

MARCIEL LOHMANN

*ESTUDO MORFOPEDOLÓGICO DA BACIA DO ARROIO GUASSUPI,
SÃO PEDRO DO SUL – RS: SUBSÍDIO À COMPREENSÃO DOS
PROCESSOS EROSIVOS*

CURITIBA

2005

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS DA TERRA
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA
MESTRADO EM GEOGRAFIA

***ESTUDO MORFOPEDOLÓGICO DA BACIA DO ARROIO GUASSUPI,
SÃO PEDRO DO SUL – RS: SUBSÍDIO À COMPREENSÃO DOS
PROCESSOS EROSIVOS***

MARCIEL LOHMANN

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre. Curso de Pós-Graduação em Geografia. Área de Concentração em Análise e Gestão Ambiental. Setor de Ciências da Terra. Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Leonardo José Cordeiro Santos

CURITIBA

2005



PARECER

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Curso de Pos-Graduação em Geografia, reuniram-se para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado, apresentada pelo candidato **Marciel Lohmann**, intitulada “**Estudo Morfopedológico da Bacia do Arroio Guassupi, São Pedro do Sul-RS subsídio à compreensão dos processos erosivos**”, para obtenção do grau de **Mestre** em Geografia, do Setor de Ciências da Terra da Universidade Federal do Paraná, Área de Concentração **Análise e Gestão Ambiental**

Apos haver analisado o referido trabalho e arguido o candidato, são de parecer pela **APROVAÇÃO** da Dissertação com **MENÇÃO DESTAQUE**
Curitiba, 28 de março de 2005

Prof. Dr **Leonardo José Cordeiro Santos**
(Orientador e Presidente da Banca)

Profª **Dra Selma Simões de Castro (UFG)**

Profª **Dra Chisato Oka Fiori - UFPR**

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais Julio e Solange Maria Lohmann, ao meu irmão Ismael Lohmann e minha namorada Camilla, sempre meus grandes incentivadores.

*...não há saber mais ou
saber menos, há saberes
diferentes.*

Paulo Freire

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Paraná por ter me oportunizado realizar o curso de Mestrado em Geografia.

À Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal em Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de mestrado.

Aos meus pais, Julio Astor Lohmann e Solange Maria Lohmann e meu irmão Ismael, pelo amor e incentivo incondicionais oferecidos na busca de novos conhecimentos.

A minha namorada Camilla, pelo amor e incentivo e porque soube entender o fato de ficarmos longe, e diga-se de passagem, a aproximadamente 2.500 Km de distância.

A todos meus familiares pela confiança, incentivo e apoio.

Ao professor Dr. Leonardo José Cordeiro Santos pela orientação e sugestões fornecidas durante a elaboração do trabalho e, acima de tudo, pela amizade construída ao longo destes dois anos de convivência. Além disso, companheiro das partidas de futebol nas segundas-feiras.

Ao professor Dr. Roberto Cassol da UFSM pela amizade e apoio logístico concedido durante os trabalhos de campo em São Pedro do Sul-RS.

A professora Dr^a. Chisato Oka Fiori pelo auxílio para solucionar algumas dúvidas dos mapas de geomorfologia e ainda pela participação na banca de avaliação desta dissertação.

A professora Dr^a. Selma Simões de Castro pela indicação e envio de bibliografias que muito contribuíram, e pela participação na banca de avaliação desta dissertação.

Ao secretário do curso de mestrado Luiz Carlos Zem, mais conhecido apenas como “Zem”, pelo apoio concedido durante a realização do curso, mas acima de tudo, pela grande pessoa e pelo grande amigo que é.

Ao Flavio Deppe, Eduardo e Ivonei do SIMEPAR pelo auxílio na solução de alguns problemas relacionados aos trabalhos envolvendo geoprocessamento.

Aos amigos e colegas de curso, em especial ao Paulo, Sandro, Pedro, Anderson, Claudião, Raul, Camila e Marcelo pela amizade e pela troca de informações. Aos demais colegas da pós-graduação pelo agradável convívio durante o curso.

A galera do sagrado futebol de segunda-feira que servia como válvula de escape pra rotina de toda a semana, Raul, Paulo, Edgar, Zem, Leo, Eduardo, Miltão.

À “irmandade” e a nova “família”, Cleber e Cláudio, colegas de república, pelo apoio, incentivo e pelas conversas diárias.

A amiga Hianaê, grande pessoa, pelo apoio e pelas conversas que distraiam, alegravam e tiravam um pouco da saudade da família e dos amigos que ficaram longe.

A grande amiga Elisângela, colega de graduação na UFSM, que mesmo longe, sempre mostrou seu apoio e incentivo.

Aos amigos Sandro Kreuz, Jesus, Osvaldinho, Pidi e Maninho que me acolheram em sua casa nos primeiros dias de Curitiba.

A todos que direta ou indiretamente prestaram alguma contribuição no desenvolvimento do trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	vi
LISTA DE TABELAS.....	viii
LISTA DE QUADROS.....	ix
RESUMO.....	x
ABSTRACT.....	xi
1. INTRODUÇÃO	1
2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS E METODOLÓGICOS DA PESQUISA	8
2.1 A Questão Ambiental e a Erosão.....	8
2.2 Processo Erosivo.	16
2.3 Tipos de Erosão	19
2.4 Fatores Atuantes no Desenvolvimento dos Processo Erosivo.....	27
2.4.1 Chuva.....	27
2.4.2 Solo.....	28
2.4.3 Topografia.....	30
2.4.4 Cobertura Vegetal.....	32
2.4.5 Ação Antrópica.....	33
2.5 Métodos de Pesquisa Utilizados no Estudo da Erosão.....	36
2.6 Abordagem Morfopedológica.....	42
3. METODOLOGIA.....	46
3.1 Concepção Metodológica.....	46
3.2 Técnicas e Procedimentos Operacionais.....	47
4. MORFOPEDOLOGIA: SUBSÍDIO A COMPREENSÃO EROSIVA.....	59
4.1 Caracterização Geral do Meio Físico.....	59
4.1.1 Geologia.....	60
4.1.2 Clima.....	64
4.1.3 Geomorfologia.....	65
4.1.4 Solos.....	73
3.5 Vegetação.....	79
3.6 Uso da Terra.....	80
4.2 Caracterização dos Compartimentos Morfopedológicos e Suscetibilidade Erosiva.....	85
5. CONCLUSÃO.....	117
6. BIBLIOGRAFIA	121

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 -	Mapa de localização da área de estudo.....	7
FIGURA 2 -	Mapa de Geologia da Bacia hidrográfica do Arroio Guassupi.....	61
FIGURA 3 -	Mapa Hipsométrico da Bacia hidrográfica do Arroio Guassupi.....	68
FIGURA 4 -	Mapa Clinográfico da Bacia hidrográfica do Arroio Guassupi.....	69
FIGURA 5 -	Mapa de Compartimentos Geomorfológicos da Bacia hidrográfica do Arroio Guassupi.....	70
FIGURA 6 -	Mapa de Solos da Bacia hidrográfica do Arroio Guassupi.....	73
FIGURA 7 -	Área de ocorrência de Argissolo Vermelho.....	74
FIGURA 8 -	Área de ocorrência de Argissolo Vermelho Amarelo.....	75
FIGURA 9 -	Perfil de CX ve fom – Cambissolo Háplico Ta Eutrófico léptico textura argilosa fase relevo forte ondulado e montanhoso.....	76
FIGURA 10 -	Perfil de GMe – Gleissolo Melânico Eutrófico típico.....	77
FIGURA 11 -	Perfil RLe 2 – Neossolo Litólico Eutrófico típico A moderado textura arenosa fase relevo forte ondulado e montanhoso.....	78
FIGURA 12 -	Mapa de Uso da Terra da Bacia Hidrográfica do Arroio Guassupi.....	81
FIGURA 13 -	Quantificação das classes de uso da terra.....	82
FIGURA 14 -	Quantificação das áreas dos compartimentos morfopedológicos.....	87
FIGURA 15 -	Mapa de Compartimentos Morfopedológicos da Bacia Hidrográfica do Arroio Guassupi.....	88
FIGURA 16 -	Relevo residual de topo aguçado – morro testemunho.....	89
FIGURA 17 -	Arroz irrigado (1ºplano) e superfícies levemente mais elevadas (2º plano).....	92
FIGURA 18 -	Aspectos gerais da utilização do MP I.....	93
FIGURA 19 -	Mapa de Suscetibilidade a Erosão Linear da Bacia Hidrográfica do Arroio Guassupi.....	94
FIGURA 20 -	Vista geral do MP II.....	97
FIGURA 21 -	Voçoroca de pequeno porte sobre o arenito Botucatu.....	99
FIGURA 22 -	Voçoroca em estágio inicial e fenômeno de “piping”.....	100
FIGURA 23 -	Erosão complexa de grande porte.....	101
FIGURA 24 -	Erosão linear do tipo ravina.....	102
FIGURA 25 -	Presença de terracetes na encosta (A) e detalhe dos terracetes (B).....	105

FIGURA 26 -	Uso e ocupação do solo em uma vertente do MP III.....	109
FIGURA 27 -	Voçoroca de pequeno porte sobre o Cambissolo (A) e início do processo de voçorocamento em (B).....	111
FIGURA 28 -	Ravina sobre área de campo.....	112
FIGURA 29 -	Início do processo erosivo em (A) e evolução do processos erosivo em (B).....	113
FIGURA 30 -	Ocorrência erosiva conectada a ravina em (A) e ocorrência erosiva ativa não conectada a ravina em (B).....	114
FIGURA 31 -	Erosões do tipo complexas em A e B.....	115

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 -	População do município de São Pedro do Sul em 1991 e 2000.....	59
TABELA 2 -	Classes de uso da terra para o ano de 2002.....	80
TABELA 3 -	Áreas de cada classe de solo – MP I.....	90
TABELA 4 -	Áreas das diferentes Formações Geológicas – MP I.....	90
TABELA 5 -	Uso e ocupação do solo no MP I.....	91
TABELA 6 -	Áreas das diferentes Formações Geológicas – MP II.....	95
TABELA 7 -	Áreas de cada classe de solo – MP II.....	96
TABELA 8 -	Uso e ocupação do solo no MP II.....	97
TABELA 9 -	Áreas das diferentes Formações Geológicas – MP III.....	107
TABELA 10 -	Áreas de cada classe de solo – MP III.....	107
TABELA 11 -	Uso e ocupação do solo no MP III.....	108

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 -	Roteiro Metodológico.....	45
QUADRO 2 -	Quadro síntese com as principais características de cada compartimento morfopedológico.....	86

RESUMO

ESTUDO MORFOPEDOLÓGICO DA BACIA DO ARROIO GUASSUPI, SÃO PEDRO DO SUL – RS: SUBSÍDIO À COMPREENSÃO DOS PROCESSOS EROSIVOS

A presente pesquisa tem como objetivos identificar e analisar, a inter-relação entre solos, relevo e substrato geológico, a fim de diagnosticar e compreender a gênese e evolução dos processos erosivos existentes na bacia hidrográfica. A área de estudo constitui-se na bacia hidrográfica do Arroio Guassupi, localizada no município de São Pedro do Sul /RS. Para alcançar os objetivos propostos, utilizou-se a abordagem morfopedológica proposta por Castro & Salomão (2000) que, fundamenta-se nas concepções que enfocam as inter-relações entre o substrato geológico, o relevo e os solos, de maneira a compreender o comportamento erosivo e servir de base para o planejamento do uso do solo da bacia. Tal abordagem fundamenta-se na delimitação, compreensão e funcionamento dos compartimentos morfopedológicos que constituem unidades tempo-espaciais homogêneas e intrínsecas do meio físico. Esta metodologia permitiu a identificação de três compartimentos morfopedológicos da área de estudo, que foram expressos no principal produto elaborado pela pesquisa, ou seja, o mapa morfopedológico da bacia do Arroio Guassupi na escala 1:50.000. Os resultados obtidos mostram que a distribuição dos focos erosivos está associada a condicionantes naturais e antrópicos. As erosões localizam-se principalmente sobre os solos do tipo Argissolos e Cambissolos, desenvolvidos a partir de rochas da Formação Botucatu e Serra Geral e que atualmente são utilizados sem práticas conservacionistas adequadas, que promovem a concentração do escoamento das águas pluviais, desenvolvendo os processos erosivos. O mapa de compartimentos morfopedológicos tem fundamental importância para as considerações com relação à suscetibilidade ao desenvolvimento dos processos erosivos em cada compartimento e para propor medidas de controle preventivo de uso e ocupação do espaço e dos solos na bacia.

ABSTRACT

MORPHOPEDOLOGICAL STUDY OF THE ARROIO GUASSUPI WATER BASIN, SÃO PEDRO DO SUL – RIO GRANDE DO SUL (RS): BASIS FOR UNDERSTANDING EROSION PROCESSES

This research aims to identify and analyse the relationship between soils, relief and bedrock, in order to diagnose and understand the genesis and evolution of the erosion processes which take place in the water basin. The selected area of study is the Arroio Guassupi water basin, in the municipality of São Pedro do Sul /RS. In order to reach these objectives, this work is based on the morphopedological approach, proposed by Castro & Salomão (2000). It focuses on the relationships between the bedrock, the relief and soils, providing some understanding of the erosion patterns and basis for soil-use planning in the basin. This approach is based on the delimitation, understanding and functioning of the morphopedological compartments, which are homogenous time-space environmental units. This methodology allows the identification of three morphopedological compartments in the studied area, which have been outlined in the main product of this research: the morphopedological map of Arroio do Guassupi water basin, with a 1:50.000 scale. The result shows that the distribution of erosive occurrences is related to both natural and anthropogenic causes. The erosion occurs mainly over Alfisol and Inceptisol soil, stemming from Botucatu and Serra Geral Formations. Currently, these soils have been used without appropriate conservation practices, causing the concentration of rainwater and developing erosion processes. The morphopedological map is fundamental for the considerations related to the susceptibility to the development of erosion processes in each compartment, as well as the proposition of measures for preventive control regarding the usage and occupation of the land and the soil in the basin.

1. INTRODUÇÃO

A problemática ambiental vivida atualmente pela população mundial advém desde tempos remotos, a partir do momento em que o homem passa a explorar a natureza para sobreviver e subjugar os recursos como se fossem infinitos. As florestas e as águas são recursos vitais para a ocorrência de vida no nosso planeta, mas as corridas para o enriquecimento rápido e o favorecimento de grupos econômicos dominantes têm levado à degradação e ao exaurimento desses recursos. No nosso país a realidade não é diferente, pois os recursos naturais encontram-se em avançado estado de desequilíbrio.

Franco (2001) ressalta que mesmo sendo conhecido o potencial destrutivo das formas de ocupação do espaço, dos sistemas produtivos e das formas de exploração dos recursos naturais há vários anos, somente a partir da década de 70 a problemática ambiental passou a sensibilizar e a preocupar a sociedade em nível mundial, devido à manifestação de um conjunto de sinais, os quais anunciavam a insustentabilidade do desenvolvimento planetário pelos caminhos percorridos principalmente pelos países desenvolvidos.

Dentre os problemas de ordem ambiental a erosão do solo é um dos mais graves, comprometendo a qualidade e a quantidade da produção de alimentos e relacionada diretamente a escassez dos mesmos e a fome. Bertoni & Lobardi Neto (1990) assinalam que as terras erosionadas são terras que reduziram, muitas vezes, totalmente sua capacidade de produção e por isso em algumas regiões do mundo a luta contra a erosão é fundamental.

Anualmente no Brasil são perdidas em torno de 600 milhões de toneladas de solos agrícolas (BAHIA et al 1992). De acordo com Infanti Jr & Fornasari Filho (1998), os fenômenos associados à formação das erosões são comandados por dois conjuntos de fatores ou condicionantes principais, sendo eles os antrópicos como o desmatamento e as formas de uso e ocupação do solo (agricultura, obras civis, urbanização etc.), que deflagram o processo

erosivo imediatamente ou após certo intervalo de tempo, e os naturais, que determinam a intensidade dos processos, destacando-se como mais importantes a chuva, a cobertura vegetal, o relevo, os tipos de solos e o substrato geológico.

Quando o processo erosivo ocorre sob condições naturais ou não perturbadas, um estado permanente de equilíbrio é estabelecido não se verificando maiores danos, entretanto, quando esta condição de equilíbrio é rompida, a erosão cria sérios problemas, não só na agricultura, ocasionando perda gradual na capacidade produtiva, mas também no manejo dos recursos hídricos, contaminando-os com sedimentos e poluentes de origem difusa.

Segundo Fendrich et al (1997), tal situação se agrava ainda mais pelo inadequado manejo da terra, o qual se deve à ação devastadora do homem no seu desrespeito pelos recursos naturais e pela falta de programas agrícolas educacionais que atendam ao agricultor quanto à necessidade de melhor utilizar a água e o solo.

Com determinadas técnicas e práticas agrícolas inadequadas como, por exemplo, o plantio continuado e mal distribuído de culturas esgotantes e pouco protetoras do solo, o plantio em linhas dirigidas a favor das águas, a queimada dos restos culturais e o pastoreio excessivo, a erosão hídrica pode tomar proporções muitas vezes irreversíveis, tendo como conseqüências não só o depauperamento das terras, mas também a formação de voçorocas e ravinas, impossibilitando grandes áreas de serem utilizadas para a produção agrícola.

Nas áreas urbanas e periurbanas os processos erosivos acelerados também atuam com grande intensidade e são causados, em especial, pela concentração das águas pluviais e servidas, ou seja, devido à falta de uma infraestrutura urbana. Alguns autores destacam que as taxas erosivas em áreas recém desmatadas para a construção de cidades podem ser maiores em apenas um ano, quando comparadas a taxas erosivas equivalentes a décadas nos solos agrícolas.

Na tentativa de buscar soluções para os problemas ambientais, iniciou-se uma série de conferências organizadas pela ONU (Organização das Nações Unidas) para discutir a mundialização das questões ambientais. Prova disto é a conferência de Estocolmo, ocorrida em 1972 na Suécia, que constitui o marco definitivo para a internacionalização e institucionalização das discussões relativas às questões ambientais e o destino que a sociedade estava produzindo para o meio ambiente. Em 1992 ocorre no Rio de Janeiro a Conferência Mundial de Cúpula sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, corroborando a importância das discussões sobre o meio ambiente, os recursos naturais e a exploração dos mesmos. Recentemente, em Joanesburgo na África do Sul ocorreu a Conferência Mundial sobre Desenvolvimento Sustentável também chamada de RIO +10 visando, sobretudo, garantir a sustentabilidade ambiental.

Em nosso país, a gestão ambiental ainda não foi assumida de forma adequada e seu panorama atual caracteriza-se pela falta de articulação entre as diferentes instituições envolvidas, seja pela ausência de coordenação e acompanhamento, seja pela crônica carência de recursos financeiros e humanos para o gerenciamento das questões relativas ao meio ambiente. Na visão de Monteiro (1981), isso decorre da própria forma como se verificou desde os tempos coloniais o desenvolvimento econômico do Brasil, em que a existência de determinados ciclos econômicos enfatizava a exploração exaustiva de nossos recursos naturais.

No contexto brasileiro os problemas ambientais, dentre eles a erosão, têm-se agravado a passos largos e sua lenta resolução tem-se tornado de conhecimento público pelos seus fortes impactos socioambientais. Nesse sentido, torna-se imprescindível que os municípios coloquem em prática políticas ambientais e criem condições para uma gestão ambiental urbana participativa e democrática, objetivo principal apregoado pela Agenda 21.

Levando em consideração esta questão, Farenzena (2002, p. 34) comenta que:

diante dos novos paradigmas e problemáticas ambientais e das novas atribuições concedidas ao poder público municipal, para que este possa desenvolver ações planejadas e orientadas, de forma a cumprir os princípios expostos pela Constituição Federal de 1988 e atendendo as necessidades da coletividade local, promovendo o desenvolvimento harmônico ou menos destrutivo do meio ambiente, tornou-se essencial o conhecimento da organização espacial do município, sua evolução, bem como suas implicações ambientais, devendo-se levar em consideração o processo histórico de ocupação, as relações entre sociedade e natureza e as características culturais, que por sua vez podem exercer grande influência na produção do espaço.

Em função da crescente necessidade de preservação, de recuperação e da utilização adequada dos recursos naturais, é de fundamental importância o conhecimento das variadas formas de se estudá-los. Neste sentido, o recorte espacial que vem sendo bastante utilizado nas chamadas ciências ambientais é aquele que considera como unidade de análise a bacia hidrográfica.

De acordo com Botelho (1999, p. 269), a bacia hidrográfica ou bacia de drenagem é a “área da superfície terrestre drenada por um rio principal e seus tributários, sendo limitada pelos divisores de água”.

Para Odum (1988), a bacia hidrográfica pode ser vista como um sistema aberto cujo funcionamento e estabilidade relativa refletem, em grande parte, as taxas de influxo e os ciclos de energia, da água e de materiais ao longo do tempo. Segundo o autor, as causas e as soluções da degradação da água não serão encontradas olhando-se apenas para dentro da água; geralmente é o gerenciamento incorreto da bacia hidrográfica que destrói os recursos hídricos, portanto, a bacia hidrográfica inteira deve ser a unidade de gerenciamento.

Machado (2002) citando Moldan & Cerny (1994), afirma que do ponto de vista hidrológico, a bacia pode ser considerada como a menor unidade da paisagem capaz de integrar todos os componentes relacionados com a qualidade e disponibilidade de água como: atmosfera, vegetação natural, plantas cultivadas, solos, rochas subjacentes, corpos d’água e paisagem circundante.

Nos últimos anos, a bacia hidrográfica vem sendo utilizada como unidade de análise em estudos sobre erosão, manejo, conservação do solo e da água, fragilidade ambiental entre outros.

Fendrich et al (1997) argumenta que hoje em dia é praticamente impossível planejar, projetar, construir ou manter medidas de conservação e controle nas bacias hidrográficas sem levar em consideração aspectos relacionados à erosão. Grandes avanços em todo o país já foram obtidos nesse campo de pesquisa, principalmente com trabalhos de cunho científico que se utilizaram de diferentes metodologias para alcançar os objetivos propostos. Todas essas informações devem ser utilizadas da melhor forma com vistas ao correto planejamento e manejo das bacias hidrográficas.

Dessa forma, a presente pesquisa justifica-se na medida em que se necessita, atualmente, cada vez mais, conhecer e compreender a organização do espaço e as transformações dele decorrentes, seja em nível local ou de bacia hidrográfica, para que o planejamento e medidas de controle sejam utilizadas como ferramentas na resolução, prevenção e contenção da erosão. Ainda deve-se levar em consideração a realização de análises que integrem o papel que o homem possui como ser transformador da paisagem e do meio em que vive, já que é a ação antrópica um dos principais fatores atuante no desencadear do processo erosivo.

Sendo assim, optou-se em adotar a abordagem morfopedológica neste estudo já que é um técnica que propõe o conhecimento do meio físico, descrição e dinâmica, com vistas à sua análise considerando-o como um sistema, onde as interações específicas definem unidades de igual estrutura, evolução e problemas comuns.

Diante do contexto apresentado, a presente pesquisa tem por objetivo principal identificar e analisar, por meio da abordagem morfopedológica, a inter-relação entre solo, relevo e substrato geológico da bacia hidrográfica do Arroio Guassupi, a fim de diagnosticar e

compreender as suas relações com o comportamento erosivo, e conseqüentemente, a sua suscetibilidade erosiva.

Como objetivos específicos pretende-se:

- Caracterizar os solos e o uso do solo, bem como a hipsometria, declividade, geologia e geomorfologia;
- Mapear as erosões existentes na bacia;
- Diferenciar e descrever os compartimentos morfopedológicos, bem como identificar possíveis hipóteses para explicar a gênese e evolução das ocorrências erosivas.
- Caracterizar a suscetibilidade a erosão linear de cada compartimento, a fim de compreender os diferentes graus de suscetibilidade a que a área em estudo está submetida,

A bacia hidrográfica selecionada para o estudo pertence ao município de São Pedro do Sul (Figura 1), que está situado no centro do estado do Rio Grande do Sul e inserido no Rebordo do Planalto, ou seja, faixa transicional entre a Depressão Central e o Planalto Sul-Riograndense. Esta bacia fora escolhida para estudo, pois se encontra sob ação de processos erosivos intensos, assim como todo o grande compartimento geomorfológico que tem sua evolução ligada diretamente ao recuo de sua escarpa por ação da erosão regressiva.

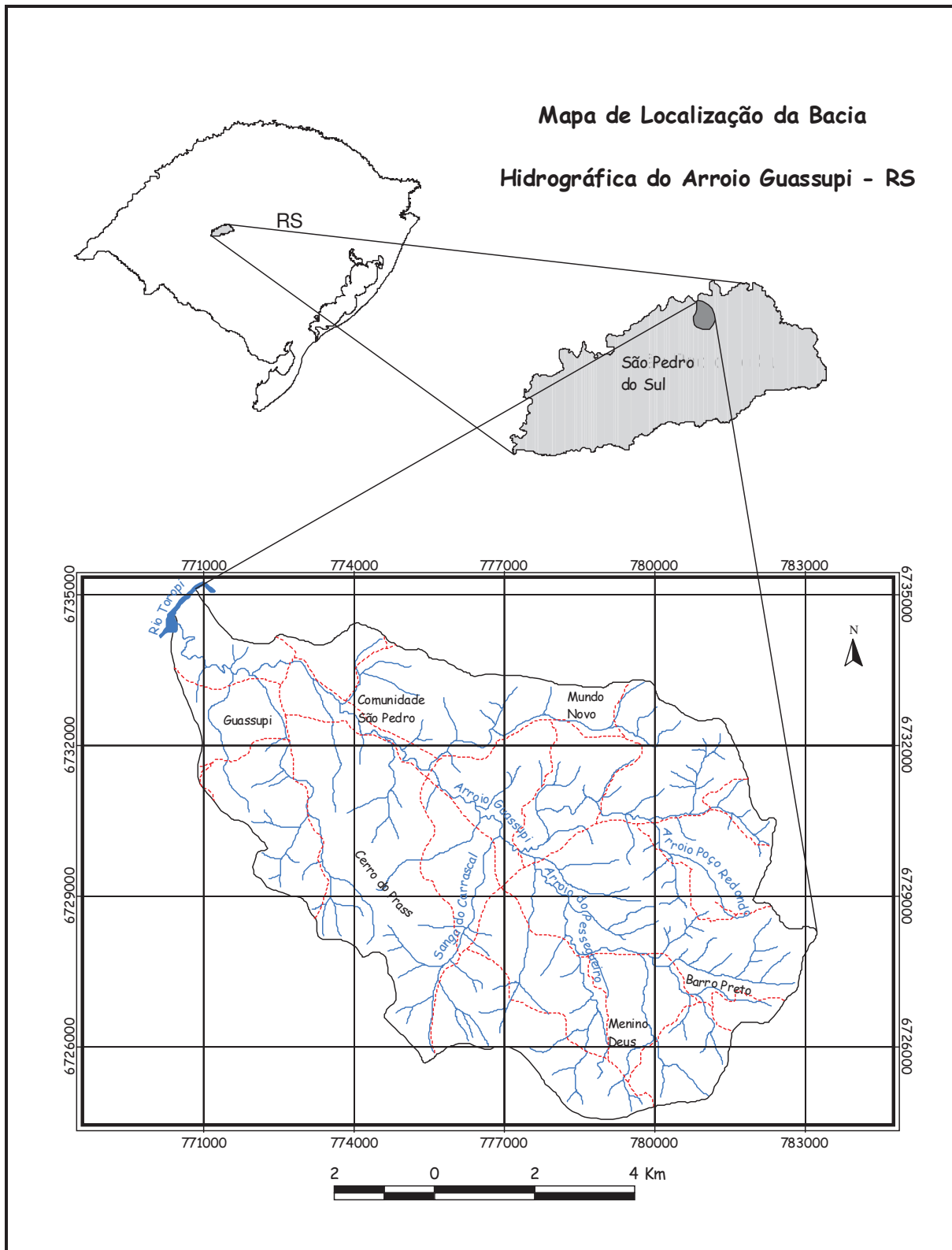


FIGURA 1 – Mapa de localização da área de estudo.

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS E METODOLÓGICOS DA PESQUISA

Neste capítulo serão abordados os seguintes temas que embasam o desenvolvimento da pesquisa: A Questão Ambiental e a Erosão, Processos Erosivos, Tipos de Erosão, Fatores Atuantes no Desenvolvimento dos Processos Erosivos, Métodos de Pesquisa Utilizados no Estudo da Erosão e Abordagem Morfopedológica.

2.1 A QUESTÃO AMBIENTAL E A EROSÃO

Assumindo papel de destaque nos meios de comunicação de massa, a preocupação com as condições ambientais do planeta Terra não mais se encontra circunscrita a foros de discussão acadêmica, tendo alcançado segmentos variados na esfera social, política e econômica. A questão ambiental passa, então, a ser assumida pelos meios de comunicação.

Santos (1992), comenta que a televisão e a imprensa inclusive eletrônica, por meio do sensacionalismo e do medo, visando a captar a atenção, faz com que a percepção humana sobre a questão ambiental seja mutilada e direcionada.

Rodrigues (1998, p. 24), afirma que “a questão ambiental, tal como é entendida hoje, diz respeito especialmente, ao ‘produto’ da intervenção da sociedade sobre a natureza. Não mais apenas ‘problemas da natureza’, meio físico, mas também e, sobretudo, a problemática decorrente da ação societária. Somam-se assim ao vulcanismo, tectonismo, etc, ações decorrentes da intervenção social”.

O termo “meio ambiente” que era entendido durante muito tempo como apenas ao que era relativo aos aspectos naturais e bióticos, evoluiu para um campo mais amplo e diversificado, como afirma Mendonça (1993), salientando que aquela visão de meio ambiente basicamente associada a sinônimo de natureza entendida como tudo aquilo que é externo ao

homem (sendo seu dominador), passa a ter um caráter holístico abarcando questões intrinsecamente naturais e também sociais.

Guerra & Cunha (1996, p. 341) fazem referências ao meio ambiente, espaço onde se desenvolve a vida vegetal e animal (inclusive o homem), afirmando que ele “é o resultado do modelo de comportamento de uma sociedade de consumo” e salientam que o aumento do ritmo de produtividade nessa sociedade é, sem dúvida, a principal causa dos problemas ambientais.

Desta forma, entende-se que o modelo de desenvolvimento praticado hoje expressa claramente o cenário mundial de comprometimento do meio ambiente, na qualidade de diversos ambientes e recursos naturais, assim como nos problemas ambientais de toda ordem.

Os problemas ambientais são de caráter mundial, afetam todos os espaços da Terra e têm gerado uma crise ecológica onde as atividades humanas têm grande responsabilidade nesse processo (GUERRA e CUNHA, 2003).

Adota-se nesse trabalho, a compreensão da expressão “problemas ambientais” como aqueles que dizem respeito às formas pelas quais a sociedade se relaciona com a natureza no que diz respeito aos problemas que são intrinsecamente naturais sem a intervenção antrópica e ainda em razão do processo de produção do seu espaço de sobrevivência, ou seja, a partir das formas de uso e ocupação do espaço produzidas pelo homem.

Rodrigues (1998, p. 77), coloca que “a problemática ambiental traz à tona que o ideário do desenvolvimento sustentável, compreendido como a produção contínua de novas mercadorias, o progresso tido como o avanço científico tecnológico, é fundamentalmente problemático. (...) a questão ambiental tem de ser compreendida como produto das contradições do modo industrial de produzir mercadorias”.

De acordo com Leff (2002 p. 59):

A problemática ambiental – a poluição e degradação do meio, a crise de recursos naturais, energéticos e de alimentos – surgiu nas últimas décadas do século XX como uma crise de civilização, questionando a racionalidade econômica e tecnológica dominantes. Esta crise tem sido explicada a partir de uma diversidade de perspectivas ideológicas. Por um lado, é percebida como resultado da pressão exercida pelo crescimento da população sobre os limitados recursos do planeta. Por outro, é interpretada como o efeito da acumulação de capital e da maximização da taxa de lucro e curto prazo, que induzem a padrões tecnológicos de uso e ritmos de exploração da natureza, bem como formas de consumo, que vêm esgotando as reservas de recursos naturais, degradando a fertilidade dos solos e afetando as condições de regeneração dos ecossistemas naturais.

A crise ecológica e a crítica ambientalista começam a ser sentida com maior intensidade somente na década de 70, marcada historicamente pela realização da Conferência de Estocolmo, quando são criados inúmeros órgãos relacionados direta ou indiretamente com o meio ambiente.

Segundo Monteiro (1981, p. 19), a Conferência de Estocolmo “refletiu claramente que os interesses e as injunções econômicas estão acima das preocupações com a qualidade ambiental e acima de tudo, que o universo está dividido entre nações ricas e nações pobres cujos pontos de vista sobre a questão ambiental são conflitantes.”

Entretanto, a problemática ambiental já vinha sendo discutida muito antes de Estocolmo. Em 1955 na Conferência de Princeton sobre o “Papel do Homem na Transformação da Face da Terra” foi o início de um período de preocupação e mobilização em torno da questão ambiental. A década de 60 também ficou marcada por algumas discussões relativas ao meio ambiente e sua conservação. Em 1971 é publicado o documento do Clube de Roma, propondo a necessidade do controle populacional como forma de conter a degradação do meio ambiente e da qualidade de vida. No ano seguinte, 1972, ocorre a 1ª Conferência Mundial sobre Meio Ambiente, promovida pelo ONU (Organização das Nações Unidas), onde foram difundidas as idéias relativas ao que já vinha sendo discutido em anos anteriores e propicia a legitimação política mundial da questão ambiental.

O Brasil, assim como muitos outros países subdesenvolvidos na década de 70, estavam orientados para o desenvolvimentismo a qualquer preço. Lima & Roncaglio (2001, p. 60) citando Monosowsky¹ (1989), comentam que o governo brasileiro chegou a sustentar na Conferência de Estocolmo que “a proteção ao meio ambiente seria um objetivo secundário e não prioritário para os países em vias de desenvolvimento, e em conflito com o objetivo central e imediato do crescimento econômico. (...) A proteção do meio ambiente seria, portanto, mais um obstáculo ao desenvolvimento.”

Sendo a proteção do meio ambiente um objetivo secundário, os problemas de ordem ambiental começam a surgir. Dentre eles, pode-se destacar a poluição do ar, o desaparecimento de espécies, a erosão e o assoreamento dos rios, lagos e represas.

Conforme Kerr (1998) apud Guerra & Mendonça (2004), um trabalho realizado pelo *Global Assessments of Soil Degradation (GLASOD)* – denominado “Estimativa Global da Degradação dos Solos”, obteve como resultado uma estimativa de que 22% dos 8,7 bilhões de hectares de solo do mundo tenham sido degradados desde a Segunda Guerra Mundial e que uma degradação acelerada tem atingido de 5 a 10 milhões de hectares de terra por ano.

A erosão dos solos seja ela rural ou urbana, é sem dúvida um dos problemas ambientais mais graves pelo qual o Planeta Terra passa atualmente. Ela já arruinou milhões de hectares de terras cultiváveis e já reduziu muitos outros a uma situação de precariedade.

Grande parte das terras cultiváveis está perdendo constantemente parte de seu solo, principalmente em função de métodos incorretos de manejo bem como de práticas irracionais de cultivo do solo, ao lado do uso indiscriminado do fogo, do pastoreio esgotante e da exploração das florestas. Desse modo à cobertura vegetal que protegia o solo e mantinha o equilíbrio ecológico é retirada, alterando o regime climático e o ciclo hidrológico.

¹ MONOSOWSKI, E. Políticas ambientais e desenvolvimento no Brasil. *Cadernos Fundap*, n. 16, jun. 1989.

Os processos erosivos acelerados são os principais agentes causadores de prejuízos, não só ao meio ambiente, mas também à sociedade, tanto no local (onsite) onde os processos ocorrem, como em áreas próximas ou afastadas (offsite) (GUERRA & CUNHA 2003).

Até algumas décadas atrás, a erosão dos solos era estudada muito mais com relação a sua descrição e explicação como processo físico do que à sua compreensão como problema sociocultural. Corroborando com essa afirmação, Bertoni & Lombardi Neto (1985), afirmam que a erosão dos solos não é somente um problema de ordem técnica, mas, também, um problema de ordem social e econômica.

De acordo com Bigarella e Mazuchowski (1985) a erosão não pode ser abordada apenas do ponto de vista físico, mas igualmente como resposta ao impacto do homem sobre o ambiente. Deve ser analisada a partir da própria ação antrópica e não simplesmente ser combatida em seus efeitos, seja em áreas urbanas como rurais. Assim, se a ação humana se concretiza no uso do solo (lavouras, estradas ou núcleos urbanos), é sobre este uso que devem se concretizar as medidas de correção e combate.

Segundo D'Agostini (1999, p 11), “o problema associado à erosão é, antes de tudo, de natureza comportamental, de prioridades, de valores e critérios, de atitudes objetivas de um ser essencialmente subjetivo”.

D'Agostini (op cit, p 16) ressalta que

a caracterização da erosão induzida pelas atividades do homem como um problema implica, assim, levar em conta o seu significado frente à atividade humana que a promove, além do próprio significado daquela atividade frente aos critérios que determinam o comportamento do homem, ou seja, para que possamos atribuir adequadamente significação à erosão do solo agrícola, não basta saber explicar suas implicações sobre a agricultura, mas, principalmente, necessitamos compreender o papel da agricultura nas relações de valores e na escala de prioridades do homem atual.

Contudo, o processo erosivo não pode ser entendido somente levando-se em conta os fatores socioculturais ou apenas aqueles de ordem ambiental. Deve ser entendido como um

conjunto de variáveis que atuam e agem em conformidade e que desencadeiam todo o processo.

Ao se analisar o fenômeno da erosão nas suas várias formas de manifestação, é necessário considerá-lo como um fato que ocorre em nível de paisagem, cuja evolução tende ao equilíbrio das formas e que responde com maior ou menor intensidade na proporção direta do desequilíbrio existente ou provocado. Assim, considerando-se a erosão segundo o aspecto natural, ela ocorre de forma mais severa onde as condições do meio se encontram em desequilíbrio. De qualquer forma, podem ser reconhecidas áreas mais suscetíveis à erosão, ou seja, aquelas que pelas características dos elementos do meio físico, facilmente podem ter suas condições alteradas. Como exemplo pode-se citar as vertentes com altas declividades, as formações de arenitos inconsolidadas, solos com descontinuidades texturais ou ainda áreas com elevada pluviosidade (ROSA et al, 1981).

Tal situação se reveste de maior importância no momento que o homem interfere em um sistema que até certo momento se comportou de forma natural, adicionando variáveis alheias aos mecanismos naturais, não decorrentes da evolução dos processos morfológicos.

A partir de uma situação de equilíbrio já alcançada entre processos, materiais e formas, qualquer alteração em um dos elementos que compõem o sistema provocará um reajustamento das variáveis estabelecendo-se nova forma, adaptada as mais recentes condições. Independentemente das condições naturais, o homem tem atuado como agente acelerador dos processos erosivos. Mesmo áreas naturalmente pouco suscetíveis têm apresentado sérios problemas de erosão em decorrência de intervenções inadequadas como desmatamentos indiscriminados, atividades agrícolas e de mineração mal orientadas (ROSA et al, 1981).

No Brasil, assim como em outros países, um dos fatores que mais seriamente tem contribuído para a menor produtividade do solo é a erosão hídrica, facilitada e acelerada pelo homem com suas práticas inadequadas de agricultura. Práticas agrícolas comprovadamente

arcaicas, ainda adotadas pelos agricultores, como o plantio continuado e mal distribuído de culturas esgotantes e pouco protetoras do solo, o plantio em linhas dirigidas a favor das águas, a queimada drástica dos restos culturais e o pastoreio excessivo, estão acelerando o depauperamento das terras (BERTONI & LOMBARDI NETO 1985).

Nas áreas urbanas, embora possam ocorrer modalidades de erosão semelhantes às áreas rurais, predominam aquelas decorrentes da concentração de fluxo, principalmente em razão de deficiência do sistema de drenagem. Estão associadas 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 ravinas e mesmo de voçorocas.

Segundo Salomão (1999, p. 256), “com a ampliação das áreas construídas e pavimentadas, aumentam substancialmente o volume e a velocidade das enxurradas e, desde que não dissipadas, concentram o escoamento, acelerando os processos de desenvolvimento de ravinas e voçorocas”.

Se a erosão já se torna um problema por si só, as conseqüências advindas desse processo são tão graves quanto. Dentre os vários efeitos advindos da erosão, o assoreamento dos cursos d’água, é sem dúvida, um resultado que merece atenção.

De acordo com Infanti Jr. & Fornasari Filho (1998 p. 140), o assoreamento, “é o processo que consiste na acumulação de partículas sólidas (sedimentos) em meio aquoso ou aéreo, ocorrendo quando a força do agente transportador natural (curso d’água, vento) é sobrepujada pela força da gravidade ou quando a supersaturação das águas ou ar permite a deposição de partículas sólidas”.

O processo de assoreamento é bastante intenso em regiões de solos arenosos finos, derivados de formações geológicas sedimentares, tais como o arenito Caiuá, arenito Bauru e, mesmo, o arenito Botucatu. Na região Noroeste do Paraná, por exemplo, em que se tem à

ocorrência de voçorocas associadas ao arenito Caiuá, verifica-se assoreamento nas drenagens e nas baixadas. Na região Oeste de São Paulo, cidades como Bauru, São José do Rio Preto, Presidente Prudente, Marília, também apresentam problemas de assoreamento relacionados ao arenito Bauru. Em algumas delas está ocorrendo comprometimento de reservatórios (INFANTI JR. & FORNASARI FILHO 1998).

Oliveira (1994) aponta a redução do volume dos reservatórios com um dos principais impactos do processo de assoreamento, tendo em vista a perda parcial ou total da finalidade da obra. Se os reservatórios são de abastecimento de água, a perda de volume implica problemas de fornecimento de água nos períodos de estiagem, nos quais a função regularizadora da acumulação fica prejudicada pelo volume assoreado. No caso de reservatórios de produção de energia elétrica, o impacto da perda de volume será tanto maior mais importante for sua função regularizadora no sistema hidroelétrico.

De acordo com o mesmo autor, além dos impactos causados em reservatórios, o assoreamento tem relação direta com a perda da qualidade das águas e que, afetada por poluentes de diversos tipos, veiculados ou não pelos sedimentos, pode produzir conseqüências prejudiciais à vida aquática, a piscicultura, ao uso da água para consumo e também à própria operação da usina.

2.2 PROCESSOS EROSIVOS

A luta do homem contra a erosão do solo é tão antiga como a própria agricultura. Quando mudou do nomadismo para um sistema fixo de vida, o homem teve necessidade de intensificar o uso do solo, levando à destruição a cobertura de sua superfície e acarretando a exposição do solo às forças erosivas (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1990).

O termo erosão originou-se, segundo Zackar (1982) apud Silva *et al* (2003), do latim, do verbo *erodere* (escavar). Erosão é o processo de desprendimento e arraste das partículas do solo causado pela água e pelo vento. A erosão do solo constitui, sem dúvida, a principal causa do depauperamento das terras. As enxurradas, provenientes das águas de chuva que não ficaram retidas sobre a superfície, ou não se infiltraram, transportam partículas de solo em suspensão e elementos nutritivos essenciais em dissolução. Outras vezes, esse transporte de partículas de solo se verifica pela ação do vento (BERTONI e LOMBARDI NETO 1990).

De acordo com Fendrich et al (1997, p. 23), “erosão é a desagregação, transporte e deposição dos materiais dos horizontes superficiais e profundos do solo, provocando o seu rebaixamento. Pode-se perceber que a erosão inicia o seu trabalho na parte superficial, aprofundando-se até encontrar rocha ou camada consolidada de solo”.

Segundo Goudie (1990) apud Vitte & Guerra (2004), a erosão do solo é um dos principais impactos causados pela ação humana sobre o meio ambiente. O estudo da problemática da erosão fundamenta-se principalmente no conhecimento da dinâmica da água proveniente de precipitações pluviométricas, após entrar em contato com o solo, momento em que inicia sua ação mecânica, por meio do transporte de partículas.

A erosão pluvial, como defini Tricart (1977), é o fenômeno de destruição dos agregados do solo pelo impacto das gotas da chuva. É função, por um lado, da energia cinética das gotas e, por outro, da resistência mecânica dos agregados.

Segundo Guerra (1999), o processo erosivo inicia-se pela ação do *splash*², considerado o estágio inicial do processo erosivo. O *splash* ocorre quando as gotas de chuva atingem a superfície. Dessa forma, há uma preparação das partículas que formam o solo para serem transportadas pelo escoamento superficial. Essa preparação se dá tanto pela ruptura dos agregados, quebrando-se em tamanhos menores, como pela própria ação transportadora que o salpicamento provoca nas partículas dos solos. Como consequência, os poros da superfície do solo vão sendo preenchidos, provocando a selagem e a consequente diminuição da porosidade, aumentando o escoamento das águas. O papel do *splash* varia não só com a resistência do solo ao impacto das gotas de água, mas também com a própria energia cinética das gotas de chuva.

A partir do momento em que os agregados se rompem no topo do solo, inicia-se a formação de crostas. Com isso, há diminuição das taxas de infiltração e consequentemente, aumento nas taxas de escoamento superficial, podendo influenciar na perda de solo. A partir da formação das crostas no topo do solo, a superfície do terreno se torna selada, dificultando a infiltração da água das chuvas. Isso faz com que haja uma mudança de processos, ou seja, de grande destacamento (*detachment*) e baixo transporte, antes de se iniciar o *runoff*³, para baixo destacamento e alto transporte, durante o escoamento superficial (GUERRA, 1999).

Guerra (op cit), coloca que o ciclo hidrológico é de fundamental importância para a compreensão do processo erosivo, pois parte da água da chuva cai diretamente no solo, outra parte é interceptada pela vegetação e pode chegar até o solo por meio do gotejamento ou pelo fluxo de tronco (*stemflow*). A água pode tomar vários caminhos: primeiro causa o *splash*, depois se infiltra, podendo saturar o solo e, finalmente, pode se armazenar nas irregularidades

² Impacto da gota de chuva no solo/salpicamento;

³ Consultar GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. (Orgs.) **Erosão e Conservação dos Solos: conceitos, temas e aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999, 340 p.

do solo, formando as poças (*ponds*), que em alguns casos poderão dar início ao escoamento superficial.

De acordo com o mesmo autor, a formação das poças (*ponds*) na superfície do solo é o estágio que antecede ao escoamento superficial. A taxa de infiltração tem papel importante na sua formação e, conseqüentemente, na geração de *runoff*, pois uma vez o solo saturado, cessa a infiltração e começam a se formar as poças. Estas, por sua vez, ocupam as irregularidades existentes na superfície. Quando as irregularidades estiverem preenchidas, começam a se ligar umas com as outras. Nesse momento tem início o escoamento superficial, que a princípio é difuso, mas a medida que o processo tem continuidade temporal e espacial, pode se tornar concentrado.

2.3 TIPOS DE EROSÃO

Segundo Drew (1999), Guerra (1999), Bertoni & Lombardi Neto (1990) e outros autores, a erosão hídrica acelerada é um dos processos mais negativos de indução antrópica sobre os solos, constituindo-se em um fenômeno de grande significado, principalmente pela rapidez com que se processa.

De acordo com Barbalho (2002, p. 53), “vale ressaltar que é necessário distinguir também os tipos dos fenômenos erosivos, se laminares ou lineares, uma vez que vários mecanismos atuam na evolução dessas formas erosivas, e sua identificação possibilita o dimensionamento preciso de eventuais medidas corretivas a serem implementadas”.

Salomão (1994) afirma que a erosão acelerada causada pela água pode ser de dois tipos: laminar e linear (sulcos, ravinas e voçorocas).

A erosão laminar, em lençol (GUERRA 1999), superficial (BIGARELLA & MAZUCHOWSKI 1985) ou lavagem superficial é a uniforme remoção de uma delgada camada superior de todo o terreno. Ao colidirem com a superfície do solo desnudo, as gotas de chuva rompem os agregados, reduzindo-os a partículas menores, passíveis de serem arrastadas pela força das enxurradas. Este tipo de desgaste é constatado em certos terrenos, mesmo quando possuem inclinações pequenas.

O termo laminar adotado neste trabalho refere-se, portanto, à erosão provocada pelo escoamento superficial difuso, que não provoca incisões significativas no solo na escala de uma vertente.

Segundo Fendrich et al (1997, p. 32) a erosão laminar “é uma forma de erosão bastante difícil de ser observada, permanecendo, às vezes, por muitos anos à vista sem que se perceba sua atuação. Sua ocorrência pode ser constatada pelo decréscimo de produção das culturas e também pelo aparecimento de raízes, ou mesmo marcas no caule das plantas onde o solo tenha sido arrastado”.

Neste mesmo sentido, Bigarella & Mazuchowski (1985, p.138), comenta que “na erosão laminar, ocorre à remoção progressiva e sucessiva de películas do solo, afetando principalmente as partículas mais finas. Os microrelevos da superfície do solo sofrendo a ação do escoamento, originam turbulências que causam o ataque lateral das microformas. No conjunto da superfície, verifica-se uma erosão lateral, altamente danosa, uma vez que é difícil de ser detectada em tempo”. A FAO (1967) assinala que os resultados da erosão laminar se percebem freqüentemente como solos expostos lavados de cor clara nas encostas das vertentes do terreno.

Bigarella (2003) comenta que num relevo pouco acentuado, sob condições pedológicas particulares (horizonte impermeável a poucos centímetros da superfície), a fase terminal da erosão laminar caracteriza-se por uma lâmina de água escorrendo em direção às pequenas depressões e aos talwegues pouco pronunciados. Sendo o solo impermeável, não há infiltração; a água remove a camada superior e o lençol flui limitado por duas microribanceiras de poucos centímetros de altura. Nessas condições, o atrito dos filetes de água sobre as paredes laterais rugosas do leito origina movimentos turbilhonares de ação erosiva, com formação de micromarmitas e festonamento das microribanceiras. Segue-se a erosão lateral por solapamento.

Diferentemente da erosão em lençol, a erosão acelerada é caracterizada por uma velocidade de remoção de material tão rápida que não permite o desenvolvimento de vegetação. Constitui um processo acelerado de formação de um vale, onde o escoamento era difuso ou em lençol. O processo de erosão acelerada está ligado a um desequilíbrio entre a quantidade de água que se escoar na superfície da encosta, o tipo de escoamento, a forma da encosta e a erodibilidade do material (FIORI & SOARES 1976).

A erosão linear desenvolve-se principalmente em função do tipo de escoamento superficial ao longo das vertentes, sendo o escoamento concentrado a principal causa.

Também conhecida como erosão em sulcos, de acordo com Bertoni & Lombardi Neto (1990) “resulta de pequenas irregularidades na declividade do terreno que faz com que a enxurrada, concentrando-se em alguns pontos do terreno, atinja volume e velocidade suficientes para formar riscos mais ou menos profundos”.

Segundo FAO (1965), não existe limite definido que assinale o final da erosão laminar e o começo da erosão em sulcos. As mesmas se formam no momento em que se inicia o fluxo superficial e podem ser de um tamanho minúsculo ou de um tamanho que permita ser observada facilmente. O número de sulcos que se forma em uma determinada superfície pode variar amplamente, dependendo esta variação, da irregularidade da superfície do terreno, da quantidade e da velocidade do escoamento.

De acordo com Bigarella & Mazuchowski (1985), a erosão em sulcos sucede à laminar, podendo igualmente originar-se de precipitações muito intensas. Pode ser considerada como uma forma transitória ou instável, facilmente eliminável no preparo do solo. Porém, se não controlada, os sulcos podem aprofundar-se, dando origem a uma ravina, já tornando-se difícil de ser controlada por operações simples de preparo do solo.

Neste particular, os autores afirmam que a erosão em sulcos e ravinas deixa traços acentuados de sua ação. Os sulcos são abertos pelos pequenos filetes que se encaixam na superfície, pela remoção de detritos ao longo do seu fluxo, na maior inclinação da vertente. O escoamento deixa de ser laminar e uniforme, concentrando-se em filetes líquidos, onde a velocidade da água causa ação erosiva, cada vez mais intensa, tanto para a jusante como para montante, iniciando uma dissecação vertical embrionária.

Guerra (1999), explica que com a evolução do escoamento superficial, há formação de microrravinas (*micro-rills*). Boa parte da água que escoar em superfície está concentrada em canais bem definidos, embora ainda pequenos. O aumento da rugosidade no fundo dos pequenos canais causa uma turbulência bem localizada, aumentando a erosão, podendo

começar a surgir algumas pequenas cabeceiras nas ravinas (*headcuts*) que estão se formando na encosta.

As microrravinas com cabeceiras (*headcuts*) ocorrem quando as poças e as cabeceiras começam a se formar dentro da microrravina. Essas cabeceiras tendem a coincidir com um segundo pico na produção de sedimentos, resultantes da erosão ocorrida dentro das ravinas. Isso demonstra que, nesse estágio de evolução das ravinas, o processo está alcançando um nível de equilíbrio dinâmico, ou seja, ocorre uma zona de sedimentos, abaixo das cabeceiras, indicando que a taxa de produção de sedimentos, a partir do recuo das cabeceiras, excede a capacidade de transporte do fluxo da água (GUERRA, 1999). Nesse processo, devem ainda ser considerados mecanismos de erosão que envolve movimentos de massa, representados pelos pequenos deslizamentos que provocam o alargamento da feição erosiva e também seu avanço remontante.

Ravinas originalmente têm uma forma em “V”, retilínea, alongada e estreita, com poucas ramificações, quando situada e desenvolvida dentro de um material de resistência homogênea, não chegando a atingir o lençol freático. A ocorrência da forma em “U” é devido ao encontro de horizontes inferiores mais resistentes, com paredes abruptas e, a partir de um determinado ponto, a ravina se encaixa nas rochas adjacentes, constituindo-se na forma máxima de erosão do solo, que são as voçorocas (BIGARELLA & MAZUCHOWSKI 1985; CANIL et al. 1995, apud RIBEIRO 2001).

Finalmente por sua grande complexidade quanto aos fenômenos envolvidos em sua gênese e evolução, têm-se as voçorocas. Conforme Salomão (1994, p. 8) “com a formação e aprofundamento das ravinas, interceptando o lençol freático, pode-se observar uma somatória de processos erosivos pela ação concomitante das águas superficiais e subsuperficiais, fazendo com que o ravinamento atinja grandes dimensões. A esse estágio do fenômeno

erosivo, dá-se o nome de boçoroca ou voçoroca, deferindo, portanto, do que se convencionou chamar de ravina”.

De acordo com Vieira (1978) apud Salomão (1994), embora, em sentido amplo, considere-se as voçorocas como ravinas, na realidade esses dois termos devem ser diferenciados, pois cada um apresenta as suas características próprias. Apenas no início da formação de uma voçoroca haverá dificuldade para separar essas duas formas de erosão. Enquanto o ravinamento se processa em função apenas da erosão superficial, com a linha de água apresentando grandes declives, canal profundo, estreito e longo, as voçorocas formam-se tanto devido à erosão superficial como à erosão subterrânea, com tendência a alargar-se e aprofundar-se, até atingir o seu equilíbrio dinâmico.

De acordo com Bertoni & Lombardi Neto (1990), a voçoroca é a forma espetacular da erosão, ocasionada por grandes concentrações de água que passam, ano após ano, no mesmo sulco, que se vai ampliando, pelo deslocamento de grandes massas de solo, formando grandes cavidades em extensões e em profundidade.

A FAO (1967) coloca que a intensidade e amplitude da formação de voçorocas guardam uma íntima relação com a quantidade de água do escoamento e a velocidade da mesma. A sua formação depende da existência de água em quantidades relativamente grandes para desenvolver a energia necessária para desprender o solo e transportá-lo.

A origem e evolução das voçorocas podem se dar de maneira natural, mas também estão ligadas a estradas mal localizadas ou mal conservadas ou ainda arruamentos que conduzem grandes volumes de águas pluviais, ou então de “trilhos” de animais principalmente de gado bovino, que passa continuamente em determinadas rotas. De acordo com Bigarella & Mazuchowski (1985), elas podem originar-se também nas margens de cursos d’água naturais profundamente entalhados pela erosão. Propagam-se pelas vertentes, sendo mais escavadas a montante onde atingem, não raro, 15, 20 ou mais metros de profundidade.

As voçorocas representam um estágio mais avançado e complexo de erosão, originada de um desequilíbrio hidrológico provocado pela retirada da vegetação, uso e ocupação dos solos, produtos combinados de ação das águas do escoamento superficial e subterrâneo, que alcançam o lençol freático ou o nível de água de subsuperfície. A interceptação do lençol freático pela erosão causa o aparecimento de minação de água no seu fundo, onde são desenvolvidos os processos ou fenômenos conhecidos como “*piping*”⁴, conhecido como entubamento, criando vazios no interior do solo, o que vem a causar o solapamento da base das paredes da voçoroca (BIGARELLA & MAZUCHOWSKI, 1985; DAEE/IPT, 1989 apud RIBEIRO, 2001).

De acordo com Salomão (1999), o fenômeno de *piping* provoca a remoção de partículas do interior do solo formando canais que evoluem em sentido contrário ao do fluxo de água, podendo dar origem a colapsos do terreno com desabamentos que alargam a voçoroca ou criam novos ramos.

Além do *piping*, vários outros fenômenos, como liquefação de areias, areias movediças e movimentos de massa de diversos tipos cuja combinação, se bem que de difícil entendimento, segundo Rodrigues (1982) apud Oliveira (1994), qualificam a voçoroca como uma feição erosiva não só de grande porte, mas de alto poder de produção de sedimentos.

Nessa interface, os movimentos de massa merecem destaque, pois são os mecanismos que atuam no desenvolvimento do processo erosivo. Dentre eles estão os rastejamentos, escorregamentos, deslizamentos, desmoronamentos, solapamentos e as subsidências e colapsos, ambos associados à evolução e a modelagem das feições erosivas.

Os movimentos de massa são reconhecidos como os mais importantes processos geomórficos que modelam a superfície terrestre e constituem-se no deslocamento de material (solo e rocha) vertente abaixo sob influência da gravidade, sendo desencadeados pela

⁴ do inglês “Canal”.

interferência direta de outros meios ou agentes independentes como a água, gelo ou ar. (BIGARELLA, 2003).

Como bem coloca Bigarella (2003, p.1053),

um talude é estável quando a ação da gravidade é equilibrada pela resistência do solo ao cisalhamento. Quando o equilíbrio é rompido ocorre o movimento, o qual pode ser provocado por uma causa externa (escavações ou cortes no sopé do talude), ou sem causa externa, tanto pelo aumento temporário da pressão intersticial, como por deterioração progressiva da resistência do solo. Parece igualmente, que os movimentos de massa são precedidos por extensa erosão subterrânea iniciada pela formação de “olhos de água” no sopé do talude tubular (**piping**), a qual provoca o movimento e a liquefação do material.

De acordo com Oliveira (1999), vários são os movimentos de massa que podem ser verificados no interior das erosões lineares e principalmente nas voçorocas. Praticamente toda a gama de transporte em massa auxilia o desenvolvimento dessas incisões, desde os mais lentos aos mais rápidos e desde os mais sólidos aos mais fluidos.

O autor afirma que nas voçorocas esses movimentos dependem basicamente da resistência dos materiais e estes, estão relacionados a fatores que levam à diminuição da resistência ao cisalhamento.

Esses fatores podem ser organizados de acordo com a sua contribuição, seja para aumentar as tensões cisalhantes, seja para diminuir a resistência ao cisalhamento. Os fatores que aumentam as tensões cisalhantes em encostas e paredes de voçorocas são: remoção de suporte lateral, sobrecarga; solapamento; pressão lateral; tensões transitórias relacionadas a vibrações de diversas origens. Os fatores que podem diminuir a resistência ao cisalhamento dos materiais são: composição e textura; reações físico-químicas; efeitos da água matricial; alterações da estrutura; remoção da vegetação. (OLIVEIRA 1999).

Oliveira (op cit) afirma que os movimentos de massa constituem uma enorme variedade de feições erosivas. As mais comuns estão associadas à extensão para montante ou

ao alargamento das incisões erosivas. Em geral, a sua ocorrência pode ser facilmente identificada pelos resíduos deixados imediatamente abaixo das bordas da incisão.

Diferentemente dos processos de movimento de massa, o processo de subsidência, de acordo com Infanti Jr. & Fornasari Filho (1998), consiste na deformação ou deslocamento de direção essencialmente vertical descendente, manifestando-se por afundamentos de terrenos. Pode ser provocada por solos colapsíveis, também conhecidos como subsidentes, que possuem uma estrutura porosa e instável quando saturados. Os fenômenos de “piping” também auxiliam em subsidências no terreno, já que são formados verdadeiros tubos por onde exfiltra a água deixando suspensas determinadas parcelas de solo. A força da gravidade compromete-se em fazer tais parcelas sofrerem rebaixamento, caracterizando o processo de subsidência.

Os colapsos diferem-se das subsidências no que se refere à velocidade do movimento, ou seja, o colapso corresponde a um movimento brusco de terreno e a subsidência, um movimento mais lento de afundamento da superfície.

2.4 FATORES ATUANTES NO DESENVOLVIMENTO DOS PROCESSOS EROSIVOS

A erosão resulta da combinação de fatores que são dependentes e estão interligados entre si, apresentando grande variabilidade espacial e temporal. Dentre os principais fatores que influenciam no processo erosivo destacam-se a chuva, o solo, a topografia, a cobertura vegetal e a ação antrópica.

2.4.1 Chuva

De acordo com Bertoni & Lombardi Neto (1990, p. 39), a chuva “é um dos fatores climáticos de maior importância na erosão dos solos. O volume e a velocidade da enxurrada dependem da intensidade, da duração e da frequência da chuva. A intensidade é o fator pluviométrico mais importante na erosão”. Segundo estes autores, quanto maior a intensidade da chuva, maior a perda por erosão. A duração de chuva é o complemento da intensidade e a combinação dos dois determina a chuva total.

Fendrich et al (1997), discorrendo sobre a formação das voçorocas, destaca que a chuva contribui com vários efeitos dinâmicos que são: a) destacabilidade do solo já desnudo pelo impacto das gotas de chuva; b) desagregabilidade do solo superficial pelo escoamento superficial direto, devido à chuva efetiva; c) desagregabilidade do subsolo e do desmonte de maciços pelo escoamento subterrâneo, devido ao lençol freático superior; d) capacidade transportadora da chuva sobre o solo destacado; e) capacidade transportadora do escoamento superficial sobre o solo desagregado; f) capacidade de provocar o deslizamento e quedas de maciços arenosos no pé dos taludes, devido às águas subterrâneas; g) a parcela do escoamento superficial excedente, após a chuva haver satisfeito a capacidade de infiltração do solo, atua intensamente no terreno durante alguns minutos e também ao longo dos períodos de chuva; h)

a parcela do escoamento subterrâneo é menos intensiva sobre o solo, porém, atua persistente e continuamente ao longo dos meses de seca.

O fator chuva é determinado por meio do seu índice de erosividade. Várias são as metodologias que tentam quantificar as perdas de solo, por ação da chuva. Dentre eles, o mais conhecido que é utilizado até os dias atuais é a Equação Universal de Perda de Solo (USLE) de Wischmeier (1965), que além do fator chuva (erosividade) relaciona vários outros como por exemplo o índice de erodibilidade, o comprimento e declividade de encosta, o fator uso e manejo do solo e ainda o índice relativo à prática conservacionista adotada.

2.4.2 Solo

Os efeitos da erosão não são iguais em todos os solos pois dependem das suas propriedades físicas, químicas e biológicas (BERTONI & LOMBARDI NETO 1990).

Para Salomão (1999, p. 233) “o solo por influenciar e sofrer a ação dos processos erosivos, conferindo maior ou menor resistência, constitui o principal fator natural relacionado à erosão”.

A textura, ou seja, o tamanho das partículas, influi na capacidade de infiltração e de absorção da água, interferindo na maior ou menor coesão entre as partículas e, conseqüentemente na maior ou menor quantidade de material arrastado pela erosão. Desse modo, solos arenosos são geralmente mais porosos e permitem maior infiltração da água, dificultando o escoamento superficial. Como possuem baixa proporção de partículas argilosas, que atuam como elemento de ligação, apresentam maior facilidade de remoção das mesmas. Em solos argilosos, com espaços porosos menores, a penetração da água é reduzida, entretanto, a força de coesão das partículas é maior, aumentando sua resistência à erosão (BERTONI & LOMBARDI NETO 1990; SALOMÃO, 1999).

Assim como a textura, a estrutura do solo, ou seja, o modo como se arranjam às partículas do solo é de grande importância na quantidade de solo arrastado pela erosão e na capacidade de infiltração e absorção da água. Sendo assim, SALOMÃO (1999, p. 234) assinala que “solos com estrutura microagregada ou granular, como os latossolos, apresentam alta porcentagem de poros e, conseqüentemente, alta permeabilidade, favorecendo a infiltração. Apresentam também agregação entre partículas, aumentando a resistência do solo ao arraste das mesmas pela ação das águas”.

A permeabilidade é outra característica importante do solo, já que determina a maior ou menor capacidade de infiltração das águas, estando diretamente relacionada com o tamanho das partículas, volume e distribuição dos poros.

De acordo com Bertoni & Lombardi Neto (1990), apud Silva et al (2003), o conteúdo de matéria orgânica no solo é de grande importância no controle da erosão. Nos solos argilosos modifica-lhes a estrutura, melhorando as condições de arejamento e de retenção de água, o que é explicado pelas expansões e contrações alternadas que redundam de seu umedecimento e secamento sucessivos. Nos solos arenosos, a aglutinação das partículas firmando a estrutura e diminuindo o tamanho dos poros, aumenta a capacidade de retenção de água. A matéria orgânica retém duas a três vezes o seu peso em água, o que aumenta a taxa de infiltração e diminui a possibilidade de perda de solo por erosão.

Outra característica importante do solo com relação ao comportamento erosivo é sua espessura. Solos mais rasos permitem uma rápida saturação dos horizontes superiores, favorecendo o desenvolvimento de enxurradas.

Essas características, analisadas num conjunto, determinam a erodibilidade do solo, que é representada pela sua suscetibilidade à desagregação tanto em sulcos como em entressulcos, pelo fluxo superficial concentrado e pelo impacto da gota da chuva

respectivamente. Nesta perspectiva, determinado tipo de solo pode ser mais ou menos erodível conforme o seu conjunto de características físicas, químicas e mineralógicas.

2.4.3 Topografia

A topografia do terreno, representada pela declividade e pelo comprimento das vertentes, exerce acentuada influência sobre a erosão. Segundo Bertoni & Lombardi Neto (1990, p. 51), “o tamanho e a quantidade do material em suspensão arrastado pela água dependem da velocidade com que ela escorre e essa velocidade é uma resultante do comprimento da vertente e do grau de declive do terreno”.

Dentre os fatores topográficos, a declividade de um terreno é possivelmente o mais importante no condicionamento da gênese e da evolução dos processos erosivos (RODRIGUES, 1982 apud SILVA et al 2003). Mas, como coloca Guerra (1995) a declividade das encostas não deveria ser levada em conta separadamente, mas sim em conjunto com as características da superfície do solo, que, igualmente afetam a remoção do solo e a quantidade de *runoff*.

Contudo, como aponta Silva et al (2003), o comprimento de rampa não é menos importante que o declive, pois à medida que o caminho percorrido vai aumentando, não somente as águas se tornam mais volumosas como também a velocidade de escoamento aumenta progressivamente e a maior energia resultante se traduz em maior erosão. Para ilustrar o exposto, pode-se citar o exemplo da experiência de Bertoni et al. (in: Bertoni & Lombardi Neto 1990) em que estimaram que um terreno com 20 metros de comprimento e 20% de declividade tem a mesma taxa de perda de terra que um terreno de 180 metros e 1% de declividade, nas mesmas condições de chuva, tipo de solo e tipo de cobertura e manejo.

Salomão (1999) cita a experiência de Bertoni (1959), em que a partir de experimentos realizados para os principais solos do estado de São Paulo, determinou-se uma equação que

permitiu calcular as perdas médias de solo para os vários graus de declive e comprimento de rampa. A equação por ele definida é $LS = 0,00984 L^{0,63} S^{1,18}$, onde:

LS: fator topográfico;

L: comprimento de rampa, em metros;

S: grau de declive, em porcentagem.

Em outra experiência, Bertoni (in: Bertoni & Lombardi Neto 1990), analisando os dados de perdas por erosão obtidos nas estações experimentais do Instituto Agronômico de Campinas, com o auxílio de talhões experimentais munidos de coletores especiais, determinou o efeito nas perdas por erosão, que pode ser expresso pela seguinte equação: $T = 0,145 D^{1,18}$, onde:

T: perda de solo em quilogramas/unidade de largura/unidade de comprimento;

0,145: constante de variação;

D: Grau de declive do terreno, em porcentagem;

1,18: expoente.

Outro fator importante com relação à topografia e que atua diretamente na erodibilidade dos solos, diz respeito à forma (geometria) da vertente. As vertentes sejam elas do tipo côncava, convexa ou retilínea, respondem de forma diferenciada na infiltração e escoamento da água da chuva, gerando diferenças significativas no desenvolvimento dos processos erosivos.

Referindo-se a forma das vertentes, Casseti (1995) coloca alguns exemplos para ilustrar a influência da geometria das vertentes: a) vertentes portadoras de comprimento reto e largura reta respondem pelo predomínio do fluxo laminar; b) vertentes representadas por comprimento reto e largura curva respondem por processos complexos (largura convexa: fluxo disperso; largura côncava: fluxo convergente com ocorrência de escoamento concentrado); c) vertentes de comprimento curvo e largura também curva caracterizam

processos mais complexos (ocorrência de fluxo concentrado em linhas de drenagem de primeira ordem).

No entanto, como afirma Guerra (1995) as características relativas à declividade, comprimento e forma das vertentes atuam em conjunto entre si e com outros fatores relativos a erosividade da chuva, bem como às propriedades do solo, promovendo maior ou menor resistência à erosão.

2.4.4 Cobertura Vegetal

De acordo com Tricart (1977, p. 43), a erosão é “impedida, ou pelo menos retardada, por uma cobertura vegetal herbácea densa e por uma camada de detritos vegetais, principalmente folhas mortas. A permanência desses detritos vegetais depende da produtividade da vegetação e da velocidade de sua destruição pelos agentes redutores (microorganismos, cupins, outros insetos, vermes, etc)”.

A cobertura vegetal é a defesa natural de um terreno contra a erosão. De acordo com Bertoni & Lombardi Neto (1990), o efeito da vegetação pode ser assim enumerado:

- a) proteção contra o impacto direto das gotas de chuva;
- b) dispersão da água, interceptando-a e evaporando-a antes que atinja o solo;
- c) decomposição das raízes das plantas que aumentam a infiltração da água;
- d) melhoramento da estrutura do solo pela adição de matéria orgânica, aumentando assim sua capacidade de retenção de água;
- e) diminuição da velocidade de escoamento da enxurrada pelo aumento do atrito na superfície.

A densidade da cobertura vegetal tem grande importância na remoção de sedimentos, no escoamento superficial e na perda de solo. Em um solo descoberto, por exemplo, a gota atinge diretamente o solo fazendo desprender e salpicar as partículas, que são facilmente

transportadas pela água. Já em um solo com cobertura vegetal, a gota é interceptada pela vegetação fazendo com que se divida em diversas gotículas, diminuindo a sua força de impacto e conseqüentemente a ação erosiva.

Além da vegetação servir de barreira a gota de chuva até atingir o solo, Silva et al (2003) assinalam que a vegetação também possui grande influência quando interpretada no sentido de aumentar a rugosidade do solo (micro-relevo), servindo de barreira no caminho das águas, evitando assim a formação de enxurradas.

Para Guerra (1995), a cobertura vegetal atua também de forma direta, “na produção de matéria orgânica, que por sua vez, atua na agregação das partículas constituintes do solo. Além disso, as raízes podem ramificar-se no solo e ajudar na formação de agregados”.

A vegetação, assim como os outros fatores que influenciam no processo erosivo, se analisados isoladamente, explicam pouco o contexto completo do fenômeno. De acordo com Silva et al (2003), a análise integrada das relações que os fatores possuem entre si, fornece subsídios práticos e ideais que contribuem para a compreensão holística do processo além de aportarem bases sólidas para melhorar a forma de manejo do solo.

2.4.5 Ação Antrópica

A erosão acelerada está relacionada diretamente a ocupação humana, iniciada pelo desmatamento e seguida pelo cultivo da terra, implantação de estradas, criação e expansão de vilas e cidades, sobretudo quando efetuadas de modo inadequado (GOUDIE 1995 apud GUERRA & MENDONÇA 2004).

De acordo com Fendrich (1997), as principais agressões causadas pelo homem decorrem da:

a) retirada da cobertura vegetal, seguida pelas queimadas e pelas capinas;

- b) agricultura praticada irracionalmente com manuseio impróprio, tais como: culturas esgotantes; plantio morro abaixo e outras;
- c) pastos com alta densidade de animais, proporcionando o excessivo pisoteio em determinadas direções e a formação de trilhas pela passagem dos animais na busca de água nos talvegues inferiores;
- d) abertura de valetas com a finalidade de dividir e separar áreas, proteger culturas e propriedades, em geral, perpendicularmente às curvas de nível;
- e) abertura de estradas sem o devido cuidado na execução das necessárias obras de drenagem para coletar, transportar e restituir as águas captadas e acumuladas;
- f) execução de loteamentos sem os cuidados anteriores e com inobservância das práticas e normas racionais de conservação do solo e de controle da erosão.

Em áreas rurais as taxas de erosão aumentam em frequência e magnitude, principalmente em terrenos que são deixados descobertos durante boa parte do ano ou mesmo em áreas em que ocorre o superpastoreio, causando o excessivo aumento da densidade do solo pelo pisoteio do gado. Essas práticas tendem a aumentar de forma significativa as taxas de erosão acelerada.

De acordo com Bigarella & Mazukowski (1985) é normalmente no preparo do solo que se inicia o processo erosivo, sendo importante considerar que durante o preparo processam-se alterações na superfície (resteva e rugosidade superficial) e no interior do solo (densidade aparente, macroporosidade, camadas compactadas, entre outras) que podem contribuir para a maior ou menor agressividade erosiva.

Estes autores destacam ainda que a fase crítica da erosão agrícola ocorre nos primeiros 30 dias do desenvolvimento das culturas, em virtude das plantas apresentarem baixa cobertura foliar e possuírem sistema radicular pequeno, além dela coincidir com os meses de chuvas

intensas, particularmente na região Sul do Brasil. É neste período que se verifica 80% das perdas de solo de cada ciclo total de lavouras anuais.

Assim como em áreas rurais, nas áreas urbanas as taxas de erosão também podem ser elevadas e ocorrem principalmente durante a fase de construção de uma cidade, quando há uma grande quantidade de solo exposto, além de muita perturbação no terreno, devido à movimentação de máquinas pesadas e escavações. Diante disso, Salomão (1999) afirma que, no caso brasileiro, a maior parte das cidades brasileiras localizadas em solos de textura arenosa e relativamente pouco profundos tem sofrido processos de erosão acelerada, por ravinas e voçorocas, causadas, em especial, pela concentração das águas pluviais e servidas, ou seja, devido à falta de uma infra-estrutura urbana.

Nas áreas urbanas, a falta de pavimentação e o traçado deficiente das ruas e sistemas de drenagem contribuem para as perdas de solo. Bigarella & Mazukowski (1985) destacam que no Noroeste do Paraná a maioria das cidades situa-se em terrenos elevados ou nos divisores de águas. As ruas mal planejadas e obras no perímetro urbano provocam o aumento da vazão em virtude do terreno tornar-se consideravelmente impermeável e atuam como canais concentradores de água formando ravinas e voçorocas de significativa proporções e difíceis de serem controladas já que todo o fluxo de água é canalizado para essas áreas.

2.5 MÉTODOS DE PESQUISA UTILIZADOS NO ESTUDO DA EROSÃO

Os métodos de estudo e de abordagens da pesquisa em erosão varia basicamente com a natureza do fenômeno a ser estudado, do objetivo central do estudo, das limitações econômicas e de tempo necessário para a pesquisa. Em função destes aspectos há um grande número de técnicas e procedimentos variados (ZACHAR 1982 apud SILVA et al 2003).

Existem métodos que visam à quantificação do fenômeno da erosão sob os aspectos reais e atuais numa determinada área de estudo, seja uma parcela, uma encosta ou mesmo uma bacia hidrográfica. Esses métodos procuram estimar e definir o peso, o volume e a profundidade de solo carregado, ou seja, variações e perdas em termos de quantidade. Muitos trabalhos concentram-se na compreensão do fenômeno ou mesmo no desenvolvimento de técnicas de recuperação do potencial produtivo de determinadas áreas já que a erosão está intimamente ligada à queda de produtividade. Nessa perspectiva há ainda experimentos em ambientes fechados, com condições controladas e em condições de campo.

Outros métodos podem ser definidos como qualitativos e têm como objetivo avaliar o fenômeno da erosão no que se refere a sua origem e evolução, os condicionantes e mecanismos que as fazem surgir e que atuam no seu desenvolvimento bem como a busca de medidas que venham a auxiliar na prevenção, no seu controle e estabilização.

Uma das primeiras experiências no sentido de determinar as perdas de solo foi a de Meyer e Monke (1965) apud D'Agostini (1999) quando propuseram avanços nos esforços de fundamentação da predição das perdas de solo por erosão. Segundo Bertoni e Lombardi Neto (1985) essa foi uma das primeiras tentativa de proposição de um estudo de predição de perdas de solo.

Com o avanço dos estudos e das técnicas, surgiram outras metodologias com o mesmo objetivo de estimar as perdas de solo por erosão. Dentre essas, a mais conhecida e que já vem sendo utilizada desde a década de 70 é a *Universal Soil Loss Equation (USLE)* – Equação

Universal de Perda de Solo (EUPS), desenvolvida por Wischmeier & Smith em 1965 e que pode ser expressa pela seguinte equação:

$$A = R K L S C P$$

onde:

A = índice que representa a perda de solo calculada por unidade de área;

R = índice de erosividade;

K = índice de erodibilidade;

L = índice relativo ao comprimento da encosta;

S = índice relativo à declividade da encosta;

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

P = índice relativo à prática conservacionista adotada;

O fator **R**, erosividade da chuva, representa o índice de erosão pela chuva e é um índice numérico que expressa a capacidade da chuva esperada em dada localidade de causar erosão em uma área sem proteção.

O fator **K** refere-se às propriedades inerentes ao solo e que reflete sua maior ou menor suscetibilidade à erosão. É a relação entre a intensidade de erosão por unidade de índice de erosão da chuva para um solo específico mantido continuamente sem cobertura, mas que sofre as operações culturais normais em um declive de 9% e comprimento de rampa de 25m.

O fator **LS** é a relação esperada de perdas de solo por unidade de área em um declive qualquer em relação as perdas de solo correspondentes de uma parcela unitária de 25m de comprimento com 9% de declive.

De acordo com Bertoni e Lombardi Neto (1985) o fator uso e manejo do solo (**C**) é a relação esperada entre as perdas de solo de um terreno cultivado em dadas condições e as perdas correspondentes de um terreno mantido continuamente descoberto e cultivado.

O fator prática conservacionista (**P**) é a relação entre a intensidade esperada de tais perdas com determinada prática conservacionista e aquelas quando a cultura está plantada no sentido do declive (morro abaixo).

Outro modelo que vem sendo utilizado para a predição da perda de solo e também do aporte de sedimentos é a chamada Equação Universal de Perda de Solo Modificada (EUPS-m), do inglês *Modified Universal Soil Loss Equation – MUSLE*. De acordo com Silva et al (2003) a UEPS-m foi criada a partir da UEPS e seu objetivo é prever o aporte de sedimentos da bacia hidrográfica, sendo os fatores do modelo os mesmos da UEPS, com exceção do fator R (erosividade das chuvas), o qual foi substituído por fatores que contemplam os processos hidrológicos da bacia. A equação é:

$$Y = 89,6 * (Q * q_p)^{0,56} * K * LS * C * P$$

em que:

Y: é o aporte de sedimentos em determinado exutório da bacia (em t) após um evento chuvoso;

Q: volume de escoamento superficial (m³);

q_p: vazão – pico (m₃);

K, LS, C e P: fatores da UEPS.

Segundo Silva et al (2003 p. 77), “se for feita à predição do aporte de sedimentos utilizando-se a UEPS, será necessário conhecer o coeficiente de remoção de sedimentos da área e multiplicá-lo pelo valor de perdas de solo para chegar à estimativa final. Já a EUPS-m dispensa esse coeficiente”.

Para entender o processo erosivo do ponto de vista qualitativo, ou seja, relacionado ao entendimento da suscetibilidade e do potencial de determinadas áreas à instalação desses processos, várias metodologias vem sendo testadas. Essas metodologias têm como ponto comum o entendimento da inter-relação dos elementos do meio físico.

Os sistemas ambientais, face às intervenções humanas, apresentam maior ou menor suscetibilidade em função de suas características “genéticas” (Crepani, 1996). Qualquer alteração nos diferentes componentes da natureza (relevo, solo, vegetação, clima e recursos hídricos) acarreta o comprometimento da funcionalidade do sistema, quebrando o seu estado de equilíbrio dinâmico. Estas variáveis tratadas de forma integrada possibilitam obter um diagnóstico das diferentes categorias hierárquicas da fragilidade dos ambientes naturais.

Estes estudos relativos às fragilidades e/ou suscetibilidade dos ambientes são de extrema importância ao planejamento ambiental. A identificação dos ambientes naturais e suas fragilidades potenciais e emergentes proporcionam uma melhor definição das diretrizes e ações a serem implementadas no espaço físico-territorial, servindo de base para o zoneamento e fornecendo subsídios à gestão de determinada área (CREPANI 1996).

Dentre as metodologias que avaliam a suscetibilidade dos ambientes tem-se o DFC. De acordo com Beltrame (1994, p.13) o Diagnóstico Físico-Conservacionista – DFC tem como objetivo determinar o potencial de degradação ambiental de uma bacia hidrográfica. Segundo a autora, são estabelecidos indicadores (parâmetros) potenciais de proteção ou degradação dos seus recursos naturais renováveis. Os parâmetros são selecionados devido a “sua capacidade potencial intrínseca de contribuir para a degradação dos recursos naturais renováveis, ou refletirem essa degradação”.

Os parâmetros são expressos numericamente por meio de uma fórmula descritiva e resultam no índice de risco de degradação física de uma bacia hidrográfica. Para cada parâmetro é definido um índice de classificação previamente estabelecido. “Os parâmetros com os respectivos índices na fórmula descritiva sugerem uma análise quanto a preservação dos recursos naturais da bacia que se está estudando” (BELTRAME 1994, p. 15).

Especificamente para o processo erosivo, busca-se um valor numérico representativo, estabelecido como padrão de melhores condições para a bacia, a partir da somatória dos

índices mínimos de cada parâmetro. Da mesma forma, como padrão de piores condições também é estabelecido a somatória dos índices máximos de cada parâmetro (BELTRAME 1994).

Segundo Beltrame (1994, p.16), “a metodologia apresenta, assim, o valor crítico do processo erosivo encontrado para uma dada bacia. Quanto maiores os valores dos índices de cada parâmetro, maior o potencial de risco de degradação dos recursos e vice-versa”.

Com a preocupação de identificar áreas com maior ou menor suscetibilidade dos ambientes frente aos processos erosivos, Ross (1991), a partir de estudos de Tricart (1977), elaborou uma divisão do ambiente em unidades segundo seu grau de instabilidade.

Ross (1991) trabalha com a classificação da fragilidade dos ambientes naturais em que propõe uma metodologia que relaciona os aspectos do meio físico – clima, solo, geologia, relevo e vegetação.

De acordo com Boiko (2004), com o cruzamento dos dados referentes ao meio físico, elabora-se o Mapa de Fragilidade Potencial em que são apresentadas as condições naturais de cada ambiente. Cruzando-o com o uso e ocupação do solo, elabora-se o Mapa de Fragilidade Emergente, que apresenta os problemas ocasionados pela ação antrópica sobre as condições naturais. A partir desses mapas e aliando variáveis climatológicas como o índice pluviométrico, por exemplo, chega-se a resultados reais de áreas mais e menos suscetíveis a erosão.

Outra metodologia que vem sendo utilizada no Brasil é a abordagem morfopedológica, que envolve a análise integrada da paisagem a partir dos elementos do meio físico e que permite delimitar compartimentos relativamente homogêneos no que se refere a sua interação. De acordo com Salomão (1999, p. 252) obtém-se, assim, em tempo curto e com recursos relativamente pequenos, um conhecimento do meio físico e da distribuição dos processos

erosivos que permite a configuração de hipóteses sobre o funcionamento hídrico de vertentes e a delimitação de áreas com diferentes suscetibilidades a ravinas e voçorocas.

A partir da idéia de compartimentos morfopedológicos pode-se chegar a interpretações até então não vistas quando esses fatores analisados de forma separada, já que a análise conjunta dos elementos do meio físico se traduz em respostas totalmente diferentes no que se refere ao funcionamento e dinâmica do meio físico associado às erosões.

Contudo, a grande contribuição dos modelos de fragilidade e/ou suscetibilidade ambiental é proporcionar uma maior agilidade no processo de tomada de decisões, servindo de subsídio para a gestão do espaço de maneira planejada e sustentável, evitando os problemas de ocupação desordenada.

Vindo ao encontro com os objetivos da pesquisa, utilizar-se-á especificamente para este trabalho, a abordagem morfopedológica, a fim de diagnosticar e compreender os processos erosivos na área eleita para estudo.

2.6 ABORDAGEM MORFOPEDOLÓGICA

A morfopedologia pode ser definida como o produto da relação entre o substrato rochoso, os solos e o relevo. Assim examinados e em escala de mais detalhe, pode caracterizar e expressar ordens de grandeza intermediárias ou pequenas, conhecidas como morfopedológicas (Castro & Salomão 2000).

De acordo com Castro & Salomão (op cit, p. 30), a abordagem morfopedológica

vem sendo pensada, testada e aprimorada há algum tempo, onde foi significativa a releitura de um trabalho publicado por Ab'Saber (1969), adaptado a uma pesquisa sobre comportamento de compartimentos morfopedológicos face à erosão linear (sulcos, ravinas e voçorocas) em áreas urbanas e rurais por Salomão (1994) e ampliada por Castro (1997), estes últimos na busca de um caminho para compreender quais são os indicadores diagnósticos e prognósticos do meio físico da bacia do Alto Araguaia.

Segundo Castro & Salomão (op cit) a proposta de Ab'Saber apontava três níveis para o entendimento do meio físico. O primeiro permite o conhecimento dos compartimentos topográficos que revelam como se configuram as formas de relevo. O segundo permite a apreensão e estudo específico dos testemunhos materiais dos processos que atuaram na elaboração das formas (morfogênese) no tempo (morfocronologia) e o terceiro possibilita a dedução do comportamento atual da paisagem (no caso a cronológica), a partir dos dois anteriores e também de estudos experimentais e medidas diversas, sobretudo dos agentes intervenientes.

Essa proposta, posteriormente adaptada por Salomão (1994), quando estudou os fenômenos erosivos lineares no Platô de Bauru (SP), objetivando subsidiar medidas de controle desses processos, acrescentou e desenvolveu ainda um quarto nível, relativo à generalização cartográfica em que alguns mapas como o de restrições ao uso e ocupação dos solos pode tornar-se instrumentos básicos para as ações, sobretudo preventivas, de controle da erosão.

O mapa produzido por Salomão (1994), baseou-se, além do proposto por Ab'Saber (1969), também no proposto por Tricart & Killian (1978).

Levando-se em consideração o aporte teórico-metodológico até então já elaborado, Castro & Salomão (2000, p. 32-33) em um artigo, explicam de forma detalhada o roteiro metodológico para a elaboração da *compartimentação morfopedológica*, entendida aqui, de acordo com as afirmações dos autores como:

fisionomias (externalidade) do meio físico biótico e abiótico que revelam um tipo reconhecível e delimitável de modelado do relevo suportado por organizações/estruturas litológicas e pedológicas (internalidade), cujos atributos e funcionamentos revelam consonância histórico-evolutiva, no tempo e no espaço, e são passíveis de observações relativamente direta através de procedimentos de compartimentação do modelado em escala de semi-detulhe, bem como de representação nessas mesmas escalas, e nas quais o uso e ocupação são capazes de induzir mudanças de formas, materiais e processos, de modo continuado ou rápido e intenso, induzindo mudanças no seu funcionamento e conseqüentemente na sua fisionomia.

Os mesmos autores comentam ainda que os compartimentos morfopedológicos refletem uma história climática que pode ser deduzida a partir de suas formas e materiais, sobretudo inconsolidados, entendidos como testemunhos de processos geomorfopedogenéticos e podem apresentar evidências das relações com determinados tipos de flora original, mesmo que tenha sido devastada por outros usos.

Kilian & Rosseli (1978) apud Matos da Silva (2000), comentaram a importância de um método que propunha o conhecimento do meio físico, sua descrição e dinâmica, com vistas à sua análise considerando-o como um sistema, onde as interações específicas definem as unidades territoriais de igual estrutura, evolução e problemas comuns. Estas unidades territoriais são denominadas *unidades morfopedológicas* ou meios típicos.

Nesse sentido, Barbalho (2002, p. 50) coloca que,

se os compartimentos morfopedológicos forem correlacionados ao uso da terra histórico e atual e a um problema específico decorrente e relativo a um ou mais dos seus componentes físicos e suas conseqüências de modo mais abrangente, então passam a contribuir para além da explicação genético-evolutivo e processual relativa à dinâmica dos componentes que os delimitam, afetados que foram pelas inter-relações temporais e espaciais específicas entre a sociedade e a natureza.

Sendo assim, a compartimentação morfopedológica pode ser a base fundamental e inicial para a identificação dos diferentes riscos ao uso e ocupação, revelando-se como instrumento para os programas de controle preventivo e corretivo de uso do solo (BARBALHO 2002; CASTRO & SALOMÃO 2000).

Segundo Barbalho (2002) o diagnóstico morfopedológico tem como objetivo delimitar unidades da paisagem e/ou compartimentos a partir dos processos complexos de morfogênese e pedogênese explicitamente relacionados entre si, que lhe conferem uma dinâmica de evolução específica. Estes processos variam em função da declividade, da natureza das rochas, do material superficial, do clima, da formação vegetal e do solo.

Como destacam Castro & Salomão (2000, p. 29) em especial quanto aos solos, “tal abordagem poderia contribuir para evitar, muitas vezes, a adoção de práticas que não levam suficientemente em conta certas especificidades, como por exemplo, a de que seus fluxos hídricos verticais e, sobretudo, laterais internos subsuperficiais e profundos estão associados às naturezas dos seus constituintes, às suas formas de organização espacial e às suas disposições, pois que seus horizontes se superpõem e/ou se justapõem lateralmente e em *continuum* do topo à base dos interflúvios, constituindo os chamados sistemas pedológicos”.

Para corroborar a eficiência da abordagem morfopedológica, Nakashima (1999) elaborou um trabalho na região noroeste do Paraná utilizando essa abordagem produzindo o mapa de sistemas pedológicos. Da mesma forma, Barbalho (2002) elaborou a compartimentação morfopedológica da Alta Bacia do Rio Araguaia (GO) com vistas ao entendimento dos processos erosivos lineares. Ribeiro (2001) utilizou-se da mesma

abordagem como subsídio ao diagnóstico e prevenção dos processos erosivos lineares da bacia hidrográfica do Alto Rio da Casa (MT). Com uma abordagem um pouco diferenciada, Silva (2000), também se utilizou da caracterização morfopedológica para explicar às implicações ecológico-ambientais da bacia do Rio Formoso-Bonito – MS.

Levando-se em consideração a abordagem morfopedológica, percebe-se que a mesma possui importância fundamental nos estudos envolvendo os fatores do meio físico. Aliando-se essa concepção ao uso da terra histórico e atual pode-se ir além da explicação genético-evolutiva do problema específico estudado e entender qual a relação que se deu no contexto sociedade-natureza originando determinado impacto. A partir dessa idéia, é possível propor medidas que venham melhorar o uso e ocupação do meio físico, em especial dos solos e do relevo, fundamentadas em modelos mais adequados quanto às formas de uso e manejo ambiental.

3. METODOLOGIA

3.1 Concepção Metodológica

Baseado nas considerações descritas na revisão bibliográfica, aplicou-se o roteiro metodológico proposto por Castro & Salomão (2000) para a Compartimentação Morfopedológica da bacia, com os níveis de tratamento e modificações adaptados à realidade da área de estudo. O quadro 1 mostra de forma detalhada o roteiro metodológico utilizado.

QUADRO 1 – Roteiro Metodológico

Níveis de Tratamento		Atividades Principais	Proced. Principais
1º Etapa	Compartimentação Morfopedológica Preliminar	<ul style="list-style-type: none"> • Elaboração dos mapas temáticos da área de estudo; • Estudos analíticos temáticos e integrados dos atributos do meio físico com reconhecimento em campo; 	<ul style="list-style-type: none"> • Superposição dos mapas temáticos: geológico, de solos e geomorfológico; • Mapa de uso e ocupação; • Delimitação de unidades morfopedológicas (áreas homogêneas) • Esquema preliminar das unidades morfopedológicas da área de estudo;
2º Etapa	Atividade de Campo	<ul style="list-style-type: none"> • Aferição do material cartográfico; • Levantamento e descrição morfológica dos solos; • Mapeamento das ocorrências erosivas; 	<ul style="list-style-type: none"> • Interpretação das relações espaciais entre solo-relevo-substrato geológico e comportamento hídrico; • Correlação com o uso, ocupação dos solos, manejo e susceptibilidade a erosão;
3º Etapa	Generalização dos resultados	<ul style="list-style-type: none"> • Sistematização dos resultados obtidos através da identificação da relação entre, processos erosivos e as unidades morfopedológicas; 	<ul style="list-style-type: none"> • Representação cartográfica; • Mapa de ocorrências erosivas; • Mapa morfopedológico; • Mapa de Suscetibilidade;

Fonte: Inspirado em Castro & Salomão (2000).

Seguindo-se o roteiro metodológico descrito no quadro 1, apresentar-se-á a seguir a descrição detalhada de cada etapa.

3.2 Técnicas e Procedimentos Operacionais

Levando-se em consideração que a abordagem morfopedológica adotada fundamenta-se na análise integrada do meio físico por sobreposição dos mapas temáticos de geologia, geomorfologia e solos e, que irá produzir um mapa síntese com tais informações, torna-se necessário à elaboração dos mapas temáticos para obtenção dos resultados desejados. Trata-se da **1º Etapa**.

Nesta etapa, elaborou-se inicialmente a compilação e articulação das cartas topográficas de São Pedro do Sul e Quevedos com índice de nomenclatura SH.21-X-D-VI-2 e SH.21-X-D-III-4 respectivamente, na escala 1:50.000, elaboradas pela 1º DL (Divisão de Levantamento do Exército) de Porto Alegre, nas quais a área de estudo estava inserida. Posteriormente, escaneou-se as cartas e fez-se a georreferência utilizando-se do Software *ENVI 3.4* para tal procedimento. As cartas georreferenciadas foram importadas para o software *Arcview 3.2*, no qual pôde-se fazer a digitalização em tela do limite da bacia, bem como da rede de drenagem, das estradas, das curvas de nível, dos pontos cotados e dos outros elementos necessários para a confecção da carta base da área de estudo. Essas informações foram armazenadas em um banco de dados sendo posteriormente manipuladas e atualizadas.

Com os dados referentes a altimetria, ou seja, as curvas de nível e os pontos cotados e com o auxílio do software *Arc View 3.2* e do módulo *Surface/Create a TIN from Features*, foi gerada uma TIN⁵, sendo esta uma grade triangular, que é uma estrutura do tipo vetorial com topologia do tipo nó-arco que representa a superfície por meio de um conjunto de faces triangulares interligadas. Posteriormente os intervalos das classes de declividade foram

⁵ Triangulated Irregular Network

definidos de acordo com Perez Filho (2000) apud Barbalho (2002) e correspondem as seguintes classes, dadas em percentagens: 1^a) 0-3%; 2^a) 3-6%; 3^a) 6-12%; 4^a) 12-20%; 5^a) 20-45%; 5^a) >45%.

- 1^a) 0-3% - correspondem as áreas planas ou quase planas onde o escoamento superficial é lento, não oferecendo dificuldades para o uso de mecanização agrícola;
- 2^a) 3-6% - porções do relevo que apresentam declives suaves, onde o escoamento superficial é lento ou médio. Em alguns tipos de solos a erosão hídrica não oferece problemas.
- 3^a) 6-12% - são áreas com relevo ondulado e escoamento superficial médio ou rápido (dependendo do tipo de solo);
- 4^a) 12-20% - relevo muito inclinado ou colinoso. Apresenta um escoamento superficial rápido e os solos são facilmente erodíveis (exceto solos argilosos ou muito argilosos);
- 5^a) 20-45% - relevo com vertentes fortemente inclinadas cujo escoamento é muito rápido, independente do tipo de solo;
- 5^a) >45%. – relevo com vertentes íngremes em que o escoamento superficial é muito rápido e os solos extremamente suscetíveis à erosão.

Esses intervalos enquadram-se nos limites elásticos opcionais para as classes de declividade, adaptados do “Soil Survey Manual” (EUA,1951), Lepsch 1991 apud Barbalho 2002).

Os dados de altimetria serviram ainda para a elaboração do mapa hipsométrico. Com a mesma TIN (modelo digital do terreno utilizado para a elaboração do mapa de declividade), pode-se estabelecer um fatiamento desta imagem onde foram estabelecidos os intervalos das classes hipsométricas de 60 em 60 metros ficando assim definidos: 1^a)100 – 160; 2^a) 160 – 220; 3^a) 220 – 280; 4^a) 280 – 340; 5^a) >340;

O mapa de geologia da área foi elaborado tendo como base o mapa de geologia do município de São Pedro do Sul na escala de 1:50.000 elaborado por Silvério da Silva (não publicado). O mapa em formato digital foi importado para o software *ENVI 3.0* onde foi possível fazer o recorte da área de estudo e a georreferência. O novo arquivo gerado foi importado para o software *Arcview 3.2* no qual pôde-se fazer a digitalização dos polígonos referentes aos diferentes tipos de litologias e, por conseguinte, a geração do mapa de geologia da bacia em estudo.

O mapa de solos foi elaborado a partir do mapa de solos do município de São Pedro do Sul em formato digital elaborado por Klamt et al (2001). O procedimento adotado para a geração desse mapa foi idêntico aquele utilizado para a geração do mapa de geologia da área.

Para a geração do mapa de geomorfologia, inicialmente elaborou-se o mapa de forma de vertentes. O procedimento adotado se constitui da interpretação visual da distribuição e do espaçamento entre as curvas de nível sobre a carta topográfica na escala de 1:50. 000. A partir desta análise inicial foi possível elaborar a interpretação das formas de vertentes.

De acordo com Muller Filho & Sartori (1999) para a vertente retilínea as curvas de nível encontram-se separadas equidistantes, nas côncava as curvas são cerradas próximas do topo e mais afastadas na base da vertente e nas convexas ocorre o inverso, estando afastadas no topo e próximas na base. Existem subdivisões nestas formas de vertentes, como convexa-côncava, côncava-convexa, entre outras, mas para este estudo optou-se por utilizar somente as principais formas de vertentes sem os subgrupos. As áreas sem declividade (0 a 3%) foram classificadas como planícies.

O mapeamento das formas de vertentes teve como objetivo principal produzir um primeiro documento para subsidiar o trabalho de campo. Aliado ao mapa hipsométrico, de declividade e a imagem de satélite, forneceram as informações preliminares para as possíveis respostas encontradas em campo.

Com as informações de campo, o mapa de forma de vertentes, de hipsometria, de declividade e da imagem de satélite, elaborou-se o mapa geomorfológico final no qual cinco diferentes formas de relevo foram mapeadas, sendo elas: Formas de Acumulação – Planície Aluvial; Relevo Residual – Topo Aguçado; Relevo Residual – Topo Aplanado; Formas de Dissecação – Formas Convexas e Formas de Dissecação – Formas Côncavas. A legenda foi adaptada de Ribeiro (2001).

O mapa de uso e ocupação da terra⁶, que serviu para identificar os diferentes usos existentes na bacia, foi elaborado com a classificação supervisionada da imagem LANDSAT 7 ETM+, do mês de março de 2002, bandas 543/RGB, com resolução de 15 metros. A interpretação da imagem bem como a classificação supervisionada foi elaborada com auxílio do software *ENVI 3.4*. Nesta etapa, as classes de uso da terra foram identificadas e diferenciadas umas das outras pelo seu padrão de resposta espectral. Na classificação define-se as assinaturas espectrais das categorias de uso conhecidas e o computador associa cada píxel da imagem à assinatura mais similar. Com a imagem classificada, um novo arquivo foi gerado, sendo importado para o software *Arcview 3.2* no qual pode-se elaborar o mapa de uso e ocupação final bem como a geração e produção de informações em nível qualitativo e quantitativo referentes a cada classe.

Com este procedimento, foram identificadas sete diferentes classes de uso da terra. São elas: 1) Pastagens; 2) Florestas; 3) Culturas Irrigadas; 4) Lâmina d'água; 5) Culturas sem Irrigação; 6) Sombra.

Nota-se que existe uma classe de uso classificada como sombra. Tal fato se explica em função de o relevo da área ser bastante acidentado e em algumas porções muito íngremes, criando o efeito de sombra sobre as porções de menor altitude do relevo. Este efeito se acentua quando a passagem do satélite ocorre em horários em que o sol não está em seu

⁶A expressão “uso da terra” neste trabalho é compreendida como “a forma pela qual o espaço está sendo ocupado pelo homem” (INPE 1980).

zênite, ou seja, quanto mais próximo ao horizonte maior será o efeito das sombras. Com o trabalho de campo constatou-se que as áreas classificadas como sombras eram de florestas, desaparecendo as dúvidas existentes até então.

Com a compilação dos dados cartográficos concluída (geologia, geomorfologia e pedologia) e por meio da sobreposição dos mesmos, níveis de relação sucessivos nas diferentes porções da área estudada foram reconhecidos. As sobreposições possibilitaram estabelecer comparações entre os diferentes temas e confrontá-los com a imagem de satélite, auxiliando a identificação e a delimitação de um esquema preliminar dos compartimentos morfopedológicos da área em estudo.

Barbalho (2002) comenta que é de fundamental importância manter a uniformidade escalar entre os documentos, admitindo-se pequenos ajustes por ampliação ou redução. Neste sentido Castro & Salomão (2000) assinalam que a escala de semidetalhe 1:100.000 e de detalhe 1:50.000 ou maiores são as que permitem o rápido reconhecimento, bem como a delimitação das áreas homogêneas e/ou compartimentos morfopedológicos. Para este trabalho foi estabelecida a escala 1:50.000 em função de toda a base cartográfica e todos os mapas temáticos terem sido elaborados nesta escala e também pela possibilidade de adaptação da escala da imagem de satélite.

Na **2ª Etapa** – Atividade de Campo – com os mapas temáticos já elaborados pôde-se conferir e atualizar o material cartográfico de modo a validá-lo.

Com o trabalho realizado durante a expedição a campo, se fez o reconhecimento das características de cada compartimento estabelecido previamente, bem como inferiu-se sobre a sua suscetibilidade aos processos erosivos. Estabeleceram-se critérios para a delimitação segura dos Compartimentos Morfopedológicos e foram identificadas e mapeadas as ocorrências erosivas na área. Essa atividade realizou-se percorrendo as estradas principais,

vicinais e caminhos de propriedades rurais, de maneira a abranger todos os compartimentos morfopedológicos previamente delimitados, perfazendo um total de aproximadamente 150 km. Salienta-se que o mapeamento das erosões foi feito com o auxílio de um GPS (Sistema de Posicionamento Global) e totalizaram 56 erosões mapeadas. Esse processo consistiu, primeiramente, na identificação de cada ocorrência erosiva e num segundo momento na coleta das coordenadas (latitude e longitude) de cada uma delas. Deixa-se claro que foram apenas coletadas as coordenadas das erosões com o intuito de localizá-las posteriormente sobre a base cartográfica gerando dessa forma o mapa de ocorrências erosivas. Não foram realizadas descrições referentes à largura, comprimento e profundidade das erosões, pois não era objetivo do trabalho.

Durante o trabalho de mapeamento das ocorrências erosivas, constatou-se que existiam três tipos diferenciados de feições erosivas sendo elas denominadas de: ravinas, voçorocas e erosões complexas.

Como critério para diferenciação entre ravinas e voçorocas utilizou-se a definição proposta por Infanti Jr. & Fornasari Filho (1998), em que consideram ravinas originadas a partir da concentração das linhas de fluxo das águas de escoamento superficial. Caso a erosão se desenvolva por influência não somente das águas superficiais, mas também dos fluxos d'água subsuperficiais, em que se inclui o lençol freático, configura-se o processo conhecido como voçoroca.

Resta ainda esclarecer o terceiro tipo de erosão encontrada na área. Luiz (2003) em um trabalho realizado em Barra Mansa no Rio de Janeiro constatou que algumas feições eram formadas pela associação de um conjunto de mecanismos, sendo que um mecanismo dá início à feição, enquanto outros fazem-na evoluir. Porém, algumas feições foram classificadas pelo autor como complexas por serem fruto de uma sinergia de diversos mecanismos, não se sabendo qual o predominante ou o principal responsável pela conformação da feição.

O autor assinala que muitas feições são o resultado de uma evolução provocada por outros mecanismos que não necessariamente aquele que lhe deu origem e, por isso, a partir apenas da observação de sua forma atual não é possível lhe associar um processo único de gênese, sendo necessário que se empreenda estudos mais aprofundados sobre sua dinâmica de evolução através de observações da atuação dos seus mecanismos modeladores e do conhecimento da organização e natureza dos materiais no seu interior.

Levando em consideração essas informações, optou-se por classificar o terceiro tipo de erosão como “erosão complexa”.

Concomitantemente ao trabalho de mapeamento das ocorrências erosivas, sondagens a trado e observação de perfis de solo em taludes de estradas, permitiram ratificar as informações do mapa pedológico com relação aos diferentes tipos de solos existentes.

Como a pesquisa não teve como objetivo detalhar os diferentes tipos de solos com relação à textura, porosidade, granulometria entre outros, não foram coletadas amostras para análises químicas e físicas. Alguns resultados relacionados a estas características foram adquiridos junto ao relatório de solos do município de São Pedro do Sul elaborado por Klamt et al (2001).

O cálculo do IOEL, ou seja, índice de ocorrências erosivas, apresentado por Barbalho (2002) que expressa a frequência em índices de concentração das erosões, não foi calculado em virtude da bacia apresentar área relativamente pequena e serem identificadas ocorrências em apenas dois compartimentos, não se revelando necessário para auxiliar na classificação quanto à suscetibilidade de cada compartimento.

As classes de suscetibilidade à erosão linear foram definidas tendo-se por base a análise integrada do meio físico, ponderando-se o comportamento das águas e incidências de ravinas e voçorocas, em relação aos fatores geológicos, geomorfológicos e pedológicos. De

acordo com Salomão (1999) apud Ribeiro (2001) a metodologia para identificar a suscetibilidade à erosão linear envolve os seguintes passos:

- a) Identificação e mapeamento das ocorrências erosivas lineares. Esse trabalho foi realizado analisando-se a imagem de satélite e com reconhecimento em campo foi possível cadastrá-las com auxílio de um GPS;
- b) Sobreposição do mapa de ocorrências erosivas com o mapa morfopedológico, situando-se as erosões em relação aos compartimentos morfopedológicos. Com esse procedimento, pode-se ter um entendimento preliminar das diferentes suscetibilidades dos compartimentos;
- c) Levantamentos de campo, buscando-se identificar o comportamento diferenciado dos fatores geológicos, geomorfológicos e pedológicos em relação ao desenvolvimento de ravinas e voçorocas. Essas observações privilegiaram o comportamento hidrológico diferenciado das vertentes em relação ao desenvolvimento das ravinas e voçorocas;
- d) Definição dos critérios de distinção de classes de suscetibilidade, contemplando diferentes níveis de predisposição dos terrenos em relação a ravinamento e voçorocamento e de sensibilidade à ocupação do solo.

Seguindo a proposta de Salomão (1999) os critérios de distinção das classes de suscetibilidade são os seguintes:

- ***Extremamente suscetíveis a ravinas e voçorocas:*** são áreas muito favoráveis à instalação de fenômenos de *piping*, onde os processos de voçorocamento se desenvolvem logo após a destruição da cobertura vegetal natural, independentemente das formas de ocupação. Isso se deve à existência nesses locais de gradientes hidráulicos subterrâneos elevados, associados a materiais da zona de percolação do lençol freático com características que

permitam a remoção e transporte das suas partículas. Em geral, essas áreas situam-se em nascentes, fundo de vales e cabeceiras de drenagem, especialmente se essas cabeceiras apresentarem formas de anfiteatros côncavos. Incluem-se também setores de vertentes que apresentam nível de água do lençol subaflorante, passíveis de desenvolver sulcos e ravinas com o simples desmatamento. Com o aprofundamento dessas erosões o lençol freático pode ser interceptado, desenvolvendo fenômenos de *piping*.

- ***Muito suscetíveis a ravinas e pouco suscetíveis a voçorocas:*** são áreas favoráveis à concentração de fluxos de água, onde os processos de ravinamento se desenvolvem em função da ocupação do solo, a partir de pequena concentração das águas de escoamento superficial. Fenômenos de *piping*, condicionando o desenvolvimento de voçorocas, somente são observados quando as ravinas se aprofundam, interceptando o lençol freático. Em geral, essas áreas situam-se em terrenos com certa declividade, que permita a fácil concentração das águas de escoamento superficial, associadas a solos caracterizados por alto gradiente textural entre os horizontes superiores do perfil, como o observado nos Argissolos de textura arenosa/média ou de textura arenosa/argilosa.
- ***Moderadamente suscetíveis a ravinas e pouco suscetíveis a voçorocas:*** são área de dispersão dos fluxos de água bem drenadas e, com elevadas permeabilidades até grandes profundidades, facilitando a rápida infiltração das águas de chuva. Entretanto, a cobertura pedológica, constituída por solos pouco coesos, permite fácil remoção das partículas por escoamento das águas superficiais. Os processos erosivos por ravinamento ocorrem condicionados a grandes concentrações das águas de escoamento superficial, devido a determinadas formas de ocupação que favorecem a concentração das águas, como, por exemplo, estradas, arruamentos, caminhos de serviço, trilhas de gado e cercas. Fenômenos de *piping*, desenvolvendo voçorocas, somente ocorrem quando o aprofundamento das ravinas interceptar o lençol freático, situação comum nas posições inferiores de vertentes,

próximas a fundo de vales e a cabeceiras de drenagem. Em geral, são áreas com declividades suficientes para permitir o escoamento das águas superficiais, constituídas por solos de textura arenosa e de textura média, como os Neossolos Quartzarênicos e Latossolos de textura média. Essas áreas apresentam comumente solos muito profundos, assim, quando as ravinas ou voçorocas aí se instalarem, podem apresentar grandes dimensões.

- ***Suscetíveis a ravinas e não suscetíveis a voçorocas:*** são áreas favoráveis à concentração dos fluxos de água; entretanto, a cobertura pedológica apresenta profundidades relativamente pequenas e com ausência do lençol freático. Os processos erosivos por ravinamento ocorrem especialmente condicionados à declividade das encostas e a determinada forma de ocupação, que favorece a concentração das águas de escoamento superficial. Em geral, as ravinas são pouco profundas, com maior incidência de sulcos, tendo em vista a resistência ao aprofundamento da erosão, imposta pelas camadas subsuperficiais do perfil do solo. Em geral, as áreas de ocorrência dessa classe de suscetibilidade são caracterizadas por declives relativamente elevados, permitindo, com relativa facilidade, a concentração das águas pluviais, associadas a solos pouco profundos, por exemplo, os Cambissolos, Brunizens e Neossolos Litólicos.
- ***Não suscetíveis a ravinas e a voçorocas:*** são áreas de agradação constituídas por terrenos com declividade praticamente nula, impossibilitando o escoamento das águas superficiais, mesmo quando submetidas a diferentes formas de ocupação, e que apresentam gradiente subterrâneo muito baixo, incapaz de gerar fenômenos de *piping*. Em geral, essas áreas situam-se às margens de cursos de água constituindo-se de planícies de inundação.

Com essas etapas concluídas, partiu-se para a **3ª Etapa**, ou seja, a generalização dos resultados, que contempla a representação cartográfica final, incluindo-se nesta, a elaboração

do mapa de ocorrências erosivas, o mapa morfopedológico final e o mapa de suscetibilidade a erosão linear da área de estudo.

O mapa de ocorrências erosivas foi elaborado com as informações adquiridas durante o trabalho de campo já que não se teve acesso a fotografias aéreas da área de estudo. Durante o trajeto percorrido na bacia, as erosões foram sendo identificadas e com o auxílio de um GPS eram coletados os dados referentes a latitude e longitude de cada ocorrência erosiva. Em gabinete os pontos referentes as erosões foram devidamente localizados e plotados na base cartográfica com o auxílio do software ArcView 3.2, gerando o mapa de ocorrências erosivas da área.

Para a elaboração final do mapa morfopedológico, foram utilizados os dados cartográficos gerados nas etapas anteriores bem como as informações de campo, que permitiram a delimitação mais precisa dos compartimentos morfopedológicos e a elaboração do mapa final com uma legenda explicativa que relaciona para cada compartimento os elementos considerados do meio físico e o número de ocorrências erosivas em cada compartimento.

Diferentemente do trabalho de Barbalho (2002) que se verifica que cada compartimento foi delimitado obedecendo como critério os divisores de água internos da bacia como limite superior e o fundo de vale do rio principal como limite inferior, neste trabalho utilizou-se os diferentes tipos de solos como critério principal para definição da delimitação dos compartimentos morfopedológicos, fato explicado em virtude dos compartimentos apresentarem características muito semelhantes quanto ao relevo e a geologia.

Com a elaboração do mapa de ocorrências erosivas e do morfopedológico associado com as informações levantadas em campo e levando em consideração os critérios estabelecidos por Salomão (1999), elaborou-se o mapa de suscetibilidade à erosão linear.

Inicialmente, o mapa de ocorrências erosivas e o mapa morfopedológico foram sobrepostos e comparados. Posteriormente foram somadas as informações referentes aos critérios utilizados na classificação da suscetibilidade e os dados coletados em campo. A partir deste conjunto de informações pôde-se verificar que cada compartimento trata-se de uma área caracterizada por um comportamento erosivo específico. Foi estabelecida uma legenda explicativa que relaciona a posição topográfica do mesmo e sua respectiva suscetibilidade.

4. MORFOPEDOLOGIA: SUBSÍDIO A COMPREENSÃO EROSIVA

4.1 Caracterização Geral da Área

A bacia hidrográfica do Arroio Guassupi, com uma área de 78,97 km² encontra-se situada ao norte do município de São Pedro do Sul-RS. O mesmo possui uma superfície de 986 km² e localiza-se na porção central do Rio Grande do Sul, em uma zona de transição entre a Depressão Central e o Planalto Sul-Riograndense, na microrregião de Santa Maria fazendo divisa com os municípios de Toropi e Quevedos ao norte; Santa Maria e Dilermando de Aguiar ao sul; São Martinho da Serra à leste e São Vicente do Sul, Cacequi e Mata à oeste. Está compreendido entre as coordenadas geográficas de 29°26'24" a 29°46'12" de latitude sul e 53°56'24" a 54°30'36" de longitude oeste.

Com relação à população, São Pedro do Sul, de acordo com dados do Atlas de Desenvolvimento Humano no Brasil, possui um total de 16.989 habitantes, sendo destes 11.831 habitantes rurais e 5.158 habitantes urbanos como mostra a Tabela 1.

TABELA 1 – População do município de São Pedro do Sul em 1991 e 2000.

	1991	2000	Taxa de Crescimento
Urbana	9.731	11.831	
Rural	7.382	5.158	
População Total	17.113	16.989	- 0,08

Fonte: Atlas do Desenvolvimento Humano do Brasil.

Observando a tabela, constatou-se que houve um decréscimo na população já que no período observado a população de São Pedro do Sul teve uma taxa média de crescimento anual de -0,08%, passando de 17.113 em 1991 para 16.989 em 2000.

No que se refere aos aspectos econômicos, o município apresenta uma agricultura baseada na cultura de arroz e na pecuária extensiva. As pequenas e médias propriedades, possuem área variando entre 1 e 50 ha e as consideradas médias e grandes tem área de 50 a

500 ha. As atividades econômicas desenvolvidas estão basicamente no setor primário com a agricultura e pecuária, os setores secundário e terciário tem pequena participação na economia, no entanto salienta-se a presença das indústrias de beneficiamento de arroz, madeiras e o comércio local.

4.1.1 Geologia

A geologia da área de estudo (Figura 2) é constituída basicamente por duas formações: Formação Serra Geral e Formação Botucatu.

Os derrames da Formação Serra Geral formam o topo do relevo recortado que compõe o Rebordo do Planalto⁷, estendendo-se continuamente para o norte. Aparecem muitas vezes, afastado do Rebordo recobrimdo alguns dos vários morros-testemunhos, à frente da escarpa Planaltina, testemunhando a antiga posição do Planalto no limite com a Depressão Central (PONTELLI, 1994).

A Formação Serra Geral é constituída por duas seqüências vulcânicas: uma básica e outra ácida. A seqüência inferior (básica) tem uma constituição que varia de basalto a andesito. Formam os derrames corpos de forma tabular, mas não necessariamente contínuo e de mesma espessura. Onde são espessos, apresentam a parte central compacta. Esta unidade apresenta uma intensa fissuração, predominantemente vertical no meio do derrame (Estrutura Colunar) e horizontal no topo e na base. O espaçamento entre as fraturas gira em torno de 20 cm aproximadamente. O contato entre os derrames pode apresentar material brechóide e/ou delgadas camadas de arenito intertrapp com exceção do intervalo entre o terceiro e quarto derrame onde ocorre um espessa camada do Arenito Botucatu. Nestas condições, a água pode se deslocar com relativa facilidade através das fraturas. A infiltração encontra barreiras

⁷ Faixa transicional entre a Depressão Central e o Planalto Sul-Riograndense.

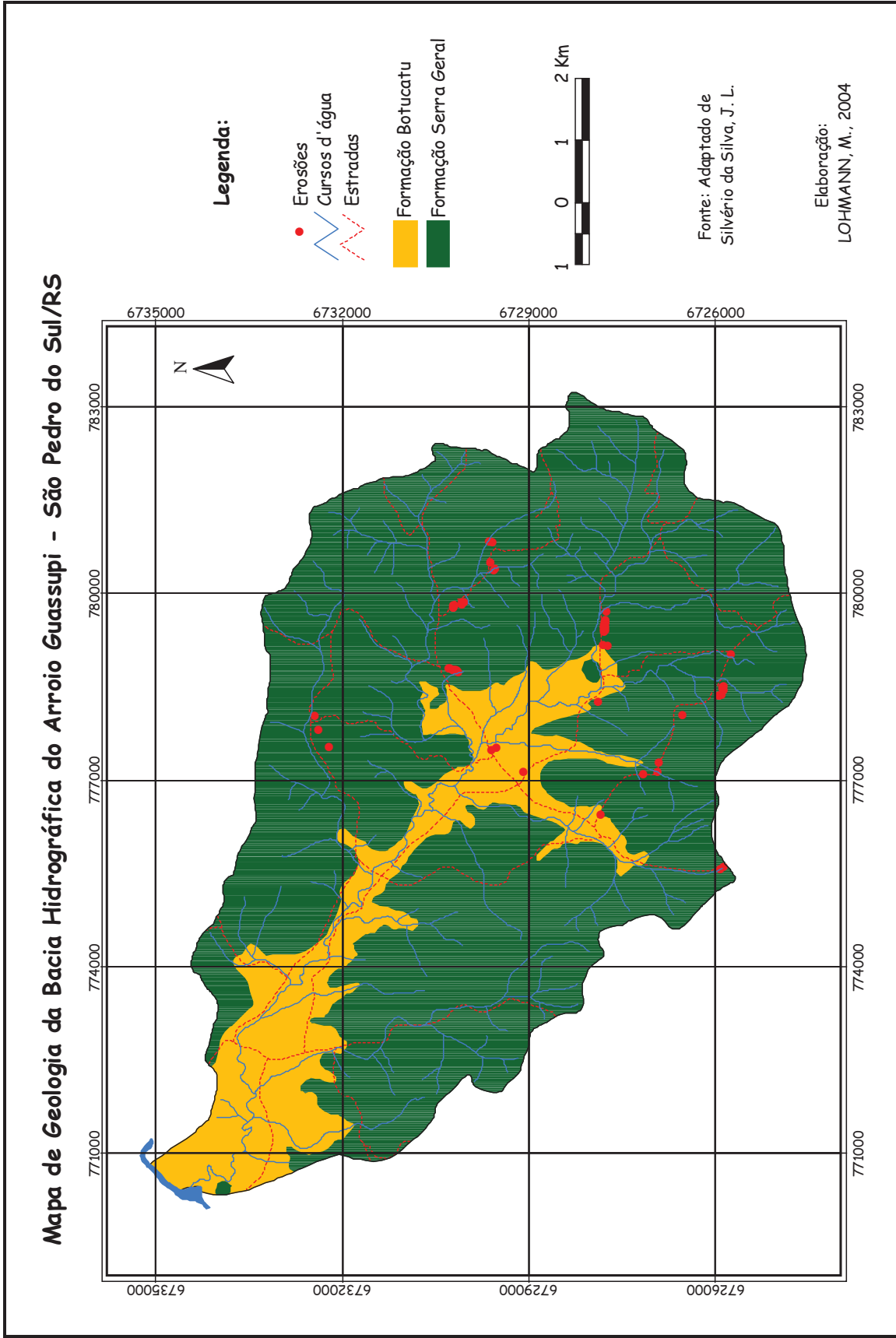


FIGURA 2 – Mapa de Geologia da Bacia Hidrográfica do Arroio Guassupi

bastante diferenciadas para atingir as fissuras (MACIEL FILHO, 1990).

A seqüência superior (granófiros e vitrófiros), compreende as rochas vulcânicas ácidas representadas por riólitos de coloração cinza-clara, além de granófiros e vitrófiros de cor preta ou castanha, apresentando uma disjunção predominantemente tabular (CORDANI, et al, 1980 apud PONTELLI 1994). Esta seqüência ácida se estende continuamente por todo o topo dos interflúvios, dominando nas áreas mais elevadas, assim como o topo dos relevos residuais que se encontram separados do Rebordo. Esses topos apresentam-se com feições arredondadas, denominadas coxilhas, que se originam a partir do ataque da erosão nas camadas sub-horizontais da Formação Serra Geral, trabalho este facilitado pela presença do clima subtropical úmido característico da região (PONTELLI 1994).

A Formação Botucatu, conforme Medeiros (1980), foi descrita originalmente por Gonzaga de Campos em 1889, no Estado de São Paulo. Os arenitos constituem depósitos eólicos (antigas dunas) com laminação cruzada de grande porte, apresentando eventuais intercalações de lavas basálticas de idade Jurássica. Encontra-se recoberto por basalto de idade Cretácea.

Por Formação Botucatu são considerados tanto o arenito eólico pré-basalto quanto o intertrapeano com espessura expressiva. Esta formação é composta por arenitos essencialmente quartzosos contendo feldspatos alterados cimentados por sílica predominantemente ou óxido de ferro, com estratificação cruzada de grande porte. São antigas dunas, portanto, de origem eólica. O arenito Botucatu possui uma permeabilidade alta, bem como seus solos residuais. A alimentação se processa por infiltração através do solo na área de exposição desta unidade, a qual é pequena. A recarga indireta por infiltração a partir dos derrames de basalto é outra modalidade de recarga. Este arenito é um aquífero importante da Bacia do Paraná. Como o mergulho geral das camadas é para norte, existe um fluxo geral nesse sentido, nas camadas que estão mais interiorizadas. Próximo à encosta que constitui a

Serra, devido à condição de topografia, há um fluxo para jusante da encosta motivado pelo rebaixamento do nível piezométrico, em consequência da descarga nas fontes que bordejam essa área geomorfológica. (MACIEL FILHO, 1990).

Segundo Pontelli (1994), os sedimentos arenosos eólicos da Formação Botucatu contribuem para a individualização dos degraus escarpados do Rebordo, embora não sejam tão significativos quanto os arenitos da Formação Caturrita. Entende-se disso que, por serem mais erosionáveis e menos mantenedores que os da Formação Caturrita, formam mais “peraus” (vertentes íngremes) do que patamares.

4.1.2 Clima

De acordo com a classificação de Köppen (Pereira et al, 1989), o clima no município de São Pedro do Sul bem como na bacia hidrográfica do Arroio Guassupi é do tipo Cfa – subtropical sempre úmido, com verão quente, onde:

C – temperatura média do mês mais frio, entre -3°C e 18°C , e a do mês mais quente superior a 10°C .

f – nenhuma estação seca, úmido todo ano.

a – verão quente, com temperatura média do mês mais quente superior a 22°C .

A temperatura média anual oscila entre 18°C e 20°C , a média do mês mais quente está entre 28°C e 32°C no mês de janeiro, e a média do mês mais frio está entre -3°C e 18°C , ocorrendo em julho. As precipitações são regulares todo o ano, sem estação seca definida com índices pluviométricos anuais de 1500mm a 1750mm, sendo que os meses menos chuvosos são março, novembro e dezembro.

Os ventos predominantes são provenientes do leste (E) e sudeste (SE), sendo os mais fortes provenientes do quadrante norte (NE, NW) e os mais frios do sul (SE e SW) com ocorrência de muitos calmos.

A região que compreende o município de São Pedro do Sul, de forma geral não apresenta problemas de deficiência hídrica. Déficits que possam comprometer a produtividade das culturas ocorrem freqüentemente, principalmente nos meses de novembro, dezembro, janeiro, fevereiro e março, quando ocorrem as menores precipitações e maiores temperaturas.

4.1.3 Geomorfologia

A área de estudo, localiza-se em uma zona de transição geológica e geomorfológica, ou seja, o Rebordo do Planalto, que constitui-se na transição entre Planalto Sul-Riograndense e Depressão Central. Este grande compartimento geomorfológico apresenta-se com elevados desníveis de relevo entre seu topo e as porções mais baixas bem como depósitos de talude e rochas efusivas básicas, além de diques e corpos tabulares de diabásio.

Justos (1986) assinala que na região conhecida como Rebordo, encontram-se relevos modelados com forte dissecação que se desenvolveram em rochas efusivas básicas e ácidas da Formação Serra Geral, resultando em um relevo que varia desde formas menos dissecadas até o nível mais profundo de entalhamento.

Embora o Rebordo possua um alinhamento aproximadamente retilíneo, de leste para oeste, as reentrâncias ou endentações profundas que se apresentam correspondem aos cursos d'água que cortaram a escarpa por erosão regressiva, concomitantemente ao soerguimento do Planalto, originando o grande festonamento atual. Esse processo de entalhe e festonamento foram facilitados pela existência de grande número de falhas e fraturas dos derrames vulcânicos, além do clima úmido que determina cursos d'água perenes que com o passar do tempo vão dando formas ao relevo.

Associado à ação erosiva regressiva da drenagem, Pontelli (1994) assinala que se tem ainda o fato desses cursos d'água cortarem diferentes litologias no decorrer de seu entalhamento, ou seja, rochas tanto de origem vulcânica como sedimentares que respondem de maneira diferenciada ao ataque da erosão, definindo e individualizando as formas de relevo.

A ocorrência das escarpas abruptas reflete o forte comando estrutural representado por falhamentos e diaclasamentos resultantes dos esforços do soerguimento do Planalto. Os processos geomorfológicos de denudação sucessiva e o retrocesso das escarpas ocasionaram

um rebaixamento da superfície regional, que foi soerguida por movimentos tectônicos, resultando na formação de um pediplano, acompanhado de morros residuais (MÜLLER FILHO 1970; HERMANN & ROSA 1990 e REETZ & SILVÉRIO DA SILVA 1999).

Os autores supracitados comentam ainda que estes morros residuais apresentam topos com afloramentos rochosos e áreas com produtos resultantes de alterações ocorridas no basalto ou arenito Botucatu, caracterizando-se pela presença de solos pouco desenvolvidos cobertos com uma vegetação rala e dispersa. As escarpas podem conter arenitos silificados, originados pelas coberturas de lava vulcânica. Já nas encostas são encontrados depósitos coluviais arenosos.

De acordo com Pontelli (1994), há fortes evidências de que o recuo do Rebordo na área de ocorrência dos derrames deve-se à presença do intenso diaclasamento das efusivas que facilita a penetração da água e conseqüentemente o intemperismo, desencadeando-se a ação erosiva tanto pluvial como fluvial. Portanto, a evolução do Rebordo pode ter se efetuado a partir do encaixe da drenagem na superfície do Planalto, por sua ação regressiva, em direção aos grandes altiplanos regionais que comportam-se como interflúvios, assim como também poderão ter evoluído a partir da adaptação da drenagem às juntas existentes integrantes do intenso diaclasamento por resfriamento e contração das efusivas da Formação Serra Geral.

Pontelli (op cit) afirma ainda que a gênese e a evolução do rebordo do Planalto não se explica por uma única causa. Contudo, evidencia-se que a ação erosiva é o grande processo que atuou na região (e continua atuando), ou o que predominou modelando o relevo e resultando em formas variadas. Ora tem-se vales em “V”, mais estreitos e de vertentes mais íngremes (conhecidos regionalmente como “peraus”), ora em “U”, mais amplos e com vertentes mais inclinadas, apresentando patamares intermediários que dão a forma escalonada da vertente. Há ainda a presença de relevos residuais que atestam a ação erosiva na área.

A presença dos relevos residuais também destaca o fato de que a Depressão Periférica pouco se ampliou às custas da erosão do Rebordo na área dos derrames, uma vez que eles atestam o recuo do Planalto e o seu limite inicial com a Depressão.

Segundo Pontelli (1994), o limite meridional dessa faixa de relevos acidentados com a Depressão central é inferido a partir da existência dos morros-testemunhos que se encontram à frente dos vales e escarpas festonadas. Mantidos geralmente pelo capeamento das efusivas ácidas e básicas sobre o arenito eólico Botucatu, representam e indicam o limite atingido pelos derrames de lavas ocorridos durante o Cretácio. Da mesma forma, servem ainda também como ponto de partida para se entender o recuo do Planalto em detrimento da faixa de relevo festonado que se originou pela ação erosiva da drenagem, ora recuando regressivamente, ora adaptando-se às juntas de fratura e diáclases que se constituem numa das características das efusivas.

Especificamente para a bacia hidrográfica em estudo, a elaboração do mapa geomorfológico teve como base o trabalho de campo, os mapas de hipsometria (Figura 3), formas de vertentes, declividade (Figura 4) e interpretação da imagem de satélite. A partir dessas informações, cinco diferentes formas de relevo foram definidas (Figura 5).

Levando em consideração as classes de hipsometria, declividade e as formas de relevo, constata-se que a conformação topográfica da área de estudo é bastante diversificada. A porção mais baixa da bacia, com altitudes variando de 100 a 160m e declividades de 0 a 3% constitui-se na *planície aluvial*, onde o processo de acumulação é predominante, já que todo o material proveniente das áreas de maior altitude é depositado nesse compartimento. Ocupa toda a porção central e norte da bacia. Na porção em que as altitudes variam de 160 a 220m, aparecem as formas de dissecação sendo que o relevo apresenta característica singular pois é a faixa em que ocorre a mudança de litologia passando-se da Formação Botucatu para a Formação Serra Geral e também constitui-se na porção em que ocorre à ruptura das vertentes,

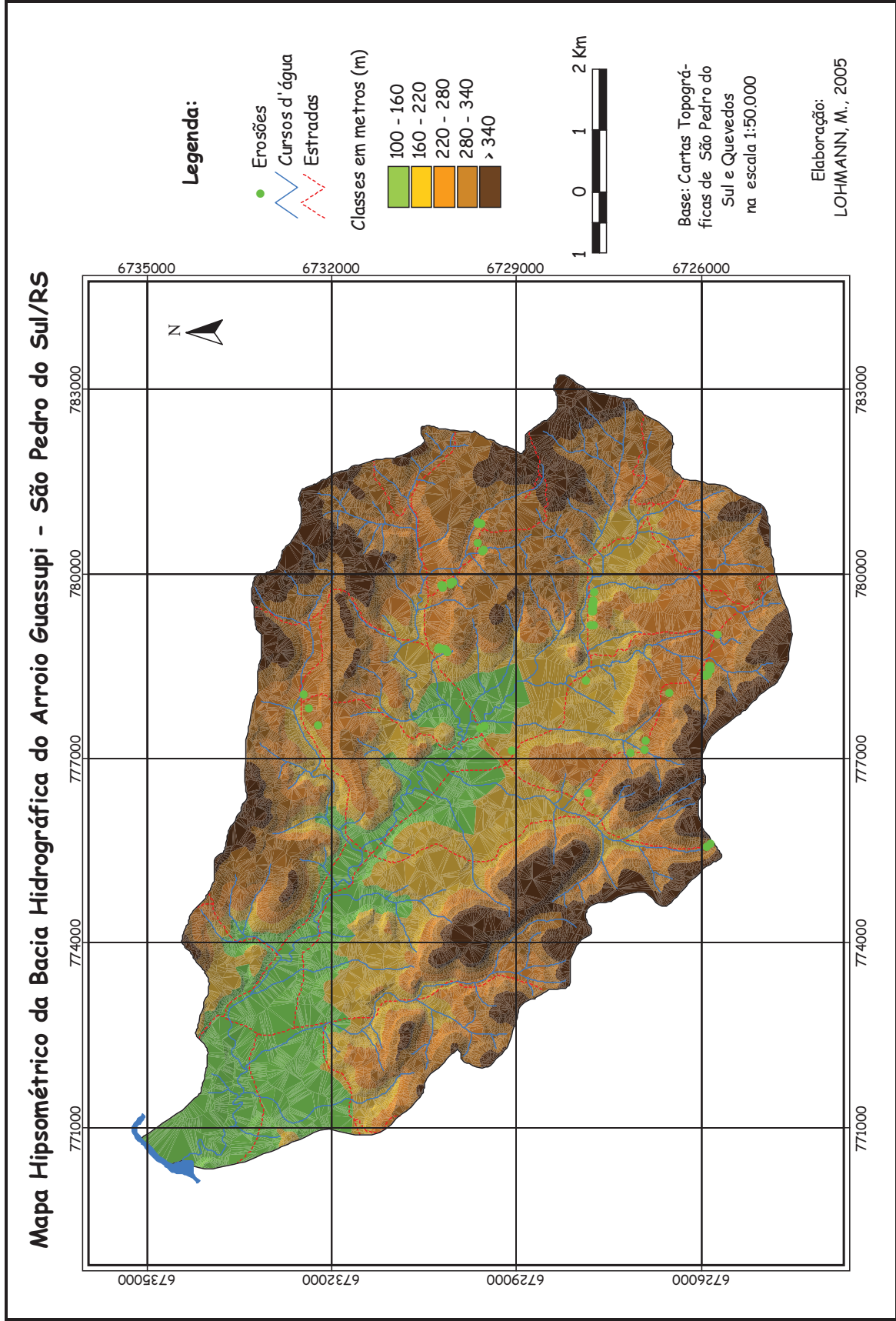


FIGURA 3 – Mapa Hipsométrico da Bacia Hidrográfica do Arroio Guassupi

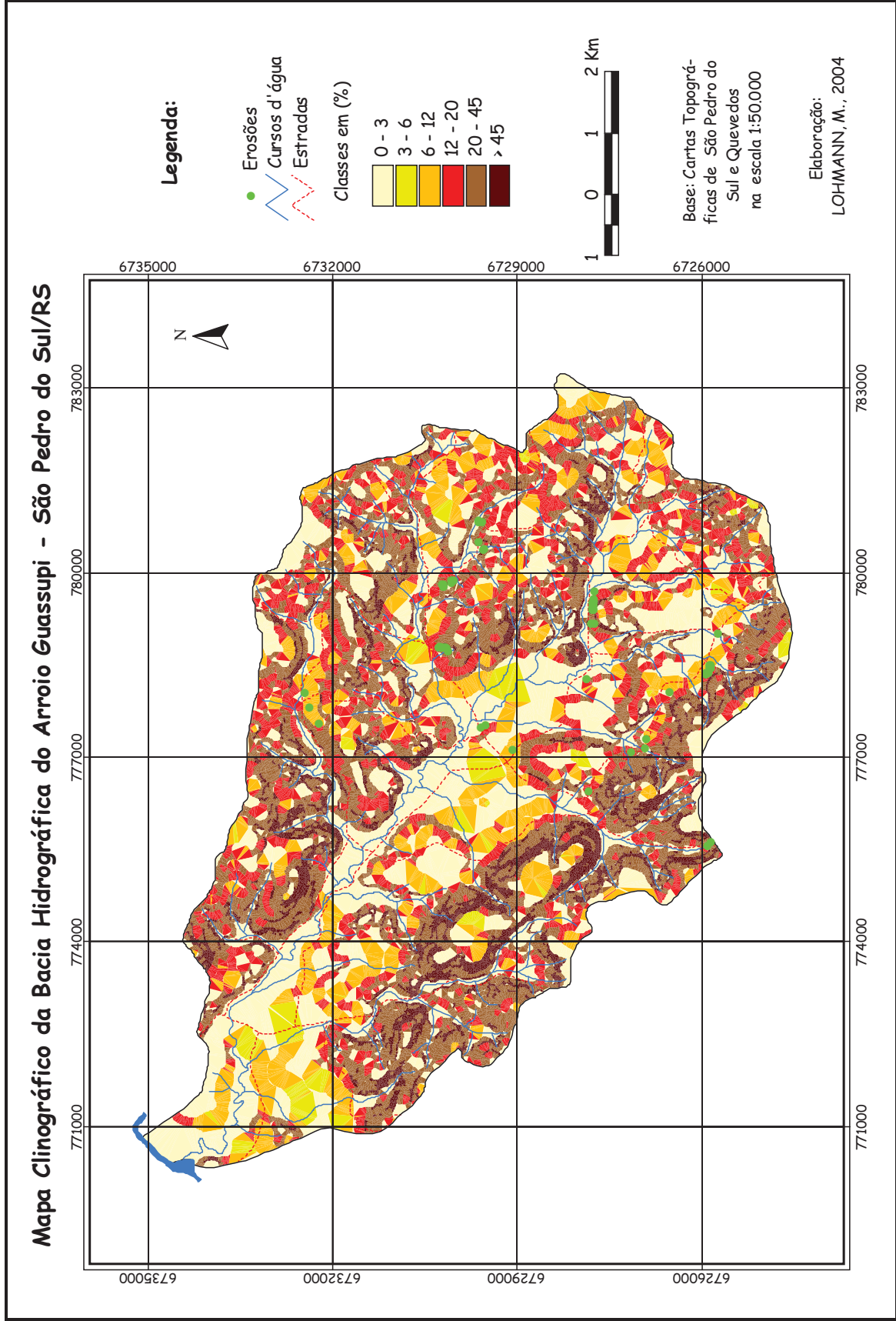


FIGURA 4 – Mapa Clinográfico da Bacia Hidrográfica do Arroio Guassupi

Mapa de Compartimentos Geomorfológicos da Bacia Hidrográfica do Arroio Guassupi - São Pedro do Sul/RS

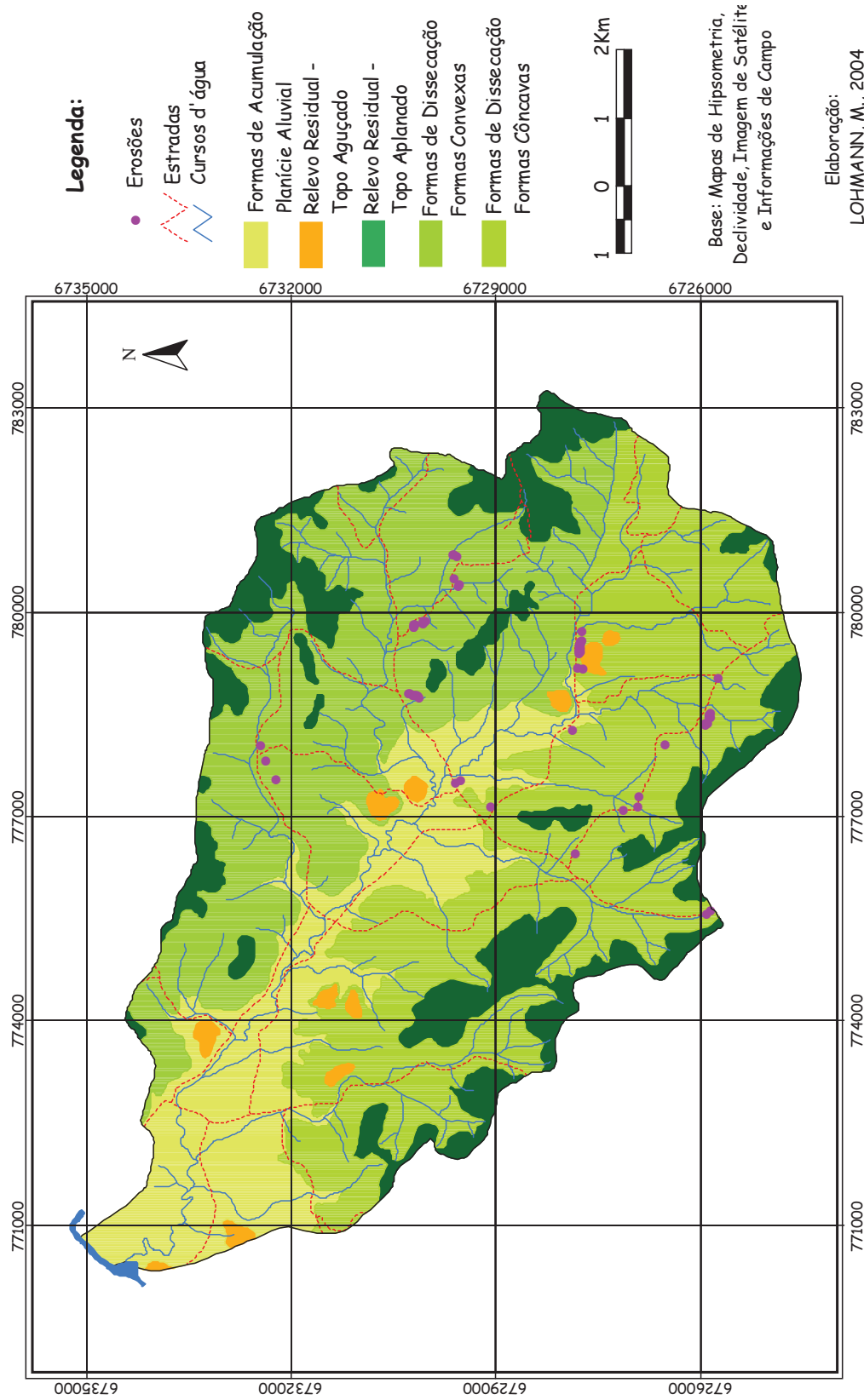


FIGURA 5 – Mapa de Compartimentos Geomorfológicos da Bacia Hidrográfica do Arroio Guassupi

passando de uma declividade média e alta para uma declividade quase nula em direção ao fundo de vale. Salienta-se que nas formas onde predominam estas altitudes encontram-se os *relevos residuais de topo aguçado*, também conhecido como morros testemunhos e que são vestígios deixados pela erosão, sendo formados de camadas rochosas mais resistentes aos agentes intempéricos. Nessas formas são freqüentes os afloramentos rochosos da Formação Serra Geral.

A porção da bacia com altitudes entre 220 e 340m relaciona-se a um relevo com declividades que variam de 12 a 45%. Há o predomínio das *formas de dissecação côncavas e convexas*, associado a processos erosivos mais intensos. Estas formas situam-se nos dois flancos da bacia, ou seja, tanto na margem direita quanto na margem esquerda do Arroio Guassupi e representam um relevo de transição já que a partir das cotas em que o relevo ultrapassa os 340m, evidencia-se a passagem para a porção de maior altitude da área e que se constitui nos divisores de água da bacia como um todo e das microbacias internas. São os *relevos residuais de topo aplanado*, que se constituem em áreas praticamente planas com declividades quase nulas, variando de 0 a 6%.

4.1.4 Solos

De acordo com Klamt et al (2001), os solos predominantes na região do Rebordo e também na bacia hidrográfica do Arroio Guassupi, são de quatro tipos principais, ou seja: Argissolos, Cambissolos, Gleissolos e Neossolos. O mapa de solos da área em estudo está representado na Figura 6.

Os Argissolos são divididos em dois grupos: Argissolos Vermelho e Argissolos Vermelho-Amarelo. São solos constituídos de material mineral, apresentando horizonte B textural com argila de atividade baixa encontrado abaixo de horizonte A ou E. Isto indica que estes solos apresentam crescimento de argila em profundidade e, por conseguinte gradiente textural que quanto mais acentuado maior é a sua susceptibilidade à erosão.

OS ARGISSOLOS VERMELHOS⁸ Distrófico típico A moderado textura arenosa/argilosa fase relevo suave ondulado (Haplic Acrisol⁹) são profundos, bem drenados, com seqüência de horizontes A1, AB, BA e Bt. O horizonte A1 apresenta cor bruno-avermelhado-escuro, textura franco arenosa, estrutura em blocos subangulares médias, muito friável, ligeiramente pegajoso; que transiciona para um horizonte AB de textura franco arenoso e este transiciona para um horizonte BA franco argilo arenoso. O horizonte BA, em transição plana e difusa passa ao Bt de cor vermelho, textura argilo arenosa com cascalho, estrutura em blocos subangulares fraca, friável, plástico e pegajoso, cerosidade pouca e fraca (KLAMT et al, 2001). Ocorrem nas formas de dissecação côncavas e nas porções mais elevadas da planície aluvial (Figura 7), que ficam abaixo da escarpa com afloramento de arenito Botucatu e de patamares, no curso médio e inferior da bacia. A vegetação predominante é de campos nativos ainda pouco transformados para uso com cultivos agrícolas.

⁸ Classificação segundo Sistema brasileiro de classificação de solos (EMBRAPA – CNPS - 1999)

⁹ Classificação segundo World Reference Base For Soil Resources (Acco, Leuven – 1998)

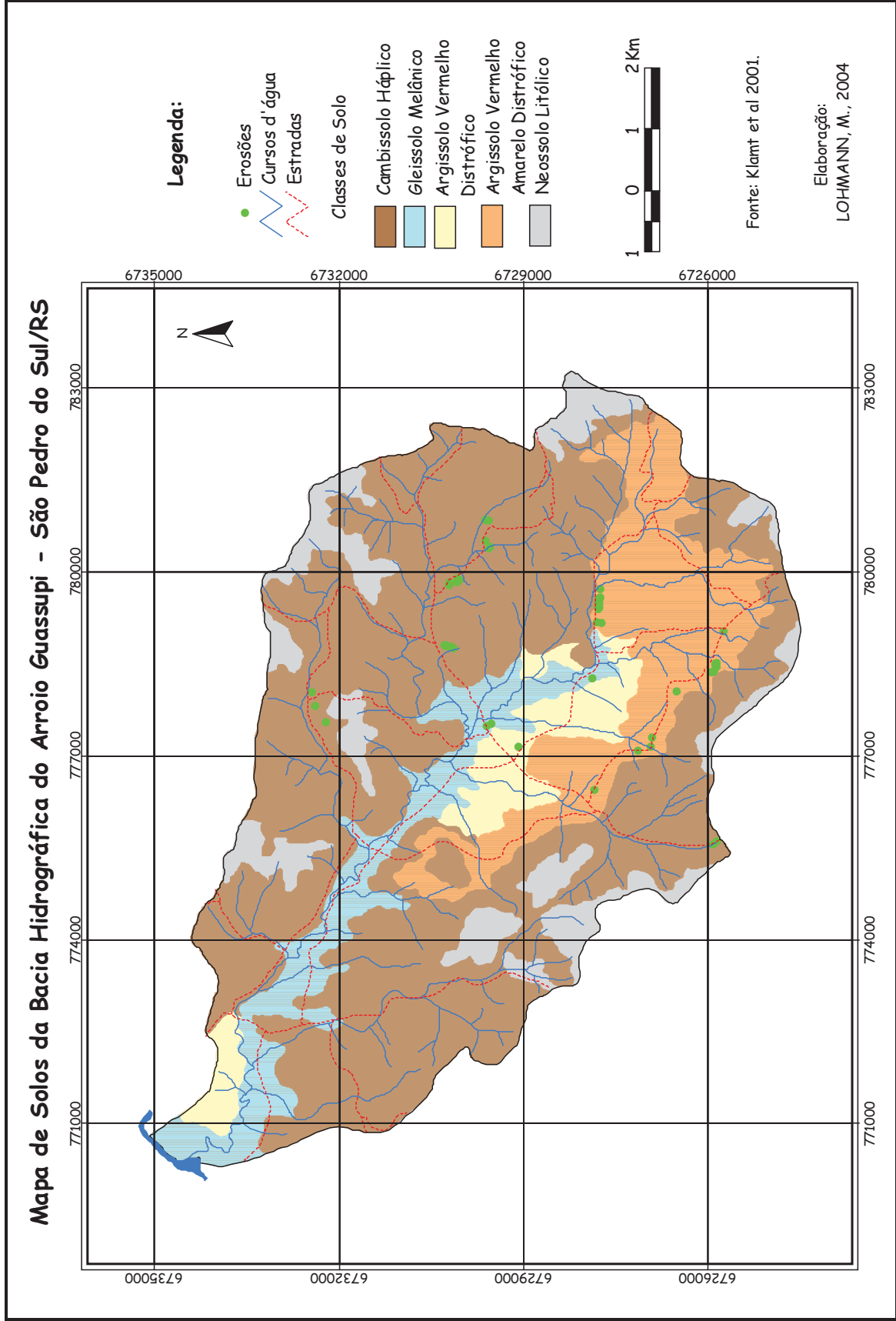


FIGURA 6 – Mapa de solos da bacia hidrográfica do Arroio Guassupi.



FIGURA 7 - Área de ocorrência de Argissolo Vermelho (Foto: Klamt et al 2001).

OS ARGISSOLOS VERMELHOS AMARELOS Distrófico espessarênico A moderado textura arenosa/média fase relevo suave ondulado (EMBRAPA 1999) são profundos, bem a imperfeitamente drenados, com seqüência de horizontes A1, E, EB e Bt, sendo que o horizonte A1 apresenta cores bruno muito claro acinzentado (10YR 7/4), textura areia franca e estrutura em blocos subangulares fracos e grãos simples. O horizonte Bt e vermelho amarelo (5YR4/6), franco argilo arenoso e estrutura em médios blocos subangulares fracos (KLAMT et al 2001). Ocorrem em formas de dissecação côncavas, principalmente no alto curso da bacia.

Devido à textura arenosa no horizonte superficial e a baixa fertilidade, encontram-se com vegetação de campo nativo (Figura 8), reflorestados com eucalipto e cultivos de pastagem.



FIGURA 8 - Área de ocorrência de Argissolo Vermelho Amarelo (Foto: Klamt et al 2001).

Os cambissolos (Figura 9) são solos de desenvolvimento incipiente, que podem apresentar horizonte A ou O histico sobre um horizonte Bi, isto é incipiente. Na área em estudo, têm-se os CAMBISSOLOS HÁPLICO Ta Eutrófico léptico A moderado textura argilosa (EMBRAPA 1999). Há uma diferenciação apenas no tipo de relevo em que é encontrado, ou seja, encontra-se em uma fase relevo forte ondulado e ondulado e, em uma fase relevo forte ondulado e montanhoso. Em função desse fato ocorrem dois tipos de Cambissolos na bacia, porém, as suas características morfológicas e texturais são iguais.

Segundo Klamt et al (2001) são pouco profundos, bem a imperfeitamente drenados, com horizonte A, seguido de horizontes Bi e C; sendo que o A tem cor bruno escuro (7,5YR4/4) e textura franco arenosa sobre um horizonte Bi bruno avermelhado escuro (5YR3/4) e textura franco arenosa. Desenvolvidos de sedimentos coluviais ou aluviais de basalto, encontram-se em relevo classificado como formas de dissecação côncavas e convexas, normalmente na parte inferior das encostas de morros e associados a Neossolos Litólicos eutróficos. Ocupam a maior porção da área em estudo localizando-se no flanco leste

e oeste da bacia. A vegetação original de mata subtropical subcaducifólia, em muitos locais foi substituída por cultivos diversos (agricultura minifundiária) e por pastagem.



FIGURA 9- Perfil de Cambissolo Háplico Ta Eutrófico léptico textura argilosa fase relevo forte ondulado e montanhoso (Foto: Klamt et al 2001).

Com relação aos Gleissolos (Figura 10), na área têm-se o GLEISSOLO MELÂNICO Eutrófico típico A moderado textura argilosa fase relevo plano (EMBRAPA 1999). São medianamente desenvolvidos, mal a muito mal drenados, com fraco incremento de argila em profundidade e apresentam seqüência de horizontes A, Cg1 e Cg2. O horizonte A é bruno muito escuro, textura argila, estrutura maciça “In situ”, que se quebra em grandes prismas, firme, plástico e pegajoso. O horizonte Cg1 é preto, textura franco argilosa e estrutura maciça, plástico e pegajoso (KLAMT et al 2001). De acordo com o mesmo autor, são desenvolvidos de sedimentos fluviais areno-argilosos recentes (Quaternário), encontrados em relevo plano. Na área em estudo, localizam-se na planície aluvial do Arroio Guassupi. A vegetação de floresta subtropical foi em grande parte substituída por cultivos, predominando o arroz irrigado em rotação com pastagem.



FIGURA 10 – Perfil de GMe – GLEISSOLO MELÂNICO Eutrófico típico (Foto: Klamt et al 2001).

Outro tipo de solo encontrado na área são os Neossolos (Figura 11), que são solos pouco evoluídos e que apresentam apenas um horizonte A ou O hístico assentado diretamente sobre um horizonte C ou R não apresentando horizonte diagnóstico subsuperficial, ou seja, horizonte B. Na área encontra-se o NEOSSOLO LITOLICO EUTRÓFICO típico A moderado textura arenosa fase relevo forte ondulado e montanhoso (EMBRAPA 1999). São rasos, bem drenados e apresentam um horizonte A assentado sobre um C (A/C) ou R (A/R), sendo o horizonte A bruno a bruno escuro (5YR3/2), textura franco arenosa e estrutura moderada média blocos subangulares. São solos desenvolvidos em geral do basalto ou riódacito da Formação Serra Geral, ocorrem em relevo forte ondulado a montanhoso nas encostas dos morros (KLAMT 2001). Na área em estudo encontra-se em porções isoladas, associados aos relevos residuais de topo aplanado. A vegetação original de mata subtropical

subcaducifolia em muitas áreas foi substituída por pastagem e mesmo culturas anuais como feijão, milho e outras.



FIGURA 11 – Perfil de RLe 2– NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico típico A moderado textura arenosa fase relevo forte ondulado e montanhoso (Foto: Klamt et al 2001).

4.1.5 Vegetação

A cobertura vegetal presente no município de São Pedro do Sul, bem como na bacia em estudo, corresponde a Floresta Subcaducifólia Subtropical. De acordo com Alonso (1977), apesar de uma certa exuberância não alcança grande porte, predominando espécies com folhas de tamanho médio e pequeno, de cor verde levemente acinzentada.

De acordo com Rambo (1964) apud Alonso (1977), essas florestas são essencialmente constituídas por um estrato arbóreo, um arbustivo alto e um arbustivo herbáceo. Nas áreas de encostas do Planalto, entre os elementos mais altos, destacam-se as canelas, o umbu, o cedro, a canjerana e o louro. Rambo (1994) afirma que nos vales existem condições favoráveis ao seu desenvolvimento como: maior umidade do ar, chuvas abundantes (efeito orográfico) e nevoeiros frequentes. Além disso, os vales também facilitam o desenvolvimento florestal porque a protegem contra as rápidas variações de temperatura no inverno e funcionam como estufas no verão.

De acordo com o mesmo autor, tem-se ainda a Floresta Ciliar ou Mata de Galeria, que são formações florestais que acompanham os cursos de água começando subarbustivas nas fontes, desenvolvendo-se em matas de pequeno porte na encosta seca e rochosa e terminando em matas de regular extensão e altura.

Observa-se ainda a presença dos campos naturais, denominados localmente de Campos Finos da Campanha (RAMBO 1994), sendo representados por espécies de gramináceas perenes de crescimento estival.

4.1.6 Uso da terra

O mapa de uso da terra (Figura 12) fornece um quadro da situação da área em determinado momento sendo que a partir dele pode-se avaliar o tipo de cobertura a que esta área está sendo submetida.

A tabela 2 apresenta a quantificação das áreas referentes a cada classe de uso da terra.

TABELA 2 – Classes de Uso da Terra para o ano de 2002.

Classes de uso da terra	Área total/km²	%
Pastagens	39,81	50,4
Florestas	17,04	21,6
Culturas Irrigadas	1,95	2,5
Lâmina d'água	0,25	0,3
Culturas sem Irrigação	19,92	25,2
Total	78,97	100

Org.: Lohmann, M., 2005.

A partir da análise da tabela, constata-se que a classe pastagens apresenta a maior área da bacia (50,4%). Apresenta-se dispersa e engloba os campos sujos e os campos limpos. Os campos sujos compreendem aquelas áreas onde a vegetação rasteira é de maior porte e com várias capoeiras inclusas. Já os campos limpos são aqueles com vegetação rasteira é de menor porte, constituída principalmente por gramíneas e que servem como pastagens naturais para o gado.

Ainda com relação as pastagens, constata-se que estão relacionados tanto as áreas de declividade elevada, nas escarpas das encostas íngrimes e morros, como as áreas praticamente planas, aparecendo também nas porções próximo aos cursos d'água, indicando que a vegetação ciliar foi retirada para ser implantada áreas de agricultura, desrespeitando o limite de preservação permanente exigido por lei que é de 30 metros para cursos d'água de até 25m

Mapa de Uso do Solo da Bacia Hidrográfica do Arroio Guassupi, São Pedro do Sul/RS

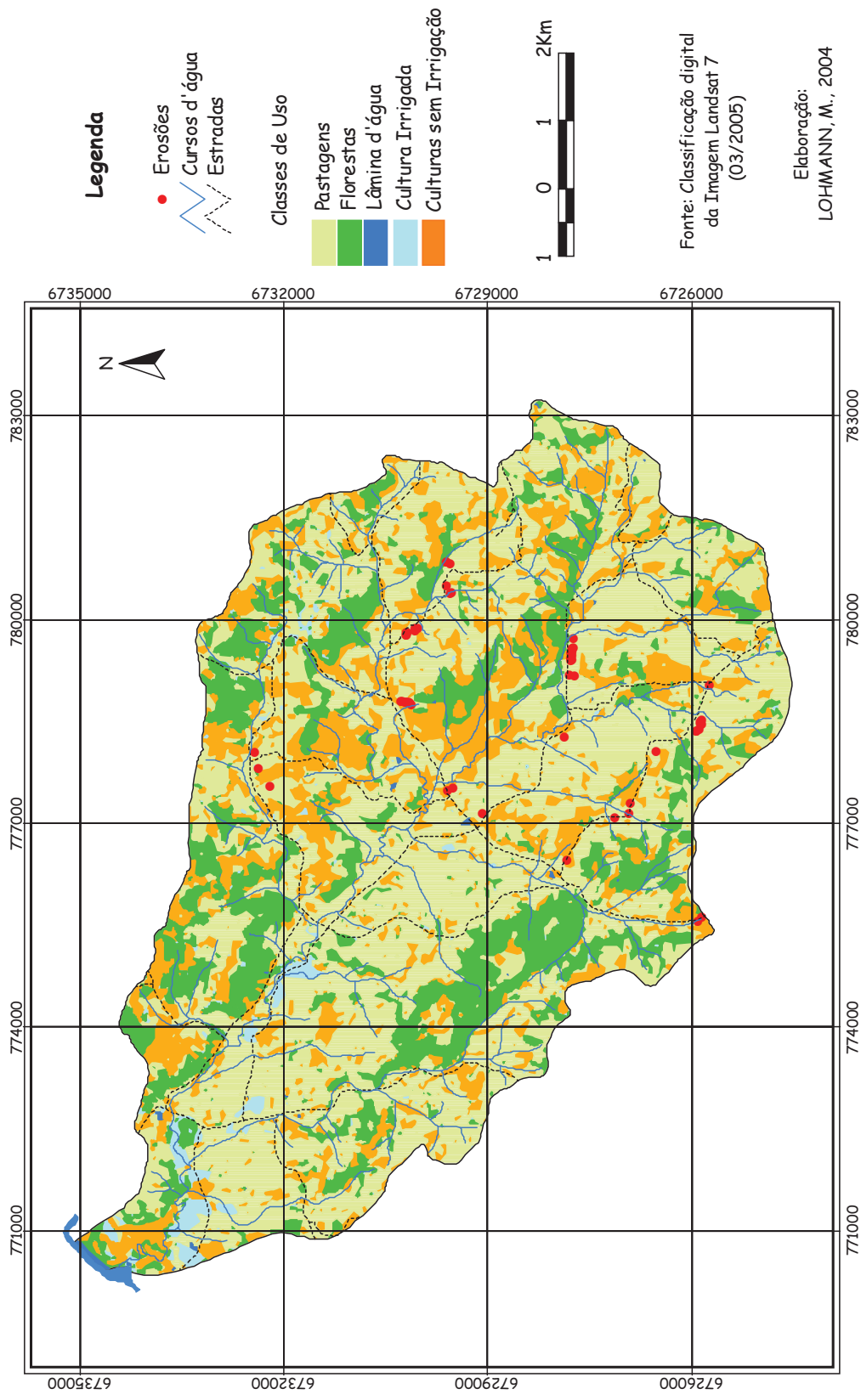


FIGURA 12 – Mapa de Uso do Solo da Bacia Hidrográfica do Arroio Guassupi

de largura.

A Figura 13 ilustra de melhor forma a distribuição das classes de uso da terra na bacia hidrográfica do Arroio Guassupi.

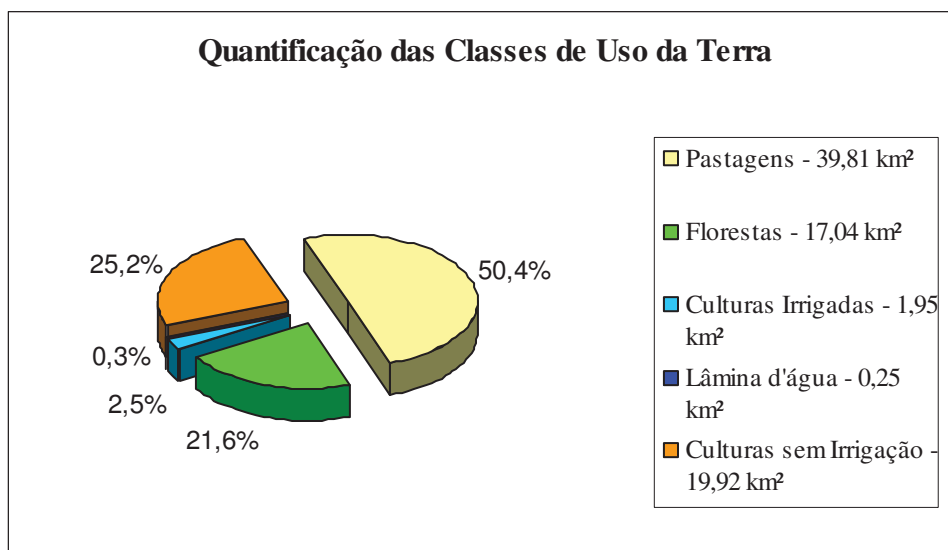


FIGURA 13 – Quantificação das Classes de Uso da Terra

A classe cultura sem irrigação assim como a classe anterior, também apresenta-se distribuída por toda a área em estudo. As principais culturas praticadas são o milho e a soja, além dos produtos de subsistência familiar, já que a bacia constitui-se em uma área em que as pequenas propriedades são predominantes.

Diferentemente das áreas agricultáveis de pequena extensão e sem o uso de mecanização, a classe culturas irrigadas representada pelo arroz, que ocupa 2,5% do total da bacia é praticada principalmente nas áreas de planície aluvial próximas ao Arroio Guassupi onde o uso de mecanização se torna viável.

A classe florestas, terceira classe em área com 21,6% compreende as florestas nativas da bacia, a vegetação ciliar ao longo das drenagens e a vegetação implantada. A vegetação original da região é importante porque além de assegurar o equilíbrio ecológico, protege o solo dos efeitos erosivos.

Esta classe ora aparece em pequenas extensões, ora em grandes extensões contínuas, fato explicado pelas próprias características do relevo, que em sua maior parte apresenta sérias restrições ao cultivo agrícola face às condições adversas da topografia. Assim, estas áreas ainda preservam a vegetação original com algumas madeiras consideradas de lei, como por exemplo, o cedro, o loro, a guajuvira e o angico. A vegetação ciliar possui importância fundamental para evitar o processo erosivo do solo, porém a expansão das áreas agrícolas acaba sendo destrutiva, facilitando os processos erosivos e conseqüentemente o assoreamento dos cursos d'água.

Segundo o Código Florestal do Estado do Rio Grande do Sul, Lei nº 9.950 artigo 51 de 21 de Setembro de 1993, todas propriedades rurais do Estado, independente das respectivas áreas, deve ter um mínimo de 10% (dez por cento) de sua superfície total ocupada com cobertura florestal, preferentemente com espécies nativas. Por outro lado o Código Florestal brasileiro, Lei nº 4.771 de 15 de Setembro de 1995, em seu artigo 10, diz que “não é permitida a derrubada de florestas situadas em áreas de inclinação entre 25 a 45 graus, sendo só nelas toleradas a extração de toros, quando em regime de utilização racional, que vise a rendimentos permanentes”. Além disso, em seu artigo 16 letra **a**, ao contrário do código florestal do Rio Grande do Sul, diz que todas as propriedades devem possuir pelo menos 20% da sua área total com cobertura florestal.

Face ao exposto, constata-se que na área em estudo o primeiro quesito que se refere à quantidade de cobertura florestal com base no Código Florestal do Rio Grande do Sul está sendo mantido, não particularmente em nível de propriedade rural, mas como um todo na área em estudo. Com relação às limitações referentes à inclinação da topografia, percebe-se que existem áreas onde não é respeitado o que estabelece o Código Florestal brasileiro, ou seja, há a ocorrência de áreas em que a cobertura florestal original foi substituída, principalmente para

a prática de culturas agrícolas, ou ainda para a criação de animais, gerando dessa forma os conflitos ambientais.

A classe lâmina d'água é representada pelos açudes e pequenas barragens utilizadas principalmente para a retirada da água para a irrigação da cultura do arroz e ainda, em alguns casos, se tornam fonte alternativa de renda para os pequenos agricultores com a prática da piscicultura.

4.2. Caracterização dos Compartimentos Morfopedológicos e Suscetibilidade Erosiva

De acordo com a metodologia descrita no capítulo III, elaborou-se o mapa de compartimentos morfopedológicos (Figura 14) e de suscetibilidade a erosão linear da bacia hidrográfica do Arroio Guassupi (Figura 19). Conforme mencionado anteriormente, o limite das diferentes classes de solo encontradas na bacia tornou-se o critério principal para delimitação dos compartimentos morfopedológicos. Tais compartimentos apresentam características singulares de formas de relevo, solos, litologia, formas de uso e ocupação, bem como diferentes tipos de ocorrência e de suscetibilidade aos processos erosivos. Três compartimentos puderam ser definidos para a área de estudo, sendo representados pela sigla MP seguida do número em romano. Os compartimentos, sua suscetibilidade erosiva e as principais características de cada um deles estão relacionados no quadro 2 e serão melhor detalhados a seguir.

QUADRO 2 – Quadro síntese com as principais características de cada compartimento morfopedológico.

Compartimentos Morfopedológicos	Área (Km²)	Área (%)	Formas de Relevô Predominantes	Solos Predominantes	Litologia Predominante	Uso e Ocupação Predominantes	Suscetibilidade	Ocorrências Erosivas
MP I	19,29	20,63	Planície aluvial	Cambissolos e Gleissolos	Formação Botucatu e Serra Geral	Pastagens e Florestas	Não Suscetível a Ravinas e Voçorocas	----
			Relevos Residuais de Topo Aplanado – Formas Côncavas				Muito Suscetível a Ravinas e Pouco suscetível a Voçorocas	
MP II	29,02	36,75	Planície aluvial	Cambissolos e Argissolos	Formação Serra Geral	Pastagens e Culturas sem Irrigação	Não Suscetível a Ravinas e Voçorocas	32
			Relevos Residuais de Topo Aplanado – Formas Côncavas				Extremamente Suscetível a Ravinas e Voçorocas	
MP III	33,66	42,62	Planície aluvial	Cambissolos	Formação Serra Geral	Pastagens e Culturas sem Irrigação	Não Suscetível a Ravinas e Voçorocas	24
			Relevos Residuais de Topo Aplanado – Formas Convexas				Muito Suscetível a Ravinas e Pouco suscetível a Voçorocas	

“--” Ausência de ocorrências erosivas.

Org.: Lohmann, M., 2005

Compartimento Morfopedológico I – MP I

Corresponde a 20,6% da bacia, com uma área de 16,29 km², situando-se na porção N – NW da bacia. As cotas mínimas são de 100m e as máximas superiores a 340 metros de altitude e as declividades variam de 0 a 3% próximo aos fundos de vale podendo chegar a maiores de 45% nas escarpas dos morros que limitam a bacia.

Este compartimento encontra-se na margem esquerda do arroio principal e apresenta um relevo plano na porção de planície aluvial e ondulado a forte ondulado com altitudes que ultrapassam os 340m em algumas porções isoladas ao sul do compartimento. As formas de relevo predominantes são bem diferenciadas. Próximo ao arroio principal tem-se a planície aluvial onde as formas de acumulação predominam e as declividades são praticamente nulas variando de 0 a 3%. Em direção as cabeceiras, têm-se formas dissecadas onde os morros com vertentes côncavas em sua maioria predominam e as declividades variam de 20% até mais de 45% nas encostas.

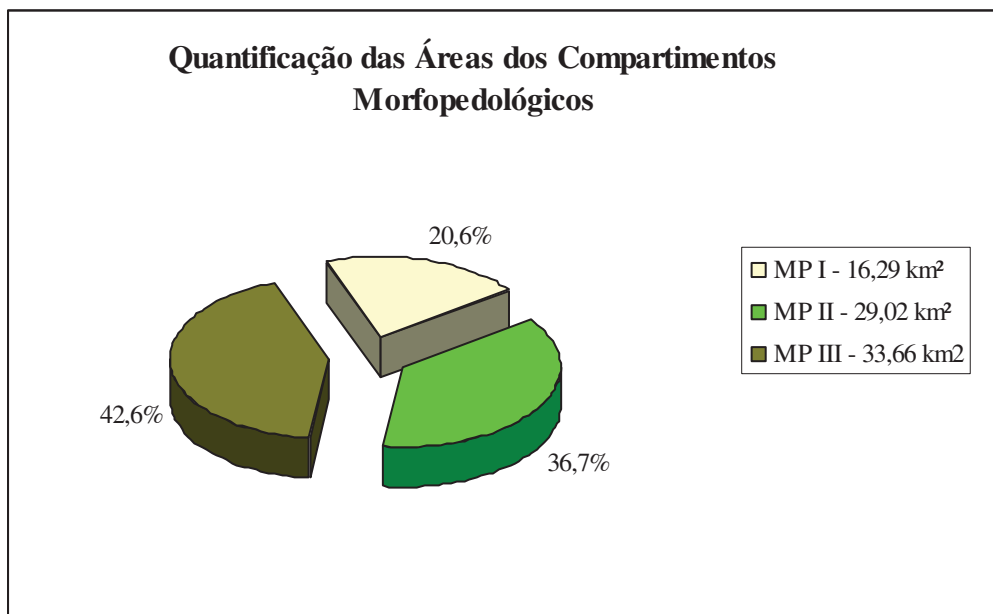
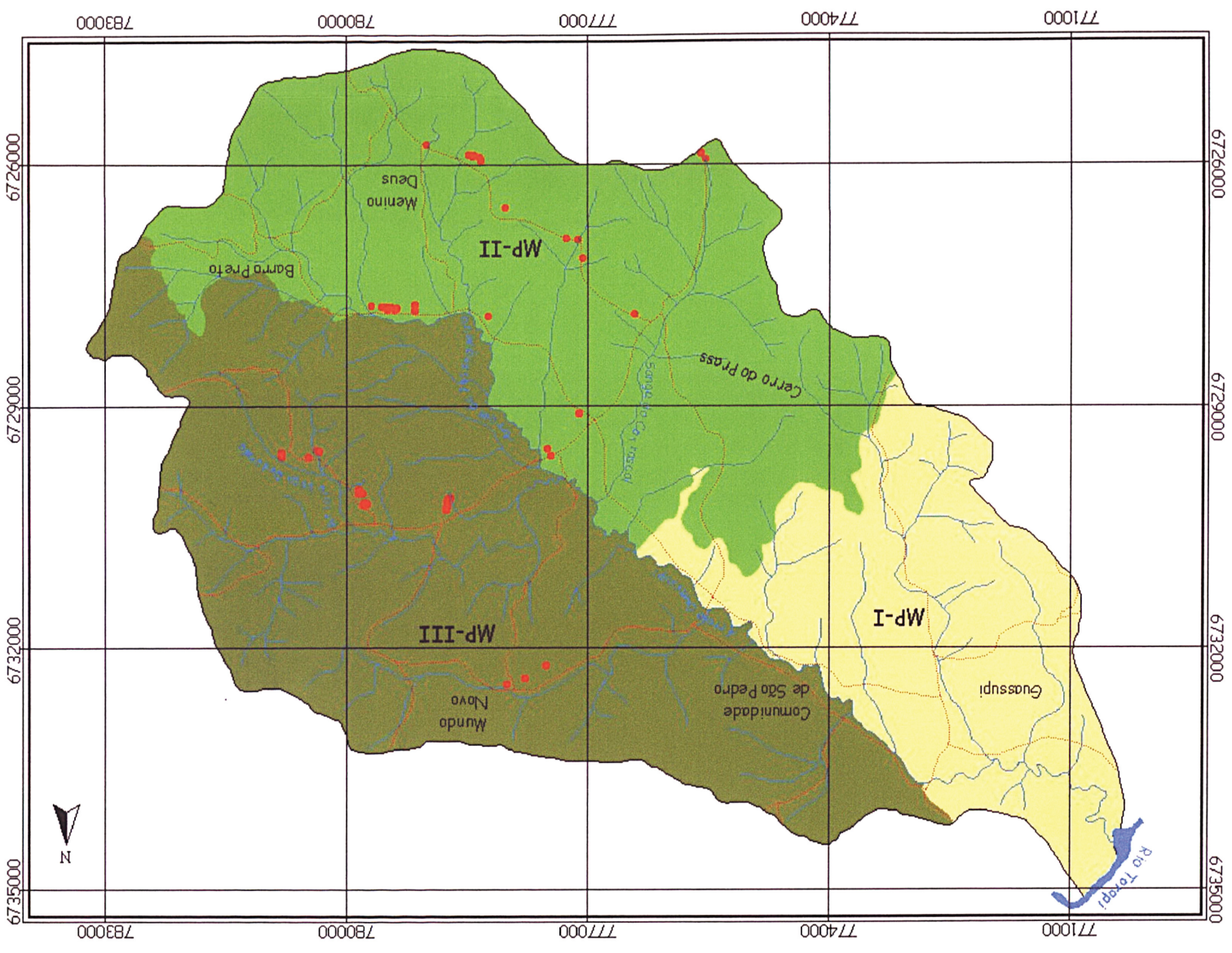


FIGURA 14 – Quantificação das áreas dos Compartimentos Morfopedológicos

Mapa de Compartimentos Morfopedológicos da Bacia Hidrográfica do Arroio Guassupi - São Pedro do Sul-RS



Quadro Resumo

Compartimentos Morfopedológicos	Área (Km ²) (%)	Formas de Relevo Predominantes	Solos Predominantes	Litologia Predominante	Uso e Ocupação	Ocorrências
MP I	19,29	Planície aluvial Relevos Residuais de Topo Apilado - Formas Côncavas	Cambissolos Gleissolos	Formação Batucatu e Serra Geral	Pastagens e Florestas	--
MP II	29,02	Idem MP I	Cambissolos e Argissolos	Formação Serra Geral	Pastagens e Culturas sem Irrigação	32
MP III	33,66	Planície aluvial Relevos Residuais de Topo Apilado - Formas Côncavas	Cambissolos	Formação Serra Geral	Pastagens e Culturas sem Irrigação	24

Legenda:

- Erosões
- Cursos d'água
- Estradas
- MP - I
- MP - II
- MP - III

Compartimentos Morfopedológicos



Elaboração: LOHMANN, W., 2004

FIGURA 15-Mapa de Compartimentos Morfopedológicos da Bacia Hidrográfica do Arroio Guassupi - São Pedro do Sul-RS

Outra forma de relevo encontrada são os relevos residuais de topo aplanado e topo aguçado. O relevo residual de topo aplanado configura-se nas bordas da bacia e são os divisores de água em que as declividades variam de 0 a 6%. Os relevos residuais de topo aguçado são os chamados morros testemunhos com declividades que variam bastante e que vão desde os 3% até maiores de 45% em suas escarpas.

Na Figura 16 podem-se visualizar os relevos residuais de topo aguçado, também chamado de morros testemunhos. São contornados por nítidas rupturas de declive, onde a vertente passa de uma declividade elevada (>45%) para declividade quase nula. São encontrados no interior da planície aluvial principalmente. Alguns afloramentos rochosos são visíveis nesses relevos preferencialmente em suas escarpas. Mantidos geralmente pelo capeamento das rochas efusivas ácidas e básicas sobre o arenito eólico Botucatu, representam e indicam o limite atingido pelos derrames de lavas ocorridos durante o Cretáceo. Da mesma forma, indicam o ponto de partida para se entender o recuo do Planalto em detrimento da faixa de relevo festonado que se originou pela ação erosiva da drenagem.



FIGURA 16 – Relevo residual de topo aguçado – morro testemunho.

Apresenta seqüência de solos (Tabela 3) como sendo de Cambissolo Háplico nos relevos residuais de topo aplanado e nas formas de dissecação com vertentes côncavas, passando para Gleissolos Melânicos (Gme) próximos aos fundos de vale na planície aluvial. Nas várzeas podem ocorrer superfícies levemente mais elevadas em que são encontrados os

Argissolos Vermelho Distrófico, fato que ocorre apenas em uma pequena porção próxima a foz e na margem direita do arroio principal.

TABELA 3 – Áreas de cada classe de solo – MP I.

Tipos de Solos	Área total/km²	%	Ocorrências Erosivas
Argissolo Vermelho Distrófico	1,03	6,32	--
Cambissolo Háptico	10,72	65,81	--
Gleissolo Melânico	4,54	27,87	--
Total	16,29	100	--

“--” Ausência de ocorrências erosivas.

Org.: Lohmann, M., 2005

Observando-se a geologia (tabela 4) percebe-se que o Cambissolo Háptico está associado a Formação Serra Geral e, o Argissolo Vermelho Distrófico e o Gleissolo Melânico a Formação Botucatu. Isso é elucidado quando se observa o limite dos diferentes tipos de solos e das diferentes litologias. Consta-se que os limites são muito parecidos e há uma nítida ruptura de declive quando se passa da Formação Serra Geral para a Formação Botucatu, até mesmo em se tratando das endentações de tais limites que no relevo configuram-se nos vales por onde passam os cursos d’água.

TABELA 4 – Áreas das diferentes Formações Geológicas – MP I.

Geologia	Área total/km²	%	Ocorrências Erosivas
Formação Botucatu	6,84	42	--
Formação Serra Geral	9,45	58	--
Total	16,29	100	--

“--” Ausência de ocorrências erosivas.

Org.: Lohmann, M., 2005

Quanto ao uso da terra (tabela 5), verifica-se que os campos ocupam 34,93% da área do compartimento, seguido pela classe florestas com 32,53%. Somando as áreas de culturas irrigadas e culturas sem irrigação resulta um total de 32,17% da área, mostrando dessa forma que as áreas de agricultura, principalmente as de subsistência aparecem com maior destaque.

A cultura do arroz irrigado tem importância significativa e ocupa a maior área quando comparada com os outros MPs. Isso se explica pela própria conformação da topografia que é bastante plana e ainda pela proximidade do Arroio Guassupi de onde é retirada boa parte da água para a irrigação da cultura. Pode-se constatar ainda que as áreas de agricultura ocupam algumas porções do relevo em que a declividade não permite o cultivo, diferentemente das áreas ocupadas com arroz que estão em acordo com a declividade.

TABELA 5 - Uso e ocupação do solo no MP I

Classes de uso da terra	Área total/km²	%	Ocorrências Erosivas
Pastagens	5,69	34,93	--
Florestas	5,3	32,53	--
Culturas Irrigadas	1,3	7,98	--
Lâmina d'água	0,06	0,37	--
Culturas sem Irrigação	3,94	24,19	--
Total	16,29	100	--

“-” Ausência de ocorrências erosivas.

Org.: Lohmann, M., 2005

Na Figura 17 observa-se em primeiro plano a cultura do arroz irrigado e em segundo plano as superfícies levemente mais elevadas que situam-se no interior das várzeas. Nota-se que nessas superfícies já ocorre o início do processo de ravinamento em função da declividade ser mais acentuada e ocorrer à concentração das águas das chuvas. Verifica-se que esse processo se dá especialmente na ruptura de declive quando se tem a passagem do Argissolo para o Gleissolo. Ao fundo têm-se as vertentes de topo aplanado que formam os divisores d'água da bacia.



FIGURA 17 – Arroz irrigado (1ºplano) e superfícies levemente mais elevadas (2ºplano).

Neste compartimento também não foram encontradas ocorrências erosivas. Com base nos critérios definidos por Salomão (1999), as áreas onde ocorrem os Gleissolos e Argissolo Vermelho foram classificadas como não suscetíveis a ravinas e voçorocas. As áreas onde ocorrem os Cambissolos, associados a um relevo mais dissecado com formas côncavas e declividades atingindo até os 45%, foram enquadradas como muito suscetíveis a ravinas e pouco suscetíveis a voçorocas (Figura 19), já que se verifica o predomínio de formas côncavas no contato com a planície aluvial podendo desencadear os focos erosivos em função do fluxo concentrado da água.



FIGURA 18 – Aspectos gerais da utilização do MP – I, (Foto: Lohmann, M. 2004)

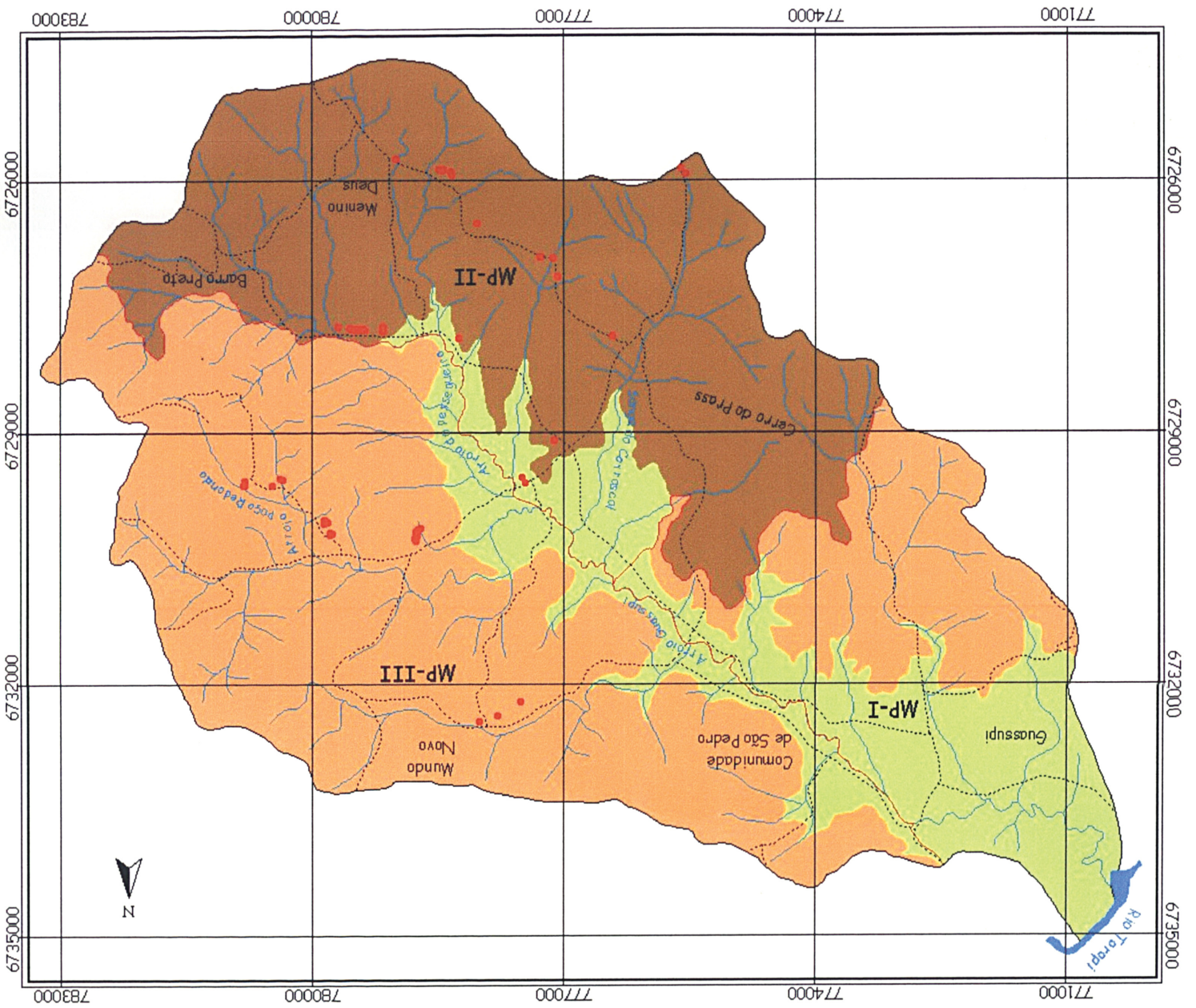
Na figura 18, observa-se em primeiro plano o uso com campos sujos, utilizados para pecuária extensiva; no centro da foto o uso agrícola com arroz irrigado e ao fundo tem-se os morros com usos diversos e vertentes com formas côncavas predominando, mostrando um caimento topográfico geral para sul em direção ao rio Toropi. Nas rupturas de declive tem-se áreas com solo exposto, prontas para o cultivo do milho e da soja.

Compartimento Morfopedológico II – MP II

Localiza-se no flanco esquerdo da bacia, ocupando a porção centro-oeste, com 29,02 km², representando 36,75% da área da bacia. As cotas mínimas são de 100m e as máximas superiores a 340m em direção aos divisores e as declividades variam de 0 a 3% na várzea do Arroio Guassupi, podendo superar os 45% nas escarpas dos morros e cabeceiras de drenagem.

Predomina nesse compartimento um conjunto de morros com vertentes côncavas e declividades elevadas. Em direção as cabeceiras e junto aos divisores de água da bacia, tem-se o relevo residual com topos aplanados e declividades variando de 0 a 6% nos topos e, nas suas escarpas e encostas, declividades de 20 até maiores de 45%. A planície aluvial e os fundos de vale se apresentam com declividades praticamente nulas variando de 0 a 3%. O Cerro do Prass merece destaque por se constituir em uma forma de relevo de topo aplanado que praticamente foi isolada do restante da paisagem pelos cursos d'água, onde também afloram

Mapa de Suscetibilidade a Erosão Linear da Bacia Hidrográfica do Arroio Guassupi - São Pedro do Sul-RS



Legenda:

- Erosões
 - ~ Cursos d'água
 - - Estradas
 - Limite dos MPs
- Suscetibilidade:**
- Não suscetível a ravinhas e vogorocas
 - Muito suscetível a ravinhas e vogorocas
 - Pouco suscetível a vogorocas e ravinhas e vogorocas
 - Extremamente suscetível a ravinhas e vogorocas



Elaboração:
LOHMANN, M., 2004

Quadro Resumo

Compartimentos Morfológicos	Área (Km ²)	Área (%)	Posição Topográfica	Suscetibilidade Erosiva	Ocorrências
MP I	19,12	20,63	Formas de Dissociação - Planície aluvial	Não Suscetível a Ravinas e Vogorocas	---
MP II	29,12	31,75	Formas de Dissociação - Planície aluvial	Não Suscetível a Ravinas e Vogorocas	?
MP III	33,66	42,62	Formas de Dissociação - Planície aluvial	Muito Suscetível a Ravinas e Pouco suscetível a Vogorocas	?

Base: Critérios Propostos por Salomão (1999).

as rochas da Formação Serra Geral.

Com relação ao substrato geológico (Tabela 6), verifica-se que as rochas da Formação Serra Geral ocupam praticamente todo o compartimento. Rochas da Formação Botucatu aparecem apenas acompanhando a planície aluvial e os fundos de vale de alguns cursos d'água. Verifica-se ainda que o maior número de erosões encontra-se sob as rochas da Formação Serra Geral totalizando 28 das 32 mapeadas. Apenas 4 ocorrências erosivas foram encontradas sobre o arenito Botucatu.

TABELA 6 – Áreas das diferentes Formações Geológicas – MP II.

Geologia	Área total/km²	%	Ocorrências Erosivas
Fomação Botucatu	3,48	12	4
Formação Serra Geral	25,54	88	28
Total	29,02	100	32

“-” Ausência de ocorrências erosivas.
Org.: Lohmann, M., 2005.

A seqüência de solos (Tabela 7) encontrada são os Neossolos Litólicos nos relevos residuais de topos aplanados, seguido do Cambissolo Háptico, do Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico, do Argissolo Vermelho Distrófico e do Gleissolo Melânico na planície aluvial. Em algumas porções os Argissolos Vermelhos não aparecem na seqüência, passando-se dos Argissolos Vermelho-Amarelo novamente para os Cambissolos e posteriormente para os Gleissolos. Isso ocorre em uma porção isolada a norte do compartimento. As ocorrências erosivas se concentram principalmente sobre os Argissolos Vermelho-Amarelos Distróficos, totalizando um número de 26 das 32 mapeadas.

TABELA 7 – Áreas de cada classe de solo – MP II.

Tipos de Solos	Área total/km²	%	Ocorrências Erosivas
Neossolo Litólico	2,94	10,13	--
Cambissolo Háplico	9,38	32,32	2
Argissolo Vermelho Distrófico	3,31	11,41	1
Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico	11,8	40,66	26
Gleissolo Melânico	1,6	5,51	3
Total	29,02	100	32

“-” Ausência de ocorrências erosivas.

Org.: Lohmann, M., 2005.

Quanto ao uso da terra (tabela 8), verifica-se o predomínio das pastagens com 44,71% da área, seguido da classe culturas sem irrigação com 29,79% e florestas com 24,35%.

As principais culturas cultivadas sem irrigação são o milho e a soja, que são culturas de subsistência e abastecem as pequenas propriedades e servem como alimento para o gado. Inexistem grande áreas cultivadas.

Constata-se que muitas áreas agrícolas estão instaladas sobre porções do relevo com declividades elevadas em que não são permitidos por lei o uso com cultivos. As áreas de cultivo com arroz irrigado praticamente inexistem, justamente em função da topografia do compartimento possuir alto grau de dissecação. As florestas apresentam-se distribuídas por todo o compartimento mas se concentram principalmente nas encostas das vertentes e nas escarpas que circundam o Cerro do Prass.

Nas outras porções deste compartimento as florestas nativas foram derrubadas e queimadas. Posteriormente nessas áreas foram implantadas área de agricultura mas que também já estão abandonadas e servem de pastagem para o gado.

TABELA 8 - Uso e ocupação do solo no MP II.

Classes de uso da terra	Área total/km²	%	Ocorrência Erosivas
Pastagens	12,98	44,71	28
Florestas	7,07	24,35	--
Culturas Irrigadas	0,27	0,93	--
Lâmina d'água	0,06	0,21	--
Culturas sem Irrigação	8,65	29,79	4
Total	29,02	100	32

“-” Ausência de ocorrências erosivas.
Org.: Lohmann, M., 2005.

Na Figura 20 observa-se em primeiro plano o uso com cultura de milho e ao fundo as vertentes que fazem o limite da bacia no flanco esquerdo do arroio principal. Nota-se ainda que os topos das vertentes são levemente aplanados e ocupados com floresta nativa. No terço médio e inferior, verifica-se que as pastagens predominam. A conformação da paisagem também mostra um caimento topográfico geral para norte em direção ao rio Toropi no qual deságua o Arroio Guassupi ilustrando de que forma se comportam as altitudes em toda a bacia hidrográfica.



FIGURA 20 – Vista geral do MP II

Diferentemente do compartimento anterior, o MP II apresentou um grande número de ocorrências erosivas, totalizando 32 ocorrências, sendo que desse total, 28 ocorrem sobre as pastagens e 4 sobre as culturas sem irrigação. Em função do alto número de ocorrências erosivas nesta área, seja pelas formas de relevo ou ainda pela topografia movimentada, enquadra-se esse compartimento como extremamente suscetível a ravinas e voçorocas (Figura 20) nas áreas de ocorrência dos Neossolos, Cambissolos, Argissolos Vermelho e Argissolos Vermelho-Amarelos e, não suscetível a ravinas e voçorocas na área de ocorrência dos Gleissolos na planície aluvial, embora com ressalvas quanto as diferentes formas de utilização da terra, uma vez que na área se verifica o predomínio das formas côncavas das vertentes que facilitam a concentração do escoamento superficial, gerando possibilidades a instalação de processos erosivos principalmente no contato do limite inferior das vertentes com as planícies aluviais.

Foram identificados três tipos diferenciados de ocorrências erosivas: ravinas, voçorocas e erosões complexas. As ravinas ocorrem indistintamente tanto na base das encostas, em declividades menores, como no seu terço médio ou ainda se estendem da base até o topo das vertentes associadas a declividade elevada. As voçorocas e as erosões complexas associam-se principalmente as quebras e rupturas de declive das vertentes.

As voçorocas, situam-se no terço médio das vertentes onde se tem a passagem dos Cambissolos para os Argissolos que também estão associados as rupturas de vertentes quando se passa de um relevo com declividades mais elevadas para declividades menores. Estas erosões localizam-se sobre as áreas de campo e pastagens como observado na Figuras 21 e 22.

Na figura 21 observa-se uma voçoroca de pequeno porte e pouca profundidade que está assentada sobre o arenito Botucatu que aflora, como pode ser verificado ao fundo da figura. Em trabalho de campo verificou-se que esta voçoroca já atingiu o nível de base da

vertente (soleira mais resistente) podendo evoluir apenas em sua largura e até atingir o afloramento rochoso da escarpa a montante.



FIGURA 21 – Voçoroca de pequeno porte sobre o arenito Botucatu.

Na figura 22 observa-se uma pequena voçoroca em seu estágio inicial. Encontra-se na passagem dos Cambissolos para os Argissolos no terço médio e inferior das vertentes. Por essa vertente apresentar declividade média e possuir forma côncava onde o fluxo da água se concentra, a mesma deve evoluir da base até o topo da encosta.

O surgimento dessa feição e de outras com as mesmas características provavelmente está associado ao aprofundamento das ravinas, que podem facilmente interceptar o lençol freático, e encontrar condições mais propícias para seu desencadeamento. Altos gradientes hidráulicos em condições de desenvolver fenômenos de “piping” reforçam a hipótese de a mesma evoluir da base até o topo da encosta até atingir o nível de base da mesma. Pode-se

observar a presença constante de um cone deposicional na sua base, constituindo-se basicamente de areia muito fina. Foram constatadas ainda pequenas subsidências da camada superficial arenosa provocadas pelo “piping”.

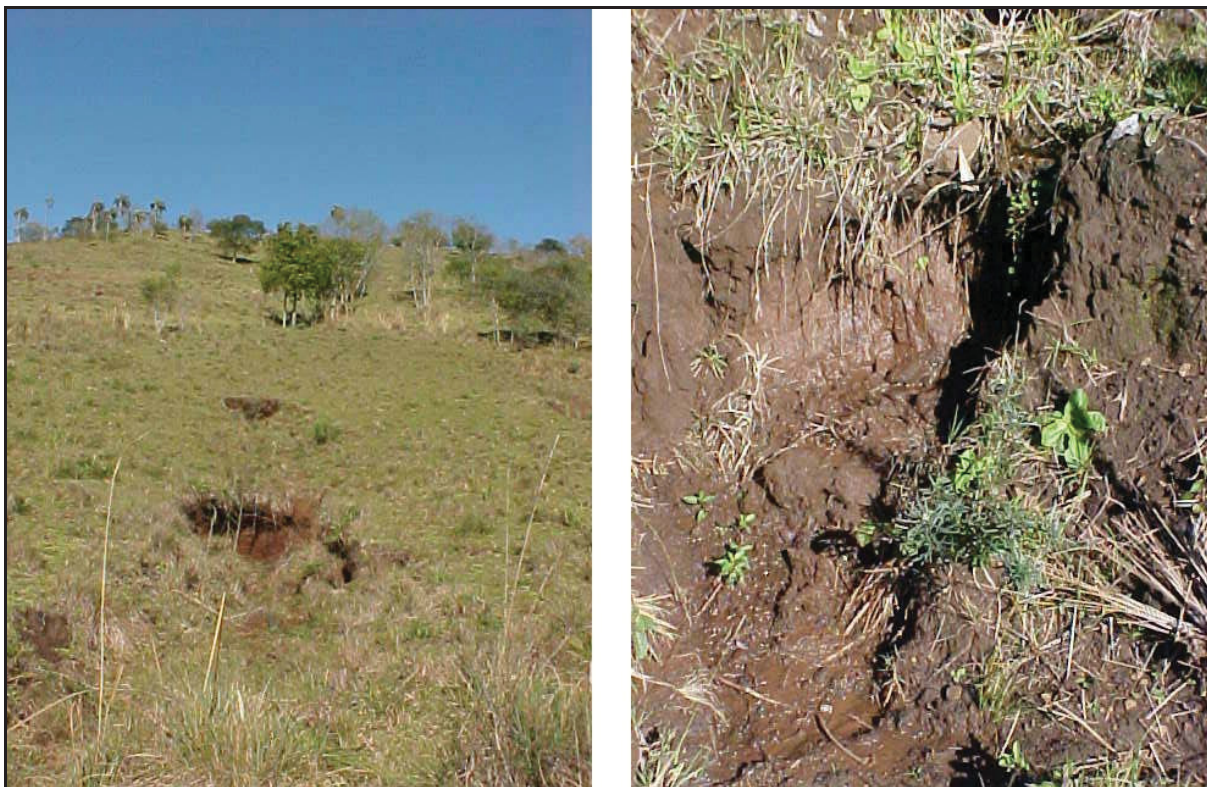


FIGURA 22 – Voçoroca em estágio inicial e fenômeno de “piping”.

Neste compartimento podem ser encontradas várias voçorocas nesse estágio de desenvolvimento. A origem dessas erosões está associada ao fator já descrito anteriormente, relacionadas tanto a rupturas de declive quanto a mudança de solos e a presença do “piping”.

Uma ocorrência erosiva em particular (Figura 23) merece destaque neste compartimento. Trata-se de uma erosão complexa, sendo assim classificada pois foi formada pela associação de um conjunto de mecanismos atuando em conformidade e modelando a mesma. Esta ocorrência erosiva constitui-se na de maior porte encontrada em toda a área de estudo.



FIGURA 23 – Erosão complexa de grande porte

Na Figura 24 verifica-se que a erosão inicia-se no sopé de uma escarpa com arenito Botucatu. Nota-se que ela tem várias frentes de evolução sendo que algumas se encontram ainda em fase ativa enquanto outras se encontram estabilizadas. Observações de campo corroboram a hipótese de que vários mecanismos atuaram em conjunto dando origem e fazendo evoluir esta erosão, já que ainda podem-se observar pequenas subsidências das camadas superficiais arenosas provocadas por fenômenos de “piping”, colapsos e pequenos movimentos de massa como desmoronamentos nas paredes laterais. Observa-se ainda que em alguns locais o nível de base já foi atingido aflorando as rochas da Formação Botucatu.

Por possuírem vários mecanismos atuando em conformidade nessas erosões, não há uma hipótese concreta para explicar sua origem e evolução. Apenas um estudo mais detalhado poderia dar indícios para tal.

Outro tipo de erosão linear origina-se da concentração do escoamento superficial das águas pluviais. Trata-se das ravinas, que se desenvolvem principalmente nas vertentes mais íngremes associadas às formas de dissecação côncavas e convexas com declividades mais acentuadas. Na figura 24 observa-se em primeiro plano uma área de solo exposto na ruptura nítida de declive da vertente, no segundo plano uma área de campo em que se situam as ravinas e no terceiro plano, já no topo da vertente, as florestas nativas e uma pequena área de solo exposto utilizado para agricultura.



FIGURA 24 – Erosão linear do tipo ravina

Constata-se que as ravinas se instalam preferencialmente no terço médio e inferior das vertentes, onde a declividade permite concentrações superficiais das águas pluviais. Fluxo d'água subsuperficiais entre a camada arenosa e o horizonte Bt que é comum nos Argissolos e

ocorrem com facilidade durante eventos chuvosos prolongados, de acordo com Salomão (1994) promovem abatimentos generalizados, facilitando ainda mais a evolução das ravinas.

No terço superior das vertentes a ocorrência erosiva não é freqüente, sendo observada apenas quando associada à ocupação do solo que permita concentração elevada das águas superficiais e quando não é praticado o sistema de curvas de nível para a agricultura, favorecendo o fluxo concentrado das águas.

Verifica-se que a maioria dessas erosões se dá sobre áreas ocupadas atualmente com pastagens, mas que já foram de florestas nativas, retiradas para a prática da agricultura e que hoje servem de pastagem para o gado. A ocupação atual, de certa forma, protege o solo contra o impacto direto das gotas de chuva, porém, em função das características do relevo as ravinas desenvolvem-se facilmente. Mesmo o solo sendo do tipo Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico, possuindo características morfológicas e texturais que facilitam a infiltração das águas, as ravinas se desenvolvem facilmente, fato explicado em função da declividade das vertentes. Como um todo, as erosões lineares do tipo ravinas desenvolvem-se principalmente sobre os Argissolos Vermelho-Amarelo Distrófico e Argissolo Vermelho Distrófico, mostrando que estes solos, quando associados a relevos em que a declividade é elevada são extremamente suscetíveis à instalação de ravinamentos.

Somente duas ocorrências erosivas do tipo ravinas foram mapeadas sobre os Cambissolos, no setor sudoeste do compartimento. Estas se estendem desde a base até o topo das vertentes, são rasas e provenientes de concentrações das águas pluviais, muito facilitadas pela alta declividade e presença de rocha a pequena profundidade, que funciona como impedimento de drenagem. Foram ainda mapeadas 3 ocorrências erosivas sobre o Gleissolo. Estas ocorrências são do tipo voçorocas de pequeno porte que se desenvolveram em uma área plana próximo ao leito do arroio principal e têm sua gênese ligada as trilhas deixadas pelo gado, que facilitam o fluxo concentrado da água, formando pequenas ravinas que evoluem

para voçorocas. Possivelmente também estão ligadas à processos de subsidência ativados por fenômenos de “piping”, que auxiliaram para sua evolução. No entanto, as 3 voçorocas encontradas sobre os Gleissolos Melânicos nesse compartimento ainda são de pequeno porte.

Muito comum nas encostas de colinas e morros cobertos por campos, são as ravinas que tem origem a partir dos terracetes (Figura 25 A). Estes terracetes apresentam vários pequenos deslizamentos que deixam o solo exposto. Este fenômeno também já foi observado, segundo Luiz (2003), por Luiz (1996) e por Luiz e Beltrame (1998) nas colinas da bacia do rio Inferninho em Biguaçu, município de São Pedro de Alcântara/SC. Os terracetes são provocados pelo movimento de rastejo e pelo pisoteio do gado nas vertentes inclinadas.

De acordo com Trimble e Mendel (1995) apud Luiz (2003) a passagem do gado aplica uma tensão vertical da ordem de 250 kPa na superfície do terreno, mas os autores destacam que este valor representa a pressão de todo o corpo do gado bovino. Levando-se em conta que ao caminhar, o gado coloca todo o seu peso em apenas duas patas, esse valor de tensão é muito maior. Os autores afirmam que esta tensão aplicada tem direção normal ao terreno, podendo compactar o solo, mas, quando o terreno é muito íngreme, apontam ainda a existência de um vetor lateral que aumenta o poder da passagem do gado de cisalhar e mover o solo para baixo.

Segundo Luiz (op cit) uma prova que os terracetes são formados principalmente pelo gado é que o seu traçado muda de tempos em tempos, em função dos novos caminhos do gado nas encostas que desvia, muitas vezes, das rupturas que ele próprio criou. As rupturas ocorrem mais freqüentemente em épocas mais úmidas, como por exemplo, na primavera, pois as precipitações são significativas e a evapotranspiração é menor do que nos meses de verão, quando também chove bastante.

Na Figura 25 A, pode-se observar uma colina com a presença de pequenos terracetes já estabilizados pela vegetação de gramínea. Em virtude de estes terracetes situarem-se sobre

solos do tipo Cambissolos, que são pouco profundos, bem a imperfeitamente drenados, com horizonte A, seguido de horizontes Bi e C, quando da exposição do horizonte B por causa dos pequenos deslizamentos que ocorrem ao longo dos terracetes, este horizonte sofre a atuação direta do escoamento superficial, porém graças a textura argilosa deste horizonte não apresenta incisões de significativa profundidade.

Na Figura 25 B nota-se a presença de terracetes sobre o Argissolo com o horizonte B exposto. Quando da exposição do horizonte B e em função da textura franco arenosa deste, as incisões podem tornar-se profundas diferentemente do que ocorre com os Cambissolos.

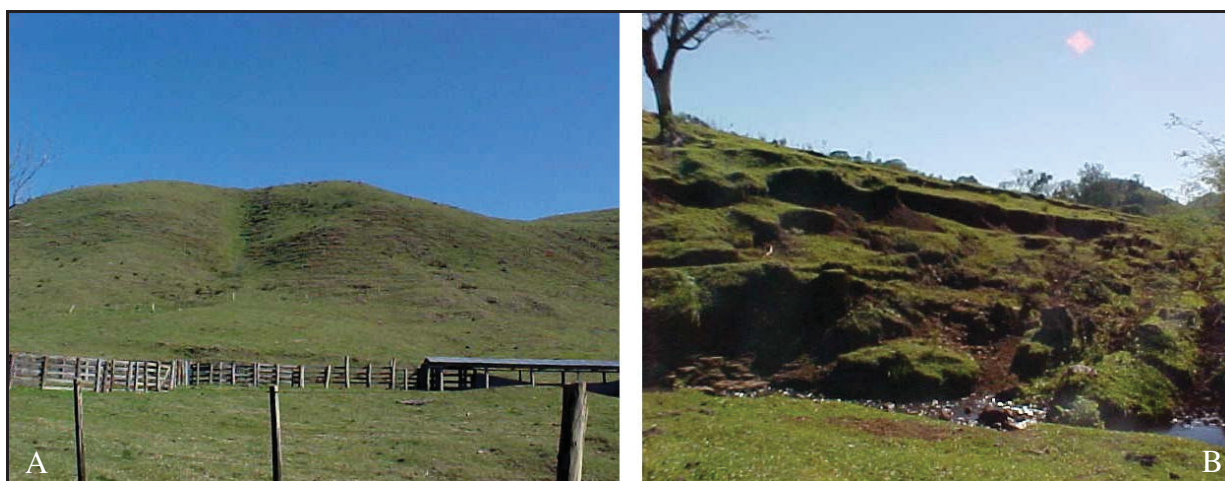


FIGURA 25 – Presença de terracetes na encosta (A) e detalhe dos terracetes (B).

Ainda com relação à última figura, percebe-se que os terracetes encontram-se próximo a um curso d'água que serve como fonte de água para o gado. Em função do caminhar dos animais até este curso d'água este terreno encontra-se modificado e se inicia o processo de desmoronamento e solapamento de suas margens.

Compartimento Morfopedológico III – MP III

Corresponde a 36,75% da área com 33,66 km² e localiza-se totalmente no flanco direito da bacia hidrográfica, se estendendo de sul a norte até encontrar o limite do MP I. Este compartimento possui a maior representatividade na bacia e apresenta uma hipsometria

mínima de 100m na planície aluvial atingindo altitudes máximas maiores de 340m junto aos divisores e cabeceiras de drenagem.

Com relação ao relevo, o compartimento possui características semelhantes ao MP II, no entanto os morros apresentam vertentes do tipo convexas ao contrário do MP II em que as vertentes eram predominantemente côncavas. As declividades nessas vertentes variam de 12 a 45%. Junto aos divisores e cabeceiras de drenagem os relevos residuais de topo aplanado são os que predominam com declividades variando de 0 a 6% no topo e de 20 a 45% em suas escarpas. Os relevos residuais de topo aguçado também aparecem e localizam-se no interior da planície aluvial com declividades que variam de 0 a 3%

Comparando-se o compartimento II e III com relação ao número de canais de 1ª e 2ª ordens, constata-se que esse número é maior no MP III, mostrando que o relevo apresenta um grau de dissecação maior no compartimento III. Da mesma forma, verifica-se que o relevo apresenta-se muito mais movimentado em forma de escarpas, morros com vertentes mais íngremes e mais curtas e colinas médias quando comparada com o MP II. Ainda com relação ao relevo, percebe-se que as rupturas de declive, facilmente reconhecidas sobre a carta topográfica e em campo, são diferenciadas nos MPs II e III sendo suaves e abruptas respectivamente, mostrando que os processos de natureza geológica foram distintos.

As rochas da Formação Serra Geral se apresentam na maior parte do compartimento, ocupando quase 90% da área do MP (Tabela 9), enquanto que a Formação Botucatu abrange apenas a porção que acompanha a planície aluvial no setor de jusante dos cursos d'água, possuindo praticamente o mesmo limite da planície aluvial. Todas as ocorrências erosivas encontram-se sobre as rochas da Formação Serra Geral.

TABELA 9 – Áreas das diferentes Formações Geológicas – MP III.

Geologia	Área total/km²	%	Ocorrências Erosivas
Fomação Botucatu	3,56	10,58	--
Formação Serra Geral	30,1	89,42	24
Total	33,66	100	24

“--” Ausência de ocorrências erosivas.

Org.: Lohmann, M., 2005.

Observa-se uma seqüência de solos (Tabela 10) composta pelos Neossolos Litólicos que aparecem nos relevos residuais de topo aplanado, seguido dos Cambissolos Háplicos que ocupam a maior área deste compartimento ocorrendo no conjunto de morros com formas convexas e dos Gleissolos Melânicos na planície aluvial. Verifica-se que as ocorrências erosivas encontram-se na sua totalidade sobre os Cambissolos Háplicos.

TABELA 10 – Áreas de cada classe de solo - MPIII.

Tipos de Solos	Área total/km²	%	Ocorrências Erosivas
Neossolo Litólico	2,6	7,72	--
Cambissolo Háplico	29,36	87,23	24
Gleissolo Melânico	1,7	5,05	--
Total			24

“--” Ausência de ocorrências erosivas.

Org.: Lohmann, M., 2005.

No que se refere ao uso e ocupação do solo (Tabela 11), assim como em todos os compartimentos, as pastagens são predominantes ocupando um total de 35,36% de toda a área, seguido pela classe culturas sem irrigação com 34,80% e das florestas com 27,18%. A classe culturas irrigadas possui pouca representatividade em função das condições adversas do relevo.

TABELA 11 - Uso e ocupação do solo no MP III

Classes de uso da terra	Área total/km²	%	Ocorrências Erosivas
Pastagens	11,90	35,36	22
Florestas	9,15	27,18	--
Culturas Irrigadas	0,80	2,38	--
Lâmina d'água	0,10	0,29	--
Culturas sem Irrigação	11,71	34,80	2
Total	33,66	100	24

“-” Ausência de ocorrências erosivas.

Org.: Lohmann, M., 2005.

Mesmo o relevo possuindo características que dificultam o cultivo e apresentar-se bastante dissecado, verifica-se que as porções ocupadas com agricultura ocupam uma área significativa sendo cultivados produtos como o milho, a soja e outros, principalmente para subsistência das pequenas propriedades rurais.

Nota-se que neste compartimento os conflitos de uso e ocupação versus declividade também aparecem tendo como conseqüência o desencadeamento dos processos erosivos.

Observando a Figura 26, verifica-se que no topo da vertente resta um resquício de floresta nativa e que a mesma foi retirada no terço médio e inferior da vertente. Provavelmente a floresta nativa já ocupava uma porção maior da vertente, porém, em função de o Cambissolo não possuir características apropriadas para a agricultura, esta área já foi abandonada e hoje se constitui em pastagem. Tem-se ainda a presença de uma ravina que se estende desde a base até o topo da vertente, tendo como provável origem o desmatamento e conseqüentemente o aumento e a concentração dos fluxos de água superficiais. Uma ravina em fase de formação também se apresenta nesta área.



FIGURA 26 – Uso e ocupação do solo em uma vertente do MP III.

Foram identificadas neste compartimento 24 ocorrências erosivas. Sobre as pastagens identificou-se 22 e sobre as culturas sem irrigação 2 erosões. Em virtude da seqüência de solos encontrada no MP III serem rasos a pouco profundos, passando para solos gleizados na planície aluvial e, ainda, das condições adversas do relevo, o escoamento superficial e a baixa infiltração são favorecidos. Em função dessas características, este compartimento foi classificado como muito suscetível a ravinas e pouco suscetível a voçorocas nas áreas de ocorrência de Neossolos Litólicos e Cambissolos Háplicos. Já as áreas cuja declividade é praticamente nula (0-3%) em que se tem a ocorrência dos Gleissolos Melânicos, se enquadram como não suscetíveis a ravinas e voçorocas, embora com ressalvas quanto às diferentes formas de utilização da terra.

Assim como no MP II foram identificados três tipos diferenciados de ocorrências erosivas. As voçorocas, também de pequeno porte, as ravinas e as erosões complexas.

As voçorocas se desenvolvem principalmente no terço médio e inferior da vertente nas rupturas de declive. As ravinas ocorrem indistintamente tanto na base das vertentes, em declividades menores, como no seu terço médio ou ainda se estendem da base até o topo das vertentes. E as últimas se desenvolvem principalmente no terço inferior das vertentes associadas a outros mecanismos.

Como observado na Figura 27 B, o início do processo de voçorocamento se dá a partir do aprofundamento de uma ravina que surge em função do fluxo concentrado das águas pluviais combinados com a declividade mais elevada. Pode-se verificar que o alargamento da voçoroca se dá a apenas alguns metros abaixo de sua cabeceira, onde surgências d'água, situadas junto ao pé dos taludes indicam processos de “piping”, com deposição de sedimentos muito finos em forma de leque. Os sedimentos depositados, neste caso, já se encontram encobertos pelas gramíneas. Ao lado nota-se a presença de uma trilha de gado, mostrando que possivelmente a partir de uma dessas trilhas, aliada a ação das águas do escoamento superficial, que se formou inicialmente uma ravina e posteriormente a voçoroca atual (Figura 27 A).

A compactação dos horizontes superficiais comumente observada em tradagens evidencia também modificações das condições naturais do solo, como a provocada pelo pisoteio do gado, por exemplo. Combinada com as características de desenvolvimento incipiente e pouca profundidade dos Cambissolos, a infiltração é dificultada e o escoamento superficial de maior intensidade. Infere-se que essas alterações podem explicar grande parte das ocorrências erosivas deste tipo observadas neste compartimento. Essa hipótese se corrobora se for levado em consideração que dentre as 24 ocorrências erosivas mapeadas, 22 se dão sobre as pastagens utilizadas para o gado.



FIGURA 27 – Voçoroca de pequeno porte sobre o Cambissolo (A) e início do processo de voçorocamento em (B).

O desenvolvimento de processos de ravinamento também são encontrados e são propiciados, em alguns casos, pela ocupação inadequada do solo. Com o desmatamento e o uso agrícola inadequado, os horizontes essencialmente arenosos e pobres em matéria orgânica como é o caso dos Cambissolos, foram afetados pela presença antrópica, tornando-os mais suscetíveis à erosão.

As ravinas presentes nas áreas de campo não se diferem daquelas encontradas no MP II no que diz respeito à gênese e evolução. A declividade das vertentes favorece a concentração das águas superficiais que combinadas com o desmatamento exercem o papel desencadeador do seu desenvolvimento. Elas se desenvolvem preferencialmente no terço médio das vertentes, porém algumas se estendem da base até o topo da vertente, dependendo do uso a que está sendo submetida, podendo evoluir posteriormente para voçorocas. Assim como no MP II, a ocorrência erosiva não é freqüente no terço superior das vertentes, sendo

observada apenas quando associada à ocupação do solo que permita concentração elevada das águas superficiais.

Na figura 28 observa-se uma área atualmente ocupada com pastagens que foi desmatada para uso agrícola também já abandonado e hoje revegetada com gramíneas. Isso se corrobora quando se observa (no canto direito da foto) parte da mesma área ocupada com floresta nativa mostrando que possivelmente toda esta vertente possuía o mesmo uso.

Na ruptura de declive observa-se uma ravina contornando praticamente toda vertente e que teve origem a partir de uma trilha de gado. Em trabalho de campo verificou-se que a mesma já se apresenta com profundidade significativa e por onde o gado ainda continua passando e compactando ainda mais o solo, fazendo com que em eventos chuvosos o escoamento superficial seja de maior intensidade, removendo grande quantidade de material e aprofundando-a ainda mais.

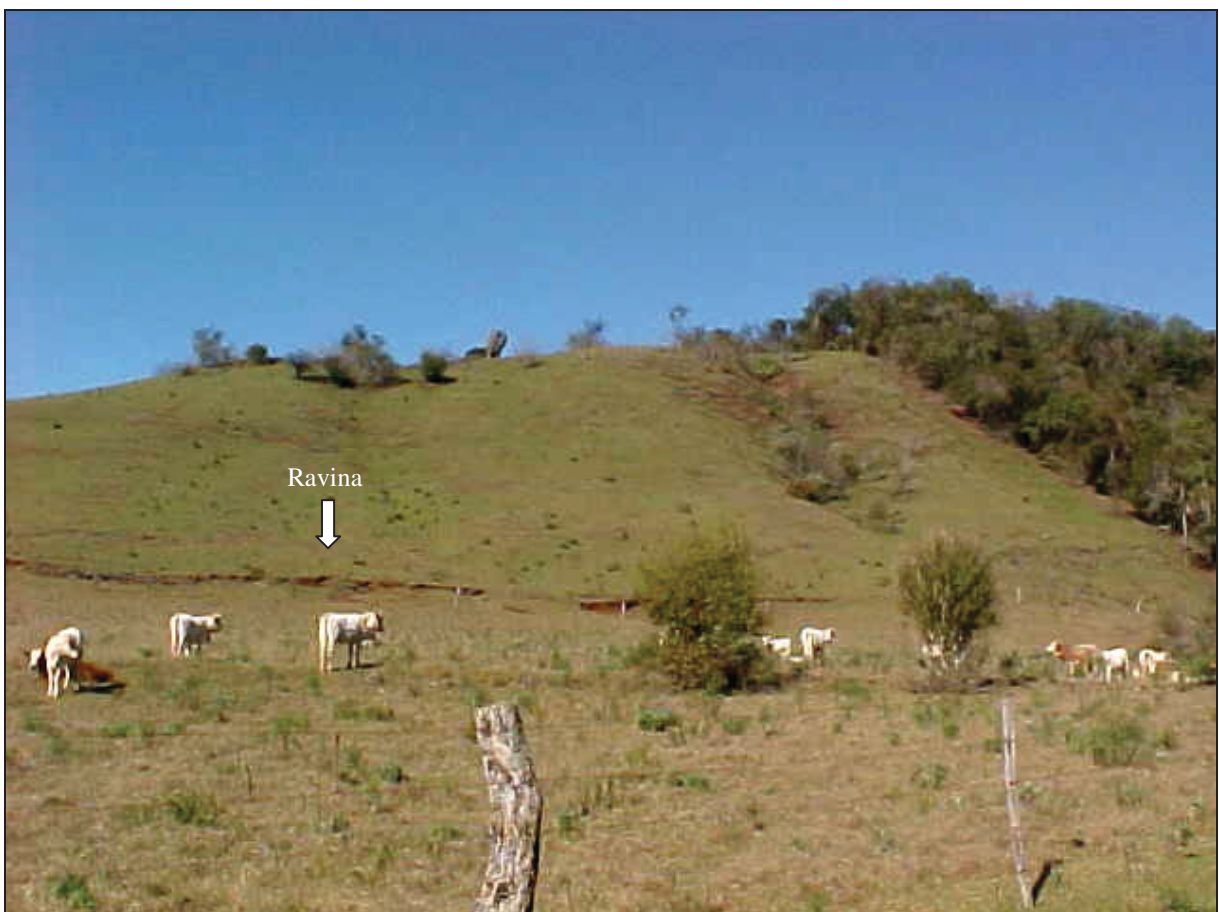


FIGURA 28 – Ravina sobre área de campo.

As erosões classificadas como “erosões complexas” localizam-se preferencialmente no terço inferior das vertentes sobre áreas de campo com solos do tipo Cambissolos Háplicos.

Pela figura 29 (A), observa-se que o processo erosivo neste caso se inicia pela subsidência, combinada com a lavagem, da camada superficial do solo. O processo se manifesta em superfície com o remanejamento de areias de cobertura e possivelmente em subsuperfície, sobre o horizonte de alteração e o horizonte B, promovendo subsidências do terreno com a formação de rupturas com formas côncavas e a formação de pequenos anfiteatros. De acordo com Salomão (1994), esses anfiteatros, quando associados a surgências de água, apresentam maior poder erosivo, não só por favorecerem a concentração das águas de escoamento superficial, mas também pelo desenvolvimento de “piping” e erosão remontante, muito comum em cabeceiras de drenagem. Em trabalho de campo realizado em setembro de 2004, não se verificou a existência de surgências d’água, não ficando claro se este processo também está condicionado a tal fator.



FIGURA 29 – Início do processo erosivo em (A) e evolução do processo erosivo em (B).

Após o início do processo, outros mecanismos começam a atuar em conjunto, caracterizando sua evolução. Um desses mecanismos é a formação de pequenas ravinas no interior da erosão, que auxiliam a concentrar o fluxo das águas pluviais, aduzindo para a evolução da mesma.

Com o tempo, são formados verdadeiros degraus (Figura 29 B) que também evoluem lateralmente, possivelmente por desmoronamento e solapamento. Luiz (2003), assinala que quando os processos erosivos esculpem feições cujas paredes deixam exposto o horizonte B do solo, um novo mecanismo de erosão tem lugar, o qual está associado à ruptura e queda dos agregados deste horizonte. A autora aponta ainda que a partir deste mecanismo, as feições erosivas tendem a se alargar e a se expandir mais para montante seguindo o horizonte B. Se a feição de erosão também deixa exposto o horizonte C, fato não observado na área em específico, onde a textura é mais siltosa e a estrutura é maciça, a tendência é de um aprofundamento da erosão neste material por causa da ação do escoamento superficial.

Em alguns casos, a evolução destas ocorrências erosivas pode conectá-la a ravinas (Figuras 30 A). Verifica-se na primeira foto, uma ravina que ocupa longitudinalmente o conjunto da vertente. Esta ravina conectou-se com uma das erosões complexas e atingiu alto poder erosivo, tendo já aspecto de uma voçoroca em processo de formação.



FIGURA 30 – Ocorrência erosiva conectada a ravina em (A) e ocorrência erosiva ativa não conectada a ravina em (B).

Na figura 30 (B) tem-se outro exemplo deste tipo de erosão. As paredes são praticamente retas e sofrem também pequenos desmoronamentos. Boa parte do material que foi retirado da parede e depositado no fundo também já está colonizado com gramíneas mostrando que a mesma está em processo de estabilização.

Quando as ocorrências erosivas do tipo complexas estão conectadas a ravinas (Figura 31 A e B) constata-se no topo das vertentes o predomínio dos Neossolos Litólicos. Isso sugere a existência de condições favoráveis a baixa infiltração e à concentração das águas pluviais. Como as erosões complexas se desenvolvem sobre os Cambissolos que também são solos pouco profundos, infere-se que a intensidade do fluxo superficial adquire maior intensidade e conseqüentemente o poder erosivo da nova forma também é maior.

Observa-se na figura 31 (A e B) que as erosões complexas quando aliadas a ravinas, por exemplo, possuem grande poder erosivo, remodelando praticamente toda vertente. Várias são as feições geradas a partir da atuação conjunta desses mecanismos. Porém, se a erosão complexa não se conecta com as ravinas, o poder erosivo é menor e a tendência à estabilização é maior.



FIGURA 31 – Erosões do tipo complexas em A e B.

Em função das condições apresentadas anteriormente, fica claro que se faz necessário um estudo de mais detalhe para compreender os mecanismos que atuam no desencadeamento destas ocorrências erosivas, para que então se possa compreender de melhor forma a sua origem, seu comportamento e sua evolução.

5. CONCLUSÃO

A abordagem morfopedológica mostrou-se adequada e de grande utilidade para a elaboração da pesquisa. A partir dessa abordagem, pôde-se mapear e identificar, na região de estudo, quatro compartimentos relativamente homogêneos no que diz respeito à interação entre o substrato geológico, o relevo, solos e ocorrências erosivas, denominados de Compartimentos Morfopedológicos. Dessa forma obteve-se um documento síntese que aglutinou um conjunto de informações referentes as principais características do meio físico e da distribuição das erosões, tornando-se a base para a compreensão dos processos erosivos lineares na área.

Os resultados alcançados mostraram que as formas predominantes de uso e ocupação da bacia hidrográfica do Arroio Guassupi são as pastagens, representando mais de 50% da área em estudo. A classe culturas sem irrigação, utilizadas para a prática com agricultura sazonal também merece destaque na bacia e representam juntas mais de 25% do total. Mesmo o relevo apresentando-se em sua maior parte desfavorável para a prática agrícola, nota-se que o uso com agricultura é significativo, fazendo surgir os problemas ambientais, principalmente no que se refere aos conflitos gerados em função da declividade versus uso e ocupação. A porção ainda florestada que representa apenas 21,6% da área, ainda pode ser considerada relativamente significativa quando comparada com outras áreas também do Rebordo do Planalto. Nota-se que essas áreas situam-se principalmente em porções em que o relevo é bastante movimentado e no terço superior das vertentes mais íngremes.

Foram identificados na área de estudo três diferentes tipos de ocorrências erosivas. As ravinas, que tem origem com o fluxo concentrado das águas pluviais. As voçorocas que originam-se principalmente do aprofundamento das ravinas associadas a fenômenos de

“piping” e, as erosões complexas, que têm sua origem ligada a vários mecanismos atuando em conformidade e modelando as mesmas.

Dentre os compartimentos morfopedológicos delimitados, no MP I não foram identificadas ocorrências erosivas. No entanto, esse compartimento foi classificado como muito suscetível a ravinas e não a voçorocas principalmente em função de apresentar um relevo mais movimentado na porção centro-sul. Na porção de planície aluvial pode-se classificar como não suscetível a ravinas e voçorocas.

O compartimento II apresentou o quadro mais grave no que se refere as ocorrências erosivas. Foram identificadas 32 ocorrências perfazendo mais de 50% do total mapeado. As erosões são de três tipos, ou seja, ravinas, voçorocas e erosões complexas, sendo que as ravinas podem estar associadas tanto à concentração do fluxo superficial d'água como aos terracetes aduzidos por trilhas do gado. As voçorocas, todas de pequeno porte, e as erosões complexas localizam-se em sua maioria, junto as ruptura de declive, na mudança de solos e de litologia. As erosões situam-se preferencialmente sobre os Argissolos e em relevo mais movimentado sendo por isso esse compartimento enquadrado como extremamente suscetível a ravinas e voçorocas. Apenas a porção de planície aluvial foi classificada como não suscetível a ravinas e voçorocas.

No compartimento III foram identificadas 24 ocorrências erosivas sendo do tipo ravinas, voçorocas e erosões complexas. Em virtude dos solos predominantes serem do tipo cambissolos, que são rasos a pouco profundos favorecendo o escoamento superficial e em razão das condições adversas do relevo, esse compartimento foi classificado como muito suscetível a ravinas e pouco suscetível a voçorocas. Merecem destaque as erosões complexas que aliadas aos processos de ravinamento adquirem grande poder erosivo, modelando grande parte da vertente em que se instalam.

As determinações da suscetibilidade de cada compartimento morfopedológico possibilitaram traçar um panorama geral acerca da situação encontrada, em termos do conjunto de fatores ambientais considerados, relativos a prevenção de impactos e a manutenção dos recursos naturais existentes na bacia.

As terras ocupadas com pastagens são as que se encontram em mais avançado estado de degradação, tanto é verdade, que é sobre as pastagens que se encontram a maioria das erosões. Infere-se sobre este fato que o manejo inadequado é o principal responsável pela intensificação da ação dos fatores erosivos naturais relacionados com o solo, clima, relevo e geologia, promovendo o surgimento das inúmeras ocorrências erosivas lineares.

O uso intensivo do solo e o manejo inadequado provocam desestruturação e compactação em superfície e subsuperfície, dificultando a infiltração das águas das chuvas e facilitando a ativação dos processos erosivos. Relacionando-se esse fato a retirada da vegetação ciliar e o plantio em áreas impróprias, desrespeitando o aparato legal, tem-se o cenário ideal ao desencadeamento dos processos erosivos.

Nesse sentido o manejo adequado das bacias, cada vez mais é compreendido como uma iniciativa fundamental tanto para a preservação ambiental como para a manutenção da qualidade de vida da população e a continuidade da exploração econômica por parte dos agricultores.

Dessa forma, o estudo desenvolvido serve como um importante referencial para futuros trabalhos e ainda como fonte inicial para um planejamento e manejo adequado das formas de uso e ocupação em nível de bacia hidrográfica. A partir das características ambientais singulares presentes em cada compartimento, principalmente no que diz respeito aos solos, relevo e aos diferentes tipos de ocorrências erosivas, nota-se a necessidade de se empreender novos estudos, com mais detalhe, em vertentes selecionadas ou com

topossequências, para que se possa compreender de melhor forma todos os mecanismos que atuam no processo de gênese e evolução das erosões.

Como o relevo apresenta-se muito movimentado e com condições impróprias a atividade agrícola em sua maior parte, com exceção da planície aluvial em que o arroz irrigado é cultivado, os problemas de ordem ambiental advindos do uso inadequado do solo e do desmatamento das vertentes são visíveis. Recomenda-se a elaboração de um plano de manejo para a bacia hidrográfica, envolvendo o que estabelece as leis de cunho ambiental, o código florestal bem como as práticas conservacionistas.

Torna-se ainda necessário que os técnicos de extensão rural e os produtores rurais identifiquem as classes de solo ocorrentes nas propriedades agrícolas, reconheçam as principais limitações destes e que usem as alternativas mais viáveis para corrigir estas limitações e de práticas de manejo para evitar que os solos sejam degradados com os usos propostos.

Deve-se também respeitar a legislação existente, como manter as áreas de preservação permanente definidas como tal no Código Florestal. A ampla divulgação desta legislação, para conhecimento da população em geral, é requisito essencial para que a mesma possa ser adotada pelos produtores rurais.

6. BIBLIOGRAFIA

- ALONSO, A. T. M. Vegetação. In: Geografia do Brasil. **Região Sul**. Rio de Janeiro: IBGE, SERGRAF – IBGE, 1977. p. 81-110.
- BAHIA, V. G., CURI, N., CARMO, D. N. Fundamentos de erosão do solo. **Informe agropecuário**, v. 16, n. 176, p.25-31, 1992.
- BARBALHO, M. G. da S. **Morfopedologia, Aplicada ao Diagnóstico e Diretrizes para o Controle dos Processos Erosivos Lineares na Alta Bacia do Rio Araguaia (GO/MT)**. Goiânia, 2002. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Goiás.
- BELTRAME, A. V. **Diagnóstico do meio físico de bacias hidrográficas: modelo e aplicação**. Florianópolis: Ed da UFSC, 1994.
- BERTALANFFY, L. V. **Teoria Geral dos Sistemas**. Brasília: Vozes, 1975.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. São Paulo: Ícone, 1990.
- BIGARELLA, J.J. **Estrutura e Origem das Paisagens Tropicais e Subtropicais**. Florianópolis: Ed da UFSC, 2003.
- BIGARELLA, J.J. e MAZUCHOWSKI, J. **Visão Integrada da Problemática da Erosão**. Curitiba, Associação de defesa e educação Ambiental e Associação Brasileira de geologia de Engenharia, 1985, 320 p.
- BOIKO, J. D. **Mapeamento Geomorfológico e Fragilidade Ambiental da bacia hidrográfica do rio Currealinho – RMC/PR**. Curitiba, 2004. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Departamento de Geografia, Universidade Federal do Paraná.
- BOTELHO, R. G. M. Planejamento ambiental em microbacia hidrográfica. In: **Erosão e Conservação dos Solos: conceitos, temas e aplicações**. Orgs.: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999.
- BOTELHO, R. G. M. & SILVA, A. S. Bacia hidrográfica e qualidade ambiental. In: **Reflexões sobre a Geografia Física no Brasil**. Orgs.: VITTE, A. C. & GUERRA, A. J. T. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004, 280 p.
- BOURLON, N.; BERTHON, D. Desenvolvimento sustentável e gerenciamento das bacias hidrográficas na América Latina. **Ciência e Cultura**, p.16-22, 1993.
- BURROUGH, P. A. **Principles of Geographical Information Systems For Land Resources Assessment**. Oxford: Oxford University Press, 1986.
- CASSETI, V. **Ambiente e apropriação do relevo**. 2ª ed. São Paulo: Contexto, 1995. (Coleção Caminhos da Geografia).

CASSOL, R. **Zoneamento ambiental elaborado com variáveis otimizadas estatisticamente geradas por técnicas cartográficas.** São Paulo, 1996, 292 f. Tese (Tese de Doutorado) – Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo.

CALIJURI, M.L; MEIRA, A. D.; PRUSK, F. F. Geoprocessamento Aplicado aos Recursos Hídricos. In CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27., Poços de Caldas, 1998. **Cartografia, Sensoriamento e Geoprocessamento.** Lavras: UFLA, SBEA, 1998, P 200-225.

CASTRO, S. S. & SALOMÃO, F. X. de T. Compartimentação Morfopedológica e sua Aplicação: Considerações Metodológicas. Campinas, SP. In: **Revista GEOUSP**, N° 7, 2000.

CHRISTOFOLETTI, A. **Análise de sistemas em Geografia: introdução.** São Paulo: Hucitec-Edusp. 1979, 106 p.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais.** São Paulo: Edgard Blücher, 1999.

CHUE, A. M. **Análise do uso do solo e degradação ambiental na bacia hidrográfica do rio Pequeno – São José dos Pinhais/PR, por meio do Diagnóstico Físico-Conservacionista – DFC.** Curitiba, 2004. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Departamento de Geografia, Universidade Federal do Paraná.

COELHO NETO, A. L. Hidrologia de Encosta na Interface com a Geomorfologia. In: **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos.** GUERRA, A. J. T. & CUNHA, S. B (Orgs) 2º Ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1995.

COLLARES, E. G. **Avaliação de alterações em redes de drenagem de microbacias como subsídio ao zoneamento geoambiental de bacias hidrográficas: aplicação na bacia hidrográfica do rio Capivari – SP.** São Carlos, 2000, 211f. Tese (Tese de Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

CREPANI, E. et al. **Curso de sensoriamento remoto aplicado ao zoneamento ecológico-econômico.** São José dos Campos:INPE. 1996.

D'AGOSTINI, L. R. **Erosão: o problema mais que o processo.** Florianópolis: Ed. Da UFSC, 1999. 131 p.

DE BIASI, M. A. A carta clinográfica: os métodos de representação e sua confecção – **Revista do Departamento de Geografia.** São Paulo, n.6, 1992.

DREW, D. **Processos Interativos Homem-Meio Ambiente.** 4ª ed. São Paulo:Bertrand Brasil, 1998.

EMBRAPA.**Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Brasília: Embrapa Produção de Informação. Rio de Janeiro, 1999. 412 p.

FAO (Organizacion de lãs Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentacion) **La erosion del suelo por el água: algunas medidas para combatirla em las tierras de cultivo.** Roma: FAO, 1967.

FARENZENA, D. **Transformações ambientais no processo de (re) organização espacial no município de Faxinal do Soturno/RS.** Curitiba, 2002, 148 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná.

FENDRICH, R. et al. **Drenagem e Controle da Erosão Urbana.** 4º Ed. Curitiba: Champagnat, 1997. 486 p.

FIORI, C. O. & SOARES, P.C. **Aspectos Evolutivos das Voçorocas.** Notícias Geomorfológicas, Campinas, 16 (32): 105 – 114, 1976.

FOLADORI, G. **Los límites del desarrollo sustentable.** Montevideu:Banda Oriental, 1999.

FRANCO, M. de A. R. **Planejamento ambiental para a cidade sustentável.** São Paulo: Annablume: FAPESP, 2001.

GEORGE, P. **O meio ambiente – Saber Natural.** Trad.: Heloysa de Lima Dantas. São Paulo: Difusão Européia do Livro. 1973.

GONÇALVES, C. W. P **Os (des)caminhos do meio ambiente.** São Paulo: Contexto, 1989.

GREGORY, J. K. **A Natureza da Geografia Física.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1992.

GUERRA, A. J. T. & CUNHA, S. B. **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos.** (Orgs) 2º Ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1995.

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

_____. **Geomorfologia e Meio Ambiente.** (Orgs) 4º Ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003.

GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. (Orgs.) **Erosão e Conservação dos Solos: conceitos, temas e aplicações.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999, 340 p.

GUERRA, A. J. T., MENDONÇA, J. K. S. Erosão dos Solos e a Questão Ambiental. In: **Erosão e Conservação dos Solos: conceitos, temas e aplicações.** Orgs.: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999.

HERMANN, M. L. de P. & ROSA, R. de O. Relevo. Geografia do Brasil, **Região Sul.** V2. Rio de Janeiro:IBGE. 1990. p. 55-84.

INFANTI JR. N., FORNASARI FILHO, N. Processos de Dinâmica Superficial. In: **Geologia de Engenharia.** SANTOS, A, M dos, OLIVEIRA, S. N A. de B. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1998.

JUSTUS, J. de O. Geomorfologia. Geografia do Brasil. **Região Sul.** V2. Rio de Janeiro:IBGE. 1990, p. 313-404.

KLAMT, E. et al. **Solos do município de São Pedro do Sul: características, classificação, distribuição geográfica e aptidão de uso agrícola.** Santa Maria: Imprensa Universitária, 2001.

LANNA, A. E.. L. **Gerenciamento de bacia hidrográfica: aspectos conceituais e metodológicos.** Brasília, IBAMA. 1995.

LEFF, E. **Epistemologia Ambiental.** 2ª Ed. São Paulo:Cortez, 2002.

LEFF, E. **Saber Ambiental: Sustentabilidade, Racionalidade,Complexidade, Poder.** Trad.: Lúcia Mathilde Endlich Orth. Petrópolis, RJ: Vozes, 2001.

LIMA, M. del V. & RONCAGLIO, C. Degradação socioambiental urbana, políticas públicas e cidadania. **Desenvolvimento e Meio Ambiente – Cidade e ambiente urbano**, n 3, ano 2001, p. 53 – 63, 2001.

LIMA, W. P. A microbacia e o desenvolvimento sustentável. **Ação Ambiental**, v.1, n.3, p.20-22, 1999.

LIMA, W. P.; ZAKIA. M. J. B. Hidrologia de matas ciliares. In RODRIGUES, R.R.; LEITÃO FILHO, H.F. (Ed.). **Matas ciliares: conservação e recuperação.** São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, Fapesp, 2000. p. 33-44.

LISSONI LEONARDO, H. C. **Indicadores de Qualidade de Solo e Água para a Avaliação do Uso Sustentável da Microbacia Hidrográfica do Rio Passo Cue, Região Oeste do Estado do Paraná.** Piracicaba, 2003, 131f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luis Queiros”, Universidade de São Paulo.

LUIZ, E. L. **Influência da dinâmica hidrológica e das características das formações superficiais nos mecanismos de ruptura de encostas com rochas granitóides de áreas subtropicais – São Pedro de Alcântara/SC.** Rio de Janeiro, 2003, 238 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro

MACIEL FILHO, C. L. **Carta Geotécnica de Santa Maria.** Santa Maria: Imprensa Universitária. 1990, 24 p.

MACHADO, R. E. **Simulação de Escoamento e de Produção de Sedimentos em uma Microbacia Hidrográfica Utilizando Técnicas de Modelagem e Geoprocessamento.** Piracicaba, 2002, 166f. Tese (Tese de Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luis Queiros”, Universidade de São Paulo.

MARCONDES, M. J. de A. **Cidade e natureza: proteção dos mananciais e exclusão social.** São Paulo:USP-Fapesp, 1999.

MATOS DA SILVA, N. **Caracterização Morfopedológica da Bacia do Rio Formoso – Bonito-MS e suas Implicações Ecológico-Ambientais.** Cuiabá, 2000, 95f. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) – Universidade Federal de Mato Grosso.

MEDEIROS, E. R. **Estratigrafia do Grupo São Bento na Região de Santa Maria e Paleocorrentes da Formação Botucatu**. Porto Alegre, 1980. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

MENDONÇA, F. de A. **Geografia e Meio Ambiente**. São Paulo: Contexto, 1993.

MENDONÇA, F & KOZEL, S. (Org) **Elementos de Epistemologia da Geografia Contemporânea**. Curitiba: Ed. UFPR, 2002.

MONTEIRO, CAF. **A questão ambiental no Brasil: 1960-1980**. São Paulo: Instituto de Geografia, 1981.

MORAES, A. C. R. **Meio Ambiente e Ciências Humana**. São Paulo: Hucitec, 1994.

MÜLLER-PLANTENBERG, C. & AB'SABER, A. N. (Orgs) **Previsão de Impactos: O estudo de impacto Ambiental no Leste, Oeste e Sul. Experiências no Brasil, na Rússia e na Alemanha**. 2ªEd. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2002.

MÜLLER FILHO, I. L. **Notas para o estudo da geomorfologia do Rio Grande do Sul**. Santa Maria: Imprensa Universitária da UFSM, 1970. 34 p. (Publicação Especial)

MÜLLER FILHO, I. L. & SARTORI, M. G. B. **Elementos para interpretação geomorfológica de cartas topográficas: contribuição à análise ambiental**. Santa Maria: Ed da UFSM, 1999.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto - Princípios e Aplicações**. 2ª ed. São Paulo: Edgard Blücher Ltda. 1992.

NAKASHIMA, P. **Cartografia dos sistemas pedológicos do Noroeste do Paraná – distribuição e subsídios para o controle da erosão**. São Paulo, 1999. Tese (doutorado em Geografia Física) Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo.

ODUM, E. P. **Ecologia**. Rio de Janeiro: Guanabara, 1988.

OLIVEIRA, A. M. dos S. **Depósitos Tecnogênicos e Assoreamento de Reservatórios. Exemplo do Reservatório de Capivara, Rio Paranapanema, SP/PR**. São Paulo, 1994. Tese (Doutorado em Geografia Física) Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo.

OLIVEIRA, A. M. P. & SILVEIRA, C. S. **A erosão – suas causas e conseqüências: alguns aspectos no Rio Grande do Sul**. Santa Maria, 1989. Monografia (Especialização em Geografia Física) – Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras Imaculada Conceição.

OLIVEIRA, M. A. T. Processos Erosivos e Preservação de Áreas de Risco de erosão por Voçorocas. In: **Erosão e Conservação dos Solos: conceitos, temas e aplicações**. Orgs.: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999.

PONTELLI, M. E. **O Rebordo do Planalto na Região de Santa Maria – um estudo geomorfológico.** Santa Maria, 1994. Monografia (Especialização em Geografia) – Universidade Federal de Santa Maria.

PEREIRA, M. N. et al. **Cobertura e uso da terra através de sensoriamento remoto.** São José dos Campos: Instituto de Pesquisas Espaciais. 1989. 118p.

RAMBO, B.S.J. **A Fisionomia do Rio Grande do Sul: ensaios de monografia natural.** 3º ed. Porto Alegre: Sebaldi, 1994. 475p

RAFFAELLI, J. A. **Modelado de Relevo e Uso da Terra na Folha Topográfica de São Pedro do Sul – RS.** Santa Maria, 2002. Trabalho de Graduação (Curso de Geografia) – Universidade Federal de Santa Maria.

REETZ, E. F. & SILVERIO da SILVA, J. L. **Caracterização Geológica – Ambiental das Folhas Topográficas de São Pedro do Sul e Mata-RS.** 1998-1999. (Relatório – CNPq)

RIBEIRO, J. C. **A Morfopedologia Aplicada ao Diagnóstico e Prevenção dos Processos Erosivos Lineares da Bacia Hidrográfica do Alto Rio da Casca.** Cuiabá, 2001. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical) Faculdade de Agronomia e medicina Veterinária, Universidade Federal do Mato Grosso, 107 p.

ROCHA, J.S.M. **Manual de manejo integrado de bacias hidrográficas.** Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 1991.

RODRIGUES, A. M. **Produção e consumo do e no espaço: problemática ambiental urbana.** São Paulo:Hucitec, 1998.

ROSSA, J. L. S. **Geomorfologia : ambiente e planejamento.** 2 ed. São Paulo: Contexto,1991.

ROSS, J. L. S.; DEL PRETTE, M. E. (1998). Recursos hídricos e as bacias hidrográficas: âncoras do planejamento e gestão ambiental. In: **Revista de Departamento de Geografia**.n.12, p.89-121.

ROSA, R. **O uso dos SIGs para o zoneamento: uma abordagem metodológica.** São Paulo, 1995, 214 f. Tese (Doutorado em Geografia Humana) Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo.

SALOMÃO, F. X. de T. **Processos Erosivos Lineares em Bauru (SP): Regionalização Cartográfica Aplicada ao Controle Preventivo Urbano e Rural.** São Paulo, 1994. Tese (Doutorado em Geografia) Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humana, Universidade de São Paulo. 200p.

SALOMÃO, F. X. de T. Controle e Prevenção dos Processos Erosivos. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. (Orgs.) **Erosão e Conservação dos Solos: conceitos, temas e aplicações.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999, 340 p.

SANTOS, A, M dos, OLIVEIRA, S. N A. de B. **Geologia de Engenharia.** São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1998.

SANTOS, A. R. **Geologia de engenharia: conceitos, método e prática.** São Paulo:IPT, 2002.

SANTOS, M. **Espaço & Método.** São Paulo: Nobel, 1992.

_____ **Território e Sociedade.** São Paulo:ed. Perseu Abramo, 2 ed. 2000.

SCHÄEFER, M. J. N. **Erosão em Entressulcos e em Sulcos sob Diferentes Preparos e Consolidação do solo.** Santa Maria, 1999. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Biodinâmica de Solos) – Universidade Federal de Santa Maria. 116 p.

SILVA, A. M.; SCHULZ, H. E.; CAMARGO, P. B. **Erosão e Hidrossedimentologia em Bacias Hidrográficas.** São Carlos: RiMa, 2003, 140 p.

TRICART, J. **Ecodinâmica.** Rio de Janeiro:IBGE, SUPREN, 1977.

SILVÉRIO da SILVA, E. L. **Mapa geológico das Folhas de Mata e São Pedro do Sul.** [1998?]. Não Publicado.

VIEIRA, P. F. Meio ambiente, desenvolvimento e planejamento. *In: Meio Ambiente Desenvolvimento e Cidadania: Desafio para as Ciências Sociais.* Florianópolis: UFSC, 1995.

VITTE, A. C. & GUERRA, A. J. T. **Reflexões sobre a Geografia Física no Brasil.** (Orgs). Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004.