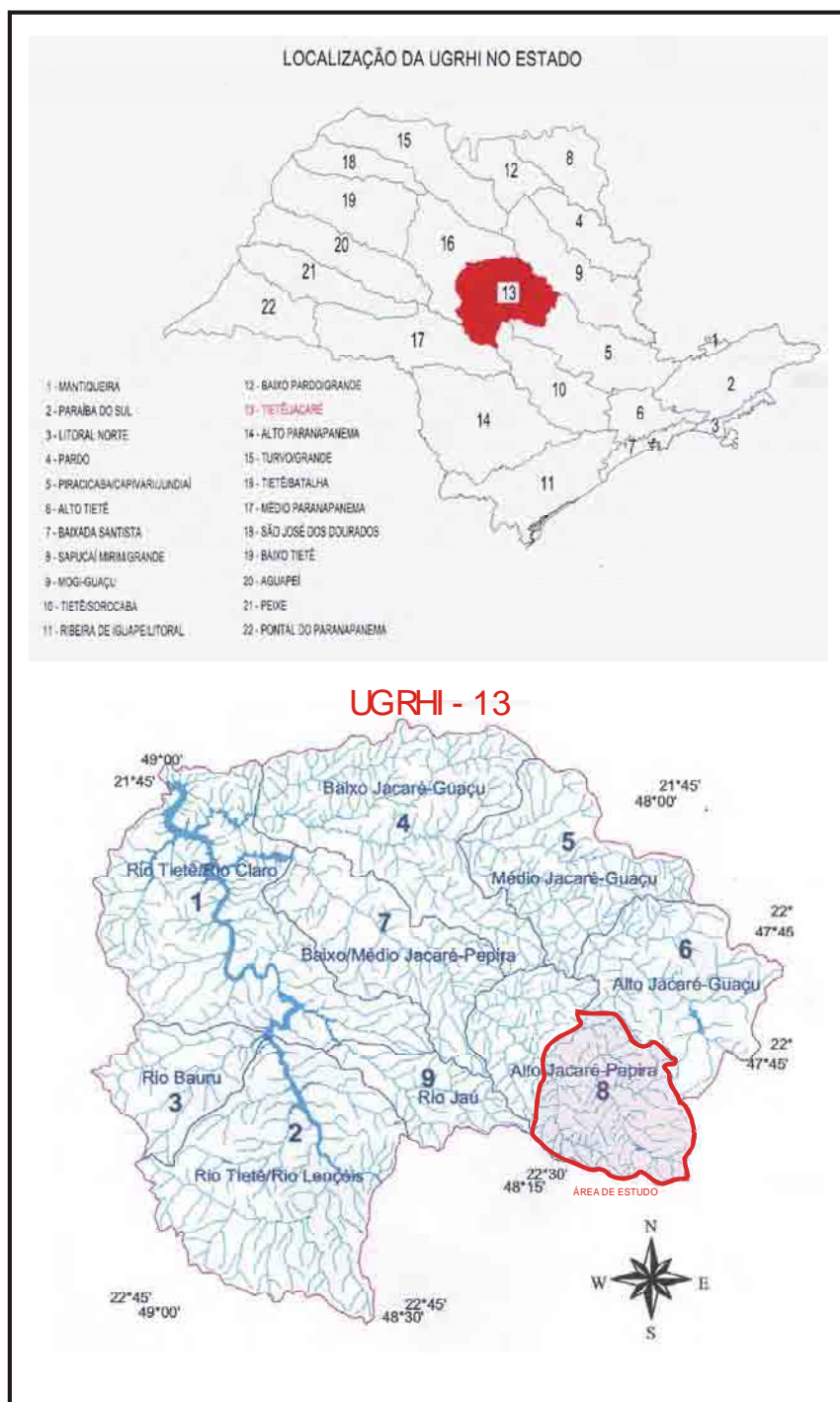


Figura 1- Localização da área de estudo

Fonte: Diagnóstico atual dos recursos hídricos e estabelecimento de diretrizes técnicas para elaboração do Plano da Bacia Hidrográfica do Tietê/Jacaré (IPT, 2000).

4.2. ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL - APA

As Áreas de Proteção Ambiental –APAs, são Unidades de Conservação Ambiental, territórios demarcados onde o uso do meio ambiente é disciplinado por lei. As APAS são instrumentos destinados a conciliar as atividades antrópicas com a preservação da qualidade ambiental.

A APA é uma categoria de unidade de conservação relativamente nova. Sua implementação se iniciou na década de 80, baseada na Lei Federal nº 6.902 de 27 de abril de 1981, que estabelece no art.8: “Havendo relevante interesse público, os poderes executivos Federal, Estadual ou Municipal poderão declarar determinadas áreas de seus territórios de interesse para proteção ambiental, a fim de assegurar o bem-estar das populações humanas, a proteção, a recuperação e a conservação dos recursos naturais”.

No âmbito do Estado de São Paulo, as APAS estaduais foram criadas para proteção dos remanescentes de mata nativa e a fauna a ela associada, as nascentes dos principais mananciais de abastecimento urbano, regiões estuarinas e áreas de recarga de aquíferos.

Através do Decreto Estadual nº 20.960, de 8/06/83, a APA Corumbataí/Botucatu/Tejupá foi criada para preservar as feições características do relevo das cuestas basálticas, o Aquífero Guarani e os mananciais de abastecimento de centros urbanos importantes, englobando uma área total de 6.492 km², subdividida em três perímetros distintos. Corresponde à faixa das cuestas basálticas, desde as cabeceiras do Rio Mogi-Guaçu até a divisa do Estado de São Paulo como o Paraná, às margens do Rio Paranapanema, no Planalto Ocidental Paulista, até a Depressão Periférica.

Na área abrangida pelo perímetro Corumbataí, as cuestas basálticas compõem um cenário onde se destacam a Serra de São Pedro e Itaqueri, os “morros testemunhos” relacionados com antigos níveis altimétricos da região, os recursos hídricos superficiais e os remanescentes de Mata Atlântica e de cerrados, característicos da cobertura vegetal primitiva. Ao pé das cuestas, estendem-se vales amplos e suaves, com presença das várzeas ao longo dos cursos dos rios.

Área significativa do Alto Curso da Bacia Hidrográfica do Jacaré Pepira está inserida no perímetro Corumbataí, desde a nascente do Rio Jacaré Pepira na Serra de São Pedro à sub-bacia do Ribeirão da Rasteira, incluindo a área urbana do município de Brotas.

Originalmente não englobadas pelo perímetro Corumbataí, as sub-bacias do Ribeirão da Rasteira, do Ribeirão Claro, do Córrego do Gouveia, do Córrego Monjolo e do Benjamim, todas pertencentes à Bacia do Jacaré Pepira, foram incluídas na proposta de regulamentação da APA Corumbataí/Botucatu/Tejupá de setembro de 1998.

O Zoneamento Ambiental da referida APA estabeleceu as seguintes Zonas:

I- Zona de Vida Silvestre, que compreende as florestas e demais formas de vegetação natural referidas no Código Florestal;

II- Zona de Conservação da Vida Silvestre, destinada à proteção dos ecossistemas naturais e de seu entorno, que compreende as escarpas das cuestas, morros testemunhos e várzeas das planícies aluvionares;

III- Zona de Conservação Hídrica, destinada à proteção dos mananciais de abastecimento público superficiais, onde estão inseridas as sub-bacias do Córrego do Gouveia e do Ribeirão da Rasteira, pertencentes à Bacia do Rio Jacaré Pepira;

IV- Zona de Proteção das Várzeas, destinada à proteção das bacias e corpos d'água que drenam as várzeas definidas como Zonas de Conservação da Vida Silvestre;

V- Zona de Uso Especial, que compreende outras Unidades de Conservação, sujeitas a regime próprio de gestão;

VI - Zona de Restrição Moderada, que compreende os territórios integrantes da Área de Proteção Ambiental não abrangidos pelas demais zonas.

Aproximadamente 78% da área de estudo pertencem à Área de Proteção Ambiental de Corumbataí. Entre as sub-bacias da Bacia do Jacaré Pepira que compõem a área de estudo, somente a sub-bacia do Rio Pinheirinho ou Cachoeira não se encontra totalmente abrangida pelo perímetro da APA (**Figura 20- anexo**).

4.3. GEOLOGIA

A Bacia Hidrográfica do Rio Jacaré Pepira situa-se na Bacia Sedimentar do Paraná, considerada uma unidade geotectônica de grande extensão. Pouco mais de 60% da superfície da Bacia encontra-se em território brasileiro, estendendo-se pela Argentina, Uruguai e Paraguai. A maior parte do Estado de São Paulo encontra-se em áreas de domínio da Bacia do Paraná.

A elaboração do Mapa Geológico apresentado neste trabalho (**Figura 2**) foi baseada no Mapa Geológico do Estado de São Paulo realizado pela Secretaria de Obras e do Meio Ambiente/Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE) e UNESP-Rio Claro/IGCE de 1984, na escala 1: 250.000 e no Mapa Geológico do Estado de São Paulo elaborado em 1981 pelo Instituto de Pesquisa Tecnológica (IPT) na escala 1: 500.000.

As Formações Geológicas predominantes na área de estudo e suas respectivas litologias são apresentadas de forma resumida e simplificada segundo ordem cronológica de sua gênese.

4.3.1. Formação Pirambóia (TrJp)

Caracteriza-se por uma sucessão de camadas arenosas avermelhadas, com arenitos de granulação média a fina, possuindo fração argilosa maior na parte inferior que na superior da Formação. Predomina a estratificação plano-paralela com alternância de lâminas de argila e silte.

A Formação Pirambóia representa, por suas características litológicas e estruturais, depósito de ambiente continental úmido, oxidante, predominantemente fluvial, em canais meandrantos e planícies de inundação, com pequenas lagoas esparsas.

Localiza-se geralmente no fundo dos vales e no corredor formado pelo Jacaré Pepira que separa as Serras de Dourado e de Brotas, e na região onde o rio principal e seu afluente, Ribeirão Tamanduá, formam uma planície de inundação (BUENO, 1994).

4.3.2. Formação Botucatu (JKb)

A Formação Botucatu em São Paulo está exposta numa faixa contínua às faldas das serras basálticas e em suas escarpas. Constitui-se na sua maioria por arenitos, de granulação

fina a média, uniforme, com boa seleção de grãos foscos com alta esfericidade, coloração avermelhada, estratificação cruzada, características de dunas caminhanes.

O contato superior, com a Formação Serra Geral, faz-se por interdigitação, recobrando-se os arenitos pelos derrames basálticos, porém entre estes continuam a se mostrar intercalações de camadas de arenitos essencialmente da mesma natureza que os da Formação Botucatu.

A Formação Botucatu representa os diversos sub-ambientes de um grande deserto climático de aridez crescente, cuja existência se prolongou até a ocasião do vulcanismo basáltico.

O contato da Formação Botucatu com a Formação Pirambóia é difuso. A Formação é encontrada principalmente na margem direita do Rio Jacaré Pepira (BUENO, 1994).

4.3.3. Formação Serra Geral e Intrusivas Básicas Associadas (JKsg)

As eruptivas da Serra Geral compreendem um conjunto de derrames tabulares de basaltos toleíticos, entre os quais se intercalam arenitos com as mesmas características da Formação Botucatu. Os arenitos da Formação Botucatu interdigitam-se, em grande escala, com os derrames da Formação Serra Geral, tornando complexa a delimitação de ambas em âmbito regional.

Afloram os derrames no topo e reverso da cuesta basáltica e em morros testemunhos, dela isolados pela erosão. Nos planaltos de rebordo dessas cuestas, tais derrames podem cobrir grandes extensões.

Geralmente ocupam escarpas estruturais demarcadas na margem esquerda da Bacia, propiciando os desníveis que suportam as serras locais, tais como as Serras de São Pedro e Brotas. Na margem direita acompanham o rio principal desde as nascentes, passando pela Represa de São Sebastião do Patrimônio e os vales de alguns afluentes: Ribeirões Rasteira e Gouveia (BUENO, 1994).

4.3.4. Depósitos de cimeira (Tc)

A unidade litoestratigráfica denominada Depósitos de cimeira compreende cobertura sedimentar composta por conglomerados e arenitos imaturos de cimento argiloso ou ferruginoso. No reverso da cuesta basáltica, ocorrendo em mancha irregular nas cotas mais elevadas das serras, estes depósitos são atribuídos à Formação Itaqueri (KTi) nas Serras de Itaqueri e São Pedro.

A Formação Itaqueri é constituída por arenitos de granulação variável e cimento argiloso, folhelhos e conglomerados formados predominantemente por seixos de quartzo e quartzito, com porcentagem insignificante de outras variedades petrográficas resistentes à alteração. No contato destes depósitos com as rochas basálticas da Formação Serra Geral, ocorrem freqüentes fontes d'água.

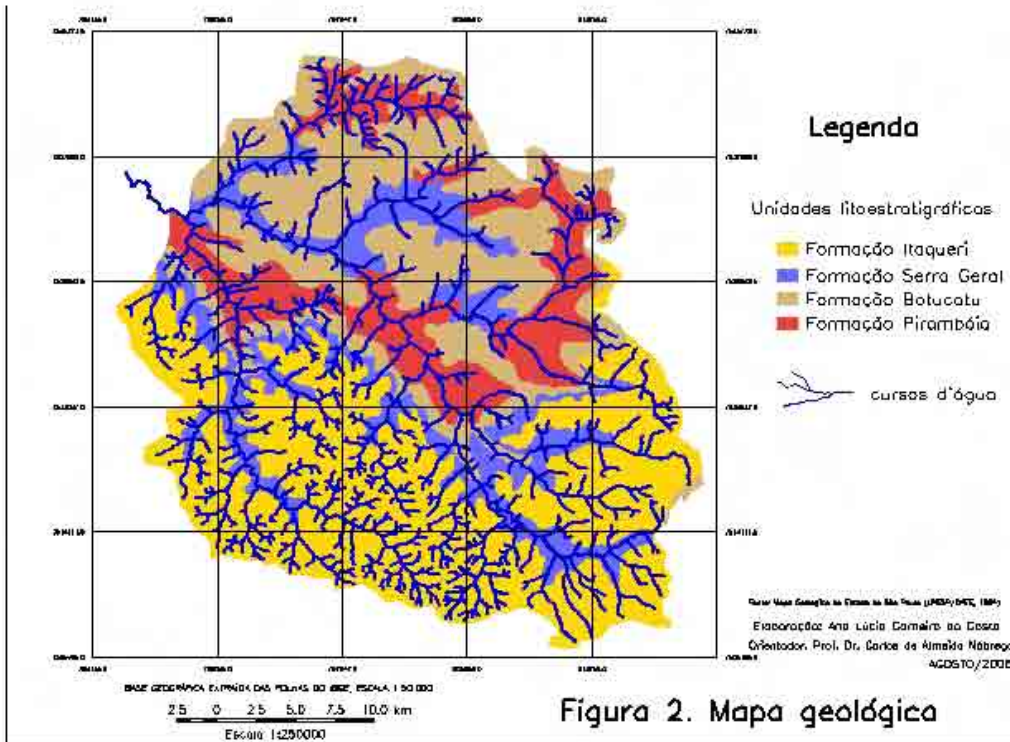


Figura 2. Mapa geológica

4.4. GEOMORFOLOGIA

A área de estudo está inserida na Província Geomorfológica das Cuestas Basálticas. Esta província se caracteriza por apresentar um relevo escarpado nos limites com a Depressão Periférica, seguido de uma sucessão de grandes plataformas estruturais de relevo suavizado, inclinadas para o interior em direção à calha do Rio Paraná. Estas duas feições principais constituem a escarpa e o reverso das Cuestas. (IPT, 1981).

As Cuestas Basálticas são um relevo escarpado, dissimétrico, seguido de uma sucessão de camadas com diferentes resistências ao desgaste, e de grandes plataformas estruturais de relevo suavizado inclinadas para o interior em direção à calha do Rio Paraná. O topo é denominado front da cuesta e a base de reverso da cuesta. O entalhamento no reverso das cuestas deu lugar a grandes anfiteatros de erosão e muitos destes cortes apresentam cachoeiras (MAIER, 1983).

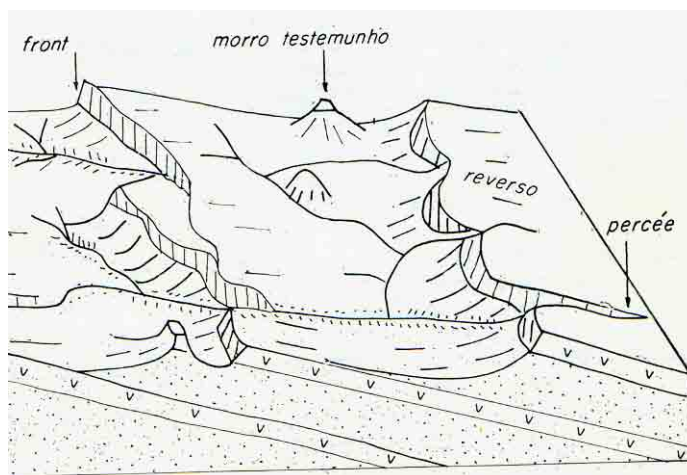


Figura 3. Sistema de relevo das cuestas.

Fonte: Penteado (1974), modificado.

O sistema das cuestas caracteriza-se por representar um degrau na geomorfologia da paisagem que corta o Estado no sentido norte-sul. Em macroescala, a cuesta é denominada Serra Geral, com escarpas e áreas de relevo fortemente ondulado. Devido à ação dos processos erosivos, as cuestas apresentam-se extremamente festonadas com mesas basálticas e morros testemunhos, formando cenário peculiar na região. Ao pé das cuestas,

estendem-se vales amplos e suaves, com presença das várzeas ao longo do curso dos rios. No reverso do front dominam as colinas médias (TROPMAIR, 2000).

A presença de intercalações areníticas entre os derrames de basalto é citada por Almeida (1964) como causa freqüente de degraus nas vertentes das serras. Segundo ele, a borda dos derrames basálticos em São Paulo apresenta-se como elevadas e muito festonadas cuestas, devidas a pequeno mergulho regional das camadas para noroeste e à resistência e grande espessura dos derrames, havendo paredões de basalto nas mais elevadas serras, sobretudo nas vertentes de profundos canions que as entalham, como o do alto vale do Rio Pinheirinho, ao norte de Torrinha.

Fúlfaro et al. (1967) estudaram a região e, procurando explicar o sistema de falhamento escalonado, afirmaram que feições geomorfológicas como o traçado retilíneo da Cuesta obedecendo direções NW e NE-E, o traçado dos rios sobre o planalto coincidindo frequentemente com essas direções e a presença de várias cachoeiras indicando vales suspensos, apontam uma origem tectônica para a escarpa. Segundo os autores, a presença desse escalonamento tectônico traz profundos reflexos no relevo, ocasionando degraus, que podem ser confundidos com vários derrames ou mesmo intercalações de arenito entre os vários derrames.

Bueno (1994) descreve que a Bacia do Rio Jacaré Pepira apresenta uma seqüência escalonada de patamares litoestruturais desenvolvida sobre rochas sedimentares e básicas em estruturas sub-horizontais, onde o contato entre os diversos patamares ocorre através de rupturas topográficas e com frentes festonados. Este forte controle estrutural é evidenciado na rede de drenagem, pois os cursos d'água, especialmente o principal, ao percorrerem o topo de cada patamar, em função do fraco gradiente, formam áreas inundáveis, estabelecendo-se assim setores escalonados de deposição fluvial. Já na transição entre os patamares, os rios formam corredeiras e quedas d'água, geralmente associadas à presença de rochas vulcânicas.

O relevo da Bacia do Jacaré Pepira divide-se em 4 tipos (FUNDAÇÃO PREFEITO FARIA LIMA – CEPAM, 1990):

1 – relevo de agradação – formado por planícies aluviais, sujeitas a inundações sazonais; localizado na calha do Jacaré e de alguns de seus afluentes mais volumosos;

2 – relevo de degradação em planaltos dissecados – formado por colinas com topos extensos e aplainados e vertentes;

3 - relevos residuais suportados por litologias particulares – formados por mesas basálticas que são morros testemunhos isolados;

4 – relevos de transição – onde se encontram encostas escarpadas com cânions locais, declividade média de 15 a 30 % e vales fechados, localmente formando cânions.

O Mapa Geomorfológico Preliminar do IPT (1999), utilizado neste estudo como fonte de informação do meio físico (**Figura 4**), apresenta o relevo da área de estudo com os seguintes sistemas (IPT,1981):

1. planícies aluviais- sistemas de relevo de degradação de origem continental.
2. colinas amplas- sistemas de relevos de degradação com declividade predominante das encostas entre 0 a 15% e amplitude altimétrica menor que 100 metros em cujas áreas predominam interflúvios com áreas superiores a 4 km².
3. colinas médias- sistemas de relevos de degradação com declividade predominante das encostas entre 0 a 15% , amplitude altimétrica menor que 100 metros em cujas áreas predominam interflúvios com áreas entre 1 a 4 km².
4. morrotes alongados- sistemas de relevo de degradação com declividade predominante das encostas maior que 15% e amplitude altimétrica menor que 100 metros.
5. escarpas festonadas- sistemas de relevos de transição interplanálticos, caracterizados por alta energia e intensa atuação dos processos de degradação, onde a amplitude altimétrica em geral excede 100 metros.

Bueno (1994) analisou o sistema de relevo da Bacia do Jacaré Pepira, descrevendo a área conforme seus níveis planálticos (**Figura 5**):

- Planaltos elevados subnivelados pela superfície cimeira – ocupa posição da superfície Paleogênia.
- Planaltos rebaixados – patamares intermediários e patamares baixos – ocupa posição da superfície Neogênia.

PLANALTOS ELEVADOS

Os planaltos elevados ocupam as cabeceiras do Rio Jacaré-Pepira no reverso das Cuestas Basálticas onde estão as maiores declividades e as vertentes mais abruptas.

Em altitudes acima de 900 metros (nível A) estão os domínios da Serra de São Pedro sustentada por arenitos da Formação Itaqueri, com colinas médias de topos convexos e vertentes de alta declividade. Nas altitudes entre 900 e 800 metros (nível B), ocupando posição imediatamente inferior, há um interflúvio tabular mais conservado, sustentado pela litologia resistente dos basaltos da Formação Serra Geral, sobrepostos pelos arenitos da Formação Itaqueri, em relevo predominante de colinas médias.

PLANALTOS REBAIXADOS

Patamares intermediários

Os patamares intermediários encontram-se ao longo do vale do Rio Jacaré-Pepira, com limite nos planaltos elevados até a passagem para os patamares baixos. Abrangem as encostas escarpadas dos planaltos elevados e os interflúvios tabulares da região de Brotas.

Na distribuição deste patamar ocorre um nível elevado por rebaixamento erosivo dos planaltos elevados, já que o entalhe deste patamar remonta para as cabeceiras dos rios, com altitudes que vão de 700 a 800 metros (nível C), incluindo os morros testemunhos; e um nível mais baixo que se desenvolve inteiramente ao longo das calhas principais e drenagem tributárias, com altitude de 700 a 600 metros (nível D). Estes dois níveis são semelhantes quanto a litologia, diferenciados apenas pela forma de topos, altitudes e declividades.

Patamares baixos

Os patamares baixos se encontram na porção extremo oeste da área de estudo, desenvolvendo-se próximo à calha principal onde foram encontradas as menores declividades e altitudes, não ultrapassando 600 metros. Geologicamente é sustentado predominantemente pela Formação Pirambóia, seguido das Formações Serra Geral e Botucatu.

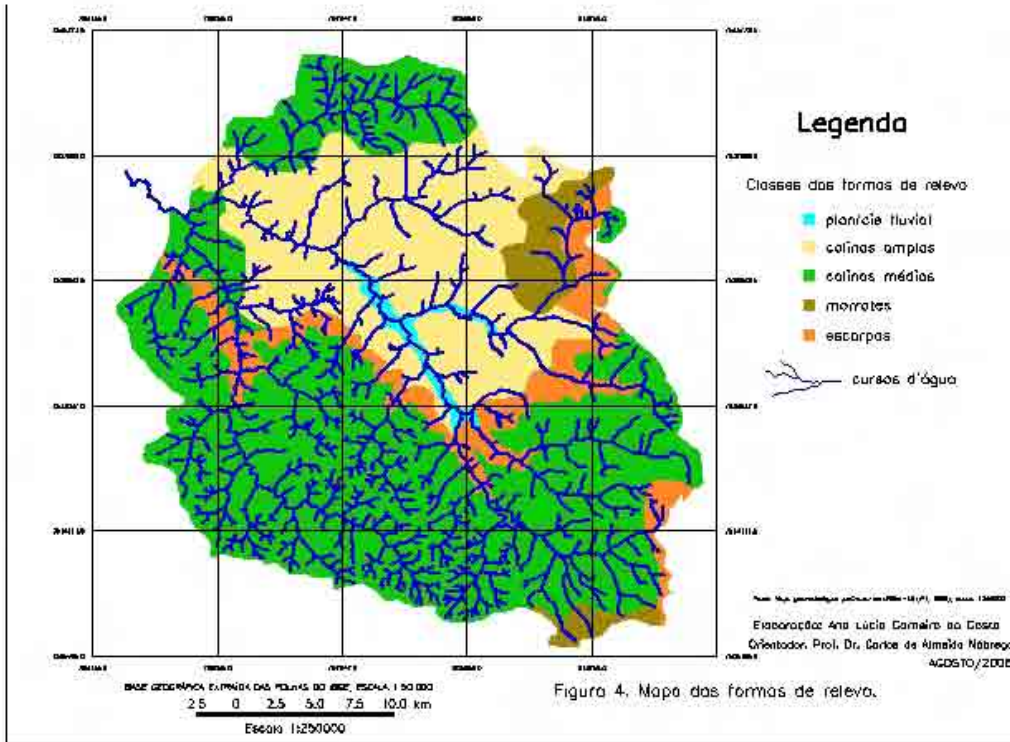


Figura 4. Mapa das formas de relevo.

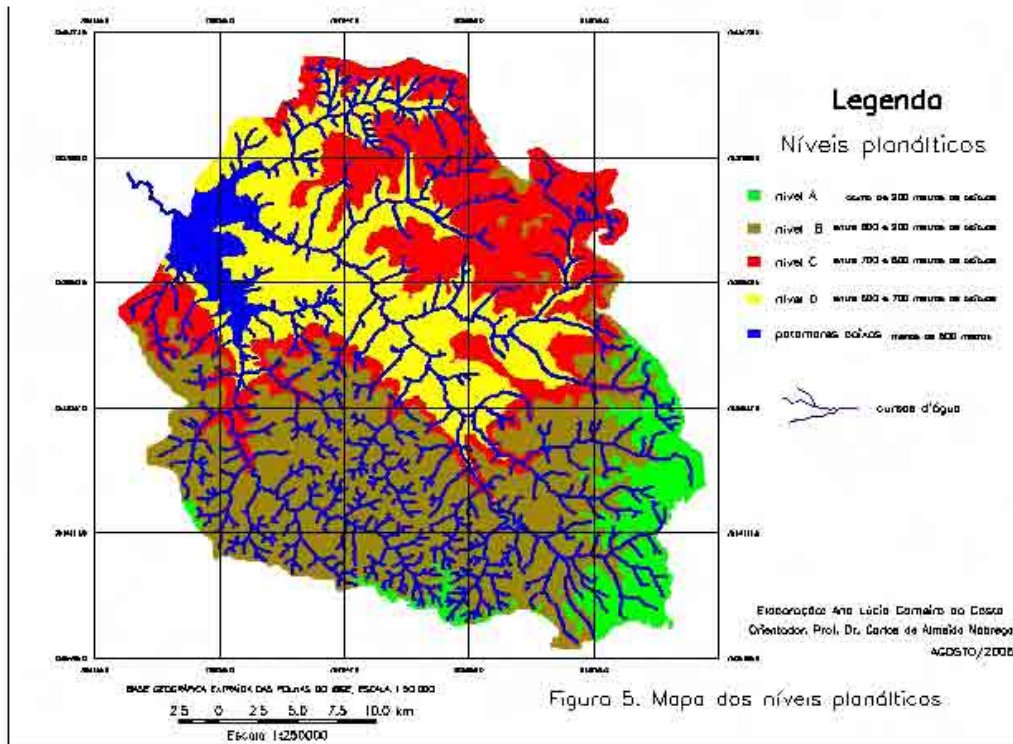


Figura 5. Mapa dos níveis planiflora.

4.5. CLIMA

Pela classificação do Sistema Köpen, a região apresenta o clima Cwa: subtropical úmido de inverno seco e estação chuvosa no verão.

Setzer (1976) descreve que a Bacia do Jacaré Pepira situa-se dentro de uma vasta área central do Estado de São Paulo caracterizada pelo clima uCw, úmido com índice normal de precipitação efetiva entre 230 e 325 mm, com estiagem subtropical durante 6 meses quando a evapotranspiração efetiva é maior que as chuvas correspondentes; e temperatura média entre 18 e 22 °C.

Niemer (1977) define o clima na Bacia do Jacaré Pepira como tropical sub-quente úmido, com média anual entre 18°C e 20°C. Durante o verão, no mês mais quente, a temperatura é superior a 22 °C e no inverno, há pelo menos um mês de temperatura média inferior a 18°C, sendo que o mês mais frio, junho ou julho, apresenta temperatura entre 15 e 18 °C. Nesta classificação, o clima úmido apresenta três meses secos: junho, julho e agosto.

Penteado (1971) estudou a pluviosidade da região no período 1941-57, cujo índice anual apresentou-se superior a 1.200 mm, sendo que o período outono/inverno contribuiu com apenas 100 a 200 mm e o máximo da pluviosidade ocorre entre outubro a março. A variação dos totais reflete a influência dos fatores geográficos, notadamente o relevo face à circulação atmosférica regional. Tudo indica que as precipitações são resultado da atuação das principais correntes da circulação atmosférica, sendo a Frente Polar Atlântica, com um caminamento preferencial de sudeste para noroeste, a principal responsável pela gênese das chuvas caídas anualmente em todas as estações, cedendo liderança à Tropical Atlântica em caráter de instabilidade, apenas na primavera e verão nos anos de fraca atividade das correntes polares, com trajetória de noroeste e norte, em sentido contrário às primeiras.

Considerando a importância das informações pluviométricas para o estudo da erosão, verifica-se que em toda a área de estudo não há dados pluviográficos sobre a intensidade dos eventos chuvosos, há somente registros de postos pluviométricos do DAEE (Departamento de Água e Energia Elétrica), atualmente desativados. Neste estudo, foram utilizados os dados pluviométricos dos seguintes postos:

Campo Redondo (D4-098), a 660 metros de altitude e coordenadas: 22°22'00"S 47°59'00"W

Série histórica: 06/1970 a 06/1999

Usina Jacaré (D5-069), a 810 metros de altitude e coordenadas: 22°25'00"S 48°01' 00"W

Série histórica: 03/1946 a 02/1967

Brotas (D5-078), a 680 metros de altitude e coordenadas: 22°17' 00"S 48°07' 00"W

Série histórica: 06/1972 a 02/1999

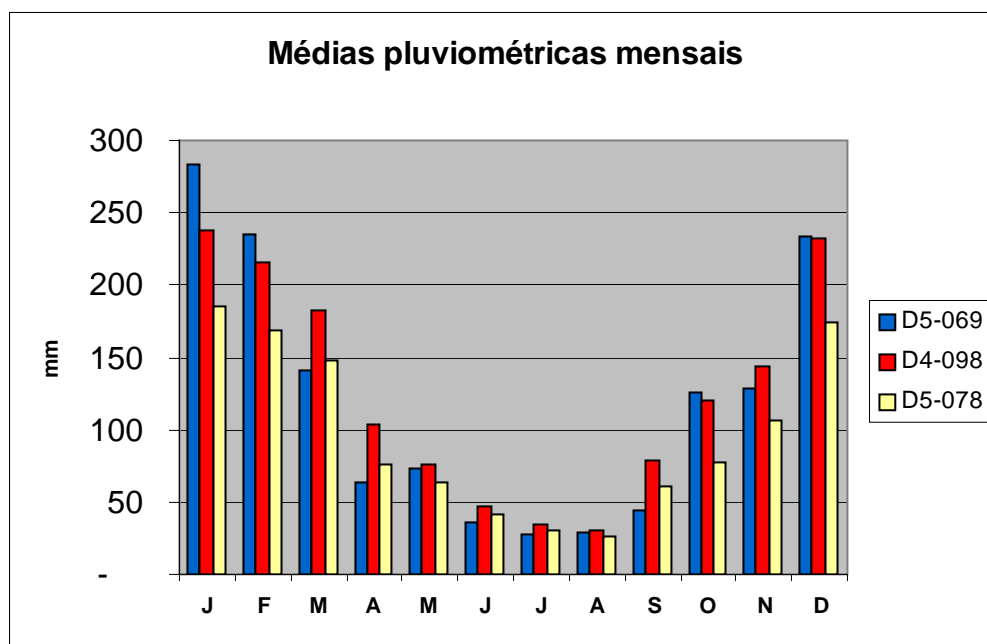


Figura 6. Médias pluviométricas mensais de postos localizados na área de estudo, com diferentes séries históricas.

Fonte: Banco de Dados Pluviométricos do Estado de São Paulo/ DAEE

4.6. PEDOLOGIA

A classificação pedológica da área de estudo adotada neste trabalho (**Figura 7**) foi baseada no Levantamento Pedológico do Instituto Agronômico de Campinas (IAC) elaborado em 1981 na escala 1:100.000, quadrículas Brotas, São Carlos e Piracicaba. Após esta época, ocorreram modificações no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, sendo que a classificação atual é originária de 1999.

O novo sistema é estruturado com base em características de gênese do solo e propriedades pedogenéticas que imprimem marcas distintas em cada tipo de solo conhecido. Segundo a EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária), o sistema de classificação atual inovou completamente a estrutura do sistema anterior, tendo-se chegado ao tipo desejável de classificação hierárquica, multicategórica, descendente e aberta para inclusão de novas classes à medida que o país vai sendo mais conhecido.

Tendo em vista que o material utilizado neste trabalho foi baseado na classificação anterior, as classes pedológicas serão apresentadas conforme nomenclatura antiga, estando descrita a correspondência aproximada com a Ordem (1º nível categórico) da classificação atual.

No presente estudo, o mapeamento pedológico digitalizado não considerou as associações das classes pedológicas, mas apenas as classes de solos predominantes representadas no mapa pedológico.

A classificação atual criou a Ordem dos LATOSSOLOS, mantendo a mesma denominação anterior das classes dos Latossolos, predominantes na área de estudo. São caracterizados por solos profundos, bastante intemperizados, ricos em óxidos de Ferro e Alumínio. Possuem o horizonte B latossólico, que apresenta pouca diferenciação entre os sub-horizontes, fraca cerosidade, espessura mínima de 50 cm. Sua ocorrência alia-se a setores de relevo quase planos e suave ondulados.

Latossolo Vermelho-Amarelo: são solos minerais com horizonte B latossólico, cor vermelho-amarela e bruno-amarela, cujo perfil apresenta horizontes praticamente homogêneos. A textura é predominante média tendo em vista a relação das características granulométricas do substrato, geralmente composto por arenitos. São normalmente distróficos (saturação de bases menor que 50%), horizonte A moderado ou proeminente.

Latossolo Vermelho-Escuro: são solos minerais com horizonte B latossólico, cor predominante vermelho-escuro e bruno-avermelhado-escuro, textura média a argilosa, horizonte A moderado, normalmente distrófico.

Latossolo Roxo: são solos minerais com horizonte B latossólico Apresentam textura argilosa ou muito argilosa em todo o horizonte B e horizonte A com mais de 30 cm de espessura, moderado ou proeminente, distrófico ou eutrófico.

A antiga classe do **Podzólico Vermelho-Amarelo** pertence à Ordem dos ARGISSOLOS. Nela, estão os solos que possuem argila de baixa atividade e horizonte B textural, caracterizados em função do acúmulo de argila no horizonte B, decorrente de processos de iluviação e/ou formação *in situ*, herdada do material de origem. A variação textural entre os horizontes A e B ocasiona a cerosidade, perceptível pelo aspecto lustroso e brilho graxo.

Quando o Podzólico Vermelho-Amarelo apresenta argila de alta atividade e saturação de bases maior que 50% (eutrófico), este solo pertence então, à Ordem dos LUVISSOLOS.

Podzólico Vermelho-Amarelo: são solos minerais, cor vermelho-amarelo e bruno-amarela, com horizonte B textural e gradiente textural normalmente abrupto, argila de atividade baixa, textura arenosa/média ou média/argilosa, horizonte A moderado, geralmente distrófico.

A antiga classe da **Terra Roxa Estruturada** pode pertencer à Ordem dos ARGISSOLOS ou NITOSSOLOS, dependendo do diagnóstico do horizonte B. Em caso de ocorrência de B textural e argila de baixa atividade, a Ordem equivalente é dos ARGISSOLOS e na ocorrência de horizonte B nítico, a Ordem equivalente é dos NITOSSOLOS.

O horizonte B nítico possui textura argilosa ou muito argilosa sem incremento de argila do horizonte A para B ou com incremento insuficiente para caracterizar relação textural.

Terra Roxa Estruturada: são solos minerais que possuem horizonte A espesso com estrutura desenvolvida, geralmente eutrófico.

A Ordem dos NEOSSOLOS englobam solos pouco desenvolvidos, em vias de formação, seja pela reduzida atuação dos processos pedogenéticos ou por características

inerentes ao material originário. Nesta Ordem estão as classes denominadas anteriormente por **Litólicos** e **Areia Quartzosa Profunda**. Os NEOSSOLOS são caracterizados pela insuficiência de manifestação dos atributos diagnósticos dos diversos processos de formação, exígua diferenciação de horizontes e o predomínio das características herdadas do material originário.

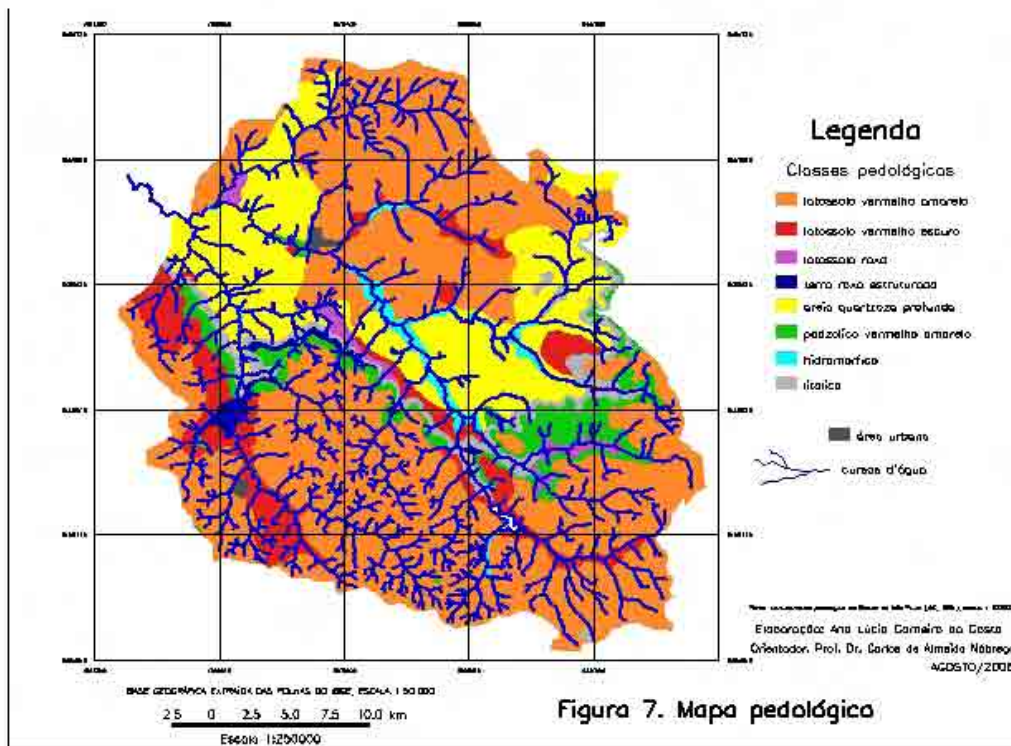
Litólicos: solos minerais pouco desenvolvidos, rasos, com menos de 40 cm de espessura, onde o horizonte A se assenta diretamente sobre horizonte C delgado ou sobre a própria rocha. Apresentam textura média ou argilosa e ocorrem em setores de relevo acentuados. Admite-se um horizonte B em início de formação cuja espessura não satisfaz a qualquer tipo de horizonte diagnóstico.

Areia Quartzosa: Seqüência de horizonte A-C, sem contato com a rocha dentro de 50 cm de profundidade, apresenta textura areia ou areia franca nos horizontes até, no mínimo, a profundidade de 150 cm a partir da superfície do solo ou até um contato lítico, essencialmente quartzoso. Apresenta praticamente ausência de minerais primários alteráveis (menos resistentes ao intemperismo) e alta saturação de alumínio (állico).

As Areias Quartzosas constituem uma classe de solos reconhecida desde o início da década de 60 para formar grupo independente, desmembrado dos Regossolos.

No mapa pedológico do IAC encontramos a classe dos Hidromórficos. Esta denominação é genérica para solos com horizonte influenciado pelo lençol freático, livre de oxigênio dissolvido pela saturação da água durante o ano todo, ou pelo menos por longo período. Na área de estudo, os Hidromórficos estão associados à ocorrência de planícies fluviais.

Estes solos podem pertencer à Ordem dos NEOSSOLOS ou à Ordem dos GLEISSOLOS. Na Ordem dos GLEISSOLOS encontram-se os solos que possuem horizonte glei, caracterizado por redução de ferro devido à presença de água estagnada, como evidenciado por cores neutras, com ou sem mosqueados de cores vivas.



4.7. O histórico da ocupação segundo dados censitários do IBGE

Com o objetivo de subsidiar o estudo do uso e ocupação do solo ao longo do tempo, foi realizada uma análise dos dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), nos dois principais municípios que abrangem a área de estudo: Brotas e Torrinha, pois 60% do território de Brotas e 56,6% de Torrinha estão inseridos na área de estudo.

As mudanças que ocorrem neste período refletem as transformações sócio-econômicas do interior paulista das últimas décadas: crescimento relativo da população urbana e aumento das cidades, redução da população residente na zona rural e alteração da malha viária, concentração de propriedades e diminuição da produção de subsistência, substituição de cultivos causada pelas mudanças de mercado, perda da cobertura com vegetação nativa e expansão da ocupação agropecuária.

Segundo o Censo Demográfico de 1960, a população do município de Brotas era de 13.126 habitantes, sendo que 70% se encontravam na zona rural. Dez anos depois, em 1970, a população do município é 9% menor, atingindo 11.960 pessoas, mas a população rural cai 29% e passa a representar 55% da população total, enquanto a população urbana sobe 37%.

Entre 1970 e 1980, este processo de urbanização se acentua, apresentando uma queda de 43% na população rural, que continua caindo nas décadas seguintes, mesmo quando o município apresenta aumento da população total, representado a partir do Censo de 1980. Por outro lado, o crescimento da população urbana em vinte anos, entre 1980 e 2000, é de 114%, passando de 7.530 para 16.127 pessoas do total de 18.886 habitantes.

Este contexto, comum à realidade do interior de São Paulo no período estudado, e também presente no município de Torrinha onde o crescimento da população urbana no mesmo período (1980 a 2000) foi de aproximadamente 60%, pressiona fortemente a expansão da ocupação urbana, aumentando a demanda em infra-estrutura e abastecimento, ao mesmo tempo em que altera o cenário rural.

Tabela 6. População rural e urbana dos municípios de Brotas e Torrinha

Censo Demográfico	1960	1970	1980	1991	1996	2000
Pop.urbana de Brotas	2.686	5.422	7.530	10.902	14.024	16.127
Pop. rural de Brotas	15.055	6.540	3.732	3.500	3.035	2.759
Pop. urbana de Torrinha	1.718	3.674	4.577	5.627	6.486	7.289
Pop. rural de Torrinha	4.992	2.827	1.981	1.876	1.697	1.548

Fonte: Censo Demográfico do IBGE

As transformações econômicas do período determinaram alterações na produção agropecuária que se tornou mais especializada e produtiva. A mecanização fez com que fosse reduzida a utilização da mão de obra. Entre os anos 60 e 70, o Censo Agropecuário apresenta redução de 25% do pessoal ocupado na zona rural do município de Brotas e de 33% em Torrinha.

A partir do Censo Agropecuário de 1975, a taxa de redução de pessoal ocupado na agricultura diminui apesar do processo de urbanização. A forma de utilização da mão de obra na agricultura vai sendo alterada, havendo predominância do emprego temporário, quando o trabalhador realiza atividade rural mas reside na área urbana.

Tabela 7. Pessoal ocupado na agricultura nos municípios de Brotas e Torrinha

Censo Agropecuário	1960	1970	1975	1980	1985	1996
Pessoal ocupado em Brotas	4.141	3.097	3.111	3.049	2.366	2.287
Pessoal ocupado em Torrinha	3.038	2.037	1.837	1.958	1.402	1.945

Fonte: Censo Agropecuário do IBGE

Devido às mudanças no mercado nacional e internacional, há uma significativa mudança no predomínio da ocupação do solo agrícola. O café, principal cultura da região em 1960, passa as próximas décadas a ceder espaço ao cultivo de laranja, cana de açúcar, pastagem e, mais tarde, ao reflorestamento de eucalipto.

Segundo os dados do Censo Agropecuário, a cultura do café sofre queda de 67% no número de pés plantados no município de Brotas entre os anos 60 e 70, passando de mais

de 2 milhões de pés a pouco mais de 750 mil pés; apresenta recuperação entre 70 e 80, quando ocorre aumento em torno de 235 % nos pés plantados, o que ocorreu provavelmente devido à introdução de variedades de pequeno porte, permitindo o plantio em espaçamentos adensados; mas no Censo Agropecuário de 1985 já reduz em mais de 60% o número de pés, seguindo esta tendência e apresentando em 1996 um número 68% menor. A mesma situação se verifica no município de Torrinha, porém com menor intensidade.

A cultura da laranja apresentou no município de Brotas um constante aumento no número de pés plantados entre os anos de 1960 e 1996, com destaque para o crescimento de 577% apresentado entre os Censos Agropecuários de 1980 e 1985, quando de 150 mil pés passa a mais de 1 milhão de pés plantados. Já no município de Torrinha, a cultura da laranja tem uma importância econômica muito menor, mesmo assim o número de pés também aumentou no mesmo período, entre 85 e 96 o crescimento foi de 127%.

Tabela 8. Número de pés plantados de café e laranja nos municípios de Brotas e Torrinha

Número de pés plantados (mil)	1960	1970	1975	1980	1985	1996
Cultura do Café em Brotas	2.314.370	751.437	952.360	2.509.543	960.033	298.780
Cultura do Café em Torrinha	1.675.735	1.332.468	1.712.900	1.979.697	1.294.965	795.329
Cultura da Laranja em Brotas	23.250	27.126	57.340	152.360	1.031.704	2.228.487
Cultura da Laranja em Torrinha	9.000	35.250	38.680	72.815	134.293	305.080

Fonte: Censo Agropecuário do IBGE

A partir do levantamento de 1970, a cultura da cana começa a se destacar entre as demais explorações. Os dados do Censo Agropecuário deste ano apontam que a cana de açúcar já representava 42% da área ocupada por culturas temporárias no município de Brotas e 21% no município de Torrinha.

Embora o cultivo da cana de açúcar tenha se mantido sempre em posição destacada, a área ocupada nos municípios de Brotas e Torrinha apresentou variações segundo o Censo Agropecuário de forma praticamente inversa. Entre os levantamentos de 1970 e 1975, a área ocupada pela cultura aumenta em 47% no município de Brotas e reduz 23% em Torrinha. Já nos levantamentos de 1980 e 1985, a área apresenta queda de 11% e 7% no município de Brotas, enquanto em Torrinha a área sobe 38% e 227% respectivamente. Devido à proximidade dos municípios, esta variação provavelmente retrata uma estratégia

local de expansão do cultivo da Usina e disponibilidade técnica e econômica de áreas agricultáveis.

Segundo os dados do Censo Agropecuário de 1996, porém estas diferenças entre os municípios desaparecem e o cultivo da cana de açúcar apresenta crescimento de 79%, quando atinge 9.193 hectares em Brotas e 95% em Torrinha, ocupando 5.933 hectares.

Tabela 9. Cultura da cana de açúcar nos municípios de Brotas e Torrinha

Área ocupada (em hectares)	1960	1970	1975	1980	1985	1996
Cultura da Cana de açúcar em Brotas	1.374	4.192	6.162	5.505	5.122	9.193
% em relação às lavouras temporárias	13%	42%	44%	38%	33%	76%
Cultura da Cana de açúcar em Torrinha	65	509	392	931	3.043	5.933
% em relação às lavouras temporárias	3%	21%	11%	25%	41%	77%

Fonte: Censo Agropecuário do IBGE

Em relação às áreas de pastagens, verifica-se uma tendência de diminuição da área ocupada no período analisado, e mais acentuadamente há redução da área com pastagens naturais. A maior redução, segundo o Censo Agropecuário ocorreu entre os anos 1985 e 1996: 34% no município de Brotas e 25% em Torrinha. Essa diminuição demonstra, entre outros fatores, uma mudança do perfil técnico da pecuária bovina no interior do Estado de São Paulo, que passou a formar pastagens com cultivares mais produtivos e com novas formas de manejo possibilitaram o aumento da capacidade de lotação do rebanho, ou seja, a mesma produção de leite e carne em áreas menores.

Tabela 10. Pastagem nos municípios de Brotas e Torrinha

Área ocupada (em hectares)	1960	1970	1975	1980	1985	1996
Pastagem natural em Brotas	34.645	31.307	21.659	14.250	11.055	5.634
Pastagem cultivada em Brotas	25.867	34.139	41.351	41.216	39.681	28.101
Pastagem total em Brotas	60.512	65.446	63.030	55.466	50.536	33.735
Pastagem natural em Torrinha	18.411	16.736	14.911	10.047	4.487	2.034
Pastagem cultivada em Torrinha	932	2.273	2.887	7.986	12.067	10.303
Pastagem total em Torrinha	19.343	19.009	17.798	18.033	16.554	12.337

Fonte: Censo Agropecuário do IBGE

A partir do Censo Agropecuário de 1975, o reflorestamento se torna uma das principais explorações agrícolas no município de Brotas, devido principalmente à expansão da empresa Chamflora Agroflorestal, que produz eucalipto destinado à fabricação de papel e celulose.

Entre os levantamentos dos anos de 1970 e 1975, as florestas plantadas apresentam crescimento em área ocupada de quase 250% no município de Brotas e 64% em Torrinha. Nos levantamentos seguintes, esta área continua em crescimento em Brotas, o aumento foi de mais de 50% em dez anos, até 1985. Já em Torrinha, a área de florestas plantadas sofreu oscilações no período, mas entre 75 e 85 diminuiu 10%.

Tabela 11. Florestas plantadas nos municípios de Brotas e Torrinha

Área ocupada (em hectares)	1960	1970	1975	1980	1985
Florestas plantadas em Brotas	1.669	3.013	10.522	13.137	15.875
Florestas plantadas em Torrinha	1.798	1.483	2.434	2.710	2.193

Fonte: Censo Agropecuário do IBGE

Segundo o Censo Agropecuário do IBGE, as áreas ocupadas com mata natural apresentaram a maior redução entre os anos 70 e 75, quando a queda foi de 45% em Brotas e 62% em Torrinha. Entre 1960 e 1975, a perda acumulada foi de 66% no município de Brotas e 76% em Torrinha. No levantamento de 1980, porém, a área se recupera em 53% em Brotas e 22% em Torrinha, para voltar a cair no levantamento de 1985: 15% em Brotas e 47% em Torrinha. Há nova recuperação segundo o levantamento de 1996: 21% em Brotas e quase 250% em Torrinha.

Tabela 12. Matas naturais nos municípios de Brotas e Torrinha

Área ocupada (em hectares)	1960	1970	1975	1980	1985	1996
Mata natural em Brotas	12.199	7.563	4.185	6.419	5.427	6.574
Mata natural em Torrinha	2.594	1.663	630	771	406	1.409

Fonte: Censo Agropecuário do IBGE

5. MATERIAS E MÉTODO

5.1.MATERIAIS

As fontes de informação utilizadas para extração dos dados do meio físico foram:

- Cartas do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), folhas Brotas (SF.22-Z-B-III-4), Itirapina (SF.23-M-I-3), Ribeirão Bonito (SF.22-Z-B-III-2), São Pedro (SF.23-M-III-1), São Carlos (SF.23-Y-A-I-1) e Santa Maria da Serra (SF.22-Z-B-VI-2). Escala 1: 50.000.

- Levantamento Pedológico Semi-Detalhado do Estado de São Paulo elaborado em 1981 pelo IAC (Instituto Agrônomo de Campinas), quadriculas Brotas (SF. 22-Z.B-III-4), São Carlos e Piracicaba (234-Y-A-IV). Escala 1: 100.000.

- Mapa Geológico do Estado de São Paulo elaborado em 1984 pela Secretaria de Obras e do Meio ambiente/Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE) e UNESP-Rio Claro/IGCE. Folhas Bauru (SF 22 Z-B) e Campinas (SF 23 Y-A). Escala 1: 250.000.

- Mapa Geológico do Estado de São Paulo elaborado em 1981 pelo Instituto de Pesquisa Tecnológica (IPT). Escala 1: 500.000.

- Mapa Geomorfológico Preliminar da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos Tietê-Jacaré (UGRHI –13) do Estado de São Paulo, elaborado em 1999 pelo IPT. Escala 1: 250.000.

Para obtenção das informações do uso e ocupação do solo e presença de feições erosivas lineares foram utilizados:

- Imagem de satélite CBERS- CCD do ano de 2004, passagem 16/08/2004.
- Imagens de satélite TM-LANDSAT-5 do ano de 1988, passagens 01/07/1988 e 27/09/1988.

- Fotografias aéreas da BASE Aerofotogrametria e projetos S/A do ano de 2.000, na escala 1:30.000

- Levantamentos de campo com uso de GPS (equipamento receptor do Global Position System)

- Cadastros de empresas agrícolas, levantamentos realizados pela Casa da Agricultura de Brotas-CATI /SAA e estudos acadêmicos anteriores na área de estudo.

Os *softwares* e equipamentos usados para digitalização dos dados e integração das informações foram:

- *Software SPRING* versão 4.01 Beta, desenvolvido pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisa Espacial)
- *Scanner* padrão TIFF com resolução de 300 DPI.
- Mesa digitalizadora acoplada ao *SPRING*

5.2.MÉTODO

O método escolhido nesta pesquisa para o estudo dos processos erosivos reside na criação de um banco de dados espacial em SIG/*SPRING*. O banco de dados permite a inclusão e geração de novas informações a partir da integração dos dados.

A descrição do método está apresentada nas seguintes etapas:

1. Criação de um Banco de dados espacial em SIG/*SPRING*
2. Compartimentação da área em unidades de análise
3. Classificação das imagens de satélite
4. Aplicação do modelo matemático da Equação Universal de Perda do Solo
5. Levantamentos de campo

5.2.1.BANCO DE DADOS

5.2.1.1.Definição do banco de dados e do projeto

Conforme o conceito de modelo de dados do *SPRING* já descrito no item 3.4., criou-se um Banco de dados denominado **EROSÃO**, e todas as informações utilizadas neste estudo foram armazenadas no Projeto **JACARÉ**. A área deste Projeto foi definida com os seguintes parâmetros:

- Projeção UTM/datum Córrego Alegre
- Zona 22 Sul
- Retângulo Envolvente (coordenadas geográficas localizadas nos limites da área de trabalho, nos extremos a sudoeste e nordeste).

X1: 22°10'S e 48°20' W

X2: 22°35'S e 47°50' W

Na projeção UTM (Universal Transverse Mercator), a longitude de origem corresponde ao meridiano central de um fuso ou zona (a cada 6° define-se um fuso), ou seja, ao meridiano central de uma carta ao milionésimo. A projeção UTM da área de estudo atravessa dois fusos, possui a maior porção no fuso 22 (meridiano central 51°.) e pequena área a leste, no fuso 23 (meridiano central 45°.). Para integrar as informações, a entrada de dados no *SPRING* ocorreu em projetos diferentes dentro do mesmo banco de dados, cada qual definido conforme seu fuso. Posteriormente as informações foram agrupadas no projeto **JACARÉ** por operações de mosaico, possíveis dentro do banco de dados.

5.2.1.2.Entrada de dados

A entrada de dados ocorreu de várias formas. A hipsometria foi digitalizada pela empresa ENGEOTEC de São José dos Campos a partir das cartas topográficas do IBGE, pelo processo de vetorização. A vetorização é destinada a converter os originais cartográficos de formato analógico em arquivos digitais.

Neste processo, há a conversão do material analógico para o formato digital matricial com utilização dos Scanners que convertem o material em arquivos raster, que são georreferenciados com base em um quadriculado vetorial, associado ao mesmo sistema de projeção e de referência dos originais cartográficos. A vetorização da altimetria consiste na

conversão de feições lineares, como as curvas de nível e, pontuais, como os pontos cotados, formando um arquivo vetorial tridimensional georreferenciado. Esse arquivo reflete em suas coordenadas X,Y as coordenadas UTM, e na coordenada Z os valores de altura, de acordo com os parâmetros definidos no início do processo.

A drenagem e as classes pedológicas foram digitalizadas via mesa digitalizadora acoplada ao *SPRING*; os mapas de Geologia e Geomorfologia foram scaneados e a digitalização ocorreu diretamente na tela através da edição temática vetorial. Já a delimitação das unidades de análise foi realizada na tela com base em informações já digitalizadas, e as imagens de satélite foram lidas no módulo *IMPIMA* e registradas no *SPRING*, georreferenciadas na escala 1: 50.000.

5.2.1.3. Organização e operação do banco de dados

Neste banco de dados, os planos de informações se dividem em categorias temáticas, numéricas, imagem, cadastral e objeto (**Quadro 1**).

Os fatores que constituem a Equação Universal de Perda de Solo formaram grades numéricas regulares, utilizadas para efetuar as operações algébricas entre mapas para posterior mapeamento temático. O mapeamento das sub-bacias, distinguidas neste estudo como geo-objetos, formou a categoria cadastral do Projeto.

Os Planos de Informação (PIs) foram criados com os dados primários (hipsometria, drenagem, pedologia) e pela geração de novos dados, derivados da integração dos Planos de Informações. Por exemplo, a partir de dados temáticos de pedologia, foram geradas grades numéricas ao atribuir valores às classes pedológicas (índices de erodibilidade e índice de tolerância de perdas de solo). Para criar uma matriz numérica a partir de uma matriz temática foram efetuadas operações de ponderação.

No caso da hipsometria, os dados altimétricos formaram uma grade retangular originada de uma grade triangular (TIN). Da grade altimétrica, foram gerados um mapa de isolinhas que delimitou os níveis planálticos (**Figura 5**) e o mapeamento da declividade (**Figura 8**). As classes de declividade foram obtidas através da operação de fatiamento, que é usada para geração de uma matriz temática a partir de uma matriz numérica.

As matrizes numéricas, formadas por operações de ponderação em matrizes temáticas, foram fatiadas, gerando novos PIs temáticos para classificação (classes alta,

média e baixa) da erodibilidade dos solos, do fator topográfico e assim por diante. Também foram efetuadas operações entre matrizes temáticas, denominadas de reclassificação.

As classes de ocupação do solo constituíram um mapeamento temático após o tratamento das imagens de satélite que, posteriormente, gerou grades numéricas do fator uso-manejo e do fator práticas conservacionistas da EUPS.

Para obtenção dos parâmetros das sub-bacias, foram realizadas operações métricas (área, perímetro, comprimento e distância), disponíveis no *Menu* do *SPRING*. As operações de espacialização e atualização foram utilizadas para atribuir parâmetros às sub-bacias.

Com o propósito de realizar uma melhor análise das informações em mapeamentos temáticos, foram criados PIs contendo dados dentro dos limites de cada uma das unidades de análise. Esta forma de segmentar a informação permite visualizar melhor a distribuição das classes. As análises dos mapas temáticos foram auxiliadas pelo aplicativo do *SPRING* de *Medidas de classes*, disponível para PIs temáticos.

As operações realizadas no cruzamento das informações foram efetuadas através de programação conhecida como Programa LEGAL (Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico) que permitiu a aplicação das equações. Os programas elaborados em LEGAL para integração de dados estão descritos no **anexo 2**.

A confecção dos mapas ocorreu através do módulo *SCARTA* do *SPRING* que possui acesso às informações do banco de dados e permite a inserção de elementos cartográficos.

**Quadro 1. QUADRO RESUMIDO DA ESTRUTURA DO BANCO DE DADOS
EROSÃO: PROJETO JACARÉ
CATEGORIAS E RESPECTIVOS PLANOS DE INFORMAÇÃO (PIs)**

CATEGORIAS	Planos de Informação (PIs)
Temática	drenagem, pedologia, ocupação do solo, geologia, níveis planálticos, formas de relevo classes de erodibilidade, do fator topográfico, do potencial natural do solo (PNE) e de vulnerabilidade à erosão
Numérica	hipsometria, declividade, índice de tolerância de perda de solo; declividade, comprimento da vertente, fator topográfico, erodibilidade e PNE; fator uso-manejo, fator práticas conservacionistas e CP (1988 e 2004); CP tolerável, grau de vulnerabilidade à erosão
Imagem	Imagens de satélite e imagens classificadas quanto à ocupação
Cadastral	mapeamento das unidades de análises
Objeto	unidades de análise e seus atributos

5.2.2. As unidades de análise

A área de estudo foi compartimentada em sub-bacias, definidas como unidades de análise. Procurando evitar a criação de unidades com área inexpressiva, as pequenas sub-bacias formadas por canal de primeira ordem ou foram englobadas pela sub-bacia vizinha com canal de segunda ordem ou formaram uma unidade com outras sub-bacias de primeira ordem em área contínua.

Na descrição do meio físico (**item 6.1**), as 30 unidades de análise são apresentadas em 10 grupos, que se formaram pelas semelhanças das unidades quanto às características geológicas e geomorfológicas, classes de declividade e parâmetros morfométricos.

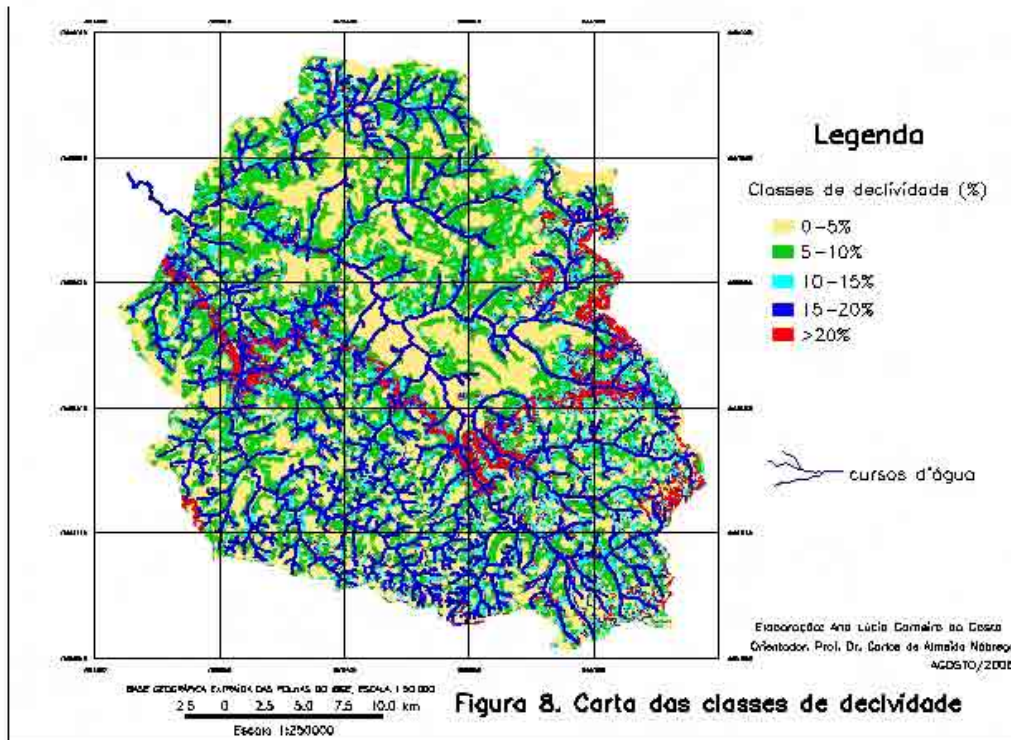
As classes de declividade (**Figura 8**) foram obtidas por fatiamento temático da grade numérica de declividade, a partir dos seguintes dados:

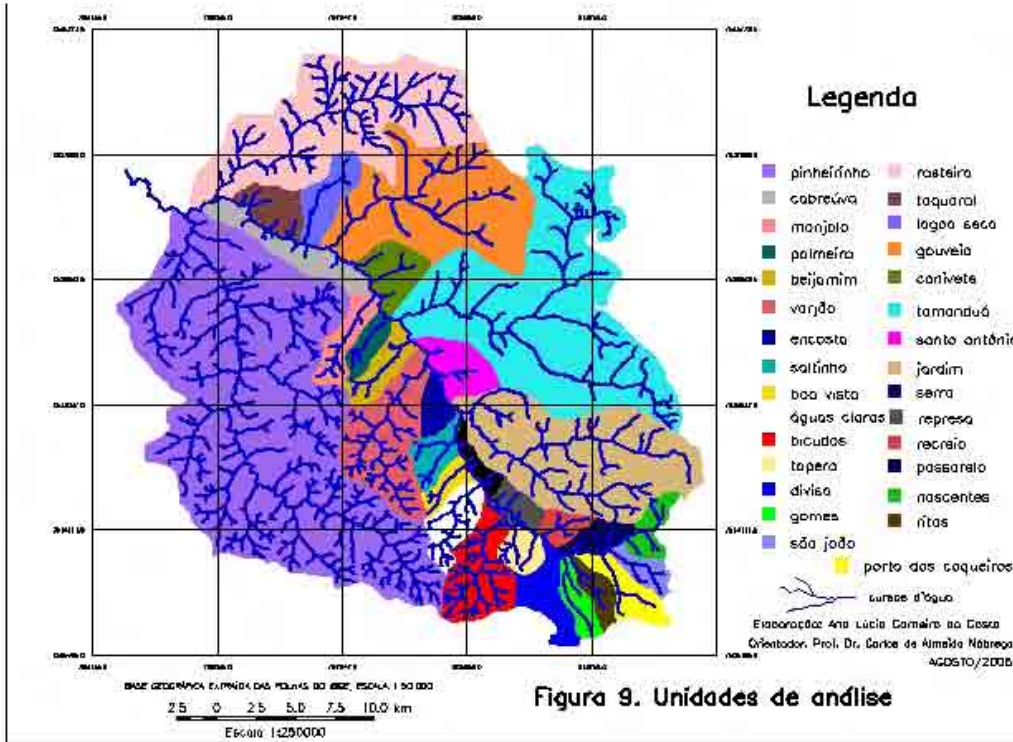
Tabela 13. Classificação da declividade (%)

Classe temática	Intervalo de valores
1	0 a 5 %
2	> 5 a 10 %
3	> 10 a 15 %
4	> 15 a 20 %
5	> 20 %

Conforme mencionado, as unidades de análise foram consideradas na estrutura do banco de dados como geo-objetos. Os atributos associados aos geo-objetos consistiram de parâmetros morfométricos: área, perímetro, índice de forma, densidade de drenagem, relação de relevo, declividade média e extensão do percurso superficial (**item 3.3**).

Os valores de extensão do percurso superficial foram utilizados como média do comprimento das vertentes, componente do fator topográfico da Equação Universal de Perdas de Solos. A atribuição dos valores do parâmetro de extensão do percurso superficial para cada unidade de análise foi realizada por espacialização em LEGAL (**anexo**).





5.2.3. Classificação das imagens de satélite

As imagens de satélite CBERS-CCD do ano de 2004 e TM LANDSAT-5 do ano de 1988, foram utilizadas para extração das informações sobre a ocupação do solo em dois diferentes cenários (**Figuras 15 e 16 - anexo**).

As operações de registro e classificação das imagens foram realizadas no *software SPRING* na escala 1:50.000, sendo que a entrada de dados ocorre através do aplicativo *IMPIMA* com recorte na área de interesse. Para compor o cenário de 1988, foi necessária a totalização da área de estudo através do mosaico de duas imagens LANDSAT.

Na imagem CBERS-CCD, a seqüência escolhida das bandas para formar a composição colorida RGB, foram B4, B2 e B3 e, na imagem TM-LANDSAT foram B5, B4 e B3.

Na operação de georreferenciamento do registro da imagem CBERS de 2004, utilizou-se como referências geográficas, as rodovias, as represas e os talhões de lavouras de cana de açúcar já georreferenciados pela empresa agrícola Paraíso Bioenergia. O registro da imagem LANDSAT de 1988 baseou-se principalmente na imagem registrada CBERS de 2004.

A classificação da imagem de 2004 foi realizada com apoio de levantamentos de campo, fotografias aéreas do ano de 2000, e de consultas a guias turísticos da região, funcionários e cadastros das empresas agrícolas Chamflora Agrícola, Paraíso Bioenergia, Cutrale S/A, Casa da Agricultura de Brotas (CATI/SAA) e Prefeitura Municipal de Brotas.

No caso da imagem de 1988, foram consultadas as mesmas fontes, além de Cartas sobre a ocupação do solo em trabalhos acadêmicos anteriores. As informações levantadas nestas consultas forneceram subsídios que permitiram avaliar o resultado da classificação.

O método de classificação escolhido foi o da Máxima Verossemelhança (Maxver), já descrito no item 3.5, por leitura pixel a pixel, O limiar nesta classificação, que indica a porcentagem de "pixels" da distribuição de probabilidade de uma classe que será classificada como pertencente a esta classe foi de 99%. Isto significa que foram ignorados 1% dos "pixels", aqueles de menor probabilidade, compensando a possibilidade de alguns "pixels" terem sido introduzidos no treinamento por engano, nesta classe, ou estarem no limite entre duas classes.

Dentro de cada uma das classes de ocupação do solo definidas na classificação das imagens, há diferenças na leitura dos pixels em virtude da reflectância do solo, causada por diversos fatores como: estágio da cultura, diferenças de relevo, presença de barreiras como nuvens, etc. No processo de classificação, formou-se sub-classes, ou temas, na tentativa de considerar estas diferenças, que posteriormente foram reagrupadas no mapeamento temático nas classes de ocupação conforme **Tabela 3**.

Nesta classificação, a vegetação de cerrado e a mata tropical caducifolia foram englobadas na classe de mata, não havendo distinção entre estas formações.

Quanto às manchas urbanas, estas foram inicialmente classificadas como solo exposto pela dificuldade de distinguí-las nas imagens de satélite. Posteriormente foram criados polígonos delimitando-as no mapa temático de classes de uso do solo através da edição temática do *SPRING*, resultando no acréscimo da classe urbana ao mapeamento da ocupação do solo.

5.2.4. Equação Universal de Perda do Solo

A aplicação do modelo matemático da EUPS foi realizada em várias etapas, descritas a seguir.

5.2.4.1. Fator Erosividade (R)

O fator erosividade, em tm.mm/ha.h.ano , foi obtido para toda a área de estudo conforme aplicação da equação (4), com os valores das precipitações médias mensais e anuais, e posterior somatória para obtenção da média anual do índice de erosividade (EI).

Para os dados registrados nos três postos pluviométricos da área de estudo, já descritos no item 4.5, o valor médio anual do índice de erosividade foi de 717, com uma variação de 427 a 1.110, bastante próxima dos valores apresentados por Lombardi e Moldenhauer (1981). Da mesma forma, verifica-se que o potencial de erosividade que ocorre durante os meses de dezembro a fevereiro representa 60% da erosividade anual.

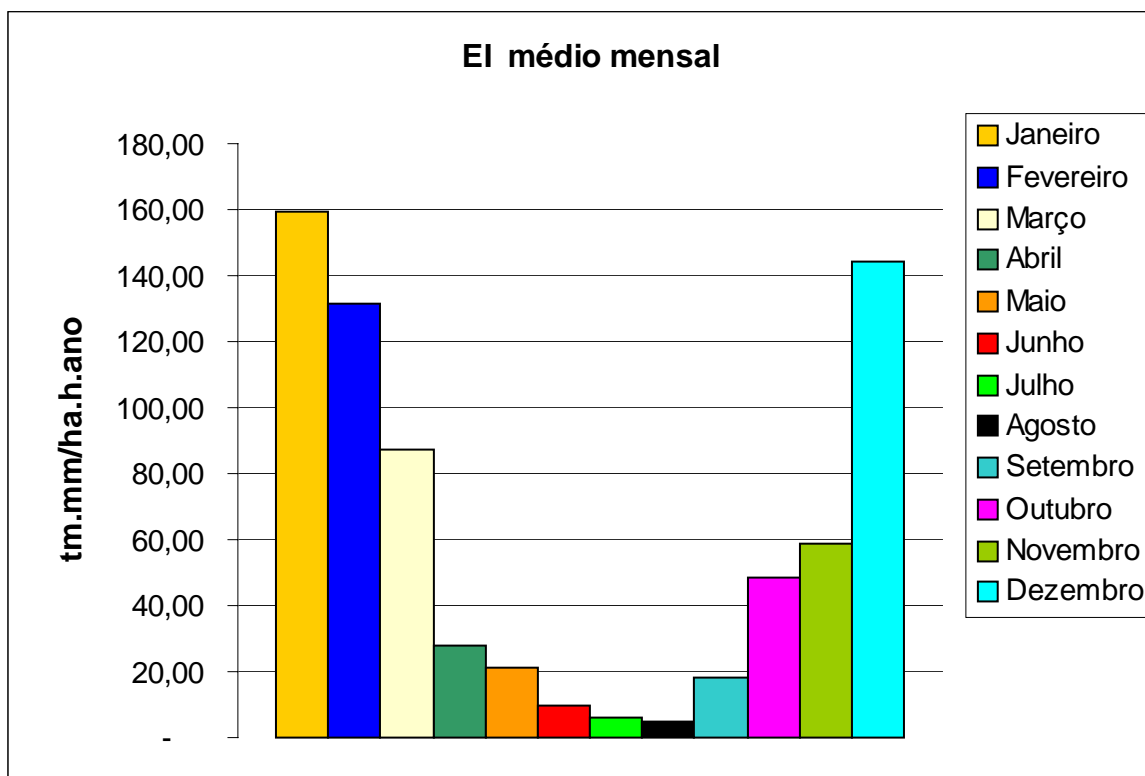


Figura 10. EI- POTENCIAL DE EROSIVIDADE MÉDIO MENSAL (tm.mm/ha.h.ano)

5.2.4.2. Fator Erodibilidade (**K**)

Os valores de erodibilidade foram atribuídos para cada classe de solo que ocorre na área de estudo, conforme mapa pedológico do IAC (Instituto Agrônomo de Campinas) e apresentados na **Tabela 2**.

A entrada dos dados no SIG das classes pedológicas ocorreu através da digitalização das cartas via mesa digitalizadora acoplada ao *SPRING*.

Os índices de erodibilidade foram registrados no SIG/*SPRING* por operações algébricas de ponderação, o que gerou uma grade numérica (**anexo**). Posteriormente, estes valores foram classificados por operação de fatiamento, originando o mapa de erodibilidade (**Figura 11**) segundo os seguintes critérios:

Tabela 14: Classificação dos índices de erodibilidade ($\text{ton/ha ano } \text{tm}^{-1}\text{ha}^{-1}\text{mm}^{-1}$).

Classes temáticas	Intervalo de valores
ALTA	$> 0,30$
MÉDIA	$0,15 - 0,30$
BAIXA	$< 0,15$

Fonte: Carvalho (1994)

5.2.4.3. Fator Topográfico (**LS**)

Os dados hipsométricos foram digitalizados a partir das Cartas do IBGE, conforme método descrito no item **5.2.1.2**.

O fator topográfico foi calculado por operações algébricas conforme a equação (5), com os valores do comprimento de rampa, em metros e da declividade, em porcentagem.

Os dados de comprimento de rampa foram estimados; considerou-se o parâmetro da extensão do percurso superficial (equação (12) do item **3.3.8**) como sendo igual ao comprimento médio das vertentes em cada unidade de análise, conforme método apresentado por Williams e Berndt (1976) mencionado no item **3.2** (equação (7)).

Os valores do parâmetro de extensão do percurso superficial foram atribuídos a cada unidade de análise, sub-bacias e unidades hidrográficas, através da operação de espacialização em geo-objetos via Programação LEGAL (**anexo**).

Os valores do fator topográfico também foram classificados (**Figura 12**) por operação de fatiamento. Os intervalos na classificação do fator topográfico foram definidos de forma que sempre os valores acima de 15% de declividade pertencessem à classe alta do fator topográfico.

Tabela 15. Classificação do índice do fator topográfico.

Classes temáticas	Intervalo de valores
BAIXA	0 - 4
MÉDIA	4 - 8
ALTA	> 8

5.2.4.4. Potencial Natural de Erosão (PNE)

O Potencial Natural de Erosão foi calculado por operação algébrica conforme equação (3), com os valores do índice de erodibilidade e do fator topográfico, resultando em uma grade numérica. A classificação do Potencial Natural de Erosão, porém, não foi realizada por operação de fatiamento da grade numérica devido à dificuldade na definição de critérios numéricos regionais para sua execução.

As classes de PNE foram definidas por reclassificação (**Figura 13**), considerando a associação entre a classificação prévia da erodibilidade e do fator topográfico, havendo prioridade para o fator topográfico na conjugação entre as duas classificações, conforme apresentado na tabela abaixo:

Tabela 16. Classificação do Potencial Natural de Erosão (PNE).

Classe temática	Classe do Fator topográfico	Classe de erodibilidade
ALTA	ALTA	ALTA
ALTA	ALTA	MÉDIA
ALTA	ALTA	BAIXA
ALTA	MÉDIA	ALTA
MÉDIA	MÉDIA	MÉDIA
MÉDIA	MÉDIA	BAIXA
MÉDIA	BAIXA	ALTA
MÉDIA	BAIXA	MÉDIA
BAIXA	BAIXA	BAIXA

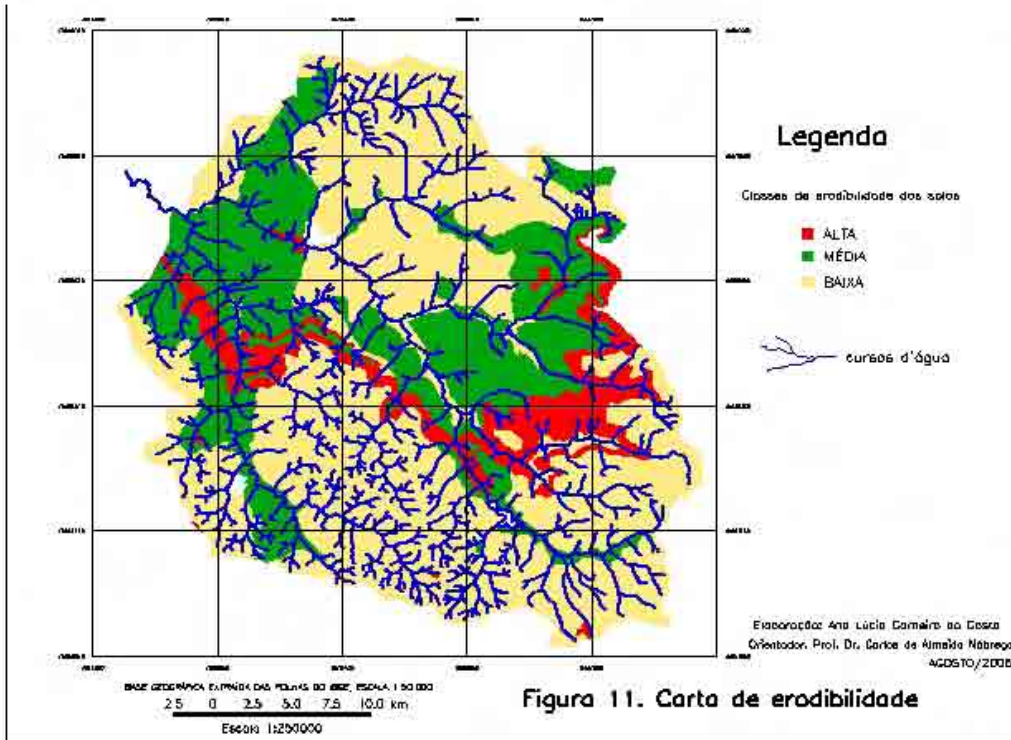


Figura 11. Carta de erodibilidade

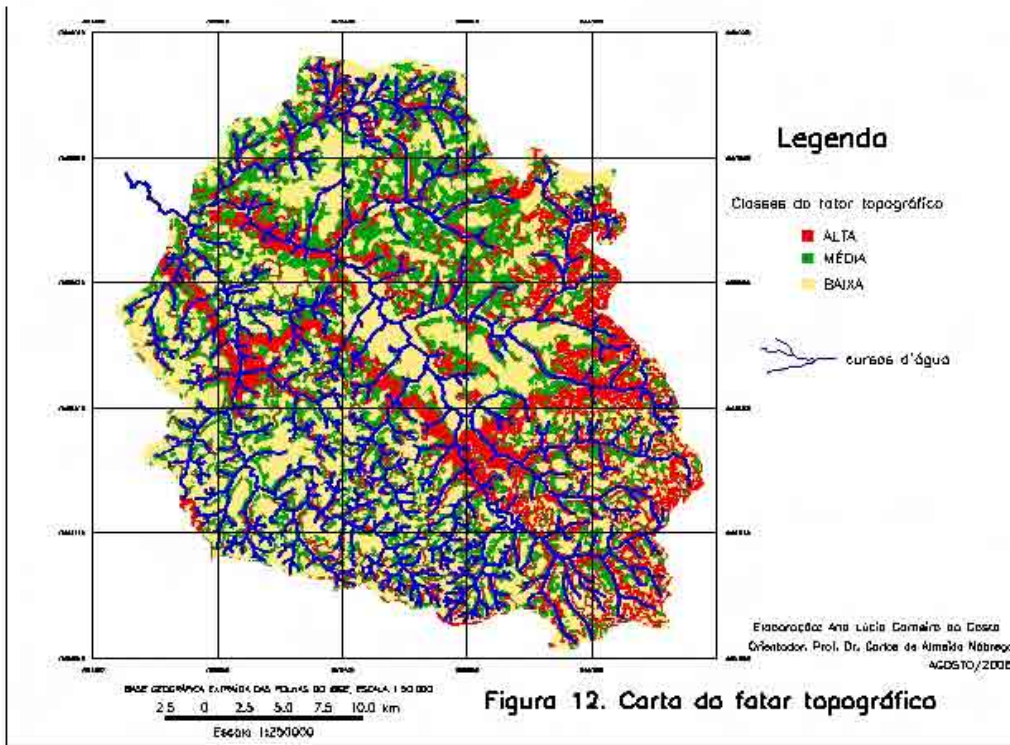


Figura 12. Carta do fator topográfico

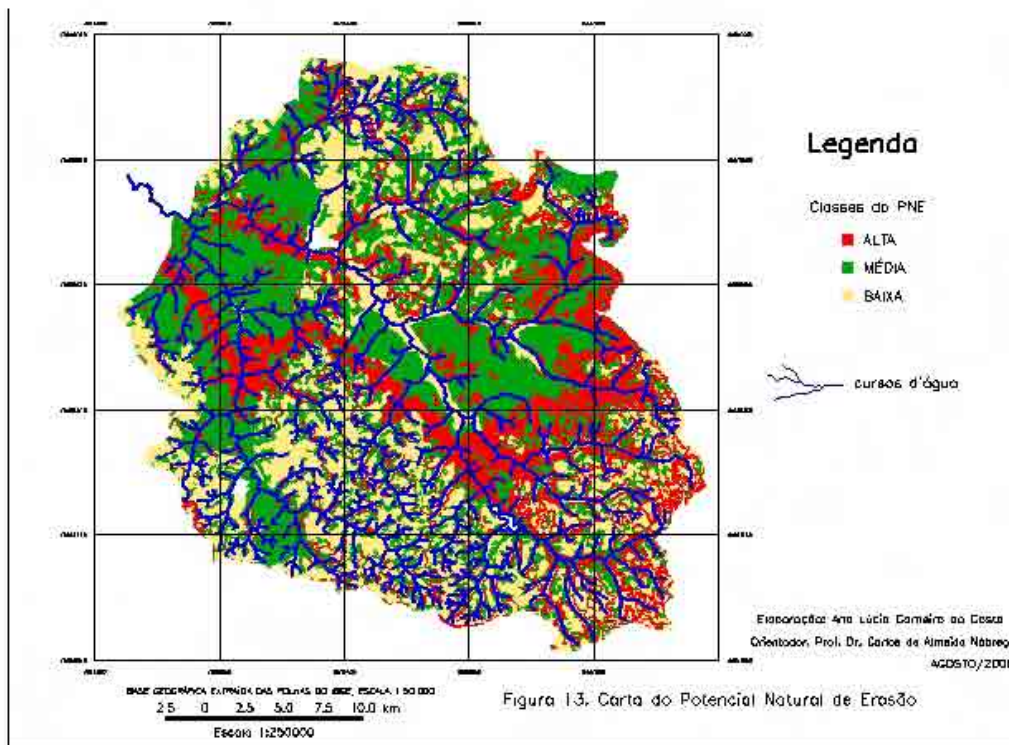


Figura 13. Carta do Potencial Natural de Erosão

5.2.4.5. Fator de uso de manejo do solo (C)

As informações sobre a ocupação do solo foram extraídas da classificação das imagens de satélite com posterior mapeamento das classes temáticas (**Figuras 15 e 16-anexo**), descrito no item **5.2.3**.

As classes de ocupação do solo e respectivos valores do fator uso-manejo foram definidos conforme **Tabela 3**. Estes valores também foram registrados no SIG/*SPRING* por operações algébricas de ponderação, gerando grade numérica (**anexo**).

5.2.4.6. Fator de práticas conservacionistas (P)

Os valores relativos às práticas conservacionistas foram atribuídos a cada classe de uso do solo conforme a **Tabela 4**.

Para as áreas não cultivadas (mata e cerrado) e as pastagens, adotou-se o valor máximo de 1,0, e para as áreas com agricultura adotou-se genericamente o valor recomendado por Bertoni e Lombardi Neto (1985) para áreas com algum tipo de conservação: 0,5. No caso das culturas permanentes, onde predomina o cultivo da laranja, e para o reflorestamento, adotou-se o valor 0,4, atribuído à redução de capinas, prática de manejo utilizada com finalidade de conservação de solo.

A escolha destes valores levou em conta os levantamentos de campo realizados para a caracterização do manejo do solo e práticas conservacionistas predominantes em cada uma das principais explorações agropecuárias dentro da área de estudo.

Da mesma forma, os valores do fator práticas conservacionistas foram registrados no SIG/*SPRING* por operações algébricas de ponderação, gerando uma grade numérica (**anexo**).

5.2.4.7. Potencial Antrópico e Vulnerabilidade à erosão

O Potencial Antrópico foi calculado por operação algébrica conforme equação (6), com os valores do fator uso e manejo de solo (C) e fator de práticas conservacionistas (P).

O Potencial Antrópico tolerável foi obtido pela equação (8) com os valores do índice de tolerância de perdas de solos (**Tabela 1**). Devido à possibilidade de ocorrência de valores nulos de PNE, casos em que a declividade que compõe o fator topográfico da equação (3) for igual a zero, acrescentou-se à equação (8), a operação condicional sobre o

valor de PNE para evitar a divisão por zero. Nesta condição, quando o valor de PNE for igual a zero, os valores limites do CP tolerável se equivalem ao valor do índice de tolerância de perda de solo (**anexo**).

Os valores do grau de vulnerabilidade à erosão foram obtidos através da equação (10), e classificados (**Figuras 17 e 18**) nos seguintes intervalos:

Tabela 17. Classificação do grau de vulnerabilidade à erosão.

Grau de vulnerabilidade à erosão	Intervalo de valores
MUITO ALTA	CP/CP tolerável > 3.0
ALTA	1.5 < CP/CP tolerável ≤ 3.0
MÉDIA	1.0 < CP/CP tolerável ≤ 1.5
BAIXA	0 < CP/CP tolerável ≤ 1.0

Fonte: Adaptado de Cavalieri (1998)

5.2.4.8. Zoneamento da adequação das classes de ocupação do solo na área de estudo.

Considerando que os valores do Potencial Antrópico tolerável refletem os limites para o uso dos solos, gerou-se um mapa temático com as classes de ocupação (**Tabela 3**) adequadas às condições do meio físico (**Figura 19-anexo**). No estabelecimento dos valores referentes ao fator uso-manejo, adotou-se o valor 0,5 para o fator práticas conservacionistas.

5.2.5. Levantamentos de campo

Os levantamentos de campo tiveram como objetivos principais:

- confirmar a classificação do uso do solo realizada na análise das imagens de satélite
- caracterização do manejo atual do solo agrícola
- levantamento de feições erosivas, com apoio de GPS (equipamento receptor do Global Position System)

5.2.5.1 Levantamento sobre uso e manejo do solo

As principais explorações agrícolas, identificadas na classificação das imagens de satélite, foram alvo de um levantamento de campo com o objetivo de caracterizar, de forma expedita, o manejo do solo praticado na área de estudo. Este levantamento foi orientado por entrevistas com técnicos de empresas agrícolas e da Casa da Agricultura de Brotas –CATI (Coordenadoria de Assistência Técnica Integral)/Secretaria da Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo.

Os aspectos considerados mais relevantes nesta caracterização foram:

- o ciclo da cultura, principalmente a identificação da época em que o solo se encontra exposto, sem cobertura vegetal
- existência de terraceamento e outras práticas de cultivo com finalidade de proteger o solo da erosão
- existência de feições erosivas lineares

O levantamento das feições erosivas foi realizado através de vistorias em áreas que se apresentam com vocação para o desenvolvimento da erosão linear. Estas áreas foram escolhidas segundo os seguintes critérios (IPT, 1989):

- apresentam declividade maior ou igual a 10%
- possuem solos de textura arenosa a média

Para atender o segundo critério, foram excluídos os solos Latossolo Roxo, Terra Roxa Estruturada e os Litólicos, pois os últimos não possuem profundidade suficiente para formação de tais feições.

Estes critérios geraram um mapa de classes de uso que foi comparado a fotografias aéreas digitalizadas do ano de 2000. A partir desta comparação, foram escolhidas as áreas a serem vistoriadas, levando em conta: identificação de cicatrizes de erosão pelas fotografias aéreas, acesso ao local e distribuição na área de estudo.

6. RESULTADOS

6.1.DESCRICÃO DO MEIO FÍSICO

Conforme método proposto de compartimentação do meio físico em sub-bacias hidrográficas já descrito no item **5.2.2**, a área de estudo foi dividida em 30 unidades de análise (**Figura 9**), agrupadas em 10 grupos (**Figura 14**). Em cada região segue uma descrição das características do meio físico natural com a categorização das áreas conforme a classificação do Potencial Natural de Erosão (PNE).

RELAÇÃO DOS GRUPOS E RESPECTIVAS UNIDADES DE ANÁLISE

GRUPO 1. UNIDADES DE ANÁLISE DAS NASCENTES

1. Unidade das Nascentes
2. Unidade Passarelo
3. Sub-bacia do Bairro dos Gomes
4. Sub-bacia do Bairro Ritas
5. Sub-bacia do Córrego Porto do Coqueiro
6. Sub-bacia do Córrego São João

GRUPO 2. UNIDADES DE ANÁLISE DA REPRESA

7. Sub-bacia do Ribeirão da Divisa
8. Sub-bacia do Ribeirão do Recreio
9. Unidade do Córrego Tapera
10. Unidade da Represa
11. Sub-bacia do Ribeirão dos Bicudos
12. Unidade da Serra

GRUPO 3. UNIDADES DE ANÁLISE DA REGIÃO DA ÁGUA BRANCA

13. Sub-bacia do Córrego das Águas Brancas
14. Sub-bacia do Ribeirão do Saltinho
15. Sub-bacia Boa Vista

GRUPO 4. UNIDADES DE ANÁLISE DO RIBEIRÃO DO JARDIM

16. Sub-bacia do Ribeirão do Jardim ou Pinheirinho

GRUPO 5. UNIDADES DE ANÁLISE DA REGIÃO DO VARJÃO

- 17. Sub-bacia da Encosta
- 18. Sub-bacia do Ribeirão Claro ou do Varjão
- 19. Sub-bacia do Ribeirão do Beijamim
- 20. Sub-bacia da Palmeira
- 21. Sub-bacia do Ribeirão do Monjolo

GRUPO 6. UNIDADE DE ANÁLISE DO SANTO ANTÔNIO

- 22. Unidade Santo Antônio

GRUPO 7. UNIDADE DE ANÁLISE DO RIBEIRÃO DO TAMANDUÁ

- 23. Sub-bacia do Ribeirão do Tamanduá

GRUPO 8. UNIDADES DE ANÁLISE DA REGIÃO DO GOUVEIA

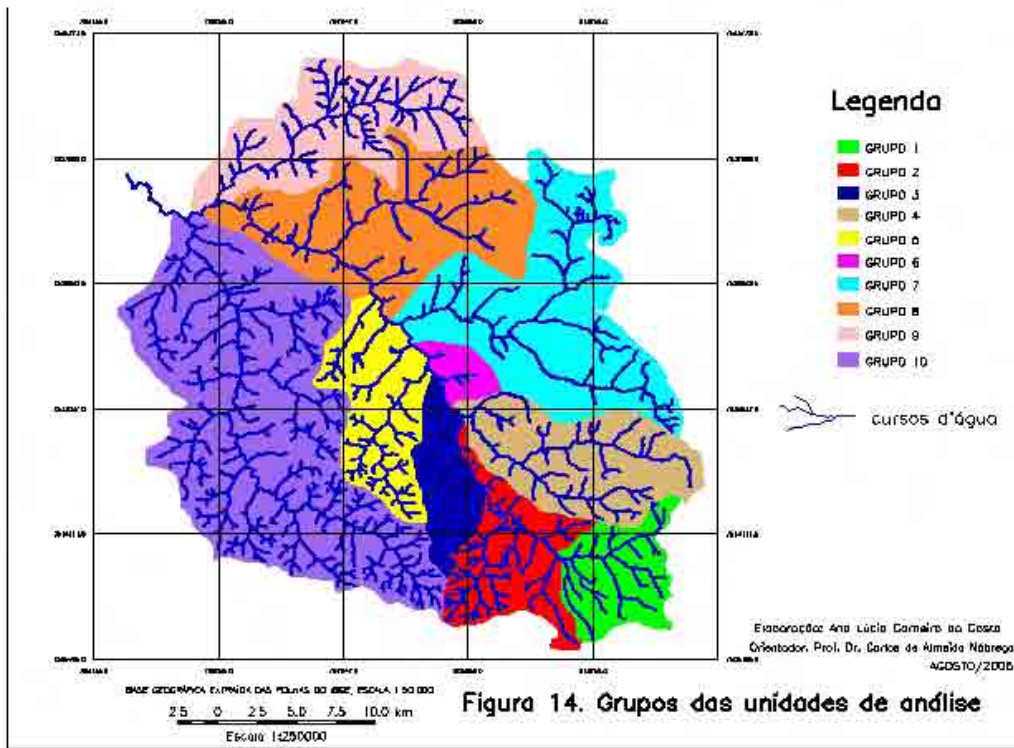
- 24. Unidade do Córrego do Canivete
- 25. Sub-bacia do Córrego do Gouveia
- 26. Sub-bacia do Ribeirão da Lagoa Seca
- 27. Unidade Taquaral
- 28. Unidade Cabreúva

GRUPO 9. UNIDADE DE ANÁLISE DO RIBEIRÃO DA RASTEIRA

- 29. Sub-bacia do Ribeirão da Rasteira

GRUPO 10. UNIDADE DE ANÁLISE DO RIBEIRÃO DO PINHEIRINHO

- 30. Sub-bacia do Ribeirão do Pinheirinho ou Cachoeira



**Quadro 2. QUADRO RESUMIDO DOS ATRIBUTOS DO MEIO FÍSICO
CARACTERÍSTICOS DAS UNIDADES DE ANÁLISE**

Unidade de análise	Área (km ²)	Índice de Forma	Dd ⁽¹⁾ (km/km ²)	Declividade média (%)	Rr ⁽²⁾ (m/m)	Classes de PNE (%)		
						A ⁽³⁾	M ⁽⁴⁾	B ⁽⁵⁾
1.	7,4	X	0,85	11,6%	0,06	38	26	36
2.	7	X	0,66	7%	0,042	24	36	40
3.	7	0,21	1,08	6,5%	0,022	31	20	49
4.	6,3	0,33	1,025	7,7%	0,029	30	22	48
5.	10,6	0,4	0,65	8%	0,03	45	19	36
6.	6,2	0,3	1,17	8,2%	0,012	47	16	37
7.	12,4	0,14	0,84	6,8%	0,020	30	23	47
8.	5,4	0,65	0,98	8,3%	0,027	23	20	57
9.	6,7	X	1,194	6,5%	0,031	19	36	45
10.	6,5	X	0,366	5,7 %	0,05	51	30	19
11.	23,37	0,4	1,58	6,8 %	0,015	20	30	50
12.	4,3	X	0,953	21%	0,067	71	28	1
13.	12	0,28	1,58	7,5%	0,037	17	33	50
14.	8,7	0,58	0,965	8,8%	0,062	40	24	36
15.	5,7	0,32	1,023	11%	0,055	43	22	35
16.	84	0,39	0,922	9,4%	0,024	45	26	29
17.	6	1,03	0,5	9,8%	0,09	42	34	24
18.	36	0,23	1,277	6,7%	0,025	22	35	43
19.	10,75	0,37	0,903	6,4%	0,043	27	48	25
20.	6,37	0,37	0,903	6,5%	0,052	25	62	13
21.	10,2	0,21	1,05	6%	0,032	28	38	34
22.	12	X	0,433	4,6%	0,088	24	69	05
23.	145,6	0,15	0,76	9,2%	0,018	44	24	32
24.	12,5	X	0,538	5%	0,037	27	31	42
25.	76,6	0,38	0,607	5,3%	0,018	21	47	32
26.	12,6	0,26	0,738	4,3%	0,023	6	44	50
27.	10,5	X	0,603	7,4%	0,044	37	63	0
28.	16	X	0,272	5%	0,031	42	39	19
29.	95,5	0,23	0,952	6%	0,016	15	45	40
30.	263	0,16	1,323	7%	0,013	13	47	40

Abreviaturas: (1) **Dd**=densidade de drenagem; (2) **Rr**=relação de relevo;

Classes de PNE: (3) **A**=classe alta; (4) **M**=classe média; (5) **B**=classe baixa

6.1.1. GRUPO 1: UNIDADES DE ANÁLISE DAS NASCENTES

Este grupo engloba as bacias dos cursos d'água que nascem na Serra de São Pedro para formar o Rio Jacaré Pepira. Situa-se nos patamares elevados, na transição do nível A, com altitudes acima de 900 metros, ao nível B com altitudes entre 800 a 900 metros.

Apresenta relevo de colinas médias, com morrotes alongados nas altitudes mais elevadas e escarpas festonadas nos extremos da bacia. Geologicamente, assenta-se sobre rochas sedimentares da Formação Itaqueri e basaltos da Formação Serra Geral.

Este grupo é composto por quatro sub-bacias com canais de segunda ordem, e outras duas unidades formadas pela área drenada por pequenos cursos d'água de primeira ordem.

As unidades apresentam tamanho entre 6,2 a 10,6 km² e densidade de drenagem baixa. Os valores da relação de relevo e da declividade média (7-11,6%) expressam média a forte energia de relevo.

Na classificação do Potencial Natural de Erosão (PNE), destaca-se a classe alta que ocupa quase 40% da área, superando esta participação nas sub-bacias do Córrego Porto do Coqueiro (45%) e Córrego São João (47%). A classe média corresponde a 21,73% da área.

6.1.2. GRUPO 2: UNIDADES DE ANÁLISE DA REPRESA

Neste grupo encontram-se a represa e o distrito do Patrimônio de São Sebastião da Serra. Apresenta a mesma formação geológica do grupo anterior em patamares elevados entre 800 a 900 metros (nível B) e sistema de relevo de colinas médias.

Este grupo possui seis unidades de análise, sendo três sub-bacias: duas com canais de segunda ordem e a sub-bacia do Ribeirão dos Bicudos, com canal de 4ª. ordem.

A sub-bacia do Ribeirão dos Bicudos é a maior destas unidades, com 23,37 km². Apresenta densidade de drenagem acima da média da área de estudo: 1,58 km/km². A declividade média das unidades gira em torno de 6 a 8%.

A classificação do PNE demonstra que a classe alta ocupa pouco mais de 30% da área e a classe média representa 27,63% .

6.1.3. GRUPO 3: UNIDADES DE ANÁLISE DA REGIÃO DA ÁGUA BRANCA

Este grupo apresenta unidades de análise situadas na calha esquerda do rio principal, na transição entre os patamares elevados de 800 a 900 metros de altitude (nível B) e intermediários de 700 a 800 metros (nível C).

Os cursos d'água nascem no topo da serra sobre a Formação Itaqueri e descem as encostas, percorrendo os basaltos da Formação Serra Geral, até desagüarem nos arenitos da Formação Botucatu. A geomorfologia predominante é de colinas médias.

Este grupo possui três unidades de análise: as sub-bacias do Córrego das Águas Brancas, de 4ª. ordem e as sub-bacias do Ribeirão do Saltinho e da Boa Vista, de 2ª. ordem.

A sub-bacia do Córrego da Água Branca possui uma área de 12 km², 16,2 km de perímetro e formato alongado que atinge o índice de 0,276.

O Córrego da Água Branca possui seu percurso descendo uma distância relativamente pequena da nascente até sua foz no sopé da serra. A densidade de drenagem também é relativamente densa, atinge 1,58 km/km².

Nas sub-bacias do Ribeirão do Saltinho e da Boa Vista, este índice é de 0,965 km/km² e de 1,023 km/km² respectivamente. A declividade média nas sub-bacias entre 7,5% e 11% indica uma energia de relevo expressiva.

A análise de PNE aponta que a classe alta corresponde às declividades mais elevadas, representando 43,5% da área da região e a classe média a 28,5%.

6.1.4. GRUPO 4: UNIDADE DE ANÁLISE DO RIBEIRÃO DO JARDIM OU PINHEIRINHO

Este grupo possui apenas como unidade a sub-bacia do Ribeirão do Jardim ou Pinheirinho. O Ribeirão do Jardim, de 4^a. ordem, tem sua bacia paralela à calha do rio principal, possui 84 km² de área, 44 km de perímetro e índice de forma de 0,388, menos alongado que a média das demais sub-bacias.

O rio nasce nos patamares elevados a 960 metros de altitude (nível A) sobre a Formação Itaqueri e percorre vários degraus até sua foz. No trecho que se segue à descida do 2^o. degrau da serra e depois de erodir o basalto da Formação Serra Geral, os rios cortam o arenito da Formação Botucatu e atingem o arenito da Formação Pirambóia subjacente. Após passar por rápidos e corredeiras, atingem a cota aproximada de 660 m quando então formam áreas pantanosas de planícies fluviais ao redor da calha.

A geomorfologia apresenta-se em colinas médias com declividade entre 5-15% e escarpas nas encostas com declividade entre 20-45%.

A sub-bacia possui densidade de drenagem de 0,922 km/km². A declividade média de 9,4% e a relação de relevo de 0,024 m/m expressam uma energia de relevo média nesta unidade.

A classificação de PNE aponta que área significativa da sub-bacia pertence à classe alta (45%), resultado principalmente da presença de solos de alta erodibilidade. A classe baixa responde por 28%.

6.1.5. GRUPO 5: UNIDADES DE ANÁLISE DA REGIÃO DO VARJÃO

Este grupo engloba sub-bacias cujos rios nascem nos patamares elevados sobre a Formação Itaqueri a uma altitude de 860 metros (nível B), percorre os basaltos da Formação Serra Geral e os arenitos da Formação Botucatu e Pirambóia, até desaguar no rio principal em planície fluvial.

A geomorfologia apresenta-se nos patamares elevados em colinas médias com declividade de 7-15%. Após percorrer as escarpas, os rios encontram colinas amplas com altitudes de 600 a 700 metros (nível D) e declividade de 0-7%, atingindo a foz em planície fluvial.

Neste grupo há cinco unidades de análise, sendo todas sub-bacias. A maior delas é a do Córrego do Varjão, de 35,7 km² e 31 km de perímetro, que apresenta formato alongado com índice de forma de 0,226 e densidade de drenagem densa (1,277 km/km²) em comparação com as demais unidades, característica da região ao sul da calha do Rio Jacaré Pepira.

Segundo a classificação de PNE, as unidades apresentam a mesma tendência de distribuição das classes: no patamar da serra predomina a classe baixa; a classe alta ocupa a encosta da serra, onde ocorrem solos de alta erodibilidade e declividade em torno de 20-30%, correspondendo a 24,8% de sua área. No sopé da serra, domina a classe média em solos de média erodibilidade.

6.1.6. GRUPO 6: UNIDADE DE ANÁLISE DO SANTO ANTÔNIO

Este grupo possui apenas uma unidade que engloba pequenos cursos d'água à margem direta do Rio Jacaré Pepira. Situa-se predominantemente nos patamares intermediários de altitudes entre 600 e 700 metros, apresentando sistema de relevo de colinas amplas. Geologicamente, assenta-se predominantemente sobre rochas sedimentares da Formação Pirambóia. As classes de declividade menores de 7% representam 78% da região.

Esta unidade com 12,45 km² e 16 km de perímetro, é composta por pequenos cursos d'água e se encontra entre as sub-bacias do Ribeirão Tamanduá e Ribeirão Pinheirinho.

A análise do PNE demonstra que domina a classe média com 69% em virtude da presença de solos de média erodibilidade, seguida da classe alta com 24% da área total.

6.1.7. GRUPO 7: UNIDADE DE ANÁLISE DO RIBEIRÃO DO TAMANDUÁ

Este grupo abrange uma única sub-bacia de grande extensão. O Ribeirão Tamanduá nasce nos patamares elevados sobre litologia da Formação Itaqueri e percorre os basaltos da Formação Serra Geral e arenitos e folhelhos que constituem a Formação Pirambóia. A jusante da cota 660m, tanto o Ribeirão Tamanduá, como o Jacaré Pepira, formam áreas pantanosas de planícies aluviais. Entre as trilhas pantanosas dos dois rios, drenam solos provenientes do arenito da Formação Botucatu.

Nos patamares elevados encontram-se colinas médias e escarpas. Nos patamares intermediários ocorrem colinas amplas e morrotes alongados; ao longo da calha do rio há planícies aluviais.

A sub-bacia do Tamanduá possui 145,65 km² de área, 78 km de perímetro e formato alongado que apresenta índice de forma de 0,154.

O Ribeirão Tamanduá, de 4^a. ordem, nasce no município de Itirapina a 940 metros de altitude e apresenta densidade de drenagem muito baixa: 0,76 km/km².

Na classificação de PNE, a classe alta responde por 44% da área da sub-bacia e se concentra na porção leste onde a declividade é mais elevada. A classe baixa corresponde a 32% da área.

6.1.8 GRUPO 8: UNIDADES DE ANÁLISE DA REGIÃO DO GOUVEIA

Este grupo é composto por sub-bacias em que os afluentes do Rio Jacaré Pepira atravessam a transição entre os patamares intermediários de 700 a 800 metros de altitude (nível C) sobre arenitos das Formações Pirambóia e Botucatu com os patamares entre 600 a 700 metros (nível D), percorrendo litologia da Formação Serra Geral.

O sistema de relevo é de colinas amplas, apresentando predominantemente as classes de declividade de 3-7%.

Neste grupo há 5 unidades de análise, sendo 2 sub-bacias. Na unidade da sub-bacia da Lagoa Seca, de 12,6 km² assentada sobre litologia originária da Formação Botucatu, encontra-se a área urbana do município de Brotas. O Ribeirão da Lagoa Seca, de 2^a. ordem atravessa a cidade de Brotas.

A sub-bacia do Córrego do Gouveia é a maior unidade do grupo, possui 76,65 km² e 47,8 km de perímetro. O Córrego do Gouveia, de 3^a. ordem, nasce a 760 metros de altitude sobre arenitos da Formação Pirambóia e percorre solos de média a alta permeabilidade. A jusante da cota de 680 metros, o rio traça uma trilha pantanosa relativamente larga sobre solos provenientes da Formação Serra Geral.

A densidade de drenagem nesta área é muito baixa. Em geral, a declividade média das unidades gira em torno de 5%.

Na classificação de PNE, a classe média predomina com 45,24% da área, acompanhando principalmente os solos de média erodibilidade. A classe alta que ocupa em torno de 24% da área da região, corresponde a 42 % na Unidade Cabreúva devido à ocorrência de solos de média erodibilidade conjugados com um fator topográfico elevado.

6.1.9 GRUPO 9: UNIDADE DE ANÁLISE DO RIBEIRÃO DA RASTEIRA

Neste grupo encontra-se somente a sub-bacia do Ribeirão da Rasteira. O rio, de 4^a ordem, nasce a 740 metros de altitude nos patamares intermediários (nível C), atravessa o nível altimétrico inferior de 600 a 700 metros e deságua nos patamares baixos.

Geologicamente, a bacia é formada sobre arenitos da Formação Pirambóia e Botucatu, com litologia da Formação Serra Geral ao longo do trecho final da calha do rio. O sistema de relevo predominante é de colinas médias.

A sub-bacia do Ribeirão da Rasteira possui 95,5 km² de área, 59 km de perímetro e 0,952 km/km² de densidade de drenagem. A declividade média atinge 6%.

A classe média de PNE é predominante com 45 % da área em virtude da ocorrência de solos de média erodibilidade. A classe alta responde por 15% da sub-bacia.

6.1.10. GRUPO 10: UNIDADE DE ANÁLISE DO RIBEIRÃO DO PINHEIRINHO OU CACHOEIRA

Este grupo é composto pela sub-bacia do Rio Pinheirinho que nasce nos planaltos elevados da Serra de São Pedro sobre a Formação Itaqueri e atravessa vários patamares em seu percurso até a foz.

O Ribeirão do Pinheirinho ou Cachoeira nasce próximo às nascentes do Jacaré Pepira a 920 metros de altitude, passa pela área urbana de Torrinha, e deságua a jusante da cidade de Brotas.

Nos patamares elevados, altitude entre 800 e 900 metros (nível B), ocorrem colinas médias. Nas escarpas da encosta da serra, o rio atravessa os basaltos expostos da Formação Serra Geral, atinge os arenitos da Formação Botucatu e Pirambóia nos patamares intermediários onde ocorrem colinas amplas, e deságua em patamares baixos.

O Ribeirão Pinheirinho ou Cachoeira, de 5ª. ordem, é o tributário mais importante do Rio Jacaré Pepira. A sub-bacia do Pinheirinho apresenta área total de 263 km² e 92,61 km de perímetro. Seu formato é bastante alongado, apresenta índice de forma de 0,16.

A densidade de drenagem da sub-bacia atinge 1,323 km/km², evidenciando a predominância de solos com alta permeabilidade.

Na análise do Potencial Natural de Erosão, verifica-se que a sub-bacia é praticamente dividida em dois setores pela serra. No setor norte, os valores de PNE são mais elevados principalmente devido à presença de solos com média erodibilidade, enquanto que no setor sul predomina baixa erodibilidade.

Na encosta da serra encontra-se a classe alta de PNE, onde ocorrem declividades em torno de 25-35% e solos de maior erodibilidade.

A classe média de PNE ocupa 47 % da área e predomina no setor norte em solo de média erodibilidade, e a classe alta abrange 13,4% da área onde ocorrem as maiores declividades, acompanhando a encosta da serra.

6.1.11. Síntese da descrição do meio físico

De forma simplificada, o meio físico da área de estudo pode ser dividido em três setores: a calha sul dos patamares elevados onde dominam as colinas médias assentadas sobre os arenitos da Formação Itaqueri, o setor das escarpas que marcam a transição entre os patamares onde afloram os basaltos da Formação Serra Geral; e a calha norte em que predomina o relevo de colinas amplas sobre arenitos da Formação Pirambóia e Botucatu.

Em geral, no setor sul a densidade de drenagem e a energia de relevo apresentam-se mais elevadas apesar da ocorrência predominante de solos com alta permeabilidade, favorecendo os processos de infiltração das águas superficiais. Por outro lado, os solos de textura arenosa pouco coesivos são mais sujeitos aos processos erosivos lineares e esta susceptibilidade se acentua quando se combinam à ocorrência de relevos acentuados com topos convexos e menores interflúvios.

Conforme mapeamento preliminar de susceptibilidade à erosão da Bacia Hidrográfica do Tietê-Jacaré elaborado pelo IPT (Instituto de Pesquisa Tecnológica) em 1999, os setores da área de estudo correspondente às escarpas e às colinas médias assentadas sobre os arenitos da Formação Itaqueri foram considerados de alta susceptibilidade à erosão.

Quanto à forma das sub-bacias, verifica-se que praticamente todas possuem formato alongado, característica que apresenta menor predisposição à erosão linear.

Do ponto de vista da classificação do Potencial Natural de Erosão da EUPS, a classe alta, que corresponde a 26,36 % do total da área de estudo, encontra-se principalmente no setor das escarpas, onde ocorrem solos de maior erodibilidade associados ao fator topográfico elevado. Nas unidades do grupo das nascentes também ocorrem altos valores do fator topográfico, mas a erodibilidade dos solos é baixa.

Já a classe média de PNE, que representa cerca de 42% da área de estudo, praticamente acompanha a presença de solos que apresentam erodibilidade média, originários principalmente dos arenitos da Formação Botucatu e Pirambóia.

6.2. USO E MANEJO DO SOLO

6.2.1. A ocupação do solo nos cenários dos anos de 1988 e 2004

Segundo a classificação da imagem de satélite de 2004, as principais explorações agropecuárias na área de estudo são a cana de açúcar, a laranja, o reflorestamento e as pastagens, culturas que já se destacavam no cenário de 1988. Embora permaneçam as mesmas explorações, a participação de cada uma das classes de ocupação sofreu modificações importantes entre os dois cenários.

De acordo com os resultados da classificação, as diferenças residem principalmente na expansão da cultura da cana de açúcar e da laranja, e conseqüente queda de algumas explorações agropecuárias que cederam espaço às lavouras canavieiras e aos pomares de laranja, como as pastagens e as culturas temporárias.

No cenário de 1988, a cultura da cana de açúcar ocupava cerca de 6,33 mil ha e passou a ocupar 17 mil ha no cenário de 2004, aumentando em 168%. Em contrapartida, dos 30 mil ha explorados por pastagens em 1988, restaram 62%, ou 18,7 mil ha. A área de culturas temporárias também se reduziu significativamente, passou de 16 mil ha para 5,13 mil ha.

A área correspondente às lavouras de cana de açúcar em 2004 provavelmente está subestimada uma vez que a maior parte dos 8,04 mil ha classificados como solo exposto devem ser cultivados com cana de açúcar, tendo sido classificados como solo exposto em função da data da imagem de satélite, período em que corresponde a fase de preparo de solo. No cenário de 1988, a classe de solo exposto ocupava 4,8 mil ha.

A valorização econômica da cultura da cana de açúcar da década de 90 impulsionou uma alta pressão sobre uso da terra na região que é expressiva em praticamente todas as unidades de análise estudadas, contudo a expansão da lavoura canavieira entre os cenários de 1988 e 2004, destaca-se nas seguintes unidades: sub-bacia do Ribeirão da Rasteira (1100%), sub-bacia do Córrego do Gouveia (470%) e a sub-bacia do Rio Pinheirinho ou Cachoeira (240%).

A sub-bacia do Rio Pinheirinho ou Cachoeira por ser a maior entre as unidades de análise, apresenta a maior área ocupada com a cultura da cana de açúcar. No cenário de 1988, as pastagens ocupavam 8,68 mil ha, havia ainda 5,63 mil ha com culturas

temporárias, enquanto que a cana de açúcar era explorada em 2,25 mil ha. Em 2004, as pastagens ficaram reduzidas a 4,5 mil ha e a cana de açúcar passou a dominar o cenário agrícola com 7,63 mil ha, seguida da classe das culturas permanentes com 5,130 mil ha, restando 2,37 mil ha para a classe das culturas temporárias.

A classe das culturas permanentes, na qual se destaca a cultura da laranja, também apresenta o expressivo aumento de 105% entre as imagens de 1988 e 2004. No cenário de 1988 totalizava 10,6 mil ha, passando a ocupar 21,7 mil ha em 2004.

Embora não represente toda a área ocupada pela classe das culturas permanentes, a laranja é um cultivo que se encontra em franca expansão, processo que ocorreu de forma acentuada durante a década de 80.

A área cultivada com laranja está distribuída por toda a área de estudo, contudo sua presença é marcante nas unidades de análise a leste do rio principal. A classe das culturas permanentes ocupa 2,58 mil ha na sub-bacia do Córrego do Gouveia, 4 mil ha na sub-bacia do Ribeirão do Tamanduá, 2,387 mil ha na sub-bacia do Rio Pinheirinho e 1,49 mil nas unidades do grupo das Nascentes.

Quanto à vegetação de mata e cerrado, praticamente não houve alteração entre os dois cenários. Em 1988 esta vegetação cobria 14,6 mil ha, e em 2004 ocupa 15,32 mil ha. Aparentemente a distribuição também não se modificou, sua presença permanece acompanhando as encostas das serras e os principais cursos d'água.

A classe de reflorestamento, que consiste basicamente na exploração de eucalipto, também não apresenta modificações entre os dois cenários. A classificação das imagens registrou 5 mil ha em 1988, que passaram a representar 4,44 mil ha em 2004. Este resultado provavelmente ocorreu devido à existência de áreas de reflorestamento que se encontravam com solo exposto na imagem de satélite de 2004. As sub-bacias do Córrego do Gouveia e do Ribeirão da Rasteira apresentam, respectivamente 1,27 e 1,69 mil ha com reflorestamento.

Apesar da redução da área ocupada por pastagens entre os dois cenários, a exploração ainda é significativa em toda a área de estudo, destacando-se na sub-bacia do Rio Pinheirinho ou Cachoeira com 4,5 mil ha; na sub-bacia do Ribeirão Tamanduá com 3,767 mil ha; na sub-bacia do Rio Pinheirinho com 2,3 mil ha e 3,7 mil no total das unidades que compõem os grupos das Nascentes e da Represa.

**Quadro 3. QUADRO COMPARADO DAS CLASSES DE OCUPAÇÃO DE SOLO NOS
CENÁRIOS DE 1988 E 2004, SEGUNDO CLASSIFICAÇÃO
DAS IMAGENS DE SATÉLITE.**

Classes de ocupação do solo	1988		2004		Alteração
	Área (ha)	%	Área (ha)	%	
Cana de açúcar	6,33 mil	6,8	17 mil	18,3	+ 168%
Culturas Permanentes	10,6 mil	11,4	21,7 mil	23,3	+105%
Pastagens	30 mil	32,2	18,7 mil	20,1	-37%
Reflorestamento	5 mil	5,4	4,44 mil	4,8	-11%
Culturas temporárias	16 mil	17,2	5,13 mil	5,5	-68%
Mata	9 mil	9,7	9,6 mil	10,3	+6,6%
Cerrado	5,6 mil	6	5,72 mil	6,2	+2,1%
Solo exposto	4,8 mil	5,2	8,04 mil	8,6	+ 67%
Área urbana	0,47	0,5	1,07 mil	1,2	+127%
Várzea/água	5,2 mil	5,6	1,6 mil	1,7	-70%

6.2.2. Zoneamento da vulnerabilidade à erosão pela EUPS

O Potencial Antrópico (CP) da Equação Universal de Perdas de Solos foi analisado em comparação ao seu limite, conhecido como CP tolerável, este estabelecido pelo índice de tolerância de perdas de solo (**Tabela 1**). O valor de CP tolerável é obtido pelo resultado da divisão do índice de tolerância de perdas de solo (T) pelo Potencial natural de erosão (PNE), conforme equação (8).

A razão entre os valores de CP e CP tolerável foi considerada neste estudo como grau de vulnerabilidade à erosão (**Tabela 17**). A vulnerabilidade baixa corresponde aos valores de CP que não ultrapassam o limite da CP tolerável. A vulnerabilidade média ocorre quando os valores de CP se encontram acima do CP tolerável em até 50%. A vulnerabilidade alta à erosão apresenta valores de CP que se situam na faixa entre 50% acima do CP tolerável até atingir em 3 vezes este valor, e a classe muito alta corresponde aos valores de CP que superam em 3 vezes o limite da CP tolerável. Esta análise foi realizada para o uso do solo dos anos de 1988 e 2004.

Na comparação entre os cenários de 1988 e 2004 (**Quadro 4**), verifica-se que a distribuição das áreas quanto ao grau de vulnerabilidade à erosão é semelhante. As áreas com baixo grau de vulnerabilidade predominam com cerca de 80% da área total, as áreas com grau muito alto respondem por mais de 10% e a somatória das áreas com grau médio e alto não chegam a 10%. Por outro lado, observa-se que houve um aumento das áreas com vulnerabilidade à erosão muito alta e redução das áreas com baixa vulnerabilidade, indicando uma maior pressão ambiental da ocupação agrícola sobre o meio físico.

Quadro 4. DISTRIBUIÇÃO EM ÁREA DO GRAU DE VULNERABILIDADE À EROSÃO.

GRAU DE VULNERABILIDADE À EROSÃO	CENÁRIO DE 2004		CENÁRIO DE 1988	
	ÁREA	%	ÁREA	%
MUITO ALTA	10,9 mil ha	11,7	9,6 mil ha	10,3
ALTA	4,4 mil ha	4,7	5,6 mil ha	6
MÉDIA	4,3 mil ha	4,7	3,4 mil ha	3,7
BAIXA	73,4 mil ha	78,9	74,4 mil ha	80

A distribuição do grau de vulnerabilidade à erosão foi analisada para os dois cenários frente à susceptibilidade natural do meio físico segundo o potencial natural de erosão (PNE), e à ocupação do solo que determina o potencial antrópico. Para tanto, realizou-se um levantamento associado entre o grau de vulnerabilidade à erosão com as classes de PNE e com as classes de ocupação do solo.

Quadro 5. DISTRIBUIÇÃO DAS CLASSES DE SUSCEPTIBILIDADE NATURAL SEGUNDO O GRAU DE VULNERABILIDADE À EROSÃO.

Grau de vulnerabilidade à erosão	CENÁRIO DE 2004			CENÁRIO DE 1988		
	Potencial Natural de Erosão (PNE)			Potencial Natural de Erosão (PNE)		
	Alta	Média	Baixa	Alta	Média	Baixa
MUITO ALTA	51,5%	38,1%	10,4%	66%	26,3%	7,7%
ALTA	57%	37%	6%	38,7%	57%	4,3%
MÉDIA	37,7%	53,7%	8,6%	31%	51,5%	17,5%
BAIXA	19%	43,6%	37,4%	19,8%	43,2%	37%

Quadro 6. DISTRIBUIÇÃO DAS CLASSES DE OCUPAÇÃO DO SOLO SEGUNDO O GRAU DE VULNERABILIDADE À EROSÃO.

Principais classes de ocupação dos solos	Grau de vulnerabilidade à erosão							
	CENÁRIO DE 2004				CENÁRIO DE 1988			
	Baixa	Média	Alta	Muito alta	Baixa	Média	Alta	Muito alta
Cana de açúcar	11,6 mil	2,1 mil	1,63 mil	1,58 mil	4,1 mil	657	722	825
Culturas permanentes	18,6 mil	750	835	1,56 mil	8,8 mil	326	422	973
Culturas temporárias	2,5 mil	610	974	921	8,4 mil	1,4 mil	3 mil	3 mil
Pastagens	16,9 mil	530	584	812	27,2 mil	647	870	1,25 mil
Reflorestamento	4,4 mil	-	-	24,5	4,8 mil	25	33	45
.Solo exposto	2,8 mil	88	86	5 mil	2,1 mil	73	119	2,4 mil

6.2.2.1. Áreas com grau de vulnerabilidade à erosão muito alta

Há uma grande correlação entre a presença de vulnerabilidade à erosão muito alta com a alta susceptibilidade, segundo o potencial natural de erosão (PNE). No cenário de 2004, 51,5% das áreas de vulnerabilidade muito alta apresentam alta susceptibilidade à erosão, atingindo 66% em 1988. A vulnerabilidade muito alta à erosão ocorre principalmente em declives acentuados, próximos às encostas da serra tanto no cenário do ano de 1988 como de 2004.

A classe de ocupação do solo com grau de vulnerabilidade à erosão muito alta que mais se destaca no cenário de 2004 é a de solos expostos, com quase 5 mil ha. A cana de açúcar aparece em segundo lugar com 1,58 mil ha, seguida pela classe das culturas permanentes com 1,56 mil ha. Já no cenário de 1988, a classe das culturas temporárias destacam-se com mais de 3 mil ha, seguida pelos solos expostos com 2,4 mil ha. As pastagens, importante forma de exploração do período, ocupam 1,25 mil ha.

A principal mudança identificada nas áreas de vulnerabilidade à erosão muito alta entre os cenários refere-se ao aumento na área ocupada com cana de açúcar e culturas permanentes, em contrapartida à redução das culturas temporárias e pastagens.

A classe de ocupação atribuída aos solos expostos é importante nos dois cenários estudados. A proteção ao solo oferecida neste caso é nula, sendo que em 62% da área de solo exposto no cenário de 2004, a vulnerabilidade à erosão é muito alta, indicando que nesta situação, mesmo que provisória, há uma alta predisposição aos processos erosivos.

As culturas temporárias e as lavouras de cana de açúcar oferecem pouca proteção ao solo e, por isso, conferem com frequência vulnerabilidade muito alta à erosão, sendo indicadas somente em áreas que apresentem menor susceptibilidade à erosão. No cenário de 2004, cerca de 9,3 % da área total ocupada com cana de açúcar e 18% da área com culturas temporárias apresentam vulnerabilidade à erosão muito alta. Em 1988, esta participação atinge 13% da área ocupada com cana de açúcar e 19% da área ocupada com culturas temporárias.

As pastagens e culturas permanentes podem apresentar vulnerabilidade muito alta à erosão quando são cultivadas em locais de elevada susceptibilidade natural. Esta situação ocorre nos dois cenários estudados. Em 2004, há 7% do total ocupado com culturas

permanentes e 4,3% das áreas com pastagens apresentando vulnerabilidade à erosão muito alta. No cenário de 1988, esta participação é de 9% e 4% respectivamente.

6.2.2.2. Áreas com alto grau de vulnerabilidade à erosão.

Estas áreas apresentam em sua maioria, média a alta susceptibilidade à erosão, segundo o potencial natural de erosão (PNE). No cenário de 2004, a média susceptibilidade representa 37%, ficando a alta com 57%. No cenário de 1988, a situação se inverte, pois a média susceptibilidade representa 57% e a alta atinge 38,7%. A vulnerabilidade alta à erosão apresenta-se em ocorrência dispersa nos dois cenários, estando normalmente associada a declividades acima de 7 %.

No cenário de 2004, a principal classe de ocupação é da cana de açúcar com 1,63 mil ha. Já no cenário de 1988, as culturas temporárias são destaque com mais de 3 mil ha.

Na comparação entre os cenários, houve novamente aumento da participação em área da cultura da cana e diminuição das culturas temporárias.

A cultura da cana de açúcar possui 9,6% de sua área com vulnerabilidade alta à erosão em 2004, e 19% da área das culturas temporárias em 1988.

6.2.2.3. Áreas com grau de vulnerabilidade à erosão média

A vulnerabilidade média à erosão também ocorre de forma irregular e dispersa nos dois cenários. Neles, predominam as áreas com média susceptibilidade natural à erosão, que representam 53,7% em 2004 e 51,5 % em 1988. As áreas com alta susceptibilidade à erosão atingem 37,7% em 2004 e 31% em 1988.

A principal classe de ocupação no cenário de 2004 volta a ser a cana de açúcar com 2,1 mil ha, e no cenário de 1988, as culturas temporárias também continuam a se destacar com 1,4 mil ha, indicando que estas ocupações conferem com certa frequência, uma vulnerabilidade à erosão acima do limite tolerável do meio físico.

Mais uma vez, a cultura da cana de açúcar é significativa no cenário de 2004, 12,4% da área total ocupada com cana de açúcar apresenta média vulnerabilidade à erosão. No cenário de 1988, a vulnerabilidade média ocorre com 9% das culturas temporárias.

6.2.2.4. Áreas com grau de vulnerabilidade à erosão baixa

Abrangendo a maior parte da área de estudo nos dois cenários estudados, as áreas com vulnerabilidade baixa à erosão apresentam todas as formas de ocupação do solo.

No cenário de 2004, 43,6% destas áreas apresentam susceptibilidade média, e em 37,4%, baixa. A distribuição é semelhante no cenário de 1988: 43,2% são de susceptibilidade média e 37% de baixa.

As classes de ocupações do solo quando se enquadram no grau baixo de vulnerabilidade à erosão, encontram-se adequadas ao meio físico, mesmo em áreas que apresentam susceptibilidade natural à erosão alta ou média.

Em áreas de alta susceptibilidade encontra-se principalmente vegetação de mata, já as culturas temporárias e cana de açúcar ocupam somente áreas de baixa a média susceptibilidade.

No cenário de 2004, apresenta vulnerabilidade baixa 68% da área ocupada com cana de açúcar, 48,7% da área com culturas temporárias, 85,7% das culturas permanentes, 90% da área de pastagem e praticamente toda a área ocupada pelo reflorestamento.

A vulnerabilidade baixa no cenário de 1988 corresponde a 52,5% da área ocupada com culturas temporárias, 65% da área com cana de açúcar, 83% das culturas permanentes, 90,6% da área de pastagem e 96% da área de reflorestamento.

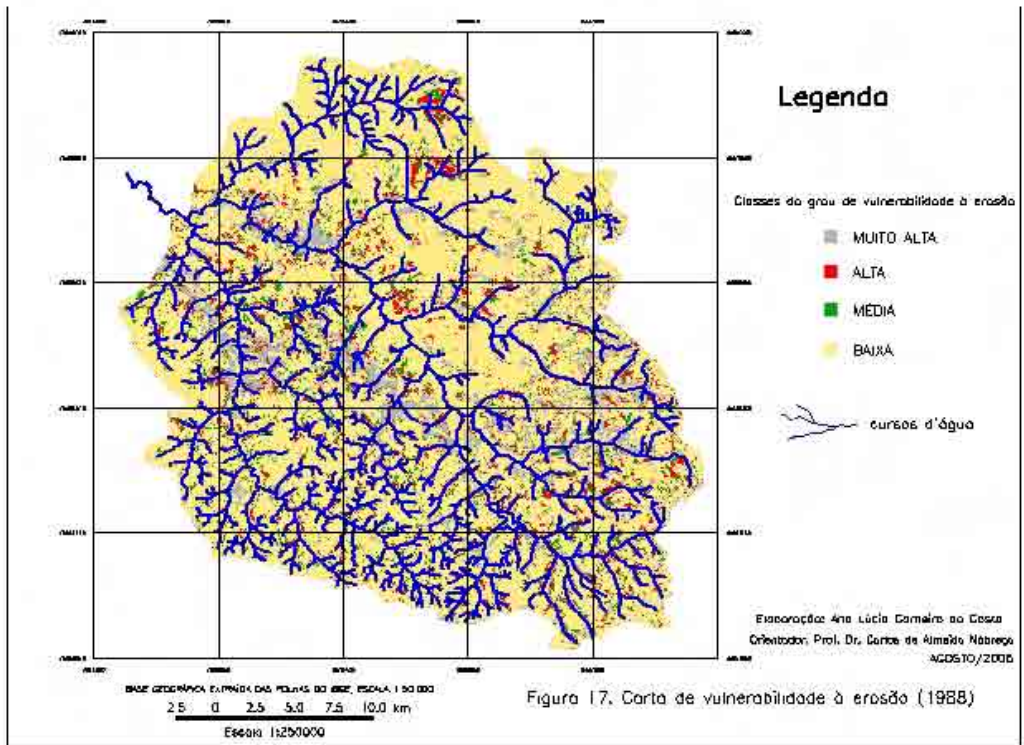


Figura 17. Carta de vulnerabilidade à erosão (1988)

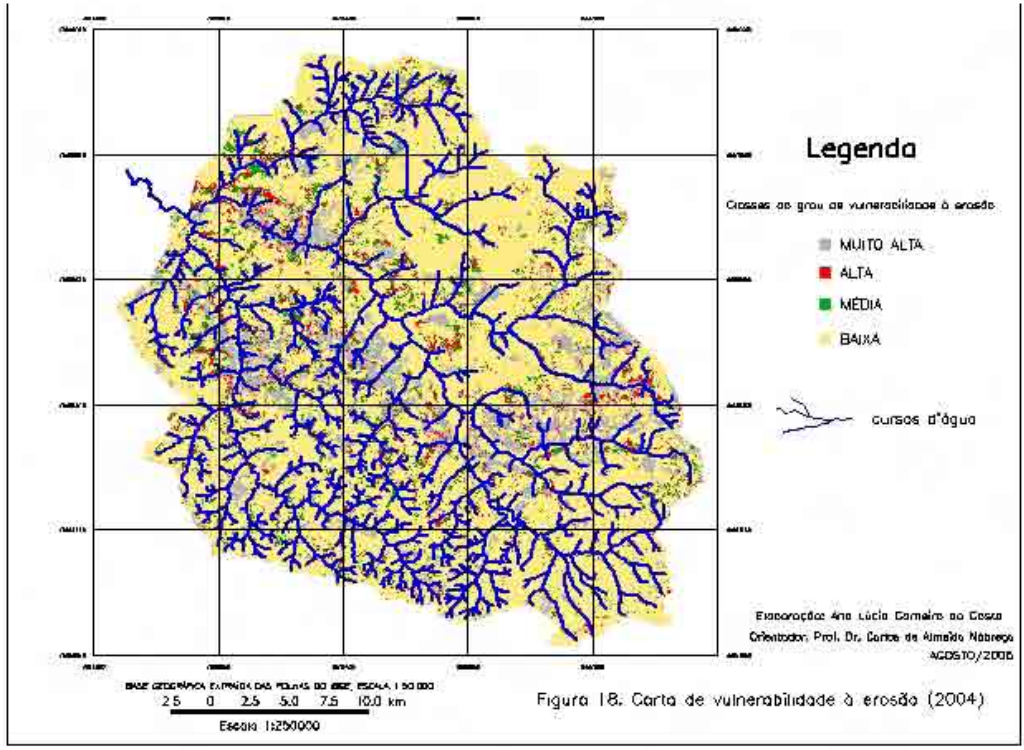


Figura 18. Carta de vulnerabilidade à erosão (2004)

6.2.3. O manejo do solo nas principais explorações agropecuárias

As explorações agropecuárias que mais se destacam na área de estudo foram pesquisadas quanto à forma de manejo do solo. Esta pesquisa teve como objetivo, de forma expedita, caracterizar tecnicamente as atividades agrícolas nos aspectos que se relacionam à cobertura vegetal e ao sistema conservacionista de solo. As explorações estudadas foram: as lavouras de cana de açúcar, o reflorestamento de eucalipto, os pomares de laranja, e as pastagens da pecuária bovina.

As empresas agropecuárias pesquisadas que possuem maior expressão econômica na região são a Usina Paraíso Bioenergia, do Grupo Albuquerque Pinheiro e a Chamflora Agroflorestal da International Paper Ltda.

A Usina Paraíso, sediada no município de Brotas, é a principal representante do setor sucro-alcooleiro na área de estudo, responsável por grande parte da produção de cana de açúcar destinada à fabricação de açúcar e álcool na região. Segundo dados da Usina Paraíso, entre áreas próprias, arrendadas e de fornecedores, a área explorada com cana de açúcar atinge 13.000 hectares (informação de setembro/2004).

A cultura da cana de açúcar possui um ciclo médio de 5 a 6 anos, possibilitando a realização de 4 a 5 safras sucessivas, após as quais a queda da produtividade justifica a renovação do canavial, levando a empresa a adotar contratos de arrendamento de terras que apresentam este prazo de validade.

O plantio da cultura é sempre executado entre os meses de janeiro a abril, época escolhida quando o objetivo é o da produção da cana “de ano e meio”, ou seja, o primeiro corte é realizado após um ano e meio do plantio. Esta opção ocorre em função de critérios técnicos de produtividade, sendo que a safra/corte é iniciada a partir do mês de maio e se estende até dezembro.

Entre as práticas conservacionistas adotadas, os terraços são construídos em toda a área explorada, apresentando diferenciação quanto à declividade. Em áreas que apresentam declividade acima de 7%, há construção de terraços embutidos (**foto 1**), enquanto que em áreas com menor declividade, os terraços são de base larga. Nas lavouras de cana-de-açúcar também há construção de terraços de drenagem em solos com menor permeabilidade,

porém nem sempre é viável implantar canais escoadouros, necessários para transportar com segurança a enxurrada.



Foto 1- Terraço embutido em canavial (Usina Paraíso Bioenergia).

No preparo de solo para o plantio, quando as condições de solo ou declividade acentuada predispõem à ocorrência de erosão, as operações de aração e gradagem podem ser substituídas pelo cultivo mínimo, o que consiste em realizar menos operações, utilizando o subsolador e a grade. Desta forma, evita-se o revolvimento do solo em áreas mais sujeitas à erosão, diminuindo o período de solo descoberto.

Mesmo que o período para a implantação ou renovação do canavial seja reduzido, o tempo em que o solo fica exposto nesta fase é suficiente para que sejam deflagrados processos erosivos acentuados em virtude da ocorrência de chuvas intensas, comuns entre janeiro e março.

Como exemplo desta situação, pode-se citar o episódio ocorrido em março de 2004. Durante renovação de canavial localizado no setor norte da sub-bacia do Rio Pinheirinho, na microbacia do Córrego Santa Cruz, em área de litologia da Formação Itaqueri e solo Latossolo Vermelho Escuro com 12% de declividade, chuvas intensas destruíram os terraços (**foto 2**). A remoção de solo arrastou volume tão grande de terra que arrancou algumas árvores, causando um grande assoreamento que atingiu a Cachoeira Santa Maria,

ponto turístico da região que precisou ser interditado (**fotos 3 e 4**), gerando prejuízos ambientais e econômicos.



Foto 2 – Destruição de terraços em renovação de canavial (Usina Paraíso Bioenergia).



Foto 3- Remoção de solo causada por erosão a montante.



Foto 4- Erosão na encosta da Cachoeira de Santa Maria.

Nas lavouras de cana de açúcar, a colheita e os tratos culturais exigem intenso tráfego de tratores e caminhões, fazendo com que sejam projetados caminhos, quase sempre no sentido do declive. Nestes locais em que o solo fica desprovido de cobertura vegetal e compactado, normalmente se desenvolvem feições erosivas (**foto 5**). Estas feições são normalmente corrigidas antes do início da safra, mesmo porque há necessidade em manter a passagem para circulação dos veículos.



Foto 5– Desenvolvimento de feições erosivas em carreador de cana.

A Chamflora Agroflorestal é a subsidiária responsável pelas florestas e viveiros de eucalipto localizados em municípios dos Estados de São Paulo e Minas Gerais.

O Horto Santa Fé de propriedade da Chamflora Agroflorestal possui cerca de 13.250 ha, sendo aproximadamente 75% destinados à produção de eucalipto para fins de papel e celulose. A maior parte desta área, porém, se encontra fora do limite da área de estudo.

Na exploração do eucalipto, o corte é realizado a cada 7 anos, embora, havendo aumento da demanda por madeira, este ciclo possa ser reduzido para 5-6 anos, depois do qual a planta volta a rebrotar. O completo desenvolvimento da copa, quando o solo se encontra coberto pela floresta, ocorre após cerca de 18 meses dependendo do espaçamento utilizado que normalmente é de 3 x 2,75 metros.

O plantio da cultura é feito preferencialmente na primavera, respeitando as curvas de nível. As operações de preparo do solo se resumem à subsolagem em sub-superfície sem incorporação de restos da cultura anterior.

Dependendo da declividade, as áreas são terraceadas. A construção de estradas e carregadores adota saídas d'água tipo bacia de contenção.

O controle do mato é feito durante o primeiro ano das mudas, após esta fase o sombreamento do eucalipto dificulta crescimento de outras plantas. Com o tempo, forma-se embaixo da floresta um “manto” de cobertura morta de folhas e galhos (**foto 6**).



Foto 6– Floresta plantada de eucalipto (Horto Santa Fé).

A produção de laranja, cultivo que se destaca na classe das culturas permanentes, é voltada para as indústrias de suco, instaladas em outros municípios do Estado de São Paulo, como Matão e Bebedouro. Segundo estimativa de técnicos da CATI de Brotas, há 5 milhões de pés plantados no município, ocupando cerca de 11.700 hectares (informações de março de 2004).

Devido às características edafo-climáticas, principalmente quanto à pluviosidade e baixa incidência de doenças, a empresa Cutrale resolveu investir na produção citrícola na região através do arrendamento de pomares com um mínimo de 150 mil pés, por período de 10 a 20 anos.

A proteção da cobertura vegetal oferecida pela cultura atinge seu maior nível na fase adulta dos pomares, a partir do 3º ano/4º ano, dependendo do espaçamento utilizado. Atualmente o espaçamento recomendado é de 6 metros entre linhas e 3 metros entre plantas

O cultivo da laranja apresenta, do ponto de vista da erosão, a grande vantagem de oferecer reduzido revolvimento do solo, operação que ocorre somente na implantação do pomar, característica das culturas permanentes. O preparo do solo pode até restringir-se às linhas de cultivo através da abertura de sulcos profundos com subsolador.

A implantação dos pomares normalmente é realizada com terraços acompanhando as curvas de nível. Recomenda-se o plantio de espécies leguminosas nas ruas do pomar para adubação verde, prática que contribui para incremento da matéria orgânica e proteção do solo, mas que não é muito usual na região já que dificulta a execução dos tratos culturais. No entanto, o solo permanece coberto com mato durante o ano todo, e somente é roçado para evitar competição com a cultura principal (**foto 7**). Atualmente surgiram roçadeiras mecânicas que operam acumulando a cobertura morta nos pés das plantas.

O tráfego de máquinas para a realização dos tratos culturais encontra o solo protegido. Por outro lado, como nas lavouras de cana de açúcar, também surgem feições erosivas lineares ao longo dos caminhos nos pomares de laranja.



Foto 7 – Pomar adulto de laranja.

No caso da exploração pecuária, há um grande número de propriedades na região que apresentam padrão tecnológico distintos, do rebanho à forma de exploração das pastagens. Mesmo apresentando elevado grau de heterogeneidade, é possível afirmar que na área de estudo predomina o manejo extensivo das pastagens. Nele, não há rotação de pasto, ou outra técnica que assegure a manutenção da qualidade e produtividade das pastagens, apresentando como resultado uma baixa capacidade de lotação animal (número de animais/área), caracterizando o superpastejo (**foto 8**).



Foto 8 - Erosão decorrente de superpastejo.

O superpastejo não ocorre somente em manejos extensivos, mas sempre que a lotação se encontra acima do limite da capacidade de exploração da pastagem, causando uma compactação elevada que reduz a permeabilidade dos solos. Esta compactação geralmente ocorre com mais intensidade em locais onde há concentração do rebanho, próximo às aguadas, sombras e saleiros, ou nos caminhos que dão acesso a estes locais **(foto 9)**.



Foto 9 –Área de concentração do rebanho (saleiro).

A forma de fornecimento de água ao rebanho é uma questão importante das pastagens. Quando os animais necessitam aproximar-se dos cursos d'água para a dessedentação, normalmente ocorre destruição da mata ciliar, favorecendo o aporte de sedimentos nos cursos d'água.

A deficiente cobertura vegetal, associada à ausência de práticas para conter as enxurradas uma vez que os terraços, quando construídos na implantação do pasto não são conservados devido ao pisoteio do gado, reduzem a capacidade das pastagens de se apresentar como uma forma de uso de solo que oferece baixo risco à erosão, tornando comum a ocorrência de cicatrizes erosivas nestas áreas quando associadas a declividades acentuadas e/ou solos susceptíveis **(foto 10)**.



Foto 10 - Erosão linear em pastagem.

No manejo extensivo, as pastagens são renovadas com pouca frequência, fazendo com que as feições erosivas permaneçam em evolução, sem intervenções corretivas. Por outro lado, quanto mais extensivo for o manejo, menor o grau de mecanização e conseqüentemente o nível de impacto sobre a estrutura do solo, influenciando na resistência das partículas do solo a erosividade da chuva.

Quanto às cidades, o aumento da impermeabilização decorrente da expansão urbana, favorece a concentração de águas pluviais e sua erosividade. Na implantação dos novos loteamentos, em geral não são previstas ações preventivas aos processos erosivos. Isto faz com que as feições lineares sejam instaladas rapidamente e necessitem de correções que oneram o orçamento municipal e causam transtornos à população.

Na cidade de Brotas, as ruas marginais ao Córrego da Lagoa Seca, afluente do Rio Jacaré que atravessa a cidade, foram pavimentadas. Esta perda de área para infiltração das águas pluviais acentua o escoamento superficial que contribui ao assoreamento do Córrego (**foto 11**), desprotegido de mata ciliar. A área de expansão urbana do Bairro Campos Elíseos é a principal contribuinte de sedimentos que atingem o Córrego da Lagoa Seca (**foto 12**).



Foto 11 – Assoreamento no Córrego da Lagoa Seca (Brotas-SP).



Foto 12 – Erosão urbana (bairro Campos Elíseos – Brotas – SP)

A poluição dos mananciais em geral acompanha o crescimento das cidades. Em Torrinha, o esgoto urbano não tratado é lançado diretamente no Rio Pinheirinho, alterando a qualidade das águas.

6.2.4. Levantamento das feições erosivas lineares

O levantamento das feições erosivas lineares foi iniciado a partir do mapa de ocupação do solo do ano de 2004. Nele, selecionaram-se as áreas que apresentam declividade maior ou igual a 10% e solos com textura arenosa a média, conforme descrito no item **5.2.5.1**. Quanto à análise do potencial natural de erosão das áreas que se enquadraram nestes critérios, 75,5% pertencem à classe alta do PNE e 18,5% estão situadas na classe média.

A escolha dos locais para verificação em campo foi baseada em levantamento de cicatrizes erosivas nas fotografias aéreas do ano de 2.000 e em entrevistas com técnicos da Casa da Agricultura de Brotas, no sentido de orientar o estudo para o cadastramento das feições erosivas mais importantes. O objetivo desta etapa foi o de apresentar as feições de forma ilustrativa, complementando o estudo do uso e manejo do solo.

As vistorias apresentaram como resultado o levantamento de feições encontradas nas seguintes unidades de análise: sub-bacia do Rio Pinheirinho, sub-bacia do Ribeirão do Tamanduá, sub-bacia do Ribeirão da Rasteira e região da Represa.

6.2.4.1. Processo de ravinamento em pastagem

No setor norte da sub-bacia do Rio Pinheirinho ou Cachoeira, em solo de textura arenosa da classe pedológica da Areia Quartzosa Profunda, proveniente de arenitos da Formação Pirambóia, declividade em torno de 18% e geomorfologia de colinas amplas, encontrou-se processos de ravinamento (**foto 13 e 14**) na microbacia do Córrego do Veado, localizadas aproximadamente nas coordenadas UTM 7528838 N/S e 797438 E/W, a altitude de 650 metros.



Foto 13 – Foto aérea com destaque de ravina em pastagem (BASE, 2.000).



Foto 14 – Ravina em pastagem.

A área onde se encontra a feição é explorada com pastagem. Está situada na classe alta do potencial natural de erosão e se encontra em local que apresenta grau baixo de vulnerabilidade à erosão.

A susceptibilidade natural alta à erosão (PNE) é resultado da ocorrência do fator topográfico alto mesmo com a presença de solo considerado de média erodibilidade. Já a baixa vulnerabilidade é decorrente da exploração por pastagem, adequada à condição do meio físico, alterando esta situação para vulnerabilidade muito alta onde o solo se encontra exposto no local da feição.

Na pastagem há terraços de infiltração e rotação de piquetes, mas as cicatrizes erosivas, provavelmente causadas pelas trilhas do gado, indicam a alta susceptibilidade do solo à erosão linear. O solo de textura muito arenosa em declividade acima de 10%, predispõe à erosão linear quando ocorre escoamento concentrado causado pela formação de sulcos erosivos.

Neste caso, a aplicação da EUPS não conseguiu apontar a vocação erosiva desta área. A perda da proteção do solo conferida pela cobertura vegetal decorrente de trilhas de gado ou caminhos é condição que intensifica os processos erosivos, exigindo um manejo rigoroso para manter a capacidade produtiva das pastagens.

6.2.4.2. Processo de ravinamento em pomar de laranja

Na sub-bacia do Ribeirão Tamanduá, em solo Areia Quartzosa Profunda proveniente de arenitos da Formação Pirambóia, declividade em torno de 13% e geomorfologia de colinas amplas, encontra-se processo de ravinamento, localizado aproximadamente nas coordenadas UTM 7527266 N/S 806270 E/W e altitude em torno de 660 metros (**foto15 e 16**).



Foto 15– Foto aérea de ravina (BASE, 2000).



Foto 16– Ravina em pomar de laranja.

A feição está localizada em área cultivada com laranja, pertence à classe alta do potencial natural de erosão e apresenta grau baixo de vulnerabilidade à erosão. Onde há a feição, o grau de vulnerabilidade é muito alto devido à presença de solo exposto.

A susceptibilidade natural à erosão na área foi classificada como alta principalmente pela ocorrência do fator topográfico alto. A vulnerabilidade baixa reflete a adequação da cultura da laranja que oferece média a alta proteção ao solo.

O cultivo da laranja no local não respeita as curvas de nível, o que provavelmente favoreceu o desenvolvimento da feição pela concentração de águas superficiais (**foto 17**).



Foto 17 – Pomar de laranja plantado sem considerar a curva de nível.

Segundo relatos de moradores da localidade, a formação desta ravina ocorreu principalmente pela retirada de terra e cascalho para capeamento da estrada, apontando a origem antrópica desta feição. Não há nenhuma forma de isolamento e contenção das águas superficiais, permitindo que a feição possa evoluir.

A presença de cascalho indica a existência local de litologia que não é própria da Formação Pirambóia, provavelmente não identificada em função da escala do Mapa Geológico, de 1: 250.000, utilizado como fonte de informação neste estudo.

6.2.4.3. A voçoroca na região do bairro do Patrimônio de São Sebastião – Brotas - SP

Na região da Represa em solo Latossolo Vermelho Amarelo de textura média, originário dos arenitos da Formação Itaqueri, com declividade em torno de 15% e geomorfologia de colinas médias, encontra-se a feição de maior porte dentro da área de estudo, constituindo-se de uma voçoroca (**foto 18 e 19**) localizada aproximadamente nas coordenadas UTM 7515582 N/S e 810297 E/W, a 900 metros altitude, próximo da Represa e do distrito do Patrimônio de São Sebastião.

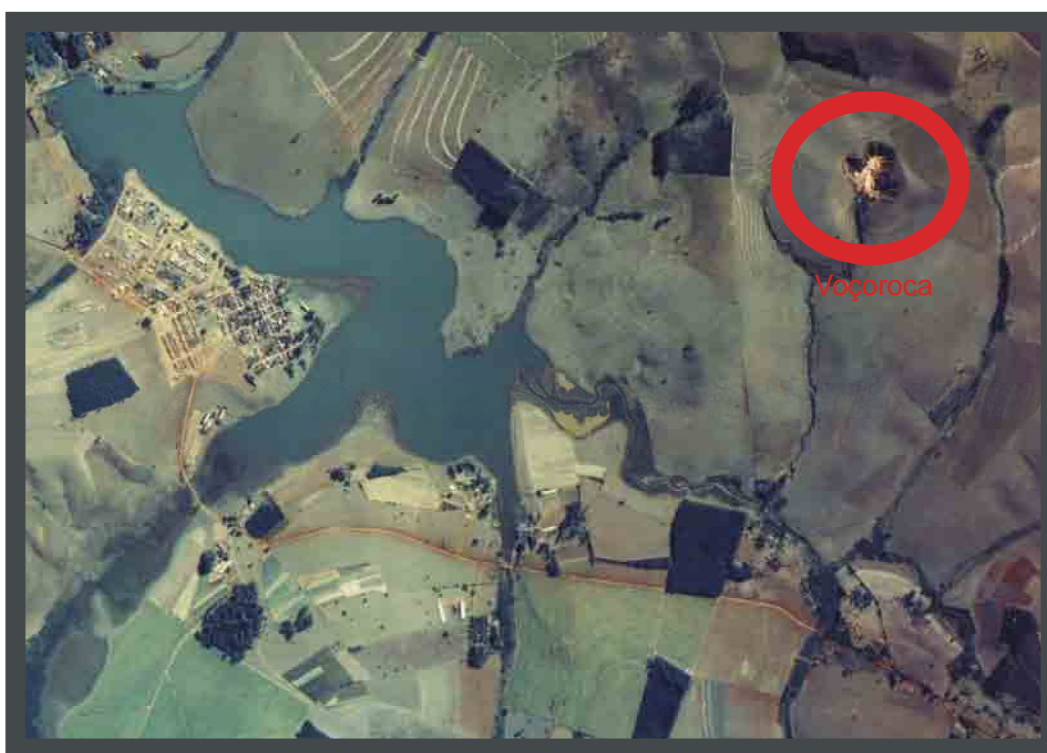


Foto 18- Foto aérea com destaque da voçoroca (BASE, 2.000).



Foto 19– Voçoroca em estágio avançado.

Segundo levantamento com GPS, a voçoroca apresenta 27 metros de altura e se estende por aproximadamente 300 metros.

A feição está localizada em área explorada com pastagem, pertence à classe alta do potencial natural de erosão e apresenta baixo grau de vulnerabilidade à erosão. No solo exposto da feição, o grau de vulnerabilidade à erosão é muito alto.

Neste caso, da mesma forma que nos exemplos anteriores, a classificação da área como susceptibilidade natural alta se deve ao fator topográfico elevado, mas a cultura da pastagem reduz a vulnerabilidade à erosão pela alta capacidade de proteção do solo.

Quanto a geomorfologia, a área situa-se em relevo de colinas médias de topos convexizados. Este contexto geológico-geomorfológico foi apontado pelo IPT, em relatório técnico sobre a feição realizado em 1993, como de grande predisposição ao desenvolvimento intenso da erosão linear a partir da incisão de sulcos erosivos.

Segundo o IPT, a feição foi provocada por processo de ravinamento a montante, seguido de entalhamento da nascente do pequeno córrego que se encontrava desprotegido de mata ciliar. O processo de reativação e entalhamento ocorreu quando houve concentração do escoamento superficial provocada provavelmente por trilhas de gado. A surgência de água subterrânea foi responsável pelo alargamento da voçoroca e desenvolvimento de ramos ativos.

No relatório de 1993, os técnicos do IPT descreveram o estado da voçoroca, que não se encontrava estabilizada e indicaram medidas de controle da erosão, em que se destacam:

- implantação de curvas de nível e terraceamento ;
- obediência às técnicas de manejo das pastagens de forma a garantir capacidade produtiva e proteção ao solo;
- delimitação de área marginal e isolamento para recuperação da vegetação natural;
- instalação de drenos subterrâneos nos trechos de montante;
- retaludamento das paredes da voçoroca, principalmente nas cabeceiras e bordas do alto curso;
- utilização de paliçadas de eucalipto para dissipação de energia da água pluvial na saída dos filtros;
- plantio de gramíneas para proteção superficial;
- monitoramento permanente da área até a fase de estabilização.

Para conter a voçoroca, a Prefeitura Municipal de Brotas construiu terraços em nível em toda a cabeceira e parte das áreas laterais, evitando que o escoamento superficial das águas pluviais concentrasse no interior da feição. Também foram construídos três diques de terra para reter os escoamentos superficiais e sedimentos produzidos pela desagregação e movimentação dos taludes nos ramos da voçoroca, além de instalados drenos sob os aterros para controle das águas subterrâneas (**foto 20**).



Foto 20– Detalhe dos drenos construídos para contenção da voçoroca.

No segundo relatório do IPT em 1995, houve uma recomendação para a revegetação da área com plantio de bambu e eucalipto e manutenção dos terraços e diques executados.

Em vistoria realizada em 2004, verificou-se que não houve o devido isolamento da feição, deixando que o rebanho circule livremente e dificultando seu processo de estabilização. Também não ocorreu manutenção dos diques pelo proprietário conforme recomendação técnica.

6.2.4.4. Sulcos erosivos em pastagens

Feições erosivas lineares como sulcos evoluindo a ravinas foram encontradas com certa freqüência em pastagens, notadamente em áreas de média ou alta susceptibilidade natural que apresentam solos de textura arenosa ou média e declividades acima de 5%.

Embora as pastagens configurem uma forma de exploração que oferece alta proteção ao solo, é comum destinar áreas com solos arenosos de baixa fertilidade e relevos acidentados a esta exploração, sem adotar manejo de solo adequado ou mesmo sem nenhuma prática de conservação de solo.

1. Sub-bacia do Ribeirão da Rasteira, solo Latossolo Vermelho Amarelo de textura média originário dos arenitos da Formação Pirambóia, declividade que varia em torno de 5 a 12% e geomorfologia de colinas médias (**foto 21**).



Foto 21– Feições erosivas em pastagens (sub-bacia do Ribeirão da Rasteira).

2.Sub-bacia do Rio Pinheirinho, solo Areia Quartzosa Profunda originário dos arenitos da Formação Pirambóia, declividade que varia em torno de 10 a 12% e geomorfologia de colinas amplas (**foto 22**).



Foto 22– Sulcos de erosão em pastagem (sub-bacia do Pinheirinho).

Em todos os exemplos apresentados aqui, os processos de formação destas feições erosivas lineares têm em comum, além de características semelhantes do meio físico, uma participação decisiva da ação antrópica. O histórico das feições aponta para a importância do papel do homem na mudança da condição de vulnerabilidade à erosão esperada para o tipo de ocupação do solo. Falhas no manejo quanto à conservação do solo e preservação do meio ambiente deflagram processos erosivos de alta intensidade.

7. CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conciliar as atividades antrópicas com a preservação da qualidade ambiental é a justificativa usada na criação das Áreas de Proteção Ambiental, e também um dos principais desafios da sociedade atual, notadamente nas regiões em que o desenvolvimento econômico exerce pressão sobre o avanço da ocupação do território e da utilização dos recursos naturais.

O presente estudo sobre vulnerabilidade à erosão na Alta da Bacia do Jacaré Pepira apresentou como resultado, o zoneamento da área quanto à susceptibilidade natural, vulnerabilidade e adequação ao uso do solo, segundo a aplicação da Equação Universal de Perdas de Solo diante de dois cenários de uso do solo (anos de 1988 e 2004).

A organização das informações sobre o meio físico em banco de dados espacial revela-se importante instrumento para a realização de estudos ambientais. A utilização do SIG/*SPRING* foi satisfatória e adequada aos propósitos do trabalho, principalmente devido à facilidade de visualização, integração dos dados e rapidez de execução dos resultados. A vantagem em utilizar o referido *software*, além da disponibilidade, reside principalmente no sistema de Ajuda ao usuário, que se mostrou bastante didático.

Em relação ao processamento das imagens de satélite, o resultado da classificação pode ser considerado razoável tendo em vista a quantidade de informações que puderam subsidiar o trabalho. Embora bastante trabalhoso, o método Maxver é de fácil operacionalização. A qualidade da classificação é bastante restrita ao prévio conhecimento da área, e a checagem a campo é obrigatória para diminuir a imprecisão do mapeamento. Neste estudo, o acesso a mapas e documentos e o auxílio de técnicos foram fundamentais para a finalização do trabalho.

O método utilizado de compartimentação da área de estudo em sub-bacias facilitou a análise e obtenção de parâmetros que enriqueceram o diagnóstico do meio físico natural. Por outro lado, esta compartimentação apresentou como resultado a criação de unidades de análise desproporcionais, com grandes diferenças quanto à abrangência em área. A maior dificuldade deste método reside na definição dos critérios para englobar as bacias de menor ordem, etapa necessária para tornar exequível o trabalho.

A compartimentação em sub-bacias possibilitou também a adoção do parâmetro de extensão do percurso superficial como fator comprimento da vertente para utilização na EUPS. Mesmo sendo uma estimativa que considera um valor médio para toda a unidade de análise, é uma forma simples de obter o fator mais trabalhoso que compõe a EUPS.

Quanto à Equação Universal de Perdas de Solo, reconhecidamente é uma ferramenta valiosa para estudo em escalas regionais. Sua aplicação serviu na categorização da área de estudo para identificação da susceptibilidade natural do meio físico e vulnerabilidade à erosão.

Apesar das restrições na aplicação desta fórmula, a utilização da EUPS pode retratar um quadro mais próximo da realidade se levar em conta a sazonalidade da distribuição das chuvas e do grau de proteção do solo conferido ao longo do ciclo agrícola ao invés de utilizar valores médios anuais de erosividade e do fator uso-manejo do solo. Para viabilizar tais estudos, seria necessário trabalhar com um volume maior de dados, nem sempre disponíveis.

O modelo matemático empírico da EUPS apresenta limitações por não considerar o papel do escoamento concentrado, principal responsável pelo desenvolvimento da erosão linear, sendo mais aplicável à realidade do processo erosivo laminar. Neste estudo, estas limitações ficaram evidenciadas no levantamento das feições erosivas lineares, que identificou a existência de voçorocas e ravinas localizadas em áreas que apresentam baixa vulnerabilidade à erosão, uma vez que a forma de ocupação do solo era adequada às condições da susceptibilidade do meio físico. Nestes casos, a ação antrópica potencializou a vocação erosiva destas áreas por falhas de manejo ou execução de atividades inadequadas.

Os locais onde foram identificadas as feições erosivas lineares confirmaram as conclusões apontadas em trabalho do IPT (1989) na Bacia do Peixe-Paranapanema: solos profundos, de textura arenosa a média e declividade superior a 10% em relevo com menores interflúvios. Além das condições do meio físico, no desenvolvimento das feições erosivas lineares o papel das ações antrópicas é decisivo, notadamente quanto à supressão da cobertura vegetal.

O cadastramento de feições erosivas de grande porte é uma etapa importante no estudo da erosão, bem como o histórico da evolução do seu desenvolvimento. Segundo relatório do IPT (1995), este cadastramento pode ser orientado pelo contexto geológico-

geomorfológico característico da porção sul da Bacia, onde ocorrem declividades acentuadas em relevos de colinas médias com topos convexizados, assentadas sobre arenitos da Formação Itaqueri.

Neste estudo, ocorreu a integração das informações do meio físico para análise de cicatrizes erosivas identificadas nas fotografias aéreas e confirmadas em campo. É importante salientar, porém, que a ausência de feições erosivas lineares não indica inexistência da erosão, uma vez que em cultivos intensivos as feições são rapidamente corrigidas, embora a remoção do solo deixe marcas na paisagem como o assoreamento dos cursos d'água.

Portanto, a baixa incidência de feições erosivas nas lavouras de cana de açúcar e, em contrapartida, a presença frequente de sulcos erosivos em pastagens não pode apontar, independente de outros fatores, que o manejo das pastagens é mais propício ao desenvolvimento da erosão que o cultivo da cana de açúcar, por exemplo.

Os cultivos que apresentam alto grau de revolvimento do solo como na lavoura canavieira, elevam significativamente a susceptibilidade dos solos, favorecendo as condições para transporte dos sedimentos quando as chuvas encontram os solos sem ou com pouca cobertura vegetal, dependendo da fase do ciclo agrícola.

Já as feições erosivas em pastagens indicam que o manejo extensivo e a falta de adoção de técnicas de conservação de solo desta exploração prejudicam a adequação desta cultura em áreas susceptíveis à erosão, levando em conta que há tendência em destinar solos de baixa fertilidade com declives acentuados a esta exploração.

A adoção de técnicas de conservação de solo não se restringe ao terraceamento, mas envolve também todas as práticas culturais que protegem o solo, mantêm ou melhoram sua estrutura. O grau de revolvimento e o tempo de exposição do solo sem cobertura vegetal devem ser alvo de preocupação técnica e ambiental.

Mesmo que já sejam adotadas práticas agrícolas neste sentido, os impactos ambientais nas explorações agropecuárias podem ser atenuados ao adotar medidas que reduzem a mecanização, evitem a exposição do solo, diminuam a velocidade da enxurrada e dificultem o aporte de sedimentos nos cursos d'água. Estas medidas, se associadas ao planejamento das atividades agrícolas em função das condições naturais de relevo, solo e

sazonalidade das chuvas, contribuem para preservação da qualidade ambiental do meio físico.

Em relação ao assoreamento, o estudo da vulnerabilidade à erosão pode não apontar as áreas mais sujeitas à sedimentação, uma vez que o solo removido pela erosão não é necessariamente transportado para os cursos d'água. A relação dos processos erosivos com o assoreamento requer uma análise ambiental ainda mais complexa e ainda pouco compreendida no ciclo sedimentológico.

Tendo em vista o objetivo de preservação do patrimônio ambiental da região frente à necessidade de crescimento econômico, é imprescindível um programa de monitoramento que possa acompanhar a expansão territorial do agronegócio e da área urbana e as ações antrópicas que interferem na manutenção da qualidade ambiental do meio físico. Neste monitoramento, o banco de dados exerce papel fundamental de instrumentalização para um trabalho de gerenciamento ambiental.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADÂMOLI, J. et al. Caracterização da região dos Cerrados. In: GOEDERT, W.J. (Ed.). *Solos dos Cerrados: tecnologias e estratégias de manejo*. São Paulo: Nobel; Brasília: EMBRAPA, Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados, 1985.p 33-73

ALMEIDA, F.F.M. *Fundamentos geológicos do relevo paulista*. São Paulo: Instituto de Geografia-USP, 1974. 102 p.

AMARAL, N. D. *Noções de Conservação do Solo*. 2.ed. São Paulo: Nobel, 1984.118p.

BELTRAME, A et al. *Influência da desestruturação e compactação na permeabilidade do solo*. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA DE CONSERVAÇÃO DE SOLO, 3^o, 1980. Recife.**Anais...**Recife: UFRPE, 1981. p 236-237.

BERTONI, J. ; LOMBARDI NETO, F. *Conservação do solo* Piracicaba: Livroceres, 1985. 368 p.

BORDAS, M. P.; SEMMELMANN, F. R. Engenharia de Sedimentos. In: TUCCI, C.E.M. (Org.), *Hidrologia-ciência e aplicação* Porto Alegre: UFRGS, ABRH, 1993. p 915-943.

BRASIL, SECRETARIA DA DEFESA CIVIL *Manual de Planejamento em Defesa Civil*. 1999. volume I Brasília: Imprensa Nacional, 1999.

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

CÂMARA, G. et al. *Anatomia de Sistemas de Informação Geográfica* Campinas: UNICAMP, 1996.

CARVALHO, N. O. *Hidrossedimentologia prática* Rio de Janeiro: Companhia de Pesquisa em Recursos Minerais, 1994. 372p.

CASSOL, E. A. et. al. *Erodibilidade do solo "São Jerônimo"(Laterítico Bruno avermelhado distrófico) determinada com simulador de chuva* In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA DE CONSERVAÇÃO DE SOLO, 3^o, 1980. Recife. **Anais...** Recife: UFRPE, 1981. p 203-218.

CAVALIERI, A. *Estimativa da adequação de uso das terras na quadrícula de Mogi Mirim (SP) utilizando diferentes métodos*. Tese (Doutorado) Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1998.

CBERS: Imagem de satélite. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisa Espaciais-INPE, 2004. Disponível em <<http://www.cbears.inpe.br>>Acesso em: outubro/2004.

CELESTINO, T.B.; DINIZ, N.C Informática, In: OLIVEIRA, A M.; BRITO, S. N.A (Ed.) *Geologia de engenharia* São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE), 1998.

CHRISTOFOLETTI, A. *Geomorfologia* 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1974.176 p.

CHRISTOFOLETTI, A. *Geomorfologia fluvial*, v.1 – O Canal Fluvial. São Paulo: Edgard Blucher, 1981.

CHRISTOFOLETTI, A. Análise morfométrica das bacias hidrográficas. *Notícia Geomorfológica*, Campinas, v. 9, n.18, p.35-64, 1969.

COWEN, D.J. *Gis versus CAD versus DMBMS: What are the differences?* American Society for Photogrammetry and Remote Sensing. Department of Geography and SBS Lab. Columbia: University of South Carolina, 1988.

CRÓSTA, A P. *Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto*. Campinas: Instituto de Geociências- Departamento de Metalogênese e Geoquímica/UNICAMP, 1992.

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA (DAEE) *Banco de Dados Pluviométricos do Estado de São Paulo*. Disponível em: <<http://www.dae.com.br> .> Acesso em: novembro/2003.

DUNNE, T.; LEOPOLD, L. *Water in Environmental Planming* San Francisco: W.H.Freeman, 1943. 795 p.

ESTANDISLAU, W. T. et. al. Grau de compactação e retenção de água de latossolos submetidos a diferentes sistemas de manejo *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, n. 23, p.45-51, 1999.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos* Brasília: EMBRAPA, 1999.

FONSECA, H.F. *Otimização de um sistema especialista na avaliação de terras para fins de reflorestamento*. 1999. Tese (Doutorado em Geociências) Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1999.

FLORENZANO, T. G. *Imagens de satélite para estudos ambientais* São Paulo: Oficina de textos, 2002.

FRAGA, G. P. (Coord.) *Subsídios para Planejamento Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Jacaré Pepira. Relatório final.* São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo/Coordenadoria de Planejamento Ambiental, 1989.

FUJIHARA, A K. *Predição de erosão e capacidade de uso do solo numa micorbacia do oeste paulista com suporte de geoprocessamento* 2002. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”/USP. Piracicaba, 2002.

FÚLFARO, V. J. *A Tectônica das Serras de Santana e São Pedro (Serra Geral)* In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 21^o, 1967. Curitiba. *Anais...* Curitiba: FFCL/UFPR, 1967.

FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA IBGE. *Sistema de classificação do uso da terra e do revestimento do solo para utilização com dados de sensores remotos.* Revisão do documento ANDERSON, J. R. et al. Sistema de classificação de uso da terra (U.S. Geological Survey Circular, 671). Tradução de Harold Strang. Rio de Janeiro: IBGE, 1979.

FUNDAÇÃO PREFEITO FARIA LIMA CEPAM. *Consórcio do Rio Jacaré: Relato de uma experiência piloto.* São Paulo: Superintendência de Desenvolvimento Urbano e Rural, 1990.

GIULIANO, G. *Relações entre as estratégias de apropriação do território pelo complexo agroindustrial e pelo ecoturismo em Brotas-SP* 2004 Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2004.

GIOMETTI, A.B.R. *Contribuição ao diagnóstico de Macrozoneamento da Bacia Hidrográfica do Rio Jacaré Pepira-SP* 2004. Dissertação (Mestrado em Geografia) Instituto de Geologia e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista. Rio Claro, 1993.

GIOMETTI, A.B.R. *Diagnóstico e prognóstico ambiental como subsídio para a gestão da Bacia do Ribeirão dos Pinheirinhos ou da Cachoeira –SP* 1988 Tese (Doutorado em Geografia) Instituto de Geologia e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista. Rio Claro, 1998.

GUERRA, A J. T.; CUNHA, S.B. *Geomorfologia e Meio Ambiente* Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996.

INFANTI JR.; FORNASARI FILHO. Processos de dinâmica superficial. In: OLIVEIRA, A. M.; BRITO, S.N.A (Ed.) *Geologia de engenharia* São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE), 1998.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA *Censo Agrícola de 1960 do Estado de São Paulo.* Rio de Janeiro: IBGE, 1970.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA *Censo Agropecuário do Estado de São Paulo em 1970*. Rio de Janeiro: IBGE, 1975.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA *Censo Agropecuário do Estado de São Paulo em 1975*. Rio de Janeiro: IBGE, 1979.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA *Censo Agropecuário do Estado de São Paulo em 1980*. Rio de Janeiro: IBGE, 1983.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA *Censo Agropecuário de 1985: São Paulo*. Rio de Janeiro: IBGE, 1985.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA *Censo Agropecuário de 1996*: tabelas. Disponível em: <<http://www.ibge.com.br>> Acesso em: março/2004.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA *Censo Demográfico de 1960 do Estado de São Paulo*. Rio de Janeiro: IBGE.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA *Censo Demográfico: Tabela 202- População residente por sexo e situação (anos de 1970, 1980, 1991, 1996 e 2000)*. Disponível em: <<http://www.ibge.com.br>> Acesso em: março/2004.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Noções Básicas de Cartografia* (Manuais técnicos em geociências, número 8). Rio de Janeiro: IBGE, 1999.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO *Controle de erosão: bases conceituais e técnicas; diretrizes para o planejamento urbano e regional; orientações para o controle de boçorocas urbanas*. São Paulo: Secretaria de Energia e Saneamento. Departamento de Águas e Energia Elétrica, 1989.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO *Orientações para o combate à erosão no Estado de São Paulo, Bacia do Peixe-Paranapanema*. v. 6, Relatório 24. São Paulo: IPT, 1986.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO *Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo* São Paulo: IPT, 1981. Escala 1:500.000.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO *Mapa Geomorfológico Preliminar do URGHI-13*. São Paulo, 1999. Escala 1: 250.000.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO *Mapa Geológico do Estado de São Paulo*. São Paulo: IPT, 1981. Escala 1: 500.000.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO MINUTA - Relatório no. 40.674. *Diagnóstico atual dos recursos hídricos e estabelecimento de diretrizes técnicas para elaboração do Plano da Bacia Hidrográfica do Tietê/Jacaré*. Disponível em: <<http://www.sigrh.sp.gov.br>> Acesso em: março/ 2005.

IWASA, O Y.; FENDRICH, R. Controle da Erosão Urbana. In: OLIVEIRA, A M.; BRITO, S.N.A (Ed.) *Geologia de engenharia* São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE), 1998.

JORGE, F. N.; UEHARA, K. Águas de Superfície, In: OLIVEIRA, A M.; BRITO, S.N.A (Ed.) *Geologia de engenharia* São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE), 1998.

LANDSAT TM 5: Imagem de satélite. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, 1988. Disponível em:
< <http://www.glcfapp.uniacs.umd.edu:8080/esdi/index.jsp> > Acesso em: outubro/2004.

LOMBARDI NETO; MOLDENHAUER. *Erosividade da chuva - sua distribuição e relação com perdas de solo em Campinas, SP* In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA DE CONSERVAÇÃO DE SOLO, 3º, 1980, Recife. **Anais**. Recife: UFRPE, 1981.p 158.

MAGALHÃES, R. A. *Processos Erosivos e Métodos de Contenção* Ouro Preto: CEEB, 1995.

MAGALHÃES, R. A. *Erosão: definições, tipos e formas de controle*. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO, 7º, 2001, Goiânia. **Anais...** Goiânia: ABGE, 2001.

MAIER, M. H. *Geoecologia, hidrografia, hidroquímica, clima e processos antrópicos da Bacia do Rio Jacaré Pepira* 1983. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas) Departamento de Ciências Biológicas, Universidade Federal de São Carlos (UfsCar). São Carlos, 1983.

MARANDOLA JR., E.; HOGAN, D. J. *Vulnerabilidade: esboço para uma discussão conceitual*. In: SEMINÁRIO SOBRE QUESTÃO AMBIENTAL URBANA: EXPERIÊNCIAS E PERSPECTIVAS, 2004, Brasília. **Textos..** Núcleo de Estudos Urbanos e Regionais da Universidade de Brasília. Brasília, 2004.

MOREIRA, C.V.R.; PIRES NETO, A G. Clima e relevo In: OLIVEIRA, A M.; BRITO, S.N.A (Ed.) *Geologia de engenharia* São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE), 1998.

NIMER, E. Clima In: IBGE, *Geografia do Brasil*. Rio de Janeiro: IBGE, 1977.

NUNES, B. A. et.al. (Coord.) *Manual técnico de geomorfologia* (Manuais técnicos em Geociências, n. 5) Rio de Janeiro: IBGE, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 1995.

OLIVEIRA, J. B. *Levantamento pedológico semi-detalhado do Estado de São Paulo*. Campinas: Instituto Agrônômico, 1981. Escala 1:100.000.

OLIVEIRA, A M. S. Assoreamento em cursos e corpos d'água In: BITAR, O Y. (Coord.) *Curso de Geologia Aplicada ao Meio Ambiente* (Série Meio Ambiente). São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE), Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1995.

OLIVEIRA, A M. S. *Depósitos tecnogênicos e assoreamento de reservatórios. Exemplo do reservatório de Capivara, Rio Paranapanema. SP/PR.* 1994. Tese (Doutorado em Geografia) Departamento de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, USP. São Paulo, 1994.

OLIVEIRA, A M. M. *Análise da Dinâmica do Uso da Terra: o estudo da Bacia Hidrográfica do Ribeirão São João-SP.* 2000. Dissertação (Mestrado em Geografia) Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista. Rio Claro, 2.000.

PARANHAS FILHO, A . C. et al. Avaliação multitemporal das perdas de solos *Boletim Paranaense de Geociências* Curitiba: Universidade Federal do Paraná, número 52, 2003.

PENTEADO, M. M. Caracterização climática do Planalto de Torrinha –São Pedro e Brotas (SP). *Notícia Geomorfológica*, Campinas, v. 11, n. 22, p 57-69, 1971.

PENTEADO, M. M. *Fundamentos de geomorfologia.* Rio de Janeiro: IBGE, 1974. 158 p.

PINTO, S. A. F. *Utilização de técnicas de sensoriamento remoto para a caracterização de erosão do solo no SW do Estado de São Paulo* 1982. Dissertação (Mestrado) São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisa Espacial, 1982.

PINTO, S. A. F. *Contribuição metodológica para análise de indicadores da erosão do solo utilizando técnicas de sensoriamento remoto, geoprocessamento e modelo predictivo.* 1995. Tese (Livre-Docência) Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista. Rio Claro, 1995.

PINTO, R. C. G. *Interações entre o Mapeamento Geomorfológico e o Geológico como ferramenta na análise de processos erosivos no W do Estado de São Paulo.* 1988. Dissertação (Mestrado em Geografia) Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista. Rio Claro, 1998.

PRADO H. *Manejo dos solos: descrições pedológicas e suas implicações* São Paulo: Nobel, 1991.

PRANDI, E.C. *Aspectos evolutivos de erosões (ravinas e boçorocas) na região de Marília–SP.* 1996. Dissertação (Mestrado em Geotécnica) Escola de Engenharia de São Carlos, USP. São Carlos, 1996.

PRIMAVESI, A M. *Manejo ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais.* 9º ed. São Paulo: Nobel, 1987.

QUEIROZ NETO, J.P. *Erosão dos solos tropicais e seu controle: o exemplo do Estado de São Paulo* In: Simpósio Nacional de Controle de Erosão, 7º, 2001, Goiânia. **Palestra**. Goiânia: ABGE, 2001.

RESENDE, M. et.al. *Pedologia: base para distinção de ambientes*. Viçosa: NEPUT, 1995. 304 p.

RIBEIRO, S.L. *Aplicação do sistema de informação geográfica nacional ao estudo de erosão dos solos por meio do modelo EUPS na microbacia hidrográfica do Ribeirão Araquá-SP*. 2000. Dissertação (Mestrado em Geografia). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista. Rio Claro, 2000.

RIDENTE JR. et al. *Análise da erosão no município de São Manuel, SP*. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO, 7º, 2001. Goiânia. **Anais...** Goiânia: ABGE, 2001.

RISSO, A.; CHEVALIER, P. *Uso de um modelo numérico do terreno para a obtenção dos parâmetros topográficos da Equação Universal de Perda de solo modificada*. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 9º, 1991. Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: ABRH, 1992.

ROSA, R. *Erosão Laminar Potencial em Microbacias Hidrográficas*. Instituto de Geografia, Universidade Federal de Uberlândia. SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO, 7º, 2001. Goiânia. **Anais...** Goiânia, 2001.

SALOMÃO, F.X.T. ; IWASA, O Y. *Erosão e a ocupação rural e urbana* In: BITAR, O Y. (Coord.) *Curso de Geologia Aplicada ao Meio Ambiente* (Série Meio Ambiente). São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE), Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1995.

SALOMÃO, F.X.T. *Processos erosivos lineares em Bauru (SP): regionalização cartográfica aplicada ao controle preventivo urbano e rural*. São Paulo. 1994. Tese (Doutorado em Geografia) Departamento de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, USP. São Paulo, 1994.

SANTOS et al. *Avaliação de perdas de solo por erosão hídrica na Bacia Hidrográfica do Rio Ivaí*. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 13º, 1999. Belo Horizonte: ABRH, 1999.

SÃO PAULO (Estado) DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA; UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA/IGCE *Mapa Geológico do Estado de São Paulo* Rio Claro, 1984. Folhas Bauru (SF 22 ZB) e Campinas (SF 23 Y-A). Escala 1: 250.000.

SÃO PAULO (Estado) SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE. *APAs – Áreas de Proteção Ambiental Estaduais – Proteção e Desenvolvimento em São Paulo*. São Paulo, 2001.

SÃO PAULO (Estado) SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE. *Atlas das Unidades de Conservação Ambiental do Estado de São Paulo*. São Paulo, 2001.

SÃO PAULO (Estado) SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE. *Proposta para regulamentação da APA Corumbataí e Piracicaba ÁREA I*. São Paulo, 1998.

SETZER, J. *Atlas de evapotranspiração efetiva no Estado de São Paulo*. São Paulo: DAEE, 1976.

SOARES, P. C.; FIORI, A. P. Lógica e sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas em geologia. *Notícia Geomorfológica*, Campinas, v. 16, n.32, p. 71-104, 1976.

STEIN, D. P.; DONZELLI, P. L.; GIMENEZ, F. A.; PONÇANO, L.; LOMBARDI NETO, F. *Potencial de Erosão Laminar, Natural e Antrópica na Bacia do Peixe-Parapanema*. In: IV SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO, 4º, 1987. Marília. **Anais...** Marília: ABGE/DAEE, 1987.

STEIN, D. P. *Avaliação da degradação do meio físico da bacia do Rio Santo Anastácio, Oeste Paulista*. 1999. Tese (Dourado em Geociências) Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista. Rio Claro, 1999.

SILVA, A. B. *Sistemas de Informações Geo-referenciadas: conceitos e fundamentos* Campinas: UNICAMP, 1999. 236p.

SILVA, A. M., et al. *Erosão e Hidrossedimentologia em Bacias Hidrográficas* São Carlos: Rima, 2003. 140p.

TEIXEIRA, A. L. A.; MORETTI, E.; CHRISTOFOLETTI, A. *Introdução aos Sistemas de Informação Geográfica* Rio Claro: Edição do Autor, 1992. 80 p.

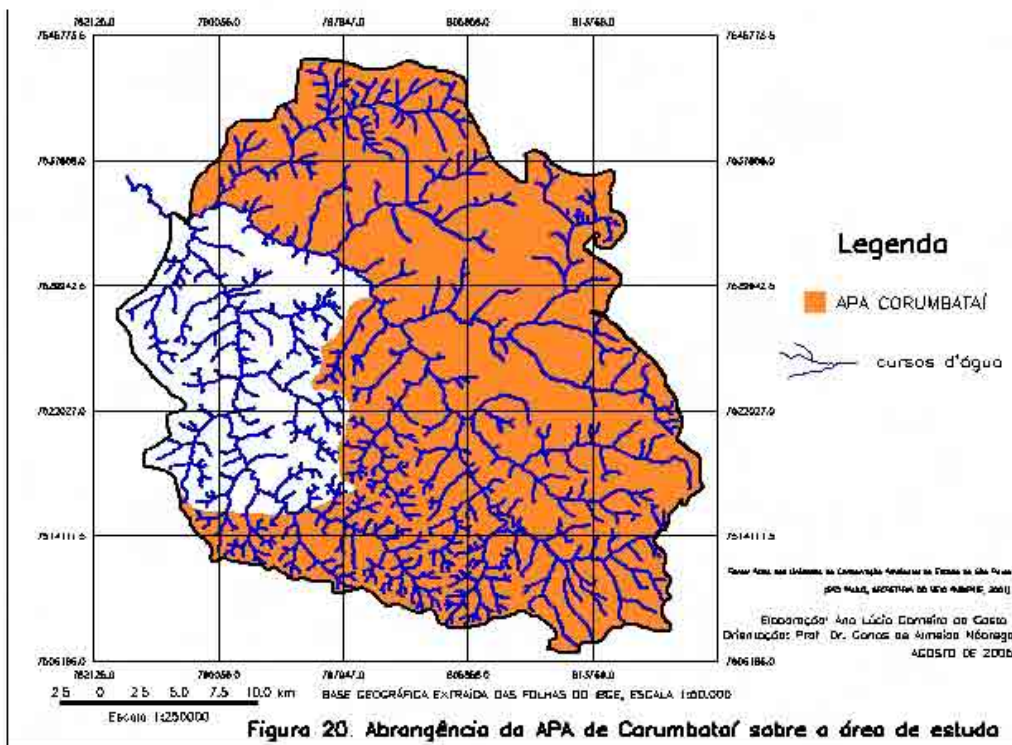
TOREZAN, F. E.; LORANDI, R. *Carta de Risco Potencial à Erosão Acelerada da Bacia do Rio Bonito, município de Descalvado-SP*. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO. 7º, 2001. Goiânia. **Anais...** Goiânia: ABGE, 2001.

TROPPEMAIR, H. *Geossistemas e Geossistemas Paulistas*. Rio Claro: UNESP; Edição do Autor, 2000.

VALÉRIO FILHO, M. Técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto aplicadas ao estudo integrado de bacias hidrográficas In: FERREIRA, M. E. e CRUZ, M. C. P. *Solos altamente suscetíveis à erosão*. Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista. Jaboticabal: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1994.

VIEIRA, L. S. *Manual da ciência do solo*. São Paulo: Agronômica Ceres, 1975.

ANEXOS



Programas realizados em LEGAL (Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico)

Programas para atribuição dos parâmetros das sub-bacias

1. Determinação da declividade média dos geo-objetos

```
{
// =====
// DECLARAÇÕES
// =====
Cadastral map ("Cadsubbacias");
Objeto obj ("bacia");
Numerico num ("Numérico");

// =====
// INSTANCIACIONES
// =====
// Recupere a variável do tipo Cadastral.
map = Recupere (Nome = "subbacias");

// Recupere a variável do tipo Numérico (mapa de altimetria).
num = Recupere (Nome = "declividade");

// =====
// OPERAÇÃO
// =====
// Execute a operação de atualização (Atualize).
// ATENÇÃO: Criar o atributo DECLIVID como valor real antes!

obj."DEP" = Atualize (num, obj OnMap map, MedZ);

}
```

2. Determinação da declividade mínima e máxima dos geo-objetos

```
{
// =====
// DECLARAÇÕES
// =====
Cadastral map ("Cadsubbacias");
Objeto obj ("bacia");
Numerico num ("Hipsometria");

// =====
// INSTANCIACIONES
// =====
// Recupere a variável do tipo Cadastral.
map = Recupere (Nome = "subbacias");

// Recupere a variável do tipo Numérico (mapa de altimetria).
num = Recupere (Nome = "hipsometria");

// =====
```

```

// OPERAÇÃO
// =====
// Execute a operação de atualização (Atualize).
// ATENÇÃO: Criar o atributo DECLIVID como valor real antes!

obj."MINALT" = Atualize (num, obj OnMap map, MinZ);

}
// =====
// OPERAÇÃO
// =====
// Execute a operação de atualização (Atualize).
// ATENÇÃO: Criar o atributo DECLIVID como valor real antes!

obj."MAXALT" = Atualize (num, obj OnMap map, MaxZ);

}

```

Programas para aplicação da Equação Universal de Perdas de Solo

1.Espacialização do atributo extensão do percurso superficial

```

//

{
// =====
// DECLARAÇÕES
// =====
Cadastral      sub ("Cadsub-bacias");
Objeto         obj ("bacia");
Numerico       Eps ("Grades");

// =====
// INSTANCIACIONES
// =====

// Recupere o mapa de sub-bacias.
sub = Recupere (Nome = "sub-bacias");

// Crie o PI Numérico para o atributo a ser espacializado,
// no caso o Eps
Eps = Novo (Nome="EPS", ResX=25, ResY=25, Escala=50000, Min=0,
Max=10000);

// =====
// OPERAÇÕES
// =====

// Efetuar a espacialização (Espacialize) do atributo
// EPS
Eps = Espacialize (obj."EPS" OnMap sub);

}

```

2. Ponderação dos índices de erodibilidade no mapa pedológico

```
{  
  
//  DECLARAÇÕES  
  
Tematico solos ("Pedologia");  
Numerico soloN ("Grades");  
Tabela  soloT (Ponderacao);  
  
//  INSTANCIACIONES  
  
solos = Recuperar (Nome="solos");  
  
//  Crie a tabela de ponderação com os valores acima definidos.  
soloT = Novo (CategoriaIni = "solos",  
              "latossolo roxo" : 0.12,  
              "latossolo vermelho escuro" : 0.17,  
              "latossolo vermelho amarelo" : 0.13,  
              "terra roxa estruturada" : 0.18,  
              "podzolico vermelho amarelo" : 0.3,  
              "areia quartzosa profunda" : 0.22,  
              "litolico":0.5,  
              "hidromorfico" : 0.11);  
  
//  Crie o PI Numerico de saída.  
soloN = Novo (Nome="erodibilidade" , ResX=30, ResY=30, Escala=100000,  
             Min = 0, Max = 1);  
  
//  =====  
//  OPERAÇÕES  
//  =====  
//  Execute a operação de Ponderação (Pondere)  
//  sobre o mapa de solos  
soloN = Pondere (solos, soloT);  
  
}
```

3. Aplicação da equação do fator topográfico

```
{  
  
//  DECLARAÇÕES  
  
Numerico de ("Grades");  
Numerico eps ("Grades");  
Numerico LS ("Grades");  
  
//  INSTANCIACIONES  
//  =====  
//  Recuperar a variável do tipo Numérico (grade).  
de = Recuperar (Nome = "declividade");  
  
//  Recuperar a variável do tipo Numérico (grade).  
eps = Recuperar (Nome = "EPS");  
  
//  Crie o PI Numerico de saída.
```

```

LS = Novo (Nome = "FatorLS", ResX=25, ResY=25, Escala=50000,Min = 0, Max
=10000);

// =====
// OPERAÇÕES
// =====
// Execute a operação
//
LS = 0.00984*((eps*1000)^0.63)*(de^1.18);

}

```

4. Aplicação da equação do Potencial Natural de Erosão (PNE)

```

{
// DECLARAÇÕES

Numerico LS ("Grades");
Numerico erod ("Grades");
Numerico PNE ("Grades");

// INSTANCIACIONES
// =====
// Recupere a variável do tipo Numérico (grade).
LS = Recupere (Nome = "FatorLS");

// Recupere a variável do tipo Numérico (grade).
erod = Recupere (Nome = "erodibilidade");

// Crie o PI Numerico de saída.
PNE = Novo (Nome = "PNE", ResX=25, ResY=25, Escala=50000,Min = 0, Max
=10000);

// =====
// OPERAÇÕES
// =====
// Execute a operação
//
PNE = 717*LS*erod;

}

```

5. Fatiamento dos valores do índice do fator topográfico

```

{
// =====
// DECLARAÇÕES
// =====
Numerico fator ("Grades");
Tematico LS ("PNE");
Tabela tab (Fatiamento);
// =====

```

```

//  INSTANCIACÕES
//  =====
//  Recupere a variável do tipo Numérico (grade).
fator = Recupere (Nome = "FatorLS");

//  Crie a tabela com os valores acima definidos.
tab = Novo (CategoriaFim = "PNE",
           [0,4] : "BAIXA",
           [4,8] : "MÉDIA",
           [8,10000] : "ALTA" );

//  Crie o PI Tematico de saida.
LS = Novo (Nome = "Class_LS", ResX=25, ResY=25, Escala=50000);

//  =====
//  OPERAÇÕES
//  =====
//  Execute a operação de Fatiamento (Fatie)
//
LS = Fatie (fator, tab);

}

```

6. Fatiamento dos índices de erodibilidade

```

{
//  =====
//  DECLARAÇÕES
//  =====
Numerico solos ("Grades");
Tabela tab (Fatiamento);
Tematico erod ("PNE");

//  =====
//  INSTANCIACÕES
//  =====
//  Recupere a variável do tipo Numérico (grade).
solos = Recupere (Nome = "erodibilidade");

//  Crie a tabela com os valores acima definidos.
tab = Novo (CategoriaFim = "PNE",
           [0,0.15] : "BAIXA",
           [0.15,0.3] : "MÉDIA",
           [0.3,1] : "ALTA" );

//  Crie o PI Tematico de saida.
erod = Novo (Nome = "Class_erod", ResX=25, ResY=25, Escala=50000);

//  =====
//  OPERAÇÕES
//  =====
//  Execute a operação de Fatiamento (Fatie)
//
erod = Fatie (solo, tab);

```



```
}
```

7. Classificação do Potencial Natural de Erosão

```
{
// =====
// DECLARAÇÕES
// =====

Tematico LS ("PNE");
Tematico erod ("PNE");
Tematico PNE ("PNE");

// =====
// INSTANCIACIONES
// =====
// Recupere a variável do tipo Temática (mapa de solos).
erod = Recupere (Nome = "Class_erod");

// Recupere a variável do tipo Temática (mapa do fator LS).
LS = Recupere (Nome = "Class_LS");

// Crie o PI Temático de saída.
PNE = Novo (Nome = "Class_PNE", ResX=25, ResY=25, Escala=50000);

// =====
// OPERACIONES
// =====
// Execute a operação booleana (Atribua),segundo
// a regra acima especificada.
PNE = Atribua (CategoriaFim = "PNE")
{
  "ALTA" : (erod.Classe == "ALTA"  && LS.Classe == "ALTA" ),
  "MÉDIA" : (erod.Classe == "MÉDIA" && LS.Classe == "MÉDIA" ),
  "BAIXA" : (erod.Classe == "BAIXA"  && LS.Classe == "BAIXA" ),
  "MÉDIA" : (erod.Classe == "ALTA"  && LS.Classe == "BAIXA" ),
  "ALTA" : (erod.Classe == "BAIXA"  && LS.Classe == "ALTA" ),
  "MÉDIA" : (erod.Classe == "MÉDIA"  && LS.Classe == "BAIXA" ),
  "MÉDIA" : (erod.Classe == "BAIXA"  && LS.Classe == "MÉDIA" ),
  "ALTA" : (erod.Classe == "ALTA"  && LS.Classe == "MÉDIA" ),
  "ALTA" : (erod.Classe == "MÉDIA"  && LS.Classe == "ALTA" )
};
}
```

8. Ponderação dos valores do fator uso-manejo nos mapas de ocupação*

```
// DECLARAÇÕES

Tematico classe ("Ocupação");
Numerico C ("Grades");
Tabela cT (Ponderacao);
```

```

//  INSTANCIASÕES

classe = Recupere (Nome="CENÁRIO_1988");

//  Crie a tabela de ponderação com os valores acima definidos.
cT = Novo (CategoriaIni = "Ocupação",
          "mata" : 0.00004,
          "cerrado" : 0.0007,
          "lavoura" : 0.1,
          "cultura permanente" : 0.02,
          "reflorestamento" :0.0001,
          "cana de açúcar": 0.05,
          "pasto":0.005,
          "várzea" : 0,
          "água":0,
          "solos exposto" : 1);

//  Crie o PI Numerico de saída.
C = Novo (Nome="FatorC_1988" , ResX=25, ResY=25, Escala=50000, Min = 0,
Max = 1);

//  =====
//  OPERAÇÕES
//  =====
//  Execute a operação de Ponderação (Pondere)
//  sobre o mapa de classe
C = Pondere (classe, cT);

}

```

9. Ponderação dos valores do fator práticas conservacionistas nos mapas de ocupação*

```

{

//  DECLARAÇÕES

Tematico classe ("Ocupação");
Numerico P ("Grades");
Tabela pT (Ponderacao);

//  INSTANCIASÕES

classe = Recupere (Nome="CENÁRIO_1988");

//  Crie a tabela de ponderação com os valores acima definidos.
pT = Novo (CategoriaIni = "Ocupação",
          "mata" : 1,
          "cerrado" :1,
          "lavoura" : 0.5,
          "cultura permanente" : 0.4,
          "reflorestamento" :0.4,
          "cana de açúcar": 0.5,
          "pasto":1,

```

```

        "várzea" : 0,
        "água":0,
        "solos exposto" : 0.5);

// Crie o PI Numerico de saida.
P = Novo (Nome="FatorP_1988" , ResX=25, ResY=25, Escala=50000, Min = 0,
Max = 1);

// =====
// OPERAÇÕES
// =====
// Execute a operação de Ponderação (Pondere)
// sobre o mapa de classe
P = Pondere (classe, pT);

}

```

10. Aplicação da equação do Potencial Antrópico de Erosão *

```

{
// DECLARAÇÕES

Numerico C ("Grades");
Numerico P ("Grades");
Numerico CP ("Grades");

// INSTANCIACIONES
// =====
// Recupere a variável do tipo Numérico (grade).
C = Recupere (Nome = "FatorC_1988");

// Recupere a variável do tipo Numérico (grade).
P = Recupere (Nome = "FatorP_1988");

// Crie o PI Numerico de saida.
PA = Novo (Nome = "CP_1988", ResX=25, ResY=25, Escala=50000,Min = 0, Max
=10000);

// =====
// OPERAÇÕES
// =====
// Execute a operação
//
CP = C*P;

}

```

* Estes programas foram executados para o cenário de 1988 e de 2004.

11. Ponderação dos valores do Índice de Perdas de Solo Tolerável no mapa pedológico

```
{
// =====
//  DECLARAÇÕES
//  =====
Tematico solos("solos");
Numerico Tsolos ("Grades");
Tabela  solosT (Ponderacao);

// =====
//  INSTANCIACIONES
//  =====

//  Recupere a variável do tipo Tematico (solos).
solos = Recupere (Nome = "solos");

//  Crie a tabela de ponderação com os valores acima definidos.
solosT = Novo (CategoriaIni = "solos",
               "latossolo roxo" : 12,
               "latossolo vermelho escuro" : 15,
               "latossolo vermelho amarelo" : 14.2,
               "terra roxa estruturada" : 13.4,
               "podzolico vermelho amarelo" :6.6,
               "areia quartzosa profunda": 14,
               "litolico":4.2,
               "hidromorfico" : 20);

//  Crie o PI Numerico de saída.
Tsolos = Novo (Nome = "FatorT", ResX=25, ResY=25, Escala=50000, Min = 0,
Max = 100);

// =====
//  OPERACIONES
//  =====
//  Execute a operação de Ponderação (Pondere)
//  sobre o mapa de solos
Tsolos = Pondere (solos, solosT);
}
```

12. Aplicação da equação do índice CP tolerável

```
{
//  DECLARAÇÕES

Numerico T ("Grades");
Numerico PNE ("Grades");
Numerico CPt ("Grades");

// =====
//  INSTANCIACIONES
//  =====

//  Recupere a variável do tipo Numérico (grade).
T = Recupere (Nome = "FatorT");
//  Recupere a variável do tipo Numérico (grade).
```

```

PNE = Recuperare (Nome = "PNE");

// Crie o PI Numerico de saida.
Cpt = Novo (Nome = "FatorCpt", ResX=25, ResY=25, Escala=50000,Min = 0,
Max =10000);

// =====
// OPERAÇÕES
// =====
// Execute a operação condicional
//
Cpt = PNE != 0 ? T/PNE: T;

//
Cpt = T/PNE;
}

```

13. Aplicação da equação do Grau de Vulnerabilidade à erosão

```

{
// DECLARAÇÕES

Numerico Cpt ("Grades");
Numerico CP ("Grades");
Numerico GVE ("Grades");

// INSTANCIACIONES
// =====

// Recuperare a variável do tipo Numérico (grade).
Cpt = Recuperare (Nome = "FatorCpt");
// Recuperare a variável do tipo Numérico (grade).
CP = Recuperare (Nome = "CP_1988");

// Crie o PI Numerico de saida.
GVE = Novo (Nome = "GVE_1988", ResX=25, ResY=25, Escala=50000,Min = 0,
Max =10000);

// =====
// OPERAÇÕES
// =====
// Execute a operação
//
GVE = CP/Cpt;

}

```

14. Fatiamento dos valores do Grau de Vulnerabilidade à erosão

```

{
// =====
// DECLARAÇÕES
// =====
Numerico PNE ("Grades");

```

```

Numerico GVE ("Grades");
Tematico GVE("GVE");

// =====
// INSTANCIACÕES
// =====

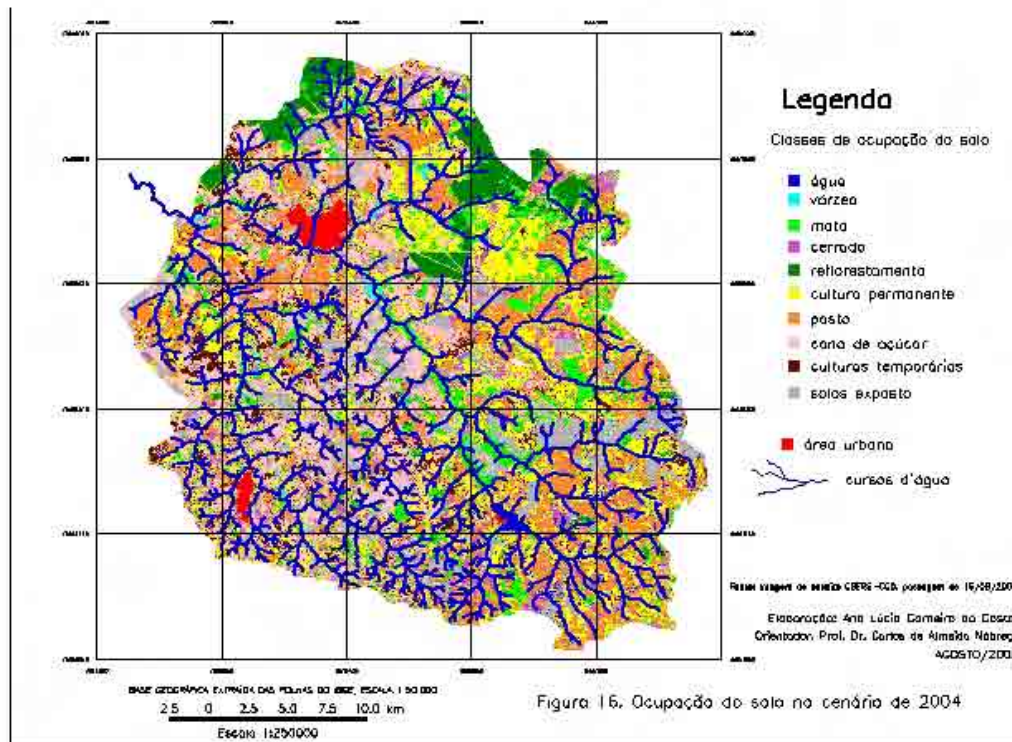
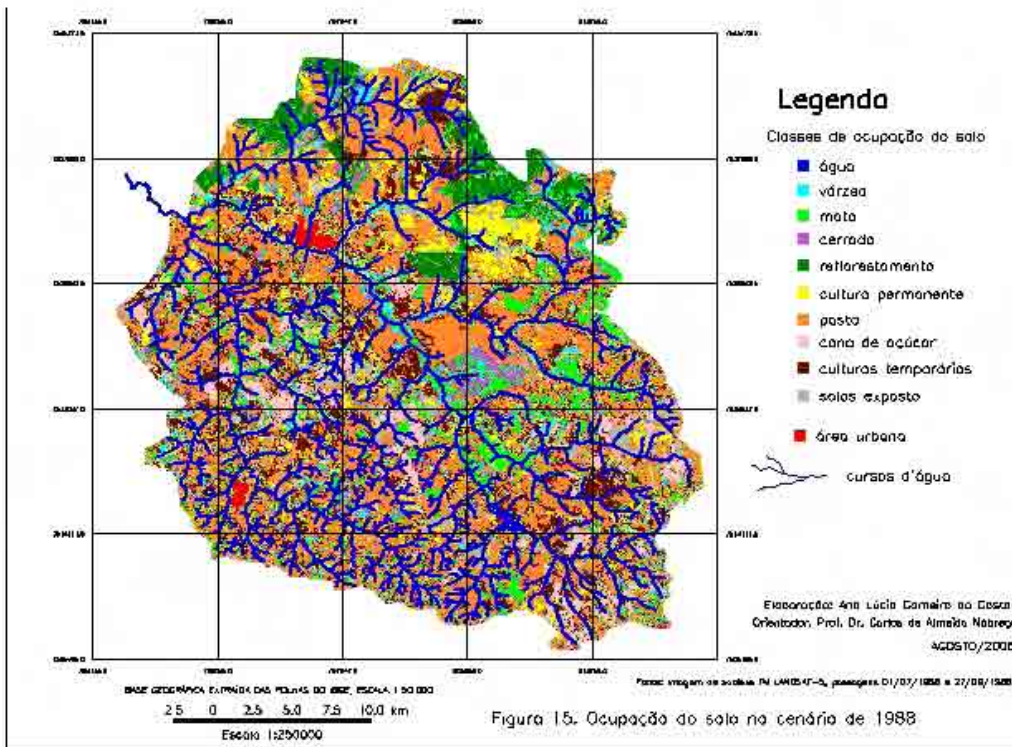
// Recupere a variável do tipo Numérico (grade).
PNE = Recupere (Nome = "PNE");

// Recupere a variável do tipo Numérico (grade).
GVE = Recupere (Nome = "GVE_1988");

// Crie o PI Tematico de saida.
GVE = Novo (Nome = "GVE_1988", ResX=25, ResY=25, Escala=50000);

// =====
// OPERAÇÕES
// =====
// Execute a operação de Fatiamento (Fatie)
//
// Execute a operação booleana
FGVE = Atribua (CategoriaFim = "GVE")
{
"BAIXA": (GVE <= 1.0),
"MÉDIA": (GVE > 1.0 && GVE < 1.5),
"ALTA"   : (GVE >= 1.5 && GVE < 3),
"MUITO ALTA" : (GVE >= 3)
};
}

```



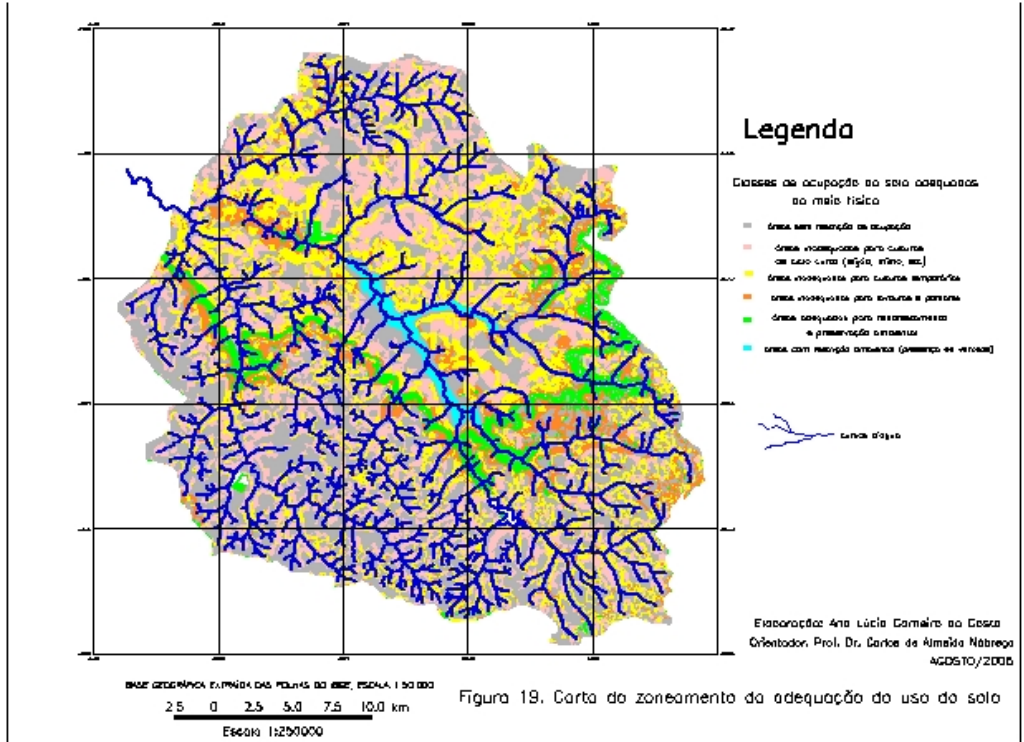


Figura 19. Carta do zoneamento da adequação do uso do solo