

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE FILOSOFIA, LETRAS E CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA**

**TÉCNICAS CARTOGRÁFICAS E AEROFOTOGRAMÉTRICAS NO ESTUDO DA
EROSÃO: ALTA BACIA DO RIBEIRÃO ARAQUÁ - SÃO PEDRO E CHARQUEADA / SP**

Marcos Roberto Pinheiro

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia Física do Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Ciências.

ORIENTADORA: Profa. Dra. Rosely Pacheco Dias Ferreira

**São Paulo
2009**

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE FILOSOFIA, LETRAS E CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA FÍSICA**

Marcos Roberto Pinheiro

**TÉCNICAS CARTOGRÁFICAS E AEROFOTOGRAMÉTRICAS NO ESTUDO DA
EROSÃO: ALTA BACIA DO RIBEIRÃO ARAQUÁ - SÃO PEDRO E CHARQUEADA / SP**

Orientadora: Profa. Dra. Rosely Pacheco Dias Ferreira

**São Paulo
2009**

*Science is but the exchange of
ignorance for that which is another
kind of ignorance. (Lord Byron)*

Agradecimentos

Agradeço...

A Deus, porque ele é fiel.

A Universidade de São Paulo, pelo privilégio de estudar em uma universidade pública.

À minha grande Mestra, Profa. Dra. Rosely Pacheco Dias Ferreira, pela orientação e apoio total durante a execução do trabalho, paciência, conselhos, carinho e pela amizade. Muito obrigado, Rosy.

Ao Prof. Dr. Alfredo Pereira de Queiróz Filho, pela orientação e conselhos dados durante a primeira etapa deste trabalho.

Às Profas. Dra. Sidneide Manfredini e Dra. Sonia Maria Dias Furian, pelos puxões de orelha e conselhos dados durante o colóquio do Laboped, por toda a ajuda dada em várias etapas do trabalho e pelo respeito, entusiasmo e carinho com que sempre me trataram.

Ao Prof. Dr. José Pereira de Queiróz Neto, pela disposição em ouvir as minhas dúvidas e sempre colocar ainda mais interrogações na minha cabeça.

Ao Prof. Dr. Emerson Galvani, pela orientação de como interpretar os dados meteorológicos.

À Dra. Simone Sayuri Sato, por ter emprestado a licença do DVP, me treinado no software e tirado todas as minhas dúvidas sempre que precisei. Sua ajuda foi fundamental. Sou eternamente grato.

Aos grandes amigos Msc. Claudomiro Santos e Engenheiro Cartógrafo Igor Redivo Cubatelli, pela disposição em ajudar no meu trabalho nas inúmeras vezes que os procurei.

À Dra. Sheila Furquim, à Geógrafa Rosana Aranha, aos Geógrafos Otávio Cardona e Rodrigo Stábile e à futura Geógrafa Viviane Dias Alves Portela, pela ajuda preciosa durante os trabalhos de campo.

Aos senhores Valdelei Venancio Aires, proprietário da fazenda Boa Vista, e Sebastião Benedito de Rodrigues, caseiro da fazenda Santa Cruz, por terem autorizado a execução dos trabalhos de campo dentro das propriedades.

Ao Laboratório de Pedologia do Departamento de Geografia da FFLCH - USP, por ter me oferecido toda a infra-estrutura necessária ao desenvolvimento deste trabalho.

Ao laboratório de Sensoriamento Remoto e Aerofotogeografia do Departamento de Geografia da FFLCH - USP, por ter me emprestado o estereoscópio de espelhos para monitores;

A BASE S.A, por gentilmente ter fornecido as fotografias aéreas digitais por um valor 50% menor que o de mercado.

Ao Projeto PIRACENA, por ter fornecido dados das análises de solo da bacia do Rio Piracicaba e os arquivos vetoriais das folhas topográficas de São Pedro e Itirapina.

Ao Instituto Geográfico e Cartográfico do Estado de São Paulo, por ter cedido gratuitamente as folhas planialtimétricas que compõem a minha área de estudo e emprestado as fotografias aéreas do ano de 1978 para que eu as escaneasse e fizesse uma cópia.

À senhora Rosa Maria, do CTH/USP, por gentilmente ter fornecido os dados mais recentes da estação meteorológica de Ipeúna.

Aos meus amigos, porque são como uma parte da minha família.

A minha família, por ter o privilégio de fazer parte dela.

SUMÁRIO

RESUMO	ii
ABSTRACT	iii
ÍNDICE	iv
ÍNDICE DE FIGURAS	v
ÍNDICE DE FOTOS	v
ÍNDICE DE GRÁFICOS	vi
ÍNDICE DE CARTAS	vii
INDICE DE MAPAS	vii
INDICE DE PERFIS	viii
ÍNDICE DE QUADROS	viii
ÍNDICE DE TABELAS	viii
<u>1 – INTRODUÇÃO: OBJETIVOS E JUSTIFICATIVAS</u>	1
<u>2 – APRESENTAÇÃO DA ÁREA ESTUDADA</u>	7
<u>3 – PROCEDIMENTOS TEÓRICO-METODOLÓGICOS E TÉCNICO-OPERACIONAIS</u>	21
<u>4 – RESULTADOS</u>	74
<u>5 – CONCLUSÕES</u>	166
<u>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u>	172
ANEXOS	

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo fazer um inventário das feições erosivas lineares da alta bacia do ribeirão Araquá, municípios de São Pedro e Charqueada/SP, com base em técnicas cartográficas e aerofotogramétricas analógicas e digitais. O levantamento foi realizado em 2 escalas de abordagem diferentes: 1:50.000 (semi-detalle) e 1:15.000 (detalle). Na escala de semi-detalle, produziu-se uma carta hipsométrica, uma carta clinográfica e um mapa morfológico, onde foram representadas as feições erosivas. Esses produtos, aliados com as informações sobre solos, litologia e o uso da terra, deram origem ao mapa morfopedológico da sub-bacia. Com base nesse mapa, foi definida a sub-bacia do Córrego do Querosene para o estudo em escala de detalle. Na sub-bacia do Córrego do Querosene foram produzidas as cartas hipsométrica e clinográfica e os mapas de morfologia do relevo, solos, uso da terra e formas erosivas lineares. O levantamento do uso da terra e das formas erosivas lineares foi realizado com base em fotografias de 4 períodos diferentes, 1962 (1:25.000), 1978 (1:35.000), 1995 (1:25.000) e 2006 (1:30.000). Esse diagnóstico possibilitou realizar correlações das formas erosivas com as características do meio físico, o que deu origem a um mapa de suscetibilidade à erosão, além de ter permitido uma avaliação da evolução temporal das feições. Os resultados mostraram que a área atingida por sulcos diminuiu 38,18% no período de 1962 a 2009. Em contrapartida, as afetadas por linhas de pisoteio subiram 137%. No mesmo período, o número de ravinas aumentou em 87,5%, e as voçorocas cerca de 300%. Os dados mostraram também que as ravinas e voçorocas se instalaram preferencialmente em setores côncavos das vertentes, com declividades acima de 10%, principalmente, e em áreas como solos muito arenosos, profundos, homogêneos, permeáveis e cobertos por pastagens ou vegetação ciliar. As técnicas de interpretação e restituição aerofotogramétricas digitais se mostraram muito superiores às analógicas, embora o processo digital tenha se mostrado mais moroso que o analógico. As técnicas digitais permitiram a correção de grande parte das distorções geométricas das fotos, facilitando, dessa forma, as medidas das ravinas e voçorocas.

Palavras Chave

Erosão, Fotointerpretação, Fotogrametria, Mapeamento Geomorfológico

ABSTRACT

This study aimed to make an inventory of the forms of linear erosion in the high basin of the river Araquá, municipality of San Pedro and Charqueada / SP, based on cartographic and aerophotogrametric techniques in analog and digital environment. The survey was conducted in 2 different scales of approach: 1:50.000 (semi-detailed) and 1:15.000 (detailed). In the semi-detailed scale, it was produced a hypsometric chart, a slope chart and a morphological map, where the forms of linear erosion were represented. These products, with the informations about soils, lithology and land use, led to the morphopedologic map. Based on this map, was choose the sub-basin of the Querosene stream for the study on detailed scale. In the sub-basin of the Querosene stream were produced hypsometric and slope charts, morphologic, soils, land use and linear erosion maps. The survey of land use and linear erosion was based on photographs of 4 different periods, 1962 (1:25.000), 1978 (1:35.000), 1995 (1:25.000) and 2006 (1:30.000). This diagnosis made possible to create a susceptibility erosion chart and to correlate forms of linear erosion with the characteristics of the physical environment as well as assessments of the temporal evolution of the erosion. The results showed that the area affected by furrows decreased 38,18% from 1962 until 2009. In contrast, the areas with grazing tracks made by cows increased 137%. In the same period, the number of ravines increased 87,5% and gullies about 300%. The data also showed that the ravines and gullies are preferably in hollow forms, >10% slopes, mainly in areas of very sandy, deep, homogeneous and permeable soils, which are covered by grassland or ciliary vegetation. The techniques of digital aerophotogrametric interpretation and restitution showed far superior to analog, but the digital process is slowest than the analog. The digital techniques allowed the correction of most of the geometric distortions of the photos, facilitating, thus, the measures of ravines and gullies.

Key Words

Erosion, photointerpretation, photogrametry, geomorphological mapping

ÍNDICE

<u>1 – INTRODUÇÃO: OBJETIVOS E JUSTIFICATIVAS</u>	1
<u>2 – APRESENTAÇÃO DA ÁREA ESTUDADA</u>	7
<u>3 – PROCEDIMENTOS TEÓRICO-METODOLÓGICOS E TÉCNICO-OPERACIONAIS</u>	21
3.1 - O ESTUDO DA EROÇÃO A PARTIR DE TÉCNICAS CARTOGRÁFICAS E AEROFOTOGRAFÉTRICAS: BREVE REVISÃO	29
3.2 – PROCEDIMENTOS TÉCNICO-OPERACIONAIS	36
<u>3.2.1 – Elaboração dos Produtos Gráficos</u>	36
3.2.1.1 – As Cartas de Base	36
3.2.1.2 – Etapas e Produtos Obtidos a partir das Fotografias Analógicas – Alta bacia do Ribeirão Araquá – Escala 1:50.000	40
3.2.1.2.1 - Produtos Obtidos por Restituição Analógica	44
3.2.1.3 – Etapas e Produtos Elaborados A Partir das Fotografias Digitais – Sub-bacia do Córrego Querosene – Escala 1:15.000	53
3.2.1.3.1 - Produtos Obtidos por Restituição Digital	61
<u>3.2.2 – Trabalho de Campo</u>	72
<u>4 – RESULTADOS</u>	74
4.1 – O MAPA MORFOPELOLÓGICO DA ALTA BACIA DO RIBEIRÃO ARAQUÁ	74
<u>4.1.2 – Cartografia de Detalhe Sub-Bacia do Córrego do Querosene</u>	111
4.2 - ANÁLISE QUANTITATIVA DAS FORMAS EROSIVAS LINEARES	138
4.2.1 - Análise Morfométrica das Ravinas e Voçocoras	152
4.2.2 – Suscetibilidade Erosiva da Bacia do Córrego do Querosene	160
<u>5 – CONCLUSÕES</u>	166

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXO 1: Lista de Trabalhos do Projeto São Pedro

ANEXO 2: Mapa de Manchas Homogêneas da Rede de Drenagem

ANEXO 3: Mapa de Manchas Homogêneas das Formas Estruturais

ANEXO 4: Mapa de Manchas Homogêneas das Formas Decorrentes da Ação Fluvial

ANEXO 5: Mapa de Manchas Homogêneas das Formas Erosivas

ANEXO 6: Perfil Esquemático W-E do Ribeirão Araquá

ANEXO 7: Tabela das Medidas Feitas em Campo nas Feições Erosivas Lineares

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1: Elementos principais que compõem o relevo de Cuesta	8
Figura 2-2: Região do Alto Araquá e alguns exemplos de suas formas, processos e materiais	15
Figura 3-1: Classificação taxonômica do relevo segundo Ross (1992)	23
Figura 3-2: Etapas do Trabalho	28
Figura 3-3: Exemplo de pontos de controle usados no Apoio de Campo	54
Figura 3-4: Estação fotogramétrica onde foi realizada a restituição estereofotogramétrica digital ...	55
Figura 3-5: Esquema de identificação dos pontos de controle nas fotos e inserção das coordenadas X, Y e Z	57
Figura 3-6: Etapas percorridas e produtos obtidos por restituição digital	61
Figuras 4-1 e 4-2: Perfil longitudinal do canal principal do Querosene	117
Figura 4-3: Bacia do Córrego do Querosene: formas, processos, materiais e tipos de uso da terra.	130
Figura 4-4: Localização das feições erosivas selecionadas para análise morfométrica	152

ÍNDICE DE FOTOS

Foto 2-16: Série de cicatrizes de escorregamentos na Serra de São Pedro/SP	11
Foto 4-1: Esquema mostrando os principais elementos do relevo	82
Foto 4-2: Formas mais comuns nos compartimentos Planícies Fluviais e Morros e Colinas.....	82
Foto 4-3: Latossolo de textura arenosa a areno-argilosa sobre ferricretes da Formação Itaqueri	94
Foto 4-4: Tradagem sobre Latossolo de textura arenosa a areno-argilosa sobre ferricretes	95
Foto 4-5: Neossolo Litólico sobre fácies conglomerática e materiais ferruginizados e silicificados	95
Foto 4-6: Perfil de Latossolo Vermelho Escuro argiloso desenvolvido sobre a Formação Itaqueri	95
Foto 4-7: Trilhas de pisoteio do gado próximas a uma cabeceira de drenagem	95
Foto 4-8: Terracetes formados a partir do pisoteio do gado	96

Foto 4-9: Paisagem típica do Reverso da Cuesta	96
Foto 4-10: Interflúvio em Crista na Serra de Itaqueri	99
Foto 4-11: Neossolo Litólico sobre blocos de basalto na base da escarpa da Serra de São Pedro ...	99
Foto 4-12: Cicatrizes de escorregamento em área de Mata na escarpa da Serra de São Pedro	100
Foto 4-13: Escorregamento na Serra Pedro	100
Foto 4-14: Entalhe e caminho do fluxo de lama e detritos, logo após episódio de escorregamento.	100
Foto 4-15: Colina alongada de topo convexo próxima à Serra de São Pedro	102
Foto 4-16: Neossolo Quartzarênico com bandas onduladas sobre arenito	102
Foto 4-17: Voçoroca desenvolvida sobre Neossolo Quartzarênico	103
Foto 4-18: Colinas de topos amplos no sopé da Serra de Itaqueri	103
Foto 4-19: Erosão laminar intensa em área de cultivo de cana sobre Neossolo Quartzarênico	103
Foto 4-20: Sulcos escavados pelo runoff em áreas cobertas por eucalipto	104
Foto 4-21: Argissolo sobre arenito Pirambóia	107
Foto 4-22: Sulco escavado pela enxurrada em estrada sem pavimentação num canavial	107
Foto 4-23: Filetes sobre siltitos e folhelhos alterados da Formação Corumbataí	107
Foto 4-24: Distribuição dos materiais em área da Unidade 6, junto ao ribeirão da Água Branca	108
Foto 4-25: Neossolo litólico desenvolvido sobre folhelhos da Formação Corumbataí	108
Foto 4-26: Banco de areia em planície fluvial do ribeirão Araquá	109
Foto 4-27: Solo com alternância de camadas de material orgânico na planície fluvial do Araquá....	109
Foto 4-28: Exemplo da distribuição dos materiais na unidade morfo-pedológica 8	109
Foto 4-29: Sulcos sobre neossolo litólico desenvolvido sobre arenito Pirambóia	110
Foto 4-43: Exemplo da medição da largura da ravina	154
Foto 4-44: Elementos principais da ravina	154
Foto 4-45: Esquema de como foram feitas as medidas sobre a ravina	155
Foto 4-46: Elementos morfométricos principais da voçoroca	155
Foto 4-47: Esquema de como foram feitas as medidas sobre a voçoroca	156

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 2-1: Balanço Hídrico do Município de São Pedro/SP.....	17
--	----

Gráfico 2-2: Pluviometria dos Meses de Janeiro e Fevereiro de 2005	19
Gráfico 4-1: Área atingida por linhas de pisoteio e sulcos nos anos de 1962 e 2009	133
Gráfico 4-2: Número de ravinas e voçorocas dos anos de 1962 e 2009	133
Gráfico 4-3: Gráfico de evolução da área atingida por linhas de pisoteio e sulcos entre os anos de 1962 e 2009	140
Gráfico 4-4: Gráfico de evolução do número de ocorrências de ravinas e voçorocas nos anos de 1962, 1978, 1995 e 2009	141
Gráfico 4-5: Estágio das ravinas nos anos de 1962, 1978, 1995 e 2009	142
Gráfico 4-6: Estágio das voçorocas nos anos de 1962, 1978, 1995 e 2009	143
Gráfico 4-7: Área atingida por sulcos e linhas de pisoteio (ha) x Declividades (%)	144
Gráfico 4-8: Ocorrência de Ravinas e Voçorocas x Declividades (%)	145
Gráfico 4-9: Área atingida por sulcos e linhas de pisoteio (ha) x Forma da Vertente	146
Gráfico 4-10: Ocorrência de Ravinas e Voçorocas x Forma da Vertente	146
Gráfico 4-11: Área atingida por sulcos e linhas de pisoteio (ha) x Tipos de solo	149
Gráfico 4-12: Ocorrência de ravinas e voçorocas x Tipos de solo	149
Gráfico 4-13: Área atingida por sulcos e linhas de pisoteio (ha) x Uso da terra	151
Gráfico 4-14: Ocorrência de ravinas e voçorocas x Uso da terra	151

ÍNDICE DE CARTAS

Carta 4-1: Carta Hipsométrica da Alta Bacia do Ribeirão Araquá	76
Carta 4-2: Carta Clinográfica da Alta Bacia do Ribeirão Araquá	77
Carta 4-3: Carta Hipsométrica da Bacia do Córrego do Querosene	115
Carta 4-4: Carta Clinográfica da Bacia do Córrego do Querosene	116

ÍNDICE DE MAPAS

Mapa 2-1: Mapa de Localização do Alto Araquá	7
Mapa 3-1: Pontos de observação mostrando a área percorrida	73
Mapa 4-1: Mapa Morfológico da Alta Bacia do Ribeirão Araquá	78
Mapa 4-2: Mapa Morfopedológico da Alta Bacia do Ribeirão Araquá	83

1 – INTRODUÇÃO: OBJETIVOS E JUSTIFICATIVAS

A paisagem é um grande sistema composto de uma série de variáveis que se encontram em equilíbrio dinâmico. Quando uma delas sofre qualquer modificação, as demais são afetadas e o conjunto se ajusta a um novo ponto de equilíbrio. A ação antrópica cada vez mais acentuada sobre a natureza, expressa nas modificações do uso da terra, por exemplo, é uma demonstração da magnitude dessas intervenções, as quais, não raro, têm resultados catastróficos.

A erosão, embora seja um fenômeno de origem natural, é acelerada enormemente quando o equilíbrio na paisagem é rompido. Nesse sentido, processos erosivos acelerados são um sintoma do reajustamento do sistema para retornar ao equilíbrio dinâmico que até ser atingido pode causar graves problemas sócio-ambientais, como a perda de camadas de solos agricultáveis, degradação de canais de drenagens e assoreamento. Desta forma, o estudo da erosão e das variáveis da paisagem que estão relacionadas a esse fenômeno assume papel importante quando o produto dessa investigação reverte num diagnóstico que aponta as fragilidades do ambiente e direciona na busca de um equilíbrio, onde as atividades humanas sejam compatíveis com os limites do meio.

A erosão pode ser estudada de várias formas, de acordo com os objetivos do trabalho. Estudos de detalhe exigem monitoramento da feição erosiva em campo e emprego de instrumentos e técnicas específicas, ao passo que em pesquisas de escala menor é possível trabalhar com produtos cartográficos e de sensoriamento remoto. Dentre os produtos de sensoriamento remoto mais utilizados para o estudo da erosão, destacam-se as fotografias aéreas. Elas permitem a extração de informações detalhadas da paisagem e têm a grande vantagem da visão

estereoscópica. A partir delas, é possível fazer levantamentos detalhados dos tipos de formas erosivas e da sua distribuição. O problema é que as fotografias aéreas têm distorções geométricas que acabam sendo incorporadas aos mapas, comprometendo sua qualidade geométrica e conseqüentemente o seu uso para quantificação dos fenômenos erosivos.

Os produtos da cartografia de base elaborados a partir de fotografias aéreas são bastante precisos. Isso decorre dos procedimentos de restituição que garantem a qualidade geométrica dos produtos. A mesma técnica pode ser adotada para a elaboração de cartas temáticas.

Durante a execução do Trabalho de Graduação Individual, cuja temática envolvia a elaboração de um mapa de solos a partir da fotointerpretação, nos deparamos com problemas envolvendo a correção geométrica dos produtos. Isso nos levou a buscar junto aos Engenheiros Cartógrafos, que trabalham com técnicas precisas de restituição digital a partir de fotografias aéreas, informações sobre a viabilidade da aplicação de técnicas fotogramétricas para os estudos ambientais, dentre eles a erosão.

O advento e vulgarização das técnicas de geoprocessamento, as possibilidades de aquisição de fotografias aéreas em formato digital e o seu uso em um software fotogramétrico apropriado, aliado à existência de um estereoscópio específico para esse fim, pertencente ao Laboratório de Aerofotogeografia e Sensoriamento Remoto (LASERE/DG/USP), **motivou a proposição de um projeto para a dissertação de mestrado que envolvesse o estudo da erosão associado ao aprendizado das técnicas utilizadas para a correção geométrica de fotografias aéreas**

com aplicação das abordagens técnicas e metodológicas da fotointerpretação em ambiente digital e analógico.

Como as variáveis socioambientais envolvidas nos estudos de erosão são muitas, demandam bastante tempo para o seu estudo e, idealmente, equipes multidisciplinares, incompatível com os princípios e prazo para a elaboração de uma dissertação de mestrado, a área a ser escolhida para investigação deveria possuir uma base de dados do meio físico em escalas pequena e média que pudessem servir de base para a compreensão do funcionamento da paisagem. Diante disso, escolheu-se como área de pesquisa a alta bacia do ribeirão Araquá, afluente da margem direita do Rio Piracicaba, nos municípios de São Pedro e Charqueada / SP. Esta, além de já contar com trabalhos regionais envolvendo a geologia, a geomorfologia e solos desse setor da Depressão Periférica, já possui um trabalho sobre erosão feito com base na análise de produtos cartográficos (CARPI JUNIOR, 1996).

Além disso, nossa vinculação ao Laboratório de Pedologia do DG-FFLCH-USP, onde desde os anos 70 vem sendo realizados trabalhos com forte suporte cartográfico envolvendo a problemática erosão/pedogênese/morfogênese, mapeando zonas afetadas por erosão em paisagens sedimentares, nos deu o suporte bibliográfico necessário para formular nosso projeto de pesquisa. Os trabalhos de Castro (1990), Santana (1991) e Pellerin et al (1992) em Marília /SP, o de Oliveira (1994) na bacia do Paranapanema – SP/PR, os de Salomão (1994) e Santos (1995 E 2000) em Bauru /SP, Nakashima (2000) e Cunha (2002) no Paraná e Lopes (2001), Barbalho (2002), Marinho (2003), Xavier (2003), Oliveira (2004) na bacia do Rio Araguaia / GO auxiliaram na justificativa da temática proposta. Os

estudos vinculados ao Projeto São Pedro (anexo 1), por tratarem de áreas contíguas ao Araquá, deram a motivação para a escolha da área, já que encontramos processos erosivos lineares equivalentes desenvolvidos sobre coberturas pedológicas semelhantes.

Nesse sentido, o objetivo central deste trabalho foi fazer um inventário temporal das formas erosivas lineares na alta bacia do ribeirão Araquá utilizando técnicas aerofotogramétricas e cartográficas digitais e analógicas. Esse inventário identificou a distribuição, magnitude e a frequência de ocorrência das feições erosivas. Os elementos do meio físico e as variáveis relacionadas aos processos erosivos foram tratados no contexto da cartografia morfopedológica.

Diante do elevado número de documentos cartográficos produzidos e informações levantadas em campo e através da pesquisa bibliográfica, **a análise dos resultados buscou uma abordagem morfodinâmica** que apontasse para os motores que controlam o funcionamento dessa paisagem, ainda que isto não tenha sido a questão central deste trabalho. Acredita-se que o cruzamento das informações obtidas através do cadastro das principais formas erosivas aliado às considerações tipológicas, uma vez relacionadas com as variáveis naturais (morfologia das encostas, características do embasamento, dos solos e uso da terra) que compõem cada um dos compartimentos morfopedológicos, **permita o levantamento de hipóteses quanto à dinâmica atual da paisagem, que neste trabalho é exposta na forma de um mapa de suscetibilidade à erosão.**

Os objetivos específicos deste trabalho são:

1-) Avaliar a validade e eficiência das técnicas aerofotogramétricas digitais e analógicas aplicadas a estudos ambientais, sobretudo mapeamento geomorfológico e de formas erosivas;

2-) Qualificar e quantificar os fenômenos erosivos usando técnicas de fotointerpretação aplicada ao formato digital e de técnicas aerofotogramétricas para sua quantificação;

3-) Com base no diagnóstico temporal das forma erosivas e na relação das feições erosivas com as variáveis da paisagem, discutir o funcionamento atual da paisagem da área investigada.

O trabalho está organizado em 4 partes principais:

- Na primeira parte (capítulo 2) é apresentada a área de estudo e suas características principais em relação ao meio físico (litologia, relevo e solos), uso da terra e clima, enfocando o comportamento da pluviometria.

- Na segunda parte (capítulo 3) é exposta a metodologia adotada no trabalho e os procedimentos técnico-operacionais seguidos nas diversas etapas do estudo. Além disso, é feito um resgate dos principais conceitos relativos aos processos erosivos e uma breve revisão dos trabalhos que utilizaram técnicas cartográficas e aerofotogramétricas para o estudo da erosão.

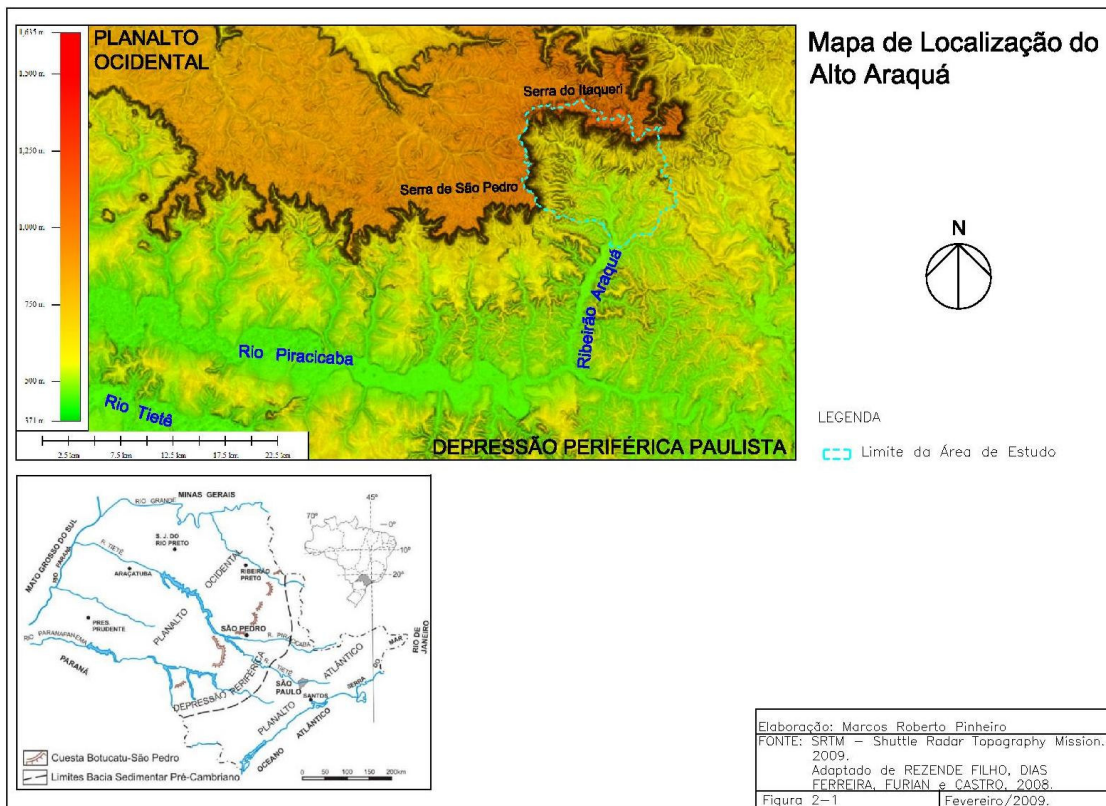
- A terceira parte (capítulo 4), por sua vez, está dividida em 3 fases: análise do alto Araquá através dos produtos gráficos de escala média (1:50.000) e elaboração do mapa morfopedológico; análise da sub-bacia do córrego do

Querosene e aplicação da cartografia de detalhe (1:10.000); análise morfométrica temporal de 2 feições erosivas lineares através das fotografias aéreas.

- Na quarta e última parte (capítulo 5) são apresentadas as principais conclusões do trabalho.

2 – APRESENTAÇÃO DA ÁREA ESTUDADA

A área de estudo (Mapa 2-1) se localiza nos municípios de São Pedro e Charqueada / SP, aproximadamente nas coordenadas geográficas 22°30' S 47°55' W, no contato entre a Depressão Periférica Paulista e o Planalto Ocidental. Ela corresponde à zona de cabeceira e alto curso do ribeirão Araquá, afluente da margem direita do rio Piracicaba que, por sua vez, deságua no rio Tietê, um dos principais canais de drenagem da Bacia do Paraná.



A bacia do Paraná é uma depressão homoclinal de forma alongada de direção NNE-SSW, datada do Ordoviciano (400 milhões de anos), composta por um grande pacote de sedimentos depositados em ambientes diversos, além de derrames de basalto e diques e sills de diabásio. (ROSTIROLLA et al, 2000). A Bacia foi intensamente afetada pela atividade tectônica, gerando duas direções principais de

esforços: N-NE e NW; E-W. A primeira está associada aos movimentos compressivos ocorridos durante o Paleozóico na margem ocidental do Gondwana e os distensivos do Mesozóico relacionados ao mecanismo de separação da América do Sul e África. A segunda se desenvolveu durante o Triássico, possivelmente associadas à evolução do Atlântico Sul (ALMEIDA, 1981)".

A inclinação das estruturas sedimentares em direção ao centro da bacia e a elevação das bordas propiciaram um desgaste erosivo mais acentuado, dando origem a uma zona rebaixada que, no Estado de São Paulo, é conhecida como Depressão Periférica Paulista (AB' SABER, 1969) e outro ponto mais elevado denominado de Planalto Ocidental (ALMEIDA, 1981). Na transição entre esses dois grandes compartimentos geomorfológicos está um relevo bastante particular, também conhecido como "Cuesta", típico de borda de bacias sedimentares homoclinais.

O relevo de Cuesta pode ser dividido em Reverso, Front e Depressão Ortoclinal, conforme a figura 2-1 a seguir:

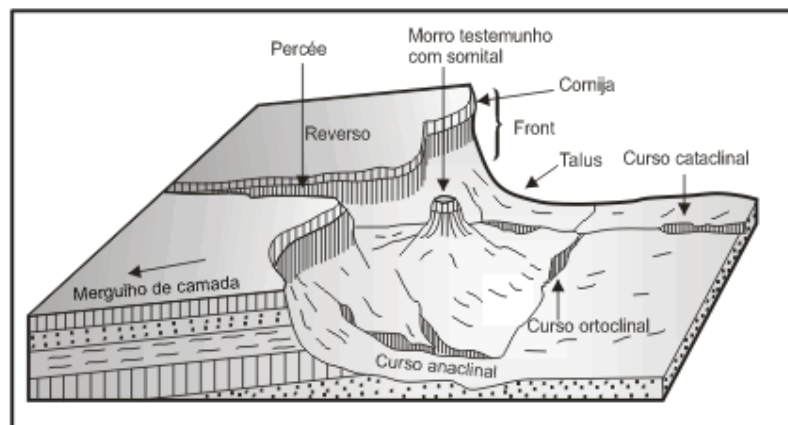


Figura 2-1: Elementos principais que compõem o relevo de Cuesta.

Fonte: CASSETI, 2009.

O reverso corresponde à superfície mais elevada, que se estende da parte superior do Front ao centro da bacia sedimentar. O Front é a superfície escarpada situada entre o Reverso e a Depressão Ortoclinal. As duas principais partes que compõem o Front são a cornija, que é constituída de um material ou camada mais resistente à erosão, e o talus, composto por solo e rocha depositados na base da escarpa. A Depressão Ortoclinal corresponde à uma zona deprimida, situada a partir da base da escarpa, que foi esculpida pela drenagem Ortoclinal (CASSETI, 2009).

Genericamente, a área de estudo é delimitada, a montante, por uma grande área composta por duas serras principais: Serra de São Pedro e Serra de Itaqueri. A sua forma assimétrica é caracterizada por uma escarpa com elevado desnível topográfico, esporões, interflúvios em crista (foto 2-1 da figura 2-1) e uma série de anfiteatros dissecados pelo sistema de drenagens anaclinal e, muito restritamente, para o sistema do reverso no Planalto Ocidental. A origem desse relevo, sobretudo a escarpa, foi alvo de estudo de diversos autores, como Penteado (1976), Melo (1995), Facincani (2000) e Ladeira (2000), sendo mais aceita a idéia de uma combinação de processos erosivos e tectônicos.

No alto Araquá, no setor da Depressão Periférica, as duas principais unidades litoestratigráficas presentes são as Formações Corumbataí (foto 2-2 da figura 2-1), Grupo Passa Dois, e Pirambóia, Grupo São Bento. A primeira, formada em ambiente marinho de águas rasas, é caracterizada pela presença de sedimentos diversos: siltitos roxos acimentados e cinzas claro na porção basal sobrepostos a sucessivos depósitos siltosos posicionados de forma horizontal, sub-horizontal ou irregular, além de uma série de lâminas ou estratos argilosos, silto-argilosos, areno-sílticos, arenitos finos e bancos de siltitos calcíferos (LANDIM, 1967; CASTRO, 1973). A

segunda é constituída de sedimentos arenosos (areia média e fina, com ocorrência de lentes argilosas e conglomeráticas) que foram depositados em discordância com o material do Permiano durante o Triássico Inferior ou Médio ao Jurássico em ambiente fluvial (ALMEIDA; BARBOSA, 1953) e eólico (CAETANO-CHANG, 1997). Os materiais da Formação Corumbataí ocorrem na porção sudeste do alto Araquá, aflorando apenas ao longo da drenagem do córrego Boa Vista e Ribeirão Água Branca. Os sedimentos da Formação Pirambóia dominam todo o resto da área do Araquá sobre a Depressão Periférica, onde o relevo é suave, com predomínio de colinas alongadas de topos amplos, limitados por cornijas, morros, morrotes e colinas baixas de topos convexos e vertentes longas.

Sobre o Corumbataí, são encontrados solos rasos e pouco desenvolvidos, como argissolos rasos e neossolos litólicos, além de gleissolos e neossolos flúvicos nos terraços e em depósitos junto às drenagens. No Pirambóia a diversidade de solos é maior e sua variação coincide com as mudanças no relevo: sobre os topos amplos das colinas estendem-se neossolos quartzarênicos profundos, friáveis e uniformes (foto 2-3 da figura 2-1) (OLIVEIRA; PRADO, 1989); nas vertentes dessas colinas são encontrados neossolos litólicos e cambissolos com hidromorfia nas zonas de cornijas e contato rocha/solo (FURQUIM, 1997). Nos morros, morrotes e colinas, são encontrados principalmente argissolos vermelho-amarelo, arenosos e rasos (fotos 2-4 e 2-5 da figura 2-1). Junto aos canais de drenagem, desenvolvem-se gleissolos arenosos e neossolos flúvicos com ou sem alternância de camadas com material orgânico e mineral.

Na Escarpa da Serra de São Pedro com direção N-S está grande parte das nascentes do ribeirão Araquá e seus afluentes da margem direita. Nesse ponto, o

relevo é muito dissecado, com um desnível altimétrico que alcança mais de 300 metros, muitas cornijas, altas declividades e inúmeros afloramentos rochosos (foto 2-6 figura 2-1). A escarpa é sustentada por materiais da Formação Botucatu (Grupo São Bento) e Formação Serra Geral e Intrusivas Básicas Associadas. A Formação Botucatu formou-se em ambiente desértico e é composta de arenitos finos e médios, bem selecionados, com estratificação cruzada e grãos foscos arredondados (ALMEIDA, 1981). A Formação Serra Geral e Intrusivas Básicas Associadas corresponde, respectivamente, aos derrames basálticos que se intercalam aos pacotes de sedimentares da Bacia do Paraná e aos sills e diques de diabásio (WHITE, 1908 apud SANTORO, 1991; WASHBURNE, 1930; ALMEIDA; BARBOSA, 1953; BIGARELLA; SALAMUNI; FUCK, 1967; BOSIO, 1973; ALMEIDA, 1981) e podem ser vistos na escarpa da Cuesta. Os solos que se estabelecem sobre esses materiais na escarpa são muito rasos (neossolos litólicos), fruto das elevadas declividades do local e da intensa atividade morfodinâmica.

Na base da escarpa, são encontrados depósitos de blocos de rochas básicas, arenitos, arenitos silicificados e ferruginizados e couraças. Sobre estes materiais desenvolvem-se solos com textura variável. Estão presentes latossolos vermelhos e nitossolos vermelhos, porém, em geral, são mais freqüentes solos mais rasos, como neossolos litólicos, cambissolos e argissolos, ambos com cascalho.

No Reverso, o relevo é suave ondulado, há inúmeros anfiteatros, pequenas escarpas e vertentes com elevada concentração de cornijas, além dos interflúvios em crista. Neste compartimento, são encontrados materiais da Formação Botucatu e Formação Itaqueri, além de basalto da Formação Serra Geral. A Formação Botucatu é mais presente na porção sul da Serra de São Pedro e sobre elas são

encontrados latossolos vermelho-amarelo arenosos e friáveis. Na porção leste da Serra de Itaqueri, são encontrados neossolos litólicos e nitossolos vermelhos argilosos, rasos e com cascalho. Nos demais pontos, dominam materiais da Formação Itaqueri, já descrita por Almeida e Barbosa (1953) como uma série de camadas alternadas de arenitos com matriz argilosa, folhelhos e, em certos pontos, arenitos silicificados (foto 2-7 da figura 2-1). Ainda segundo este autor, outras litologias também podem ser encontradas, principalmente na forma de lentes, como os conglomerados (foto 2-8 da figura 2-1), constituídos de quartzo, quartzitos, calcedônia, filitos, pegmatitos, sílex e folhelhos. A partir dessas rochas, formam-se principalmente neossolos litólicos, plintossolos, cambissolos e latossolos vermelho argilosos (OLIVEIRA; PRADO, 1984 e 1989). Para Buzato (2000), sobre a serra de São Pedro dominam arenitos ferruginizados (ferricretes) e silicificados (silcretes) (fotos 2-7 e 2-8 do figura 2-1). Esses materiais também são encontrados sobre a Serra de Itaqueri, porém, conforme foi destacado por Ladeira (2001) e Ladeira e Santos (2005), a ocorrência principal é de paleossolos silicificados que podem estar expostos na superfície ou cobertos por latossolos vermelho-amarelo argilosos que não têm correlação genética com o material típico da Formação Itaqueri.

Além dessa grande variabilidade de forma e materiais, o Alto Araquá também apresenta um uso da terra bastante diversificado, que em grande parte já é modificado em relação à cobertura natural. Parte da vegetação original foi removida gradativamente para dar lugar principalmente ao café, séculos XIX e XX, e cana-de-açúcar, sobretudo na segunda metade do século passado. A vegetação original da área era composta por mata latifoliada tropical, galeria ou ciliar, higrófila e formações campestres (CARPI JUNIOR, 1996).

Atualmente, a área escarpada é coberta pela Mata Tropical Latifoliada, porém é improvável que ela não tenha sido removida ao menos em parte para extração de madeira. Na Depressão Periférica, a vegetação de Mata está restrita a apenas à área de preservação permanente de alguns canais de drenagem e a provável reserva legal de algumas propriedades. Nos sítios presente na área, encontra-se o cultivo de culturas perenes (laranja e café) e temporárias (milho e feijão), para subsistência, além da silvicultura de eucaliptos, pastagens e cana-de-açúcar. Nas fazendas, a cana-de-açúcar e as pastagens ocupam quase toda a área. A silvicultura ainda é pouco expressiva se comparada aos dois usos anteriores.

A mata galeria esta restrita a alguns pontos em que a zona de preservação permanente das drenagens foi obedecida. A vegetação higrófila, por sua vez, está restrita a brejos e zonas em que há depósitos de material fino e grosseiro nos canais de drenagem. Os campos sujos estão representados pelas pastagens abandonadas ou em pousio (SANCHEZ, 1969) e as zonas de solo exposto têm ocorrência irrelevante.

No reverso, a cana-de-açúcar, a Mata Tropical Latifoliada e a silvicultura de eucaliptos são, respectivamente, os principais usos. A cana ocupa, sobretudo, o reverso da Serra de Itaqueri, enquanto que a mata aparece nos trechos escarpados, com maior declividade e próxima aos canais de drenagens. Os eucaliptais estão concentrados no centro e leste da Serra de Itaqueri. A mata ciliar e a vegetação higrófila estão presentes em zonas muito restritas, como em várzeas suspensas.

As observações feitas em fotografias aéreas e em campo mostram que essa diversidade de formas, materiais e usos é acompanhada por uma variedade grande nos tipos de formas erosivas e nas intensidades de ocorrência. Nas áreas de cultivo

de cana, por exemplo, sobre solos arenosos, além dos sulcos nas estradas de acesso (foto 2-9 da figura 2-1), a superfície do solo possui uma camada endurecida e pouco permeável (foto 2-10 da figura 2-1) que potencializa a erosão por escoamento difuso (foto 2-11 da figura 2-1).

Nas zonas de cabeceiras com vegetação de pastagem ou a vegetação de mata, sobre rochas friáveis (arenitos) e solos rasos (neossolos litólicos), as linhas de pisoteio (foto 2-12 da figura 2-1) são muito freqüentes e em certos casos possivelmente aceleraram o processo de formação dos terracetes (foto 2-13 da figura 2-1).

Por fim, em áreas de pastagem com solos arenosos e espessos (neossolos quartzarênicos), há o desenvolvimento de feições erosivas lineares de grande porte, como ravinas (foto 2-14 da figura 2-1) e voçorocas (foto 2-15 da figura 2-1).

Figura 2-1: Região do Alto Araquá e alguns exemplos de suas formas, processos e materiais.



Foto 2-8: Contato de lente conglomerática com o arenito silicificado da Form. Itaqueri.

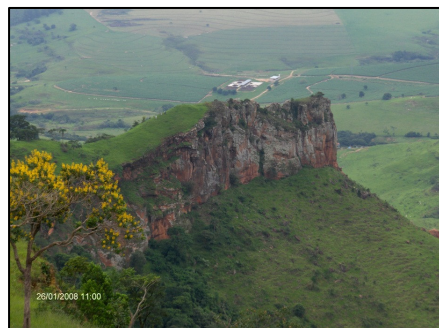


Foto 2-1: Interflúvio em crista da escarpa da Serra de Itaqueri.



Foto 2-14: Ravinamento no reverso da cuesta – Serra de Itaqueri.



Foto 2-12: Trilha de pisoteio de gado no reverso da Cuesta – Serra de Itaqueri.



Foto 2-6: Paredões de rocha exposta e depósitos no sopé da escarpa.



Foto 2-7: Arenito silicificado e fraturado. Formação Itaqueri.



Foto 2-13: Terracetes em áreas de trilha de pisoteio de gado.



Foto 2-15: Voçoroca em área de neossolos quartzarênicos.

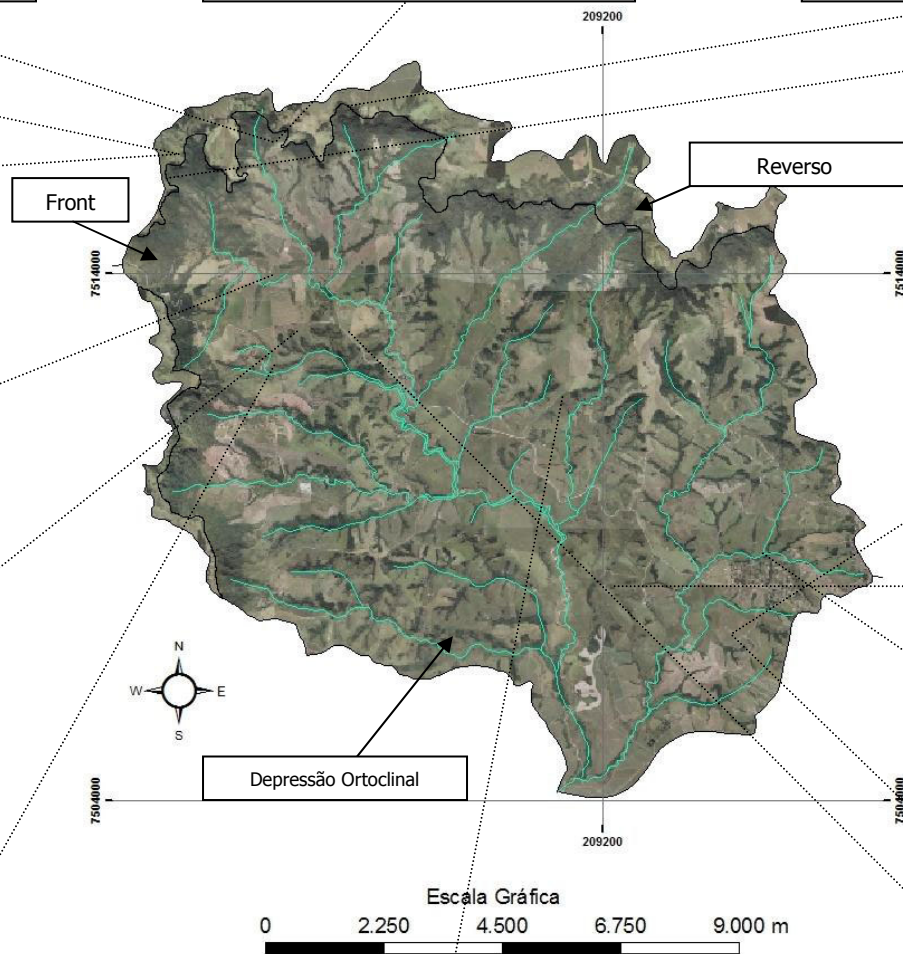


Foto 2-9: Sulco em estrada de acesso à canalial.



Foto 2-11: Material arenoso proveniente de escoamento superficial difuso.

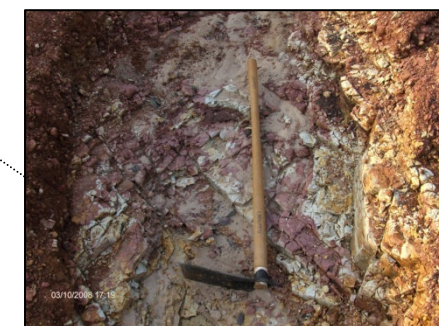


Foto 2-2: siltitos da Formação Corumbataí.



Foto 2-10: Crosta na superfície do solo que reduz a infiltração da água.



Foto 2-3: Neossolo quartzarênico desenvolvido sobre arenito Pirambóia.



Foto 2-4: Argissolo vermelho-amarelo raso desenvolvido sobre arenito Pirambóia.



Foto 2-5: Argissolo com espesso horizonte E, hidromorfia no Bt e linha de pedra.

Autor das Fotos: Marcos R. Pinheiro.
Datas:
Fotos 2-1, 2-4, 2-5, 2-6, 2-7, 2-8, 2-9, 2-10, 2-11, 2-12, 2-13, 2-14: Janeiro de 2008.
Foto 2-2: Outubro de 2008.
Fotos 2-3 e 2-1: Novembro de 2008.

Considerando as características climáticas, a bacia do ribeirão Araquá pode ser dividida em 2 regiões, de acordo com a classificação de Koeppen (SETZER, 1966): a região próxima às serras de São Pedro e Itaqueri está sobre o clima Temperado (Cwb), ao passo que os locais mais deprimidos estão no clima Quente (Cwa). A diferença principal entre eles está no fato de que o primeiro apresenta temperatura média abaixo dos 22°C no mês mais quente, enquanto que no último ela está acima deste valor. No mês mais frio, a temperatura em toda a área fica abaixo dos 18°C.

As características do clima influenciam diretamente na intensidade dos processos erosivos, sobretudo a pluviometria. Quando a precipitação é concentrada em períodos do ano, na época da estiagem o solo tende a apresentar déficit hídrico, ao passo que na época úmida ele se encontra saturado e a capacidade de infiltração é reduzida, o que aumenta o escoamento superficial. Segundo os dados do balanço hídrico de São Pedro (gráfico 2-1), na área há um período seco (Outono e Inverno) e um úmido (Primavera e Verão), sendo que na estação úmida, quando o solo está com excedente hídrico, 70% do total de chuvas anual é precipitado. Nesse período, eventos de curta duração e grande magnitude ou grande duração e magnitude pequena são ainda mais desastrosos porque o solo está saturado e a capacidade de infiltração é menor, potencializando o escoamento superficial e os processos erosivos.

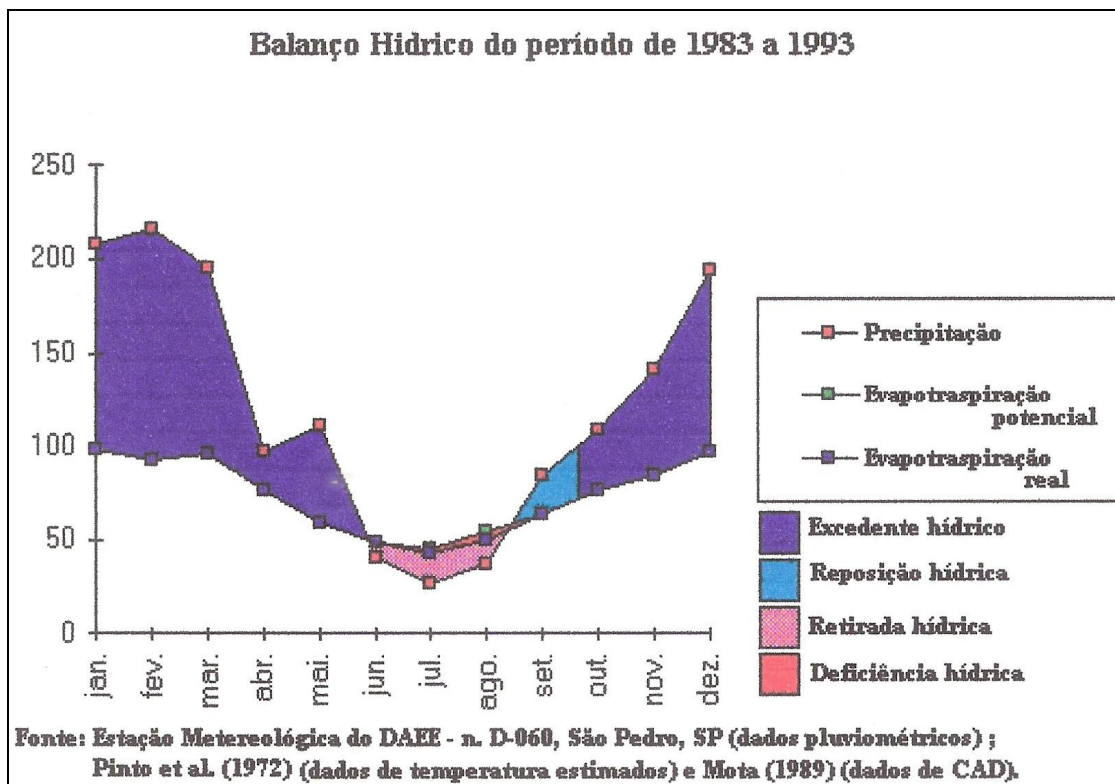


Gráfico 2-1: Balço Hídrico do Município de São Pedro/SP.

Fonte: Reproduzido de Capellari, 1995.

Os dados meteorológicos do DAEE mostram também que houve um número grande de eventos de chuva acima de 40 mm: 158 eventos registrados na estação D4-054 (município de Charqueada) e 132 na D4-098-14 (município de Brotas). Chuvas acima desse valor são consideradas de grande intensidade (CONTI, 1971), portanto tendem a acentuar os processos erosivos. Destaca-se que desses eventos registrados, 11 apresentam mais de 80 mm de precipitação acumulada em 24 h na estação de Charqueada e 10 ocorrências para a estação de Brotas.

Esse quadro é ainda mais preocupante para o aceleração dos processos erosivos no Araquá se forem considerados críticos para a erosão os seguintes valores de precipitação: 25mm/h (HUDSON, 1991), 10mm/h (MORGAN, 1977),

6mm/h (RICHTER & NEGENDANK, 1977) e 5mm/h (BOARDMAN & ROBINSON, 1985), todos retirados de Guerra (1994).

Outros trabalhos, como o de Starkel (1979) apud Caine (1980), entendem que a definição de um limite para o surgimento de processos erosivos numa vertente não é resultado apenas da intensidade total de uma chuva prolongada ou mesmo de um grande evento de curta duração, mas um produto de ambos. Isso fica muito claro através da análise dos dados pluviométricos de São Pedro, Charqueada e Ipeúna¹ (gráfico 2-2) relativos aos meses de Janeiro e Fevereiro de 2005: na primeira semana de Fevereiro, período em que ocorreram vários escorregamentos na Serra de São Pedro, houve 2 dias com total pluviométrico acima de 40 mm, o que, embora seja um valor elevado, é comum nesta época do ano. Porém, em Janeiro do mesmo ano choveu 544,3 mm, o que corresponde a 37% de toda precipitação de 2005 e está 135% acima da média histórica do mês. Esse quadro provavelmente ocasionou a aceleração dos processos erosivos em toda a região e desencadeou a série de escorregamentos na Serra, conforme registro das fotos 2-16.

¹ Estação meteorológica D4-074 Ipeúna, administrada pelo DAEE/SP.

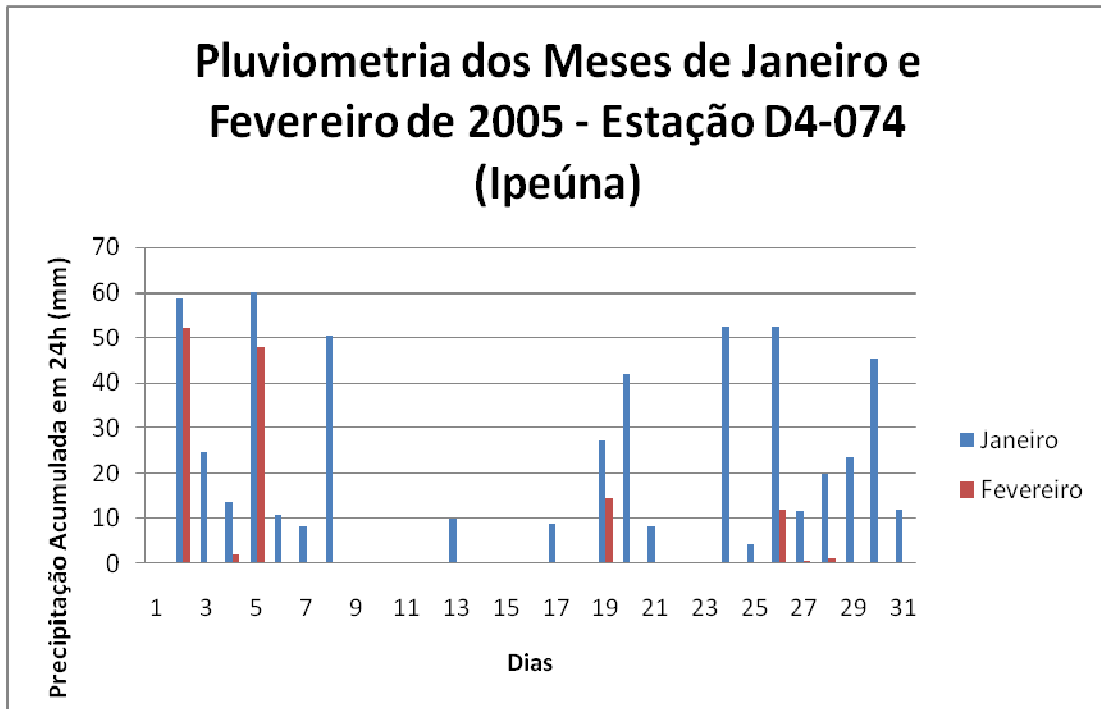


Gráfico 2-2: Pluviometria dos Meses de Janeiro e Fevereiro de 2005.

Fonte: Estação D4-074 (Ipeúna). CTH/USP, 2009.

Esse quadro climático serviu para contextualizar a área dentro da problemática da erosão, porém essa questão não será explorada neste trabalho por não fazer parte dos objetivos do mesmo e pela ausência de estações meteorológicas dentro da área.



Figura 2-16: Série de cicatrizes de escorregamentos na Serra de São Pedro/SP.
Autor: Rosely Pacheco Dias Ferreira. **Data:** Fevereiro de 2005.

3 – PROCEDIMENTOS TEÓRICO-METODOLÓGICOS E TÉCNICO-OPERACIONAIS

O caminho percorrido para a execução deste trabalho teve como referência teórica geral os princípios estabelecidos pela cartografia geomorfológica (TRICART, 1965) com relação às abordagens taxonômicas, grandezas escalares e temporo-espacial que balizam a investigação e a análise dos elementos do relevo. Todas elas estão contidas também na proposta metodológica de Ab'Saber (1969, pp. 1), que estabelece "bases geomorfológicas para servirem de diretrizes para o estudo do Quaternário do território intertropical brasileiro". Os três níveis de abordagem da proposta de AB' SABER valorizam: a) 1º nível, os compartimentos topográficos que revelam aspectos das formas de relevo e sua distribuição; b) 2º nível, obtenção de informações sistemáticas sobre a estrutura superficial da paisagem, isto é, o estudo da gênese das formas e a hierarquização cronológica dos eventos; c) 3º nível, a fisiologia da paisagem, que permite a dedução do funcionamento da paisagem a partir dos estudos de detalhe das vertentes.

Essa base teórico-metodológica aparece também no conteúdo da proposta de Tricart e Killian (1979) para a cartografia morfopedológica e na complementação feita por Castro e Salomão (2000), bem como na proposta de Ross (1994) sobre a fragilidade de ambientes naturais e antropizados. Esses trabalhos deram as diretrizes para a elaboração de uma carta em escala média (1:50.000) onde se individualizou as unidades morfopedológicas, que constituem compartimentos homogêneos sob o aspecto dos solos, do relevo e dos processos associados.

Assim, a abordagem morfopedológica que corresponde, em parte, ao segundo nível de tratamento das informações permitiu a elaboração de um produto

cartográfico, em escala média (1:50.000), mostrando as interações entre os diversos elementos do meio físico. Esse documento possibilitou a definição de uma sub-bacia onde foi aplicada a cartografia de detalhe (1:15.000) das formas erosivas lineares, o que, em uma análise conjunta com as características do meio físico e do uso da terra, permitiu identificar áreas com diferentes suscetibilidades à erosão.

A cartografia do relevo e sua análise foram feitas em dois momentos: primeiramente, foram delimitados os principais macro-compartimentos, a partir da compartimentação topográfica, lida através da hipsometria e com apoio de imagens de satélites, correspondendo ao 1º nível na proposta de Ab'Saber (1969) e 3º táxon (figura 3-1) na proposta de Ross (1992). Num segundo momento, os macro-compartimentos foram divididos em unidades morfopedológicas. A delimitação das unidades morfopedológicas deveria ter sido feita com base nos topos dos interflúvios e na rede de drenagem, num mapa de escala menor que 1:100.000, conforme a proposta de Castro e Salomão (2000). Considerando que neste estudo trabalhou-se numa escala de maior detalhe (1:50.000) e com fotografias aéreas (1:25.000) que possibilitam uma visão bastante detalhada da paisagem, as unidades foram definidas com apoio das variáveis morfológicas, como as rupturas das vertentes e os padrões da rede de drenagem, individualizadas como manchas homogêneas e correlacionadas às informações do substrato e dos solos.

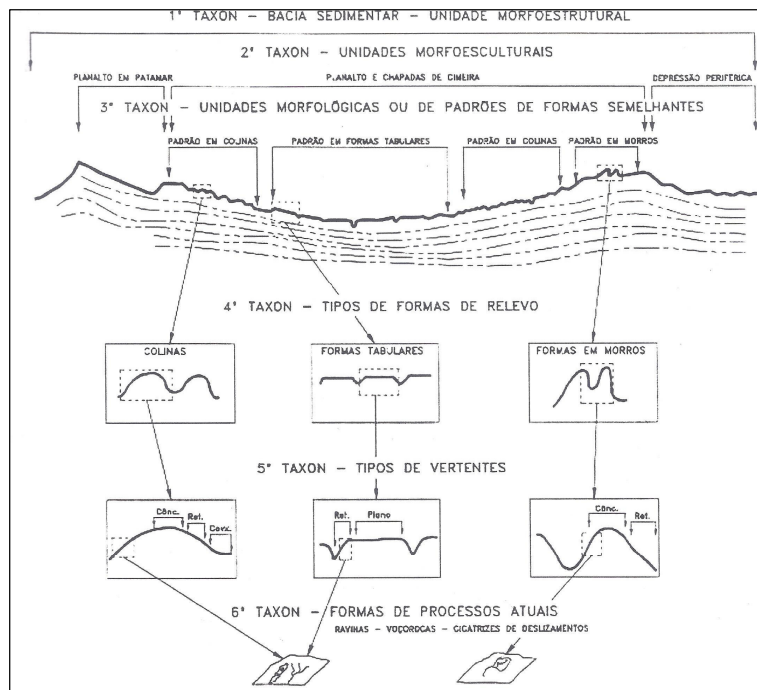


Figura 3-1: Classificação taxonômica do relevo segundo Ross (1992), apud Villela (2005).

As informações contidas no mapa morfológico (1:50.000) foram isoladas em pranchas temáticas: drenagem, formas estruturais, formas decorrentes da ação fluvial e feições erosivas. Esse procedimento inspirado em Aguiar (1976) facilitou a análise individual de cada tema, usando parâmetros qualitativos e quantitativos calcados sobretudo na frequência e organização espacial das feições estudadas.

Assim, na prancha da rede de drenagem, seguindo a proposta de Soares e Fiori (1976), os canais foram agrupados em manchas homogêneas, as quais possuem características particulares quanto à densidade de canais, padrão de organização, angularidade, tropia, assimetria e formas anômalas. A densidade consistiu na verificação do comprimento total dos rios por unidade de área. O padrão foi avaliado pela organização espacial da rede de drenagem, sendo os principais padrões o dendrítico, retangular, treliça, paralelo, radial e anelar. A angularidade da confluência dos canais foi separada em baixa ($<60^\circ$), média (de 60 a 120°) e alta ($>120^\circ$). A tropia, que consiste no grau de orientação dos canais, foi

considerada unidirecional quando predominou uma direção preferencial, bidirecional quando foram duas, tridirecional para três e multidirecional quando apresentou-se não estruturada. A assimetria foi considerada fraca quando houve diferenciação no tamanho dos canais se comparados os afluentes das duas margens do rio principal; a assimetria foi tida como forte quando a diferenciação foi de tamanho e forma. As formas anômalas são as que se diferenciam do arranjo geral e podem ser indicativas, por exemplo, de contatos litológicos e lineamentos estruturais. A verificação do comprimento dos canais foi feita com um curvímetro, enquanto que o cálculo da área de cada mancha foi realizado em meio digital com o software Auto CAD Map 2004.

As formas estruturais e as decorrentes da ação fluvial foram analisadas em manchas de acordo com a frequência de ocorrência, individualizando, desta forma, as zonas de maior ocorrência e concentração daquelas com baixa frequência de ocorrência.

Quanto às feições erosivas, estas foram agrupadas de acordo com a sua tipologia: sulcos, ravinas, voçorocas e movimentos de massa.

Não foi feito um levantamento sistemático sobre os solos e as litologias. Essas informações foram obtidas principalmente através dos trabalhos de Almeida (1981), Oliveira e Prado (1984 e 1989), Carpi Junior (1996), Furquim (1997), Buzato (2000) e Ladeira (2001), além das informações levantadas em campo. A verificação dos solos em campo se deu por meio de descrições morfológicas realizadas em perfis de corte de estrada e em materiais obtidos por sondagens feitas com o trado holandês. A descrição morfológica dos solos seguiu os critérios e procedimentos recomendados por Lemos e Santos (1996).

As feições de erosão da bacia onde foi aplicada a cartografia de detalhe (1:15.000) foram avaliadas conforme a sua magnitude e frequência, numa visão multitemporal. Para tanto, foi feito um levantamento cruzando tipos de feições erosivas e sua incidência segundo: forma das vertentes, as declividades, a cobertura pedológica e o uso da terra. O resultado desse cruzamento de informações serviu de base à elaboração de um mapa de suscetibilidade à erosão (1:15.000). Os mapas de vulnerabilidade ou suscetibilidade do meio ao desenvolvimento de processos erosivos são instrumentos importantes no planejamento ambiental. A partir deles é possível identificar as áreas mais sensíveis à intervenção antrópica e, desta forma, definir de forma mais precisa quais locais são os mais apropriados para cada uso.

Existem várias metodologias para a elaboração de mapas que representam a fragilidade do ambiente, destacando-se as de Ross (1994) e Crepani et al (1996). A proposta de Ross, conhecida como "Fragilidade Ambiental Potencial de Ambientes Naturais e Antropizados", é baseada na análise integrada das variáveis relevo, solo, litologia, clima e uso da terra. Nesta proposta, assume papel importante a avaliação do índice de dissecação do relevo, além da declividade das vertentes. No trabalho de Crepani, é feito um levantamento das "Unidades Territoriais Básicas" através de imagens de satélite TM-Landsat, que posteriormente são associadas às informações de relevo, solo, litologia, uso da terra e clima. O resultado das duas propostas é um mapa que mostra os diferentes níveis de fragilidade potencial do meio ao desenvolvimento de processos morfodinâmicos. Essas metodologias também têm em comum o fato de terem sido inspiradas na proposta das "Unidades Ecodinâmicas", de Tricart (1977). Outros trabalhos com idéias semelhantes foram

produzidos por Capellari (1995), no estudo das áreas de risco à erosão em São Pedro, e Paulo (2004 e 2005), na avaliação de áreas de risco geológico na bacia de Vargem das Flores, municípios de Contagem e Betim – MG.

Por fim, com o objetivo de traçar uma evolução temporal, estimando mudanças morfológicas e da área atingida por erosão na sub-bacia, foram selecionadas 1 ravina e 1 voçoroca para avaliar, através de medidas, o seu comportamento em 4 períodos distintos: 1962 a 1978; 1979 a 1995; 1996 a 2006; 2007 a 2009. De 1962 a 1995, as medidas foram feitas sobre as fotografias aéreas; de 1996 a 2006 as medidas foram realizadas sobre a ortofoto das fotos de 2006; o período de 2007 a 2009 foi coberto exclusivamente com medidas tiradas em campo. A ortofoto digital e sua restituição serviram também de base para o georeferenciamento das fotografias dos anos de 1962, 1978 e 1995.

Com base nas medições das feições erosivas sobre as fotos e a ortofoto, totalizando 4 períodos distintos, foi possível calcular o avanço médio anual do comprimento do talvegue e da área de cada uma delas. A partir desse avanço médio anual, inferiu-se o quanto a ravina e a voçoroca teriam avançado nos 3 últimos anos (2007 a 2009), período não coberto pelos produtos fotogramétricos, sendo possível, portanto, estimar as suas dimensões atuais. Esses valores foram comparados às medidas realizadas em campo no ano de 2009 nas duas feições erosivas, inspirado no trabalho feito por Vandekerckhove, Poesen e Grovers (2003).

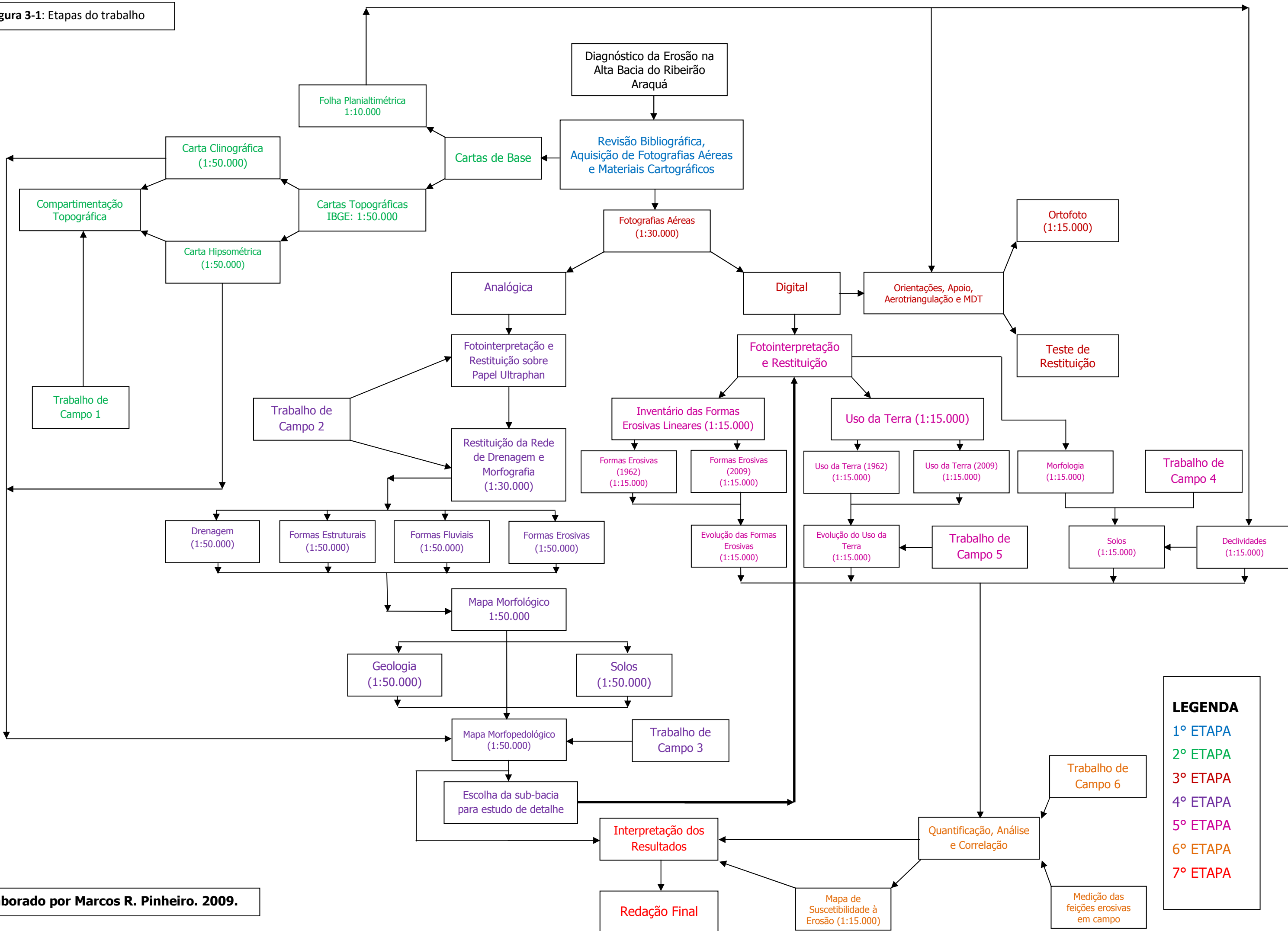
Em campo, a medida do comprimento da ravina e da voçoroca foi feita com trena, considerando os talvegues. A cada 5 metros medidos no talvegue, fez-se uma medida da seção transversal, anotando a largura de borda a borda, do fundo e o comprimento das paredes. Com base nas medidas transversais e no comprimento

da ravina e da voçoroca, estas foram desenhadas no software Auto CAD 2008, que estimou a área e o volume das feições erosivas.

Os critérios de escolha das feições erosivas foram os seguintes: presença das feições nos 4 momentos investigados, mesmo que nos períodos mais antigos elas tivessem dimensões muito reduzidas; facilidade de identificação dos limites de cada feição nas fotografias aéreas; acessibilidade para que pudessem ser feitas as medidas em campo.

Para facilitar a compreensão da importância de cada uma das etapas deste estudo descritas até aqui, elaborou-se um fluxograma síntese (figura 3-2) em que estão expostas as principais fases do trabalho até a sua conclusão.

Figura 3-1: Etapas do trabalho



LEGENDA

- 1º ETAPA
- 2º ETAPA
- 3º ETAPA
- 4º ETAPA
- 5º ETAPA
- 6º ETAPA
- 7º ETAPA

3.1 - O ESTUDO DA EROSÃO A PARTIR DE TÉCNICAS CARTOGRÁFICAS E AEROFOTOGRAMÉTRICAS: BREVE REVISÃO

Para Bertoni e Lombardi Neto (1993), a erosão pode ser definida como um processo de desprendimento e arraste acelerado das partículas do solo causada pela água e pelo vento. É um processo natural e constitui um dos principais agentes de morfo-esculturação da superfície da Terra. Embora seja considerada um processo de origem natural, a erosão pode ser dividida em 2 tipos principais (BIGARELLA, 2003): normal e acelerada. A primeira é exclusivamente natural, pois é de natureza geológica, lenta e está dentro dos limites do ambiente. A última, por sua vez, acontece de forma mais rápida e sua ação foi catalisada pela interferência direta ou indireta do homem. Outro fator que pode ocasionar a erosão acelerada é uma mudança climática.

A erosão pode ser dividida em 3 fases principais, segundo Queiróz Neto e Christofolletti (1968): desagregação, transporte e deposição. Na primeira fase, os fragmentos são retirados dos agregados do solo pela ação do impacto das gotas de chuva (splash). Em seguida, são transportados pela ação das águas, ventos e geleiras. Por último, são depositados no ponto em que o agente que os leva não tem mais competência para carregá-los.

Por sua vez, a erosão do solo causada pela água também pode ser dividida em 2 categorias: erosão por escoamento difuso e erosão linear. (QUEIRÓZ NETO; CHRISTOFOLETTI, 1968; BIGARELLA; MAZUCHOWSK, 1985; SANTANA, 1991; BERTONI; LOMBARDI NETO, 1993; GUERRA, 1994; BIGARELLA, 2003 entre outros autores). A erosão por escoamento difuso ocorre de forma lenta e transporta principalmente as partículas mais finas presentes na superfície do solo. O

escoamento da água se dá sobretudo em pequenos canais anastomosados (BIGARELLA; MAZUCHOWSK, 1985; SANTANA, 1991). A erosão linear é causada pelo escoamento concentrado superficial e, em certos casos, subsuperficial da água, que remove de forma acelerada as partículas do solo. (RUELLAN, 1953; BIGARELLA; MAZUCHOWSK, 1985; BERTONI; LOMBARDI NETO, 1993; GUERRA, 1994; BIGARELLA, 2003).

As feições erosivas lineares mais comuns encontradas no terreno são os sulcos, ravinas e voçorocas, assim definidas por Bigarella e Mazuchowsk (1985): os sulcos são fruto do escoamento superficial concentrado, têm forma alongada, poucos centímetros de profundidade, mas podem atingir vários metros de comprimento; as ravinas também são consequência do *runnof*, têm forma alongada, leito com forma em "V", com ou sem ramificações, profundidade maior de montante para jusante e podem atingir vários metros tanto de largura como de extensão; a voçoroca é causada por um fluxo d'água concentrado subsuperficial que remove grande quantidade de material em profundidade e faz com que haja subsidência ou abatimento das camadas superiores, possui uma rede de canais, têm processo de evolução remontante, atinge o lençol freático, tem forma em "U" e pode chegar a centenas de metros de comprimento e largura. As ravinas também podem atingir o lençol freático e tornarem-se voçorocas (IPT/DAEE, 1990).

As formas de estudar a erosão são bastante variadas. Estudos de detalhe, como os trabalhos de Vieira (1978) e Sanchez *et al* (1987) sobre voçorocas situadas respectivamente nos municípios de Franca e São Pedro / SP, podem ser realizados sobre apenas uma feição erosiva ou um pequeno número delas, com monitoramento em campo da evolução da voçoroca. Para estudos com o objetivo

de avaliar um conjunto de formas erosivas e a sua distribuição espacial, as técnicas cartográficas e aerofotogramétricas têm se mostrado de grande valia. Isso é demonstrado pelo grande número de trabalhos antigos e recentes que vem utilizando esse instrumento como material de base à realização da pesquisa: Bergsma (1974), Politano *et al* (1983) Kronen e Rocha (1985), Oliveira *et al* (1987), Rocha, Santos e Ito (1987), Garcia (1987), Sanchez *et al* (1987), Santana (1991), Modenesi e Jordão (1992), Politano (1992), Oliveira (1994), Capellari (1996), Oliveira (1996), Politano e Pissarra (2005), Endres *et al* (2006) e outros. Embora tenham usado instrumentos semelhantes, a abordagem utilizada por cada autor foi diferente, de acordo com o objetivo de seus trabalhos.

Politano *et al* (1983), Politano (1992), Oliveira (1994), Politano e Pissarra (2005), Endres *et al* (2006), entre outros, por trabalharem com áreas muito extensas, privilegiaram a localização das feições erosivas lineares em detrimento de uma representação gráfica com a dimensão real de cada feição no terreno, exceto nas bacias selecionadas para uma investigação mais minuciosa. Por outro lado, Santana (1991), no estudo que fez sobre a fragilidade dos solos da região de Marília, além da espacialização das feições erosivas, buscou fazer uma mensuração das feições erosivas a partir das fotografias aéreas, concluindo, entretanto, que é muito difícil diferenciar ou classificar as formas erosivas lineares através das fotografias aéreas. A autora destaca ainda autores que tentaram separar em classes as formas erosivas com base na profundidade: Pouquet (1967), Food and Agriculture Organization of the United Nations (1967) e Lepsch (1983).

Muitos autores utilizam as fotografias aéreas para mapear não apenas as formas erosivas, como também as variáveis que estão relacionadas a elas. Dentre

essas variáveis, o uso e manejo da terra é uma das mais frequentes. Apesar da relação clara entre forma de manejo e uso da terra com os processos erosivos, uma análise mais confiável só pode ser feita considerando que há outros fatores que concorrem diretamente para a diminuição ou aceleração dos processos erosivos. Nesse sentido, Rocha, Santos e Ito (1987), no trabalho de quantificação dos processos erosivos na região de Procópio / PR, relacionaram as formas erosivas com o uso da terra, o tipo de solo, a classificação do uso para a agricultura segundo o Ministério da Agricultura (1971) e a morfologia do terreno. Por outro lado, Modenesi e Jordão (1992), no trabalho sobre feições erosivas de Caçapava / SP, destacam a importância do uso e manejo da terra. Para essas autoras, os tipos e as formas de uso da terra determinam a intensidade dos processos erosivos.

Considerando a grande extensão de áreas atingidas por erosão no Estado de São Paulo, o convênio Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo / Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo (1995), a partir da leitura integrada das diferentes variáveis da paisagem por meio de produtos cartográficos e de sensoriamento remoto, produziu o Mapa de Erosão do Estado de São Paulo. Nesta mapa, o estado foi dividido em zonas com diferentes suscetibilidades ao desenvolvimento dos processos erosivos e o seu potencial de produção de sedimentos. O alto Araquá está inserido em áreas consideradas de **suscetibilidade muito alta e muito críticas** quanto ao potencial de produção de sedimentos.

Carpi Junior (1996) propôs para o estudo da erosão na região da bacia do Ribeirão Araquá – São Pedro e Charqueada/SP a definição de unidades geomorfológicas mais suscetíveis a esses processos. Para tal, utilizou produtos

gráficos representando a rede de drenagem, declividades, dissecações horizontal e vertical do relevo, energia do relevo, solos, geologia, uso da terra e a geomorfologia da área, tendo a análise integrada qualitativa da paisagem como elemento norteador da pesquisa. O trabalho demonstrou a eficiência desta metodologia para estudos dos processos erosivos, permitindo que fosse feito um prognóstico de evolução da erosão na área.

Oliveira (1996), por sua vez, para o estudo das formas erosivas de um interflúvio situado em São Pedro / SP, compartimentou, com base em fotografias aéreas 1:25.000, a área a partir do relevo e elaborou esboços morfológico, pedológico e do uso da terra. Por último, descreveu os temas levantados e fez um levantamento estatístico dos tipos principais de feições erosivas, cruzando-as com a morfologia e os solos. Os resultados mostraram que as ravinas e voçorocas situam-se principalmente nas áreas com pastagens e de solo exposto, solos arenosos e profundos (neossolos quartzarênicos) e concavidades no terreno.

Seguindo a proposta de Wischmeier e Smith (1978), muitos dos estudos que trabalham com a cartografia das formas erosivas têm utilizado a EUPS – Equação Universal de Perdas de Solo. Dentre esses, podem ser destacados os de Christofolletti e Ponçano (1987), Oliveira et al (1987), Oliveira (1994), Cunha, Mendes e Sanchez (1999), entre outros. Ainda que isso seja freqüente há bastante tempo, a utilização da EUPS tem se tornado ainda mais comum com a difusão dos SIG – Sistema de Informações Geográficas, dada a maior facilidade do cruzamento dos diversos temas envolvidos, como no trabalho de Mongkolsawat, Thirangoon e Sriwongsa (1994), sobre a erosão do solo na bacia do rio Huai Sua Ten – Khon Ken e Udon Thani / Tailândia, e Silva (2008), sobre o potencial natural à erosão no

município de Sorocaba/SP. A limitação deste tipo de trabalho é que além de ser apenas uma estimativa da perda de material, considera somente a perda de sedimentos por erosão proveniente de escoamento difuso.

Embora os trabalhos atuais, sobretudo os nacionais, tenham produzido mapas quantitativos de erosão, poucos se preocuparam na representação das feições erosivas. Nesse sentido, Martínez-Casasnovas (2003) e Torkashvand (2008) ressaltam que não vem sendo criadas metodologias para produção de mapas de voçorocas. Destacam ainda a baixa relação destes com fatores estatísticos como acuracidade, precisão e erro.

No estudo sobre os processos erosivos acelerados da região de Cachoeira do Campo, Minas Gerais, Sobreira, Carneiro e Oliveira (1998) e Sobreira (2000) fizeram um inventário das voçorocas da área e uma análise temporal por fotografias aéreas mostrando a evolução delas entre os anos de 1949 (1:25.000) e 1986 (1:30.000). Algumas das voçorocas mapeadas foram medidas com um estereomicrômetro e, a partir dos valores encontrados, estabeleceu-se o crescimento médio anual delas no período. Essa mesma técnica foi utilizada por Paulo (2004 e 2005), com a diferença de que este comparou feições erosivas restituídas em produtos com características geométricas e escalas muito diferentes: as voçorocas do período de 1966 foram restituídas sobre fotografias aéreas de escala 1:60.000, ao passo que a restituição do ano de 1993 foi realizada sobre uma ortofoto 1:10.000. Os limites dessas feições erosivas foram lançados sobre uma base topográfica 1:25.000, onde estimou-se as dimensões das voçorocas.

Daba, Rieger e Strauss (2003) utilizaram fotografias aéreas de escala 1:45.000, anos de 1966 e 1996, da Etiópia Oriental, para tentar estimar a taxa de

evolução das voçorocas e as áreas com maior probabilidade de ocorrência. As fotografias foram escaneadas e, por meio do software SCOP, criou-se os modelos digitais de terreno. Sobre as fotos, traçaram-se os limites das voçorocas e suas profundidades, que posteriormente foram comparados com as medidas feitas em campo. Os resultados foram muito próximos, demonstrando uma elevada eficiência do processo. Além disso, em cada voçoroca estudada foram feitas medidas (em campo) da seção transversal a cada 20 m para verificar a evolução dos perfis.

Martínez-Casasnovas (2003) fez um trabalho sobre a análise da tecnologia da informação espacial para o mapeamento e a quantificação da erosão na forma de voçorocas. A partir de modelos digitais de terrenos obtidos de fotografias aéreas 1:30.000, anos 1957 e 1993, da região da Catalonia – Espanha, verificou-se com sucesso a taxa de incisão do canal das voçorocas e a sua produção de sedimentos. Esse resultado foi obtido pela subtração do valor de altimetria do MDT feito para 1993 daquele de 1957. O autor salienta que ainda é pequena a quantidade de estudos com foco na quantificação e predição da erosão em voçorocas, se comparados aos inúmeros realizados para erosão por escoamento difuso.

Vandekerckhove, Poesen e Grovers (2003) estudaram as taxas de avanço de médio termo das cabeceiras das voçorocas no sudeste da Espanha a partir de fotografias aéreas e medidas de campo. As fotografias cobriam os anos de 1956, 1957, 1978, 1981, 1984, 1985 e 1994, com escalas variáveis entre 1:18.000 e 1:32.000. Com base nessas fotos, foram elaboradas cartas topográficas 1:4.000 por restituição analítica, com intervalos de 1m. As voçorocas restituídas foram lançadas sobre as cartas e tiveram seu avanço medido de 1957 a 1994, o que permitiu verificar a taxa média anual do avanço, projetando seu valor para o ano de 1999,

quando foram feitos os controles com a medida no campo. Os resultados da estimativa e dos valores de campo foram muito próximos, demonstrando a validade do método utilizado.

Paulo, Bacellar e Danderfer Filho (2005), para avaliarem o risco geológico da bacia da Margem das Flores, municípios de Contagem e Betim, Minas Gerais, fizeram um inventário das formas erosivas com base na proposta de Sobreira (1998 e 2000). As voçorocas foram restituídas a partir das fotografias de 1966 (1:60.000) e 1993 (1:30.000). Os limites das voçorocas foram lançados sobre uma base topográfica digital 1:25.000, onde estimou-se as dimensões das feições erosivas nos 2 períodos investigados e estabeleceu-se um prognóstico de sua evolução.

3.2 – PROCEDIMENTOS TÉCNICO-OPERACIONAIS

Os procedimentos técnico-operacionais seguidos na elaboração deste estudo são diversos, considerando que foram elaborados muitos produtos cartográficos, utilizando-se cartas topográficas e fotografias aéreas. As técnicas envolvidas na produção dos mapas estão relacionadas a diferentes momentos da pesquisa e às escalas de trabalho. Assim sendo, a apresentação a seguir distinguirá os produtos gerados a partir das cartas de base daqueles feitos com base nas fotografias aéreas impressas e digitais.

3.2.1 – Elaboração dos Produtos Gráficos

3.2.1.1 – As Cartas de Base

As cartas de base são produtos cartográficos que representam as informações de base do terreno, tais como a topografia, rede de drenagem, sistema viário, uso

da terra e toponímias principais, embora nem todos os produtos contemplem esses temas. A partir delas é possível fazer uma leitura das formas de relevo, características da drenagem e uso da terra predominante. As cartas de base têm escala bastante diversa, variando desde as de detalhe (1:500 ou maior) em levantamentos topográficos de áreas pequenas até às escalas regionais (1:250.000 ou menor). A nomenclatura das cartas de base também é definida de acordo com a escala do produto.

Para este trabalho, foram selecionadas dois tipos de cartas de base:

- Folhas Planialtimétrica, 1979, Escala 1:10.000, Projeto Macro-Metrópole do IGC - Instituto Cartográfico e Geográfico do Estado de São Paulo.

- Folhas Topográficas, 1971, Escala 1:50.000, IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Elas foram obtidas gratuitamente já vetorizadas através do projeto PIRACENA².

As cartas de base, além de terem sido utilizadas para a leitura das formas de relevo, características da rede de drenagem e orientação para os trabalhos de campo, serviram como base à elaboração dos perfis topográficos e produtos temáticos, como as cartas clinográfica e hipsométrica.

A carta clinográfica consiste num produto gráfico em que são representadas espacialmente as diversas declividades da superfície do terreno. A declividade é calculada a partir da relação da distância horizontal entre duas curvas de nível ou ponto cotado e a diferença altimétrica entre eles.

Para a elaboração de uma carta clinográfica digital é necessária uma base topográfica ou planialtimétrica em formato digital (vetor) e um *software* SIG –

² Endereço eletrônico: <http://www.cena.usp.br/piracena>

Sistema de Informação Geográfica. O processo digital nada mais é do que uma automatização do analógico, o que faz com que os princípios utilizados sejam os mesmos. A partir da base vetorizada, o SIG faz uma série de interpolações entre as curvas de nível e pontos cotados, determinando a declividade de cada área. Neste caso, se a base topográfica já estiver digitalizada, o trabalho principal é a definição das classes de declividade que serão representadas.

A escolha das classes de declividade a serem representadas na carta deve ser feita de acordo com os objetivos do trabalho. Num estudo em que se procura determinar as restrições legais ambientais de uma área qualquer, por exemplo, recomenda-se escolher os limites das classes de declividade de acordo com as normas estabelecidas pelo Código Florestal Brasileiro. No caso deste trabalho, as classes escolhidas são as que se mostraram mais representativas das relações entre a morfologia do terreno e as características do solo, conforme foi demonstrado por Carpi Junior (1996), em seu trabalho sobre a erosão no Araquá. As classes de declividade adotadas tanto para os mapas de média escala, bacia do Alto Araquá (carta 4-2), como para o estudo de detalhe na bacia do Querosene (carta 4-4), são as seguintes:

- < 5%;
- 5 - 10%;
- 10 – 15%;
- 15 – 20%;
- 20 – 25%
- > 25%.

A carta hipsométrica consiste em um mapa temático onde são destacados os diferentes compartimentos topográficos de uma determinada área. Os limites entre as classes são as próprias curvas de nível, embora uma classe possa englobar várias curvas de nível.

A elaboração de uma carta hipsométrica é bastante simples, porém, como a carta clinográfica, demanda a leitura prévia da carta topográfica. A construção de perfis topográficos para uma definição mais precisa dos níveis topográficos dominantes constitui uma ferramenta que auxilia na definição dos intervalos de classe que comporão a hipsometria, colocando em destaque os compartimentos morfológicos principais. Da mesma forma que na elaboração da carta clinográfica, a construção da hipsometria em formato digital exige apenas um *software* SIG e uma base digital vetorizada. Com essas informações, é necessário apenas informar ao *software* os intervalos de classes hipsométricas e as suas respectivas cores.

As classes hipsométricas definidas para os mapas foram as seguintes:

- Alto Araquá (Escala 1:50.000):
 - 900 a 1060 m;
 - 660 a 900 m;
 - 580 a 660 m.
 - 500 a 580 m.
 - 480 a 500 m.
- Córrego do Querosene (Escala 1:15.000):
 - 915 a 925 m;
 - 715 a 915 m;
 - 665 a 715 m;

- 600 a 665 m;
- 530 a 600 m;
- 515 a 530 m;

Neste trabalho, foi adotado processo digital de elaboração tanto para a carta clinográfica como para a hipsométrica pela facilidade de se obter a documentação de base já vetorizada, o que tornou o processo mais rápido que o procedimento analógico. Também foi levado em conta que com esse ganho de tempo haveria maior possibilidade de mudar/testar outras classes de declividade e hipsometria, tornando a informação mais ágil em função dos demais parâmetros ambientais que seriam tratados posteriormente.

3.2.1.2 – Etapas e Produtos Obtidos a partir das Fotografias Analógicas – Alta bacia do Ribeirão Araquá – Escala 1:50.000

Características da Fotografia Aérea

A fotografia aérea é um documento de grande importância para o planejamento territorial (urbano e rural). Seu uso para fins militares e estratégicos é bastante conhecido bem como sua importância na área das geociências como ferramenta essencial para elaboração de produtos cartográficos temáticos. Apesar de sua grande importância e demanda, as fotografias aéreas possuem limitações e o seu uso deve ser feito considerando as questões técnicas derivadas de suas características geométricas. Dentre elas, destaca-se a escala, que é apenas nominal uma vez que é função da altura do avião em relação ao terreno e esta é variável devido às irregularidades do relevo terrestre. Outro fator que influencia na qualidade geométrica da foto é a sua projeção cônica. Esta acarreta distorções

radiais, ficando os objetos cada vez mais distorcidos e deslocados quanto mais distantes estiverem do ponto central ou nadiral da foto.

Para este trabalho, foram inicialmente adquiridas fotografias do mês de Abril de 2006, escala 1:30.000, em formato digital, gravado em mídias (*CD – Compact Disc*) em extensão TIFF, com resolução aproximada de 28 micras. O aerolevanteamento foi executado pela Base Aerofotogrametria S.A. Essas imagens serviram de base para a elaboração da ortofoto digital e execução da fotointerpretação e restituição em formato digital. Como houve uma etapa de fotointerpretação e restituição analógica, também foi feita uma cópia impressa dessas fotografias.

Foram adquiridas posteriormente fotografias aéreas em papel referentes aos anos de 1962 (SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE; INSTITUTO AGRONÔMICO, Escala 1:25.000), 1978 (TERRAFOTO, 1:35.000) e 1995 (BASE S.A., 1:25.000) para que fosse feita uma avaliação do estágio de determinadas formas erosivas nos diferentes momentos, bem como identificar possíveis mudanças no uso da terra ao longo dos últimos 47 anos.

A Fotointerpretação

O processo de análise das fotografias aéreas pode ser dividido em 3 momentos: fotoleitura, fotoanálise e fotointerpretação. Estes consistem no seguinte: o primeiro é o reconhecimento e identificação dos elementos das imagens com os objetos correspondentes e sua repartição. O segundo é o estudo das relações entre as imagens, associação e ordenação das partes delas. O terceiro envolve a identificação e relação dos objetos da imagem, chegando-se assim à

descoberta e avaliação da importância e da função de cada objeto, bem como as suas relações. (SOARES; FIORI, 1976)

O processo de fotointerpretação é explorado também por Boon; Verstappen e Vink (1965), Avery (1977) apud Cruz (1981). Os primeiros dividem a fotointerpretação em fases que são a detecção, o reconhecimento e a identificação, a análise, dedução, classificação e a idealização. Para o último, a fotointerpretação é feita com base em chaves, que são divididas em duas: as seletivas e as de eliminação. A eliminação é um processo minucioso, no qual as relações são feitas do geral para o específico. As seletivas são apoiadas na descrição / caracterização dos objetos de uma dada categoria, que são separados para que se façam comparações e identifique-se os exemplos ou hipóteses que mais se aproximam com a feição a ser identificada.

A fotointerpretação se apóia em três processos de identificação e observação, conforme Cruz (1981): Forma e tamanho, Cor (tonalidade), textura e feições associadas (sombra, padrão, sítio e associação). A cor é função da luz refletida e absorvida pelos alvos e constitui uma das variáveis mais importantes para a distinção dos objetos do terreno. A textura pode ser lisa ou crespada e determina objetos, grupos, padrões que definem uma paisagem. A forma e o tamanho possibilitam, através de comparações, distinguir e identificar objetos como diferenciar uma casa de uma fábrica. A sombra possibilita inferir a altura do objeto, enquanto que os padrões e associações definem áreas com o mesmo arranjo espacial.

A fotointerpretação pode ser feita de forma monoscópica, pela observação de uma foto isolada ou de um estereograma, ou estereoscópica, através da

visualização das fotos por estereoscópios. O sucesso dela depende da acuidade visual e experiência do fotointérprete. Uma boa fotointerpretação direciona e diminui as atividades de campo, mas não as substitui.

Neste trabalho, a fotointerpretação foi feita de forma monoscópica e estereoscópica, tanto em meio analógico como no digital. Os critérios de interpretação para os dois meios são os mesmos.

Restituição Estereofotogramétrica Analógica

A restituição consiste no desenho de linhas, pontos ou polígonos sobre as fotografias aéreas a partir da identificação e interpretação de determinadas características da superfície da terra, tais como relevo, rede de drenagem, processos erosivos, sistema viário e uso da terra. Cada um deles pode ser representado de uma forma ou cor específica, de acordo com a legenda adotada para o trabalho.

A restituição analógica neste trabalho foi feita sobre um papel transparente (ultraphan) fixado sobre as fotografias aéreas. A observação dos pares de fotografias através das lentes do estereoscópio permitiu a visão tridimensional do terreno, facilitando a interpretação e a restituição de elementos da imagem fotográfica, segundo uma legenda previamente definida. Apesar de ser um processo aparentemente simples, é necessário, entretanto, que as fotografias sejam posicionadas de forma correta umas em relação às outras. Para isso, elas foram fixadas em conjunto (duas fotos laterais e uma central) sobre uma cartolina para que fossem identificados os pontos centrais das exposições e os homólogos entre

elas, além de ser desenhada a linha de vôo, conforme a proposta de Garcia e Marchetti (1977).

Cabe ressaltar que o processo de restituição analógico herda todos os problemas geométricos da fotografia que lhe serviu de base e que este é mais acentuado quando se trabalha com o procedimento do estéreo-triplet do que quando se usa o procedimento de área útil.

Em suma, a restituição analógica foi feita usando o sistema estéreo-triplet porque nessa etapa do trabalho apenas elementos qualitativos foram analisados, logo distorções geométricas acentuadas não comprometem a qualidade dos produtos. Nos trabalhos de detalhe e naqueles onde parâmetros quantitativos foram estabelecidos, foi adotado o formato digital onde as deformações geométricas deverão ser menores.

3.2.1.2.1 - Produtos Obtidos por Restituição Analógica

Mapa Morfológico da Alta Bacia do Ribeirão Araquá (mapa 4-1)

O mapa morfográfico é um produto gráfico cujo objetivo principal é representar, através de linhas, pontos, polígonos e símbolos, as formas da superfície terrestre. O mapa morfológico, por sua vez, além de representar as formas, indica os processos geradores, tendo, portanto, caráter genético. Assim, cada representação traçada sobre o mapa possui uma cor que está associada à origem da feição mapeada.

Os mapeamentos do relevo obedecem a critérios estabelecidos em função da escala e do sistema de representação escolhido. Doornkamp e King (1971), por exemplo, propõe que as formas sejam representadas por símbolos lineares, os quais

representam as dimensões reais das feições. Por outro lado, a metodologia utilizada no projeto RADAMBRASIL, responsável pelo mapeamento dos recursos naturais no Brasil durante as décadas de 70 e 80 do último século, propõe que as formas semelhantes sejam agrupadas em manchas homogêneas.

A pesquisa envolvendo morfogênese é bastante complexa e necessita de estudos de detalhe que vão muito além daqueles baseados exclusivamente na observação e registro morfográfico. A legenda adotada neste trabalho teve inicialmente cunho morfográfico. No entanto, o conhecimento acumulado dos processos morfodinâmicos no mundo tropical e suas representações cartográficas, a existência de uma carta geomorfológica e outros inúmeros trabalhos em áreas contíguas à que foi objeto de estudo permitiram deduzir os principais processos relacionados à gênese das formas. Sendo assim, foram atribuídas cores às informações restituídas e agrupadas em: formas regidas pela estrutura do substrato; formas resultantes do entalhe fluvial; formas geradas pelo acúmulo / deposição do material; formas erosivas e movimentos de massa.






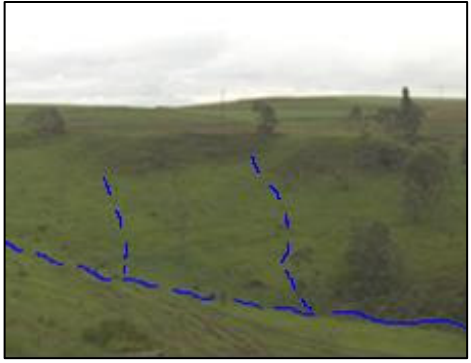



Os principais trabalhos que nortearam a definição da legenda adotada para a restituição morfológica da área foram os de Coutard et al (1978), Dias Ferreira et al (1978), Queiróz Neto e Journaux (1978), Coltrinari (1982 e 1984), Modenesi e Jordão (1992), Capellari (1996), Furquim (1997) e Pinheiro (2004).

Embora a restituição dos temas do mapa morfológico tenha sido feita em papel ultraphan, sobre as fotografias impressas 1:30.000 (2006), posteriormente cada overlay foi vetorizado no software AutoCAD Map 2004, georeferenciado e lançado sobre a base topográfica 1:50.000 da área, mesma escala do mapa morfológico final.










A legenda para a carta morfológica utilizada neste trabalho (quadro 3-1) foi organizada na forma de um quadro onde se buscou valorizar os conteúdos em ilustrações da imagem vertical e oblíqua de cada elemento, além da sua representação, nomenclatura e descrição. A estruturação da legenda visualizada nos agrupamentos temáticos refletiu uma concepção genética e processual, tendo como referência os princípios adotados para a Carta Geomorfológica de São Pedro (COUTARD et al, 1978), com algumas adaptações e ampliações no aspecto morfográfico.

Quadro 3-1: Legenda proposta para a restituição da morfologia da área de estudo.



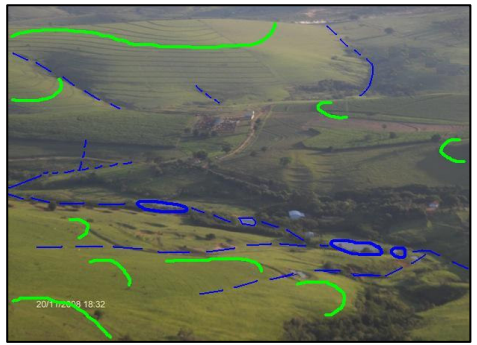
HIDROGRAFIA

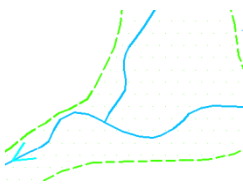
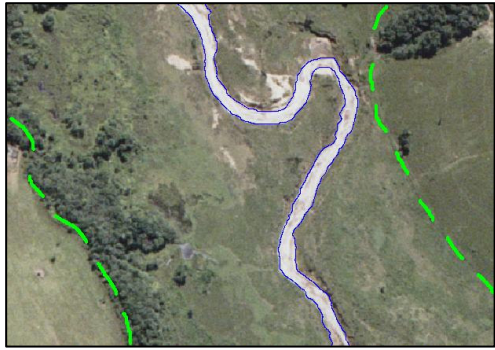
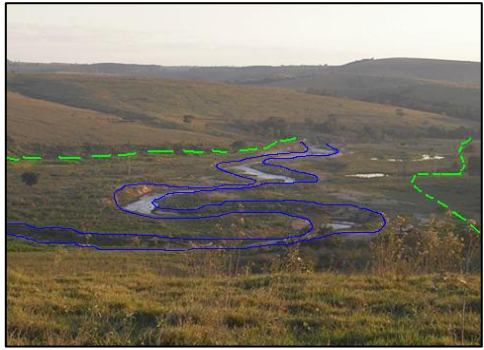


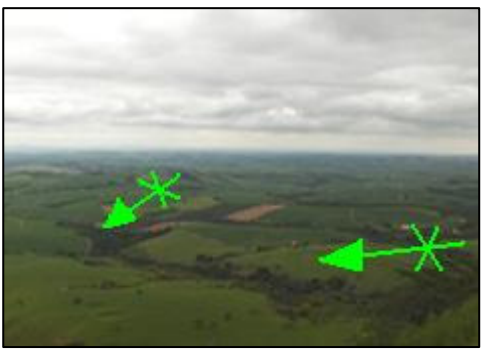





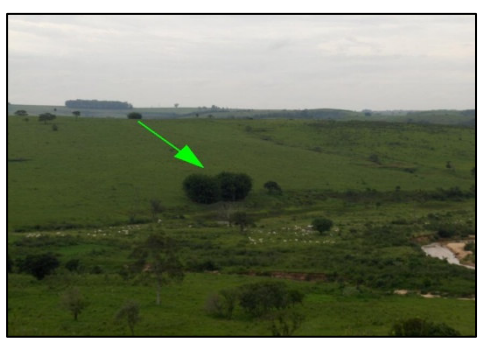

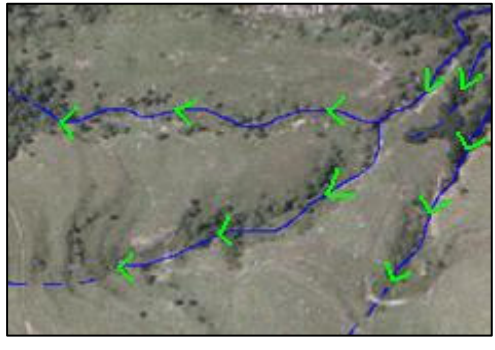

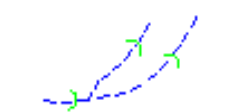

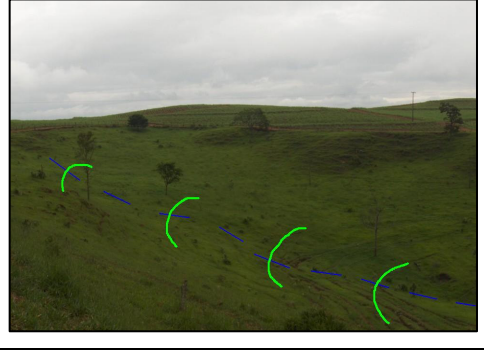
REPRESENTAÇÃO	NOMENCLATURA	IMAGEM VERTICAL	IMAGEM OBLÍQUA	DESCRIÇÃO
	Curso d'água perene			Corresponde aos eixos de vales com dissecação vertical nítida acompanhado por vegetação ciliar e planícies fluviais. São canais com escoamento durante todos os períodos do ano, alimentados por nascentes perenes.
	Curso d'água temporário			É constituído por canais pluviais funcionais apenas durante as épocas mais chuvosas. Corresponde também às cabeceiras, de drenagem na retaguarda dos nichos de nascente e eixos de vale em berço.
	Represamentos			É formado por locais onde há represamento da água dos canais fluviais. Podem ser lagos naturais ou induzidos pela construção de barramentos na drenagem.


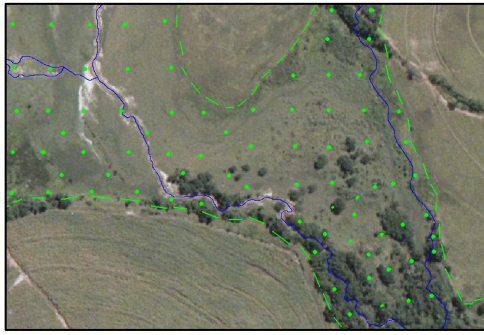
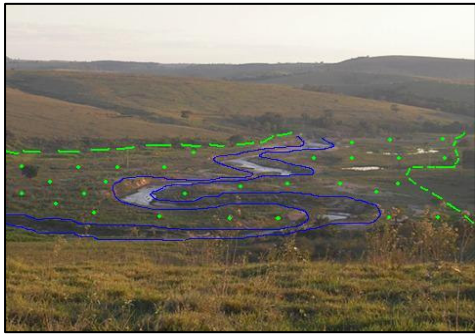
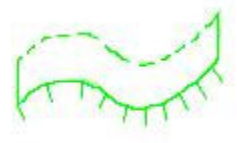

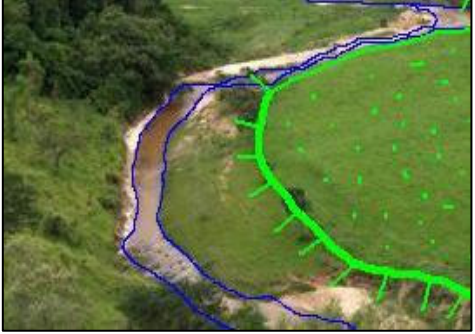
FORMAS ESTRUTURAIS

REPRESENTAÇÃO	NOMENCLATURA	IMAGEM VERTICAL	IMAGEM OBLÍQUA	DESCRIÇÃO
	Cornijas			São feições de relevo caracterizadas por uma ruptura brusca nas vertentes. Sua amplitude é bastante diversa, podendo variar desde um degrau com poucos metros de desnível até a borda de um paredão rochoso com dezenas de metros de altura.
	Escarpa de Cuesta			Correspondem às faces escarpadas das serras de São Pedro e Itaqueri representada por paredões rochosos e vertentes com declividades bastante acentuadas. A amplitude altimétrica dessas feições alcança centenas de metros.
	Crista			Constituem-se de interflúvios muito estreitos, alongados e com vertentes muito íngremes ou paredões rochosos.







FORMAS LIGADAS À AÇÃO FLUVIAL







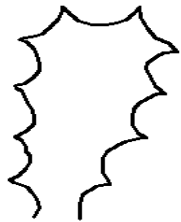





REPRESENTAÇÃO	NOMENCLATURA	IMAGEM VERTICAL	IMAGEM OBLÍQUA	DESCRIÇÃO
	Ruptura Convexa			Representa as rupturas côncavas que marcam o contato entre o sopé das vertentes com as planícies fluviais e terraços.

	<p>Ruptura Côncava</p>			<p>São rupturas côncavas suaves de origem fluvial que ocorrem principalmente no contato entre o sopé das vertentes com os vales de fundo chato e planícies fluviais.</p>
	<p>Unidade Convexa</p>			<p>Corresponde às unidades do relevo (vertentes) com formas convexas.</p>
	<p>Unidade Côncava</p>			<p>Corresponde às unidades do relevo (vertentes) com formas côncavas.</p>
	<p>Unidade Retilínea</p>			<p>Corresponde às unidades do relevo (vertentes) com formas predominantemente retilíneas.</p>
	<p>Vales em "V"</p>			<p>São vales bem entalhados com drenagem perene. Na fotointerpretação, considerou-se vale em "V" aqueles em que há incisão bem marcada, erosão linear e gradiente elevado.</p>
	<p>Vales em Berço</p>			<p>Corresponde aos vales mais abertos e com menor grau de entalhamento, onde não ocorre incisão linear e o escoamento é difuso e intermitente.</p>

	<p>Planície Fluvial</p>			<p>Áreas em que o vale tem fundo plano. Corresponde às planícies fluviais.</p>
	<p>Terraços Fluviais</p>			<p>Corresponde a antigos depósitos fluviais que foram reentalhados pelo sistema fluvial.</p>

FORMAS EROSIVAS e DEPÓSITOS ASSOCIADOS

REPRESENTAÇÃO	NOMENCLATURA	IMAGEM VERTICAL	IMAGEM OBLÍQUA	DESCRIÇÃO
	<p>Erosão em Filetes e Interfiletes</p>			<p>São canais rasos e alongados, originados do escoamento superficial concentrado, que se instalam sobre a superfície do solo. Podem ou não estar associados aos sulcos ligados ao escoamento difuso.</p>
	<p>Ravina Não Vegetada</p>			<p>São canais alongados, com profundidade maior que a dos sulcos e podem ou não estar conectados ao sistema fluvial. A profundidade atinge até alguns metros, entretanto não chega a alcançar o lençol freático.</p>

	<p>Ravina Vegetada</p>			<p>Ravina com presença de vegetação nas paredes ou no assoalho da feição erosiva.</p>
	<p>Voçoroca Não Vegetada</p>			<p>Feição erosiva linear com ramificações, grande profundidade, afloramento do lençol freático e conectada à rede de drenagem. Atinge grandes áreas, podendo representar coalescências de ravinas e abatimentos no terreno.</p>
	<p>Voçoroca Vegetada</p>			<p>Voçoroca com o surgimento de vegetação nas paredes e/ou assoalho do canal.</p>
	<p>Movimentos de Massa</p>			<p>Corresponde às cicatrizes deixadas por movimentos de massa que ocorrem predominantemente em áreas escarpadas. São escorregamentos, deslizamentos, queda de blocos, corridas de terra e lama.</p>

A análise conjunta das informações restituídas sobre as fotografias aéreas e que deram origem ao mapa morfológico permite uma leitura integrada do funcionamento da paisagem e a relação entre cada variável que a compõe; entretanto, detalhes importantes de cada tema podem passar despercebidos. Desta forma, seguindo a proposta utilizada em (AGUIAR, 1976), separou-se cada um dos temas do mapa morfológico em pranchas individuais. Em cada prancha, agrupou-se os elementos de acordo com as suas características (forma e densidade, sobretudo), constituindo manchas homogêneas. Estas manchas individualizam conjuntos que possuem a mesma categoria.

Mapa Morfopedológico da Alta Bacia do Ribeirão Araquá (Mapa 4-2)

O produto gráfico que representa as unidades morfopedológicas da área foi elaborado conforme a proposta de Castro e Salomão (2000, p.1):

Considera-se compartimentos morfopedológicos como produtos da inter-relação entre substrato geológico, relevo e solos que constituem unidades têmporo-espaciais homogêneas e intrínsecas do meio físico reconhecíveis em médias e grandes escalas.

Para tal, foram agrupadas áreas com padrões de formas de relevo e drenagem semelhantes, definindo, desta forma, manchas homogêneas. A elas foram sobrepostas as informações relativas ao embasamento litológico e à cobertura pedológica, retirados dos produtos temáticos existentes, re-analisados a partir da correlação com a carta morfológica, informações bibliográficas e de campo. O produto final, cuja escala é 1:50.000, é um mapa de polígonos identificados com números, os quais estão referidos e descritos em uma tabela que constitui uma legenda expandida. Essa tabela assinala para cada mancha o tipo de embasamento

litológico, as formas do relevo, cobertura pedológica predominante, características da rede de drenagem, uso da terra e tipos de erosão.

Com base na compartimentação morfopedológica, foi possível identificar e caracterizar os atributos das áreas com alta incidência de processos erosivos e, desta forma, escolher uma sub-bacia representativa para a execução dos estudos em escala de detalhe.

3.2.1.3 – Etapas e Produtos Elaborados A Partir das Fotografias Digitais – Sub-bacia do Córrego Querosene – Escala 1:15.000

O Processo de Restituição Estereofotogramétrica Digital

O processo de restituição digital, se comparado ao analógico, é mais preciso. Isso decorre do fato que o processo digital necessariamente percorre algumas etapas que visam corrigir as distorções geométricas das fotografias aéreas, o que tem influência direta sobre o produto feito a partir delas, como a hidrografia restituída de determinada área. Além disso, o nível de *zoom* ou aumento da imagem³ que se consegue no monitor é maior, permitindo a visualização de objetos de menor dimensão que dificilmente seriam enxergados apenas com o auxílio de um estereoscópio de bolso. As etapas a serem percorridas para que se possa fazer a restituição estereofotogramétrica sobre as imagens digitais será explicado a seguir:

- O primeiro passo é a execução do chamado Apoio de Campo, onde são identificados pontos bem definidos (visíveis) tanto no terreno como nas fotografias,

³ Apenas para evitar interpretações equivocadas, neste trabalho o termo fotografia aérea e imagem digital referem-se ao mesmo produto, com a diferença que o primeiro é impresso e o último está em formato digital.

a partir dos quais é feita a equivalência geométrica entre os fotogramas e a realidade (PAREDES, 1987). Esses pontos, convencionalmente chamados de HV, terão coordenadas planimétricas e altimétricas. Esses valores podem ser obtidos a partir de GPS – *GLOBAL POSITIONING SYSTEM*, vértices geodésicos ou cartas planialtimétricas. Neste trabalho foram utilizadas informações retiradas de folhas planialtimétricas de escala 1:10.000, ano 1979, do projeto Macro-Metrópole, gentilmente doadas pelo IGC – Instituto Geográfico e Cartográfico do Estado de São Paulo. Os HV's são a base para a definição dos pontos fotogramétricos e a ligação entre as fotografias de uma mesma faixa ou entre faixas adjacentes. Cada par de fotografias compõe um modelo e cada modelo deve ter, ao menos, 3 pontos conhecidos. (PAREDES, 1987) A figura 3-3 mostra alguns exemplos de pontos de controle utilizados no apoio de campo.

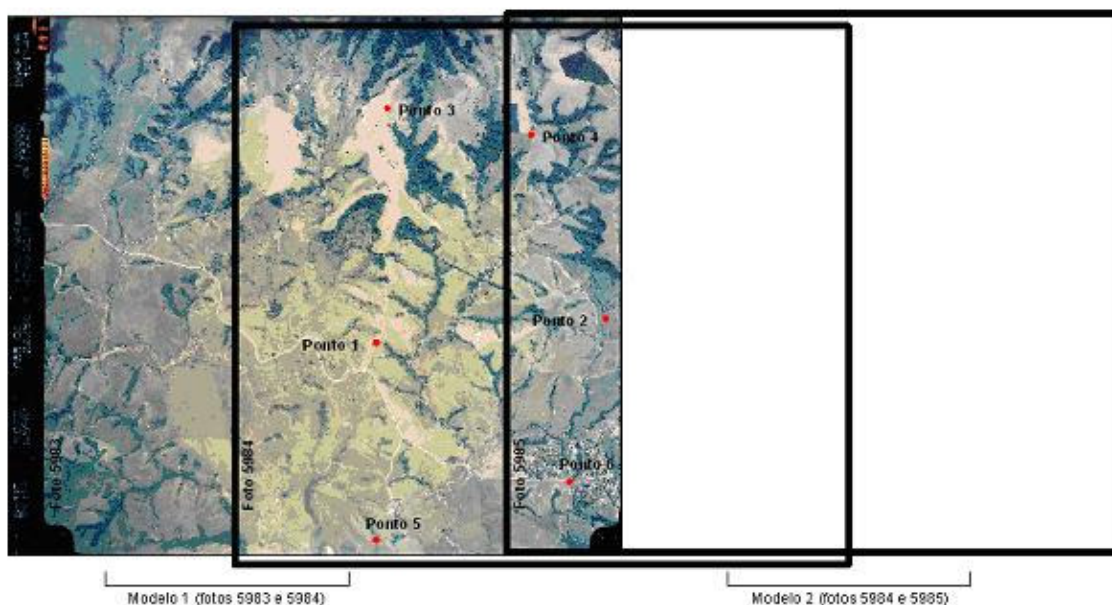


Figura 3-3: Exemplo de pontos de controle usados no Apoio de Campo

Fonte: BASE S.A, 2006.

A partir deste momento, todas as etapas são executadas exclusivamente sobre a estação fotogramétrica, que é composta de um computador *desktop*, o *software* fotogramétrico DVP e um estereoscópio de espelhos para monitor⁴. A figura 3-4 mostra a estação fotogramétrica utilizada:

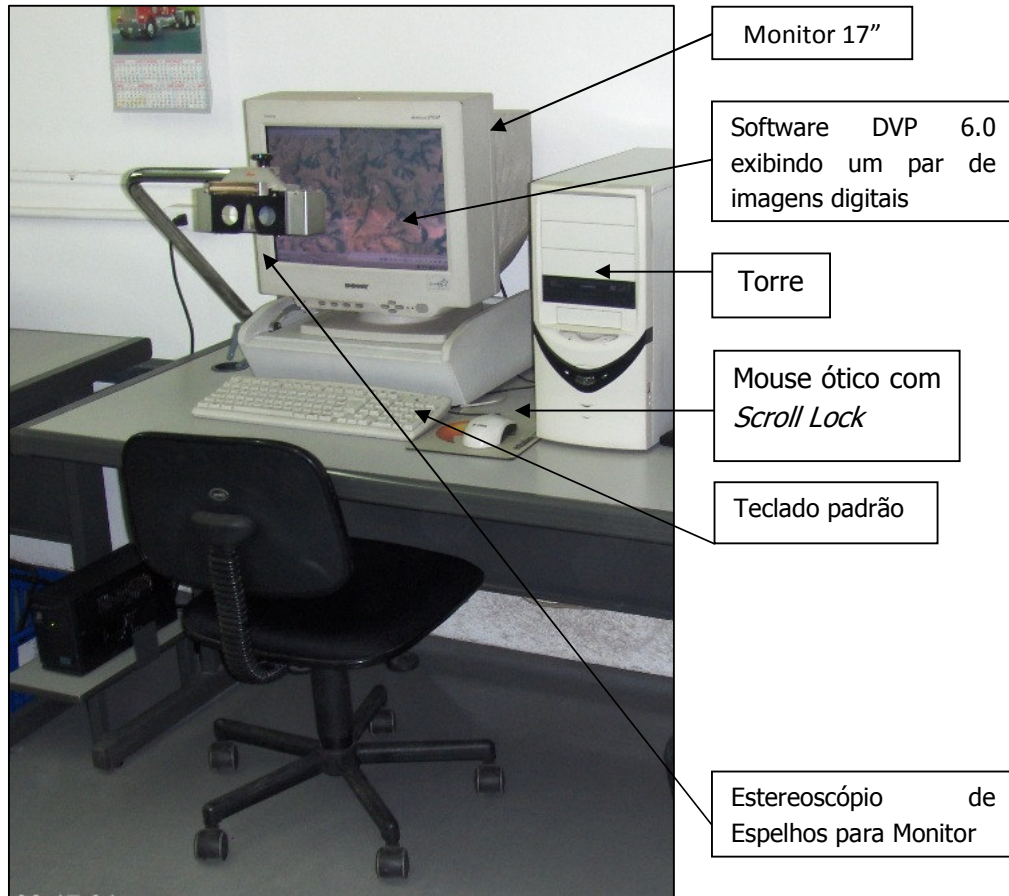


Figura 3-4: Estação fotogramétrica onde foi realizada a restituição estereofotogramétrica digital.

- O segundo passo é a chamada orientação, cujo objetivo é o de simular a posição da câmera no momento de cada exposição. Ela é dividida em 2 etapas:

⁴ Este equipamento foi gentilmente emprestado pelo LASERE – Laboratório de Sensoriamento Remoto do DG – FFLCH – USP.

a) **Orientação Interior:** é a reconstituição da posição da fotografia em relação ao centro perspectivo que é definido pela lente, conforme Garcia e Marchetti (1977), Paredes (1987), Tavares e Fagundes (1991) apud Queiroz Filho (1993). Esta foi executada através da introdução das seguintes informações na estação fotogramétrica: especificações da focal da câmera de vôo, coordenadas do ponto central da câmera e das marcas fiduciais e parâmetros de distorção da lente.

b) **Orientação Exterior:** é dividida em 2 partes: Relativa e Absoluta (GARCIA; MARCHETTI, 1977, PAREDES, 1987, TAVARES; FAGUNDES, 1991, apud QUEIROZ FILHO, 1993). A orientação Relativa tem o objetivo de orientar as fotos umas em relação às outras, enquanto que a Absoluta orienta as fotografias em relação ao terreno. A primeira é realizada localizando, na estação fotogramétrica, pontos comuns entre as fotografias (pontos de Gruber) a fim de posicioná-las no *software* de forma que possibilite a visão estereoscópica. A última é feita através da identificação nas imagens digitais dos pontos de controle selecionados no Apoio de Campo e a inserção dos respectivos valores das coordenadas. A figura 3-5 mostra um exemplo de como é feita a identificação dos pontos de controle nas fotos e a inserção dos seus dados no *software*.

- O último passo é a aerotriangulação. Esta é definida como “um método para estabelecer o controle planimétrico e altimétrico do modelo, através das relações geométricas entre fotografias aéreas” (PAREDES, 1987, p. 379). Antes da chegada da fotogrametria digital, ela era executada com base em procedimentos analíticos e equipamentos que despendiam grandes quantidades de recursos, dificultando a execução por usuários comuns, como estudantes universitários. Com a introdução da Aerotriangulação digital, houve uma redução de tempo e custos, grande parte

dos processos foi automatizada, diminuiu-se a possibilidade de erros acima dos limites permissíveis e a necessidade de um número grande de pontos de controle (SATO, 2003).



Figura 3-5: Esquema de identificação dos pontos de controle nas fotos e inserção das coordenadas X, Y e Z.

Fonte: Adaptado de DVP.

A aerotriangulação foi executada a partir das informações provenientes das orientações interior e exterior e dados provenientes do Apoio de Campo. Estes foram lidos e processados no módulo de aerotriangulação do DVP. A partir desses pontos, o *software* construiu uma série de triângulos, por meio dos quais são criados automaticamente inúmeros pontos suplementares, também conhecidos como pontos fotogramétricos.

Finalizada a aerotriangulação, é possível executar a restituição no software sem a preocupação com o erro geométrico próprio das fotografias aéreas. Cada tema restituído constitui um *layer* (tema ou nível de informação), que pode ser exportado em formato DXF para ser editado, manipulado e corrigido em outros softwares, como o AutoDesk Map 2004 e Ersi Arc GIS 8.3, utilizados nesta pesquisa.

A Ortofoto Digital

Para se ter um retrato da paisagem sem os problemas geométricos da fotografia aérea, são elaborados, a partir desta, subprodutos que reúnem a riqueza de informações de uma fotografia aérea vertical com a precisão de uma carta base, embora perca-se o recurso da estereoscopia. Eles são chamados de Ortofotos e podem ser construídos a partir de, ao menos, um par estereofotogramétrico.

Anteriormente à utilização de computadores na aerofotogrametria, as ortofotos, também chamadas de mosaicos controlados, eram elaboradas a partir de fotografias retificadas, pontos de controle e triangulação radial (GARCIA; MARCHETTI, 1977). Atualmente, a elaboração de ortofotos é feita com a ajuda de computadores, a partir dos mesmos princípios já consagrados, onde são usados pontos de controle do terreno que serão a base da aerotriangulação, geração do MDT – Modelo Digital de Terreno e retificação do mosaico de fotografias aéreas.

A elaboração de uma ortofoto digital é um processo minucioso e se inicia na escolha dos produtos a serem utilizados na sua confecção. Para a elaboração da ortofoto na escala 1:15.000, produzida neste trabalho, foram adquiridas fotografias aéreas coloridas na escala 1:30.000 (já descritas anteriormente), atendendo à

recomendação de Welch e Jordan (1996a), que afirmam não ser aconselhável uma diferença superior a 10x entre a escala da foto e a da ortofoto.

Concluída a aerotriangulação, os dados para a equivalência geométrica das fotografias aéreas já estão produzidos. Apesar disso, para a elaboração da ortofoto, é necessária, ainda, a elaboração de um MDT – Modelo Digital de Terreno, assim definido por Álvarez (2001, pp 173): “Um modelo digital de terreno constitui uma representação numérica de dados que representa a distribuição espacial de uma variável quantitativa e contínua”.

O MDT é uma representação da superfície do terreno, tendo como base as imagens digitais e as coordenadas X, Y e Z obtidas por meio dos pontos de apoio e suplementares oriundos das etapas anteriores. A partir da estação fotogramétrica, ele pode ser gerado de forma manual ou automática. O primeiro é feito através do reconhecimento, por parte do próprio operador, de pontos do terreno que sejam confiáveis e representativos do relevo da área estudada. Esses pontos precisam ser bem distribuídos espacialmente, embora recomenda-se que a densidade dos mesmos seja maior em locais em que a rugosidade do relevo é mais elevada, como em zonas escarpadas. A outra forma de elaboração do MDT é por um método automatizado, no qual o software cria uma rede de pontos que serão a base para o modelo. Apesar de este último processo ser mais rápido, o método manual é mais preciso, considerando que cada ponto pode ser escolhido cuidadosamente pelo operador. O processo automático requer uma revisão do produto, pois muitos dos pontos escolhidos podem estar em locais impróprios, como árvores e edifícios. Nesse sentido, Alvarez (2001, p.173) afirma:

Se o terreno está coberto por vegetação ou edifícios, estes produzem importantes problemas na geração de um MDE a partir de fotogramas aéreos já que existem partes do terreno que não são visíveis e, portanto, não se podem medir de uma forma direta. (...) quando se detecta uma importante mudança de cota se considerará como um ponto anômalo e será eliminado do modelo.⁵

Seguindo essas orientações, o MDT foi feito de forma manual a fim de garantir a sua confiabilidade.

A junção de uma seqüência de fotografias ou imagens digitais forma um mosaico, mas este ainda tem a geometria muito comprometida. Para resolver esse problema, foi feito um processo de retificação das fotos, por meio do qual foram corrigidos os erros provenientes das irregularidades do relevo e movimentos não previstos da aeronave (*tilt*) que fez o aerolevanteamento. O processo de retificação é basicamente uma fusão entre os dados da aerotriangulação e orientações, imagens digitais e o MDT.

A retificação das imagens digitais foi feita individualmente em cada um dos modelos na estação fotogramétrica. Posteriormente, no próprio software essas imagens foram unidas formando um grande mosaico que contempla toda a área de estudo.

As etapas percorridas e os produtos obtidos por meio da fotogrametria digital neste trabalho estão sintetizadas na figura 3-6.

⁵ Original em Espanhol: Si el terreno está cubierto por vegetación o edificios, estos producen importantes problemas en la generación de un MDE a partir de fotogramas aéreos ya que existen partes del terreno que no son visibles y, por tanto, no se pueden medir de una forma directa. (...) cuando se detecta un importante cambio de cota se considerará como un punto anómalo y será eliminado del modelo.

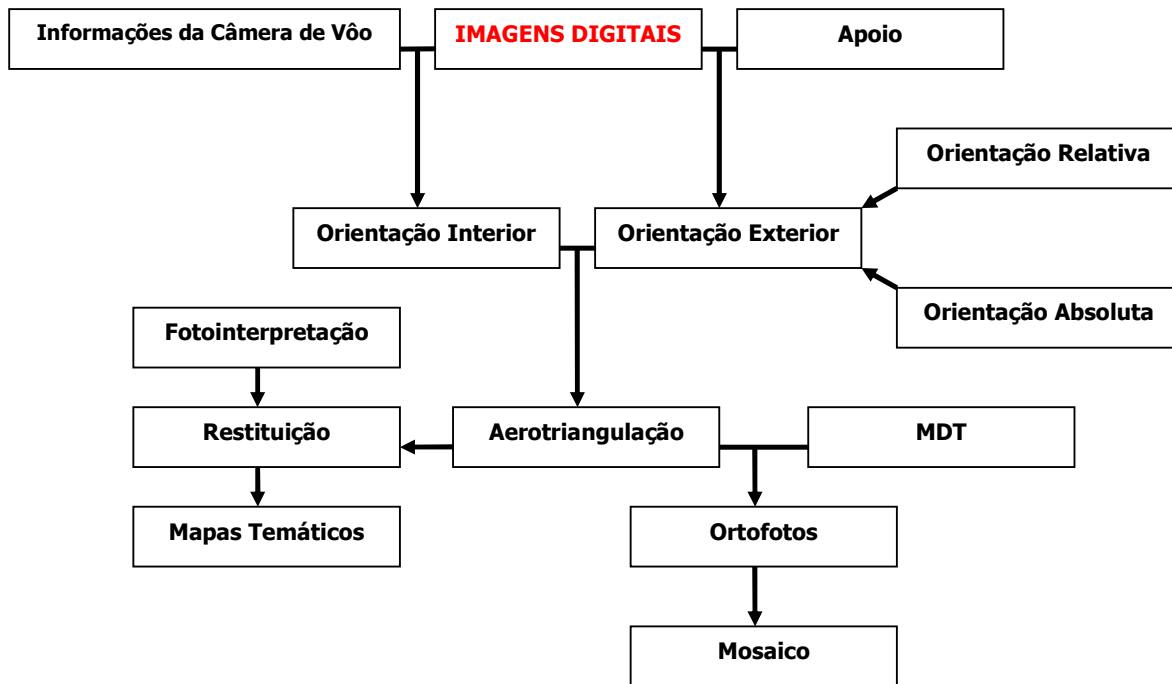


Figura 3-6: Etapas percorridas e produtos obtidos por restituição digital.

3.2.1.3.1 - Produtos Obtidos por Restituição Digital

Através da restituição digital, foram elaborados os mapas de erosão de 1962 e 2009, além do produto que representa a dinâmica erosiva do período. Para que fosse possível realizar um cruzamento entre as feições erosivas mapeadas e as características da paisagem mais diretamente ligadas à erosão, foram produzidos também os mapas morfológico, solos, uso da terra de 1962 e 2009 e dinâmica do uso da terra (1962 a 2009). Esses produtos foram elaborados com base na restituição e em informações suplementares acerca dos solos, relevo, embasamento rochoso e uso da terra. Os detalhes sobre a produção dos mapas são a seguir.

Mapa Morfológico do Córrego Querosene (Mapa 4-3)

O mapa morfológico do córrego do Querosene (mapa 4-3), escala 1:15.000, foi elaborado por fotointerpretação e restituição aerofotogramétrica digital. Da mesma forma que no mapa morfológico elaborado para a bacia do Alto Araquá, a restituição feita para a bacia do córrego do Querosene teve cunho morfográfico, com maior detalhamento e precisão, fruto da escala adotada e do uso da ferramenta digital. A legenda adotada para representar as formas do relevo da bacia do Querosene foi a mesma utilizada para o Alto Araquá (quadro 3-1), exceção feita apenas às formas erosivas, que não foram representadas no mapa morfológico de detalhe porque optou-se por trabalhar com essas feições numa prancha separada de todos os outros temas.

Mapas de Focos de Erosão do Córrego do Querosene – 1962 e 2009 (Mapas 4-10, 4-11 e 4-12)

O mapa de erosão da bacia do Córrego do Querosene foi feito inicialmente apenas sobre as fotos de 2006⁶, as quais tendo passado por uma série de etapas de correção geométrica, relatadas no item 3.2.1.3, tem problemas de distorção reduzidos. Para registrar a transformação temporal das formas erosivas, tomou-se como parâmetro para restituição, aerofotos de 1962 (1º levantamento aerofotogramétrico da região) e aquele de 2006, com atualização de campo em 2009. Assim, foi possível verificar a evolução das formas erosivas ao longo dos 47 anos que separam os dois momentos. Como as fotografias aéreas de 1962 estavam impressas em papel e não se dispunha das informações técnicas sobre a câmera de

⁶ Como foram utilizadas informações de campo também, considera-se que o mapa representa as formas erosivas de 2009, embora as fotos utilizadas sejam de 2006.

vôo utilizada, informação imprescindível para que fosse feito todo o processo de correção geométrica do material, elas foram escaneadas em um *scanner desktop* na resolução de 1200 dpi e georeferenciadas no *software Arc GIS 8.3*, com base na restituição feita sobre as fotos mais recentes, ainda que o nível de precisão atingido no processo utilizado para as fotos de 1962 seja menor.






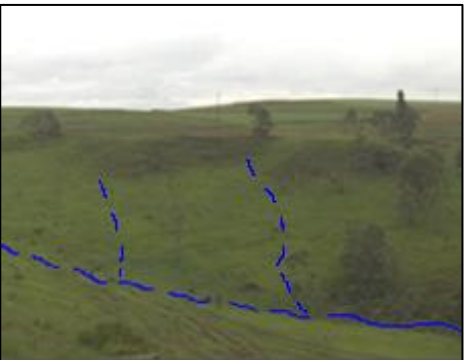
Os mapas de erosão dos dois períodos foram elaborados na escala 1:15.000 e, para facilitar a comparação da magnitude e frequência das formas erosivas lineares, foi feito, na mesma escala, um mapa de evolução das formas erosivas (mapa 4-12), sobrepondo por transparência as informações de 1962 e 2009. A partir dele foi possível identificar o surgimento de novas feições erosivas ao longo dos anos e a manutenção ou ampliação das já existentes.

A cartografia de detalhe das formas erosivas feitas nesses mapas (mapas 4-10, 4-11 e 4-12) seguiu a proposta apresentada por Modenesi e Jordão (1992) no trabalho de representação das formas erosivas lineares e processos de vertente associados na carta de erosão de Caçapava, escala 1:10.000. A nomenclatura de alguns temas restituídos na escala média foi mantida na escala de detalhe, porém os símbolos foram modificados, para que pudessem representar com exatidão o limite da feição mapeada, informando sua dimensão real.


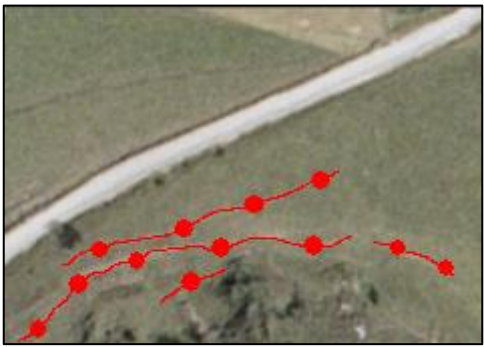




A legenda adotada para a representação das formas erosivas está exposta no quadro 3-2, a seguir:




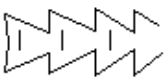



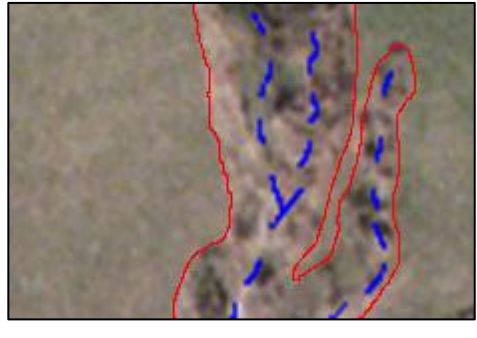


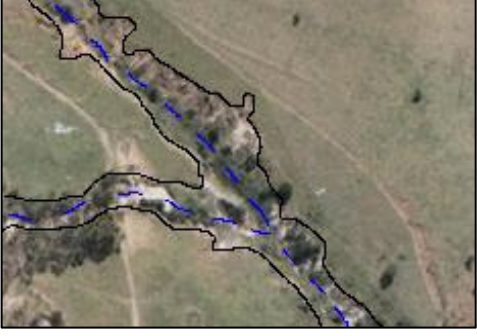




Quadro 3-2: Legenda proposta para a restituição das formas erosivas e deposicionais da bacia do Córrego do Querosene.






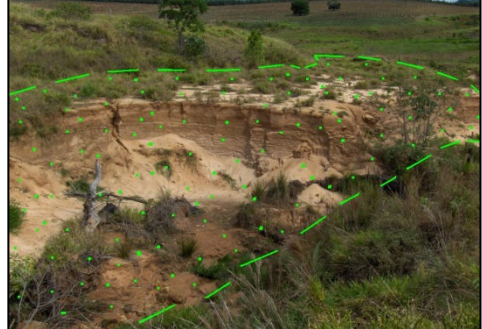

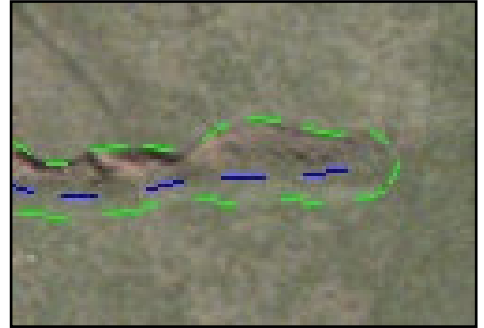
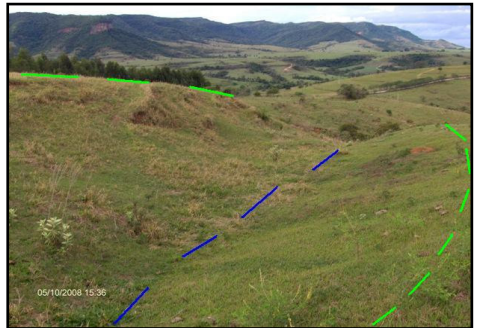
HIDROGRAFIA

REPRESENTAÇÃO	NOMENCLATURA	IMAGEM VERTICAL	IMAGEM OBLÍQUA	DESCRIÇÃO
	Curso d'água perene			Corresponde aos eixos de vales com dissecação vertical nítida acompanhado por vegetação ciliar e planícies fluviais. São canais com escoamento durante todos os períodos do ano, alimentados por nascentes perenes.
	Curso d'água temporário			É constituído por canais pluviais funcionais apenas durante as épocas mais chuvosas. Corresponde também às cabeceiras, de drenagem na retaguarda dos nichos de nascente e eixos de vale em berço.

FORMAS EROSIVAS

REPRESENTAÇÃO	NOMENCLATURA	IMAGEM VERTICAL	IMAGEM OBLÍQUA	DESCRIÇÃO
	Trilha de Pisoteio			Trilhas e caminhos feitos pelo gado sobre a superfície do solo. Essas linhas podem ser aprofundadas pela ação do escoamento concentrado da água e dar origem a feições erosivas mais evoluídas, como ravinas e voçorocas.
	Erosão em Filetes e Interfiletes			São canais rasos e alongados, originados do escoamento superficial concentrado, que se instalam sobre a superfície do solo. Podem ou não estar associados aos sulcos ligados ao escoamento difuso.

	<p>Ravina Não Vegetada</p>			<p>São canais alongados, com profundidade maior que a dos sulcos e podem ou não estar conectados ao sistema fluvial. A profundidade atinge até alguns metros, entretanto não chega a alcançar o lençol freático.</p>
	<p>Ravina Vegetada</p>			<p>Ravina com presença de vegetação nas paredes ou no assoalho da feição erosiva.</p>
	<p>Voçoroca Não Vegetada</p>			<p>Feição erosiva linear com ramificações, grande profundidade, afloramento do lençol freático e conectada à rede de drenagem. Atinge grandes áreas, podendo representar coalescências de ravinas e abatimentos no terreno.</p>
	<p>Voçoroca Vegetada</p>			<p>Voçoroca com o surgimento de vegetação nas paredes e/ou assoalho do canal.</p>
	<p>Terracetes</p>			<p>Pequenos degraus que mobilizam principalmente os horizontes superficiais do solo em áreas de pastagens e zonas de cabeceira com declividade elevada.</p>

	<p>Movimentos de Massa</p>			<p>Corresponde às cicatrizes deixadas por movimentos de massa que ocorrem predominantemente em áreas escarpadas. São escorregamentos, deslizamentos, queda de blocos, corridas de terra e lama.</p>
	<p>Sedimentação Acelerada</p>			<p>Corresponde aos locais onde há a deposição significativa e rápida de sedimentos carregados por canais fluviais perenes e efêmeros.</p>
	<p>Concavidades e/ou Abatimentos do Terreno</p>			<p>Formas lineares, alongadas, côncavas, muitos suaves, conectadas ou não às cabeceiras das voçorocas que aparecem, sobretudo nas vertentes, próximo aos topos.</p>

OBSERVAÇÃO: No mapa de dinâmica de erosão, as cores utilizadas nos símbolos não são as mesmas expostas neste quadro. Os símbolos de cor vermelha são referentes ao ano de 1962, enquanto que os de cor preta representam o ano de 2009. Isso foi feito para que fosse facilitada a comparação entre as feições erosivas existentes nos dois períodos.

Mapa Pedológico do Córrego do Querosene (Mapa 4-6)

O mapa de solos do córrego do Querosene, escala 1:15.000, foi feito com base na leitura das informações restituídas no mapa morfológico de detalhe da sub-bacia, nos mapas de feições erosivas, nos levantamentos de solo existentes (OLIVEIRA; PRADO, 1989) e na carta morfopedológica elaborada para o Araquá, além de uma série de levantamentos de campo realizados.

Além do mapa de solos (mapa 4-6) seguindo a classificação da EMBRAPA – Empresa Brasileira de Agropecuária (1999), foi produzido também, na mesma escala, um mapa de atributos morfológicos dos solos (mapa 4-5). As características morfológicas selecionadas foram aquelas que influenciam no comportamento hídrico, criando suscetibilidades distintas aos processos erosivos, tais como a textura, estrutura, profundidade, transição e diferenciação entre horizontes.

Nos trabalhos de campo foram realizadas descrições em corte de estrada, paredes de voçorocas e sondagens feitas com trado. Priorizou-se a execução de transectos que fossem do topo dos morros até o fundo do vale, a fim de identificar e relacionar o tipo de cobertura pedológica com as formas e mudanças no relevo. Mais do que tentar enquadrar os solos descritos no sistema de classificação, foi dada atenção especial às características morfológicas que mais influenciam na atuação dos processos erosivos. Para representar a variabilidade da cobertura pedológica em relação à topografia, foram elaborados também perfis topográficos em que estão representados os solos.

Mapa de Uso da Terra do Córrego do Querosene – 1962 e 2009 (Mapas 4-7, 4-8 e 4-9)

Considerando a estreita relação existente entre o uso da terra, as formas de manejo e o desencadeamento ou potencialização dos processos erosivos, foi feito um levantamento do uso da terra e das práticas conservacionistas de manejo do solo. As formas erosivas atuais não necessariamente estão associadas ao uso da terra e às práticas conservacionistas atualmente utilizadas, sendo assim, o mapeamento contemplou 2 períodos diferentes: 1962 e 2009.

O mapeamento referente ao ano de 1962 foi feito sobre a fotografia aérea desse período, a qual foi georeferenciada no SIG Arc GIS 8.3 e teve o limite dos polígonos que registraram os diferentes usos feitos no software AutoCAD Map 2004. A fotointerpretação dos usos foi auxiliada pela observação em estereoscopia das fotografias aéreas impressas, por meio do estereoscópio de bolso. O mapa de 2009 foi feito no Auto CAD Map 2004 sobre a ortofoto de 2006. Como a ortofoto retratava os usos de 2006, foi feita uma atualização das informações para 2009 com base nos trabalhos de campo.

Com o objetivo de ilustrar a dinâmica do uso da terra e das práticas conservacionistas entre os dois períodos, foi elaborado um mapa síntese (mapa 4-9) com a evolução do uso da terra da bacia do Córrego do Querosene, inspirado na proposta de Journaux (1976). Tanto os mapas de uso da terra de 1962 e 2009 como o que representa as alterações do período foram elaborados na escala: 1:15.000.

A classificação dos tipos de uso da terra identificados na área não seguiu de forma rígida as nomenclaturas e detalhes exigidos num mapeamento de vegetação.

Privilegiou-se a adoção de nomenclaturas que demonstrassem sobretudo o porte da vegetação e a posição no relevo em que elas se desenvolvem preferencialmente. A nomenclatura "Mata Galeria", por exemplo, não permite identificar o bioma a que essa vegetação pertence, tampouco o seu estágio fitofisionômico, porém permite inferir que é uma formação vegetal de porte principalmente arbóreo e que está presente próxima às cabeceiras de drenagem e ao longo dos fluviais.

Os principais tipos de uso da terra identificados e representados na legenda dos mapas são os seguintes:

- Mata: Vegetação secundária de porte arbóreo que predomina na zona escarpada e em fragmentos isolados;
- Mata Galeria: Vegetação secundária de porte arbóreo e arbustivo que predomina nas cabeceiras de drenagem, anfiteatros e ao longo de canais de drenagem.
- Capoeira: Vegetação secundária de porte herbáceo e arbustivo, com alguns indivíduos arbóreos, presentes em zonas desmatadas abandonadas nos topos de colinas e no sopé da escarpa.
- Vegetação Ciliar e Higrófila: A primeira é de porte variado (herbáceo, arbustivo e arbóreo) que ocorre ao longo dos canais de drenagem. A última é uma vegetação herbácea que ocorre nas calhas de drenagem e em bancos de areia situados no canal ou nas suas margens.
- Vegetação Paludal: vegetação de porte herbáceo e arbustivo que ocorre em zonas deprimidas em que a drenagem é deficiente, como em brejos.
- Pasto Sujo: Pastagem plantada e abandonada onde embora ainda predomine a vegetação herbácea, já apresenta o desenvolvimento de arbustos.

- Pastagem Plantada: vegetação herbácea plantada que serve de suporte à atividade pastoril extensiva.

- Eucalipto: monocultura intensiva que se apresenta em estágios diversos, como muda, rebrota (no caso de indivíduos que foram cortados mas os tocos permaneceram no terreno) e indivíduos adultos.

- Solo Exposto: zonas sem cobertura vegetal.

- Estradas: sistema viário sem pavimentação, mas que permite a circulação de pessoas, animais, carroças e veículos.

- Trilhas e Caminhos: rede viária secundária, sem pavimentação, estreita e que permite a circulação apenas de pessoas e animais.

Embora Mata Ciliar, Mata Galeria e Vegetação Higrófila sejam formas de vegetação distintas, não foi possível individualizá-las em manchas separadas. Nesses casos, os usos foram agrupados.

Dentre as medidas conservacionistas, as identificadas através das fotografias aéreas são as seguintes:

- Cordões de Contorno: elevações lineares feitas nas vertentes de morros e colinas por meio do acúmulo de terra e restos vegetais. Esses cordões têm forma alongada, são implantados em nível e o seu objetivo é diminuir a velocidade do escoamento superficial da água.

- Cordões de Contenção: cordões alongados e curtos, feitos de terra e restos vegetais, situados em pontos da vertente que apresentam erosão acelerada. Embora seja uma medida conservacionista, ela se diferencia dos cordões de contorno por ter caráter corretivo, não preventivo.

Mapa de Suscetibilidade Erosiva da Bacia do Córrego do Querosene (Mapa 4-13)

O mapa de suscetibilidade erosiva do córrego do Querosene (mapa 4-13) foi feito a partir do diagnóstico das formas erosivas e processos de vertente identificados na área, além da análise estatística dessas ocorrências de acordo com as formas de relevo, materiais e uso da terra. Com base nessas informações foi definido não o grau de fragilidade do meio ambiente, mas determinou-se quais os tipos de erosão são mais comuns em cada uma das regiões da bacia. Isso permite que seja feito um novo planejamento das formas de ocupação da área, compatibilizando os usos à capacidade de suporte do ambiente.

A legenda adotada para o mapa de Suscetibilidade Erosiva Potencial foi a seguinte:

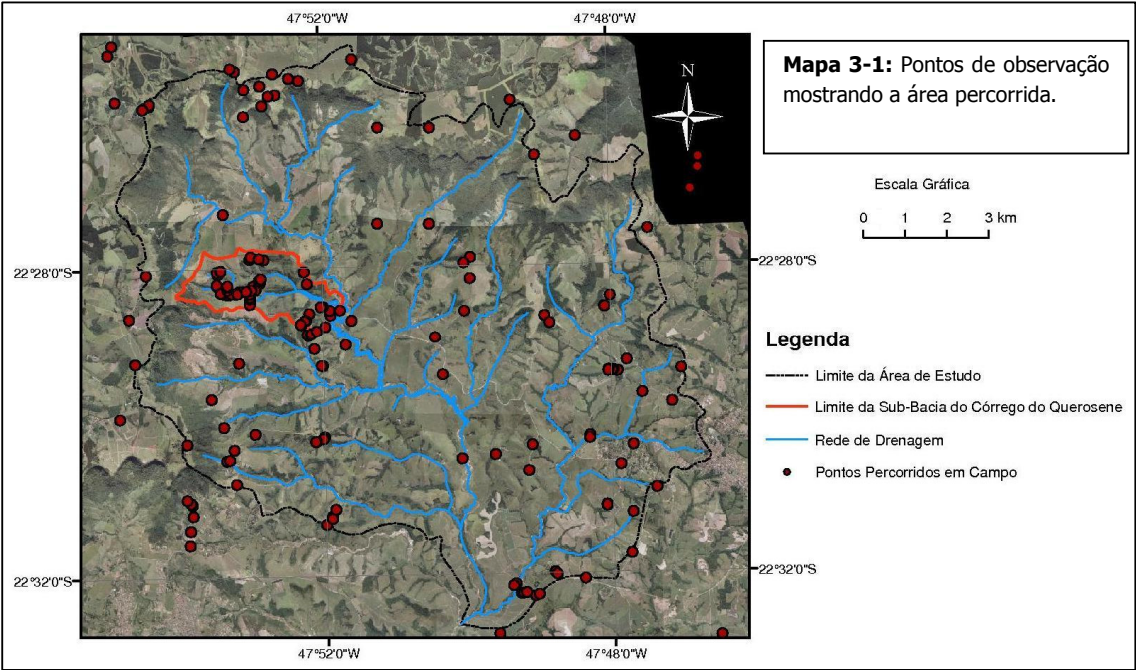
- Erosão por escoamento difuso;
- Erosão em forma de sulcos e por escoamento difuso;
- Ravinas e voçorocas;
- Movimentos de massa;
- Sedimentação acelerada;
- Degradação de cabeceiras e terço inferior das vertentes;

Cada classe corresponde a um tipo predominante de erosão no Querosene. Nas áreas de dimensões muito reduzidas onde ocorre sedimentação acelerada, foram colocados pontos na cor cinza simbolizando a presença dos depósitos.

3.2.2 – Trabalho de Campo

Os trabalhos de campo tiveram objetivos bastante variados, de acordo com as necessidades de cada etapa do trabalho. Os principais trabalhos de campo realizados e seus objetivos são os seguintes:

- O primeiro trabalho de campo foi orientado para o reconhecimento e fazer as primeiras observações acerca da suas características físicas e do uso da terra.
- O número 2 teve o objetivo específico de fazer uma checagem das informações que foram restituídas no alto Araquá e que compuseram a carta morfológica.
- O terceiro campo teve como meta a conferência das informações da carta morfopedológica e subsidiou a escolha da sub-bacia em que foram feitos os estudos de detalhe.
- Os trabalhos de número 4 e 5 foram executados dentro da sub-bacia do córrego Querosene. Eles tiveram o objetivo de, respectivamente, efetuar a conferência do inventário das formas erosivas lineares e dos solos, além de verificar o levantamento do uso da terra;
- O último trabalho de campo teve como meta a medição direta das principais dimensões de duas feições erosivas previamente selecionadas.



4 – RESULTADOS

4.1 – O MAPA MORFOPEDOLÓGICO DA ALTA BACIA DO RIBEIRÃO ARAQUÁ

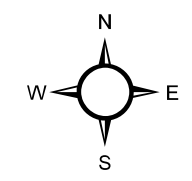
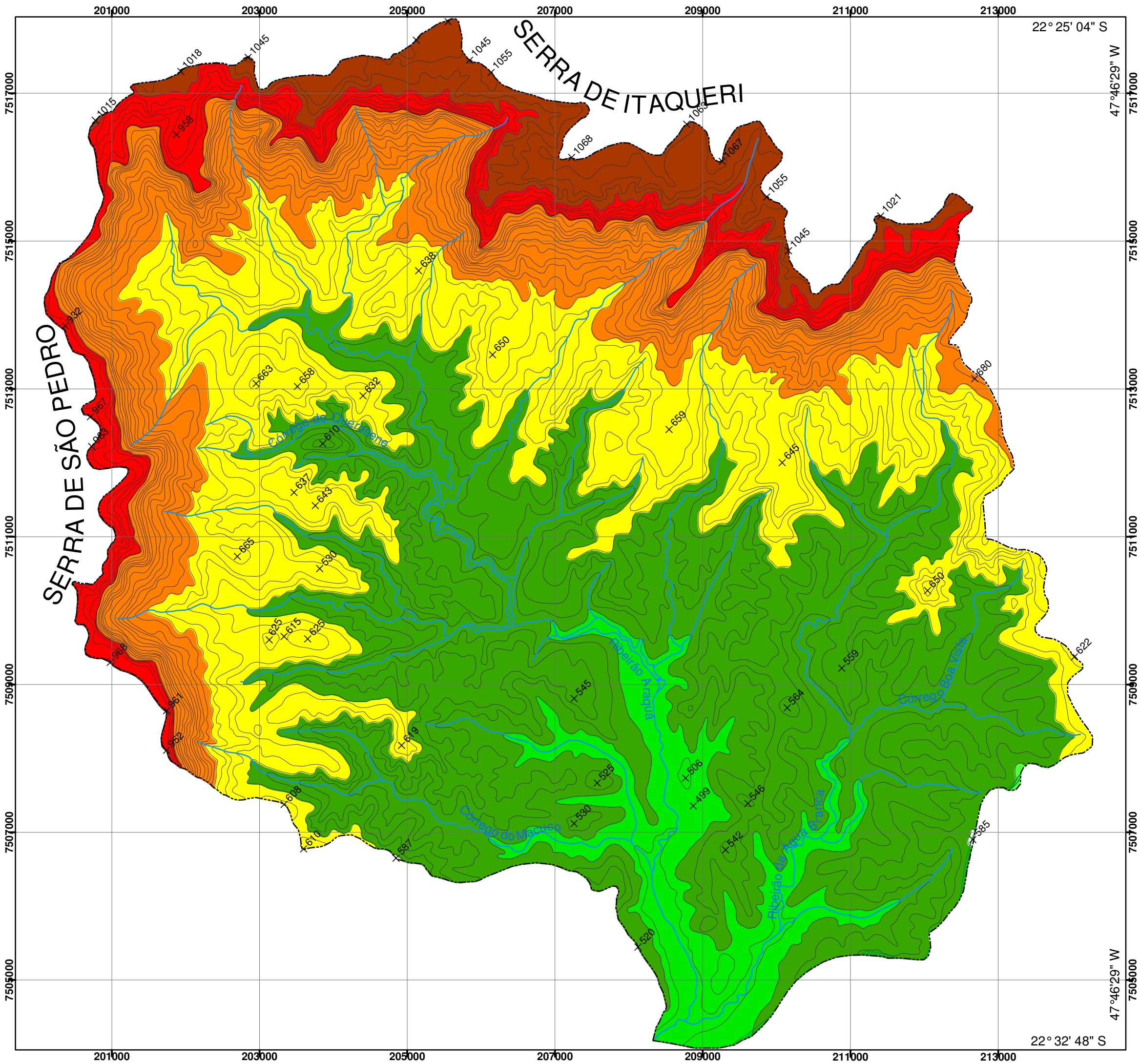
Seguindo a proposta da cartografia morfopedológica (TRICART; KILLIAN, 1979; CASTRO; SALOMÃO, 2000), o alto Araquá foi dividido em 15 áreas homogêneas que constituem unidades morfopedológicas distintas. Elas foram definidas principalmente a partir das características das litologias, da morfologia e dos solos, embora tenham sido consideradas também as formas erosivas, a rede de drenagem, a hipsometria, a clinografia e o uso da terra. A leitura dessas informações de forma separada, em pranchas, e, posteriormente, a sua avaliação conjunta possibilitou não apenas a delimitação dos compartimentos, mas também a compreensão de como cada variável se comporta individualmente e na interação com as demais. Foi possível, desta forma, estabelecer paralelo quantitativo através da leitura da frequência do elemento cartografado e os setores de ocorrência dentro da bacia, valorizando assim a distribuição espacial.

Os resultados da análise do Alto Araquá a partir da cartografia morfopedológica estão organizados da seguinte forma: a) Apresentação geral da macro-compartimentação do Alto Araquá; b) O mapa morfopedológico do Alto Araquá e sua legenda expandida; c) Descrição dos principais elementos da paisagem que caracterizam as unidades morfopedológicas individualizadas. Cada um desses tópicos será explorado em detalhes a seguir:

a) Macro compartimentação do Alto Araquá:

O Alto Araquá foi dividido em 5 grandes compartimentos geomorfológicos, com base na sua topografia lida através das cartas hipsométrica (carta 4-1) e clinográfica (carta 4-2) e do mapa morfológico (mapa 4-1). São eles: Reverso da Escarpa (900 a 1060 m), Escarpa (660 a 900 m), Sopé da Escarpa (580 a 660 m), Morros e Colinas (500 a 580 m) e Planícies Fluviais (480 a 500 m). Ressalta-se que as principais variáveis que compõem o mapa morfológico (mapa 4-1), foram separadas em pranchas (Anexos 2, 3, 4 e 5) para facilitar a leitura individual dos principais temas.

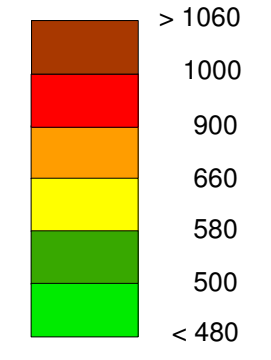
As cartas clinográfica e hipsométrica e o mapa morfológico estão expostos a seguir. Logo após serão apresentados os principais compartimentos geomorfológicos do Alto Araquá.



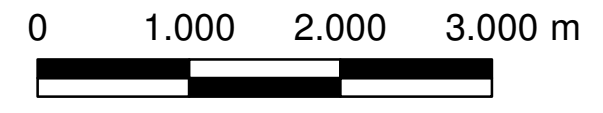
LEGENDA

- Curva de Nível
- × Ponto Cotado
- - - Limite da Área de Estudo
- Rede de Drenagem

Hipsometria (m)



Escala: 1:50.000

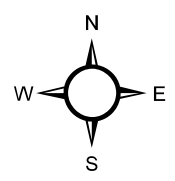
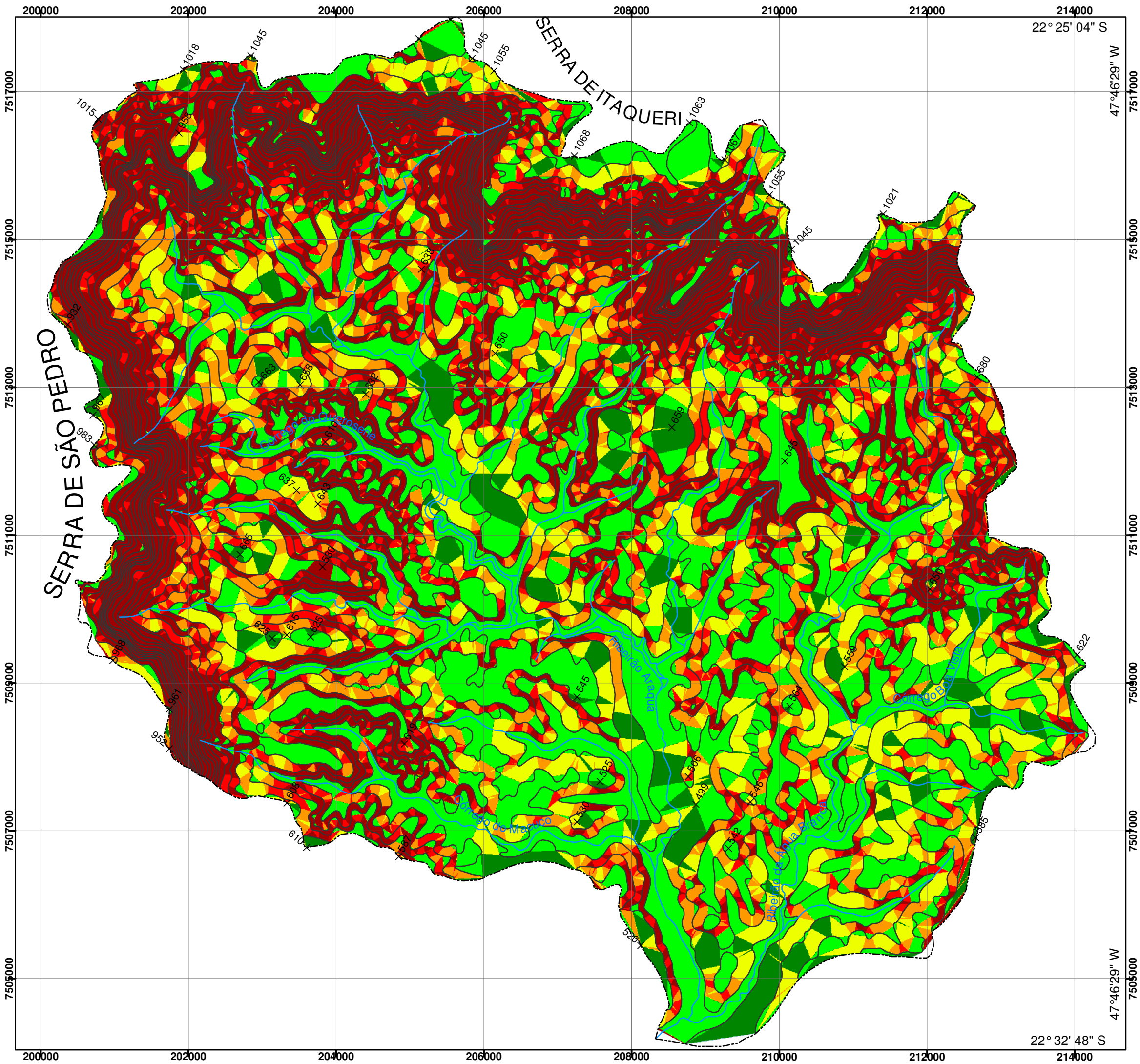


Projeção Universal Transversa de Mercator
 Datum Vertical: Marégrafo de Imbituba. SC.
 Datum Horizontal: SAD69.
 Fuso 23
 Equidistância das Curvas de Nível: 20 metros

CARTA 4-1

Carta Hipsométrica da Alta Bacia
 do Ribeirão Araquá.
 Municípios de São Pedro e Charqueada - SP.

Elaboração: Marcos Roberto Pinheiro. 2006
 Fonte: IBGE, 1969.



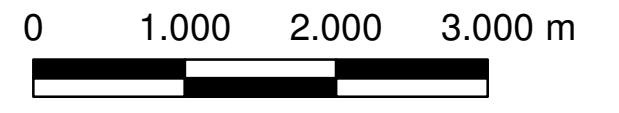
LEGENDA

- Curva de Nível
- × Ponto Cotado
- - - Limite da Área de Estudo
- Rede de Drenagem

Classes de Declividade

< 2,85°		< 5%
2,85 - 5,71°		5 - 10%
5,71 - 8,57°		10 - 15%
8,47 - 11,42°		15 - 20%
11,42 - 14,28°		20 - 25%
> 14,28°		> 25%

Escala: 1:50.000

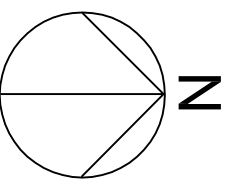
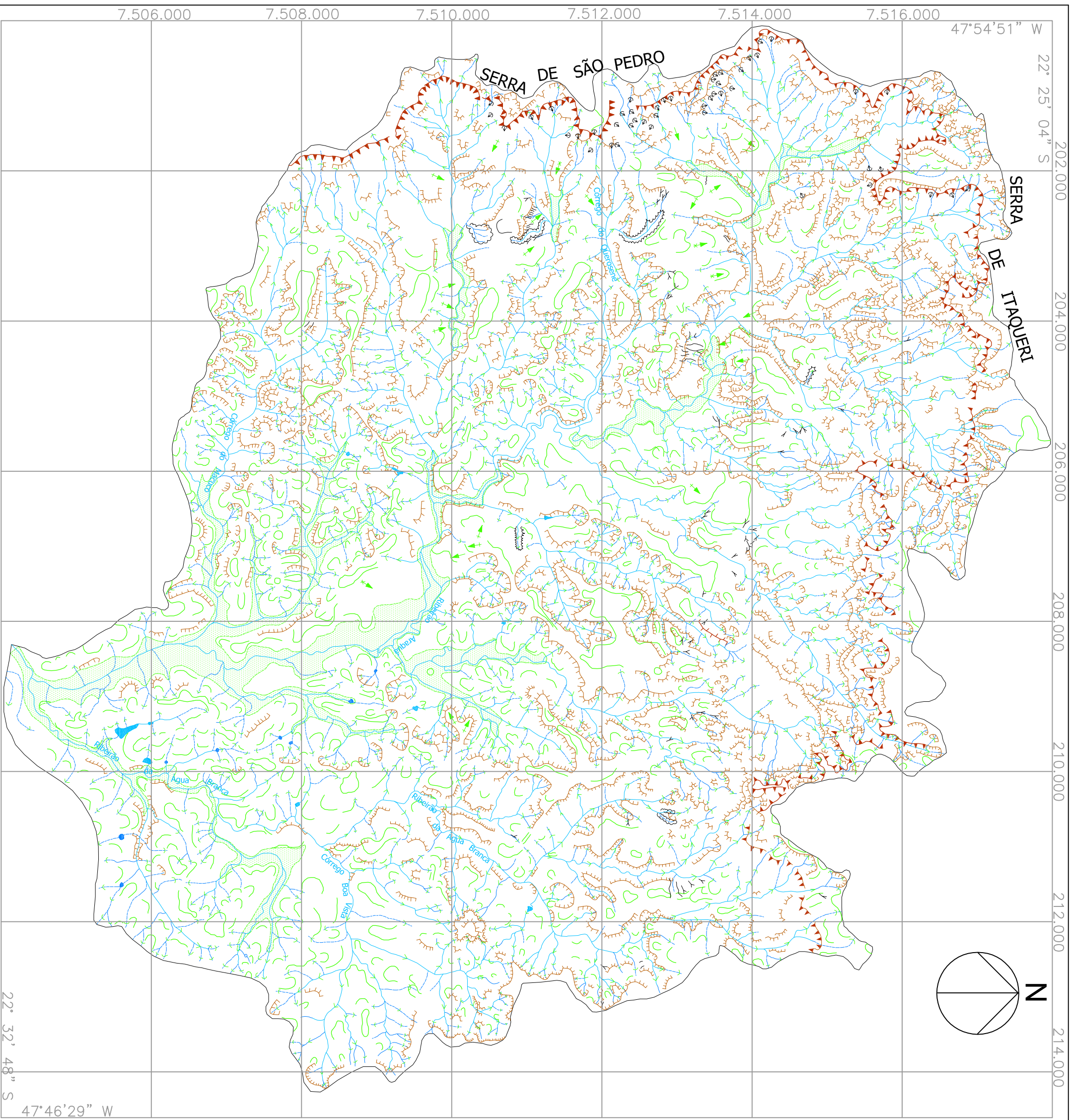


Projeção Universal Transversa de Mercator
 Datum Vertical: Marégrafo de Imbituba. SC.
 Datum Horizontal: SAD69.
 Fuso 23
 Equidistância das Curvas de Nível: 20 metros.

CARTA 4-2

Carta Clinográfica da Alta Bacia
 do Ribeirão Araquá.
 Municípios de São Pedro e Charqueada - SP.

Elaboração: Marcos Roberto Pinheiro. 2006
 Fonte: IBGE, 1969.



LEGENDA

REDE DE DRENAGEM

- Canais Intermitentes
- Canais Perenes
- Representamentos

FORMAS ESTRUTURAIS

- Cornijas
- Escarpa de Cuesta
- Interflúvio em Crista

FORMAS EROSIVAS

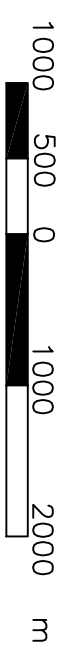
- Sulcos
- Ravinas
- Voçorocas Não Vegetadas
- Voçorocas Vegetadas
- Movimentos de Massa

FORMAS FLUVIAIS

- Ruptura Côncava
- Ruptura Convexa
- Unidade Côncava
- Unidade Convexa
- Unidade Retilínea
- Vale em Berço
- Vale em V
- Vale de Fundo Plano

Projeção Universal Transversa de Mercator
Datum Horizontal SAD69
Meridiano Central 45°. Fuso Central 23

Escala 1:50.000



MAPA 4-1

Mapa Morfológico da Alta Bacia do Ribeirão Araquá – São Pedro e Charqueada/SP

Fonte: BASE S.A. Levantamento Aerofotogramétrico. Escala 1:30.000. 2006. IBGE. Folhas Topográficas de São Pedro e Ibitiruna/SP. Escala 1:50.000.

Elaboração: Marcos Roberto Pinheiro. 2008.

O **Reverso da Escarpa**, na área estudada, corresponde à borda oriental do Planalto Ocidental e está representado pela porção mais elevada do relevo, acima do nível da cornija principal (foto 4-1). Morfologicamente, se diferencia daquilo que mais freqüentemente está descrito na literatura para esse compartimento: colinas amplas de topos convexos com baixa amplitude altimétrica e vertentes longas de baixa declividade. Na porção sudoeste, correspondente a um setor da Serra de São Pedro, dominam colinas baixas com declividades raramente superiores a 5%, cornijas pouco numerosas e restritas sobretudo às cabeceiras de drenagem, que são bastante numerosas. Na porção norte desta serra e por toda Serra de Itaqueri, as declividades são mais elevadas, predominando valores abaixo de 10%, exceto nas inúmeras cabeceiras de drenagem e zonas ricas em cornijas, onde os valores podem atingir até 25%. Estas marcam não apenas rupturas de declive nas vertentes como também pequenas escarpas e interflúvios muito estreitos (cristas). É importante ressaltar que essa porção da Serra de Itaqueri corresponde a uma zona de nascentes de bacias divergentes: a) as que drenam para a Depressão Periférica, como as do Ribeirão Araquá e do Rio Passa Cinco, que depois de percorrerem um pequeno trecho no planalto tem seu curso principal na Depressão; b) e aquelas que entalham o planalto para oeste, constituindo redes de drenagem desenvolvidas integralmente no Reverso. É o caso das cabeceiras do Rio Jacaré-Pepira e seu afluente Ribeirão do Pinheirinho.

A **Escarpa**, que também representa o **front do relevo de Cuesta**, marca o limite entre o Planalto Ocidental e a Depressão Periférica. Correspondendo à porção mais íngreme de toda a bacia. Estende-se da cornija principal, recortada em amplos anfiteatros até os depósitos situados na sua base (foto 4-1). Este compartimento

tem relevo bastante dissecado com esporões, interflúvios em crista e paredões rochosos. Nessas formas, as declividades são elevadas, maiores que 20%, e há um predomínio absoluto de formas decorrentes da ação estrutural, como cornijas, interflúvios em crista e a ruptura principal da cuesta. Esse fator estrutural é perceptível também na rede de drenagem, pois os canais são, em grande parte, retilíneos, paralelos e com baixo grau de confluência. Na escarpa da Serra de São Pedro, há uma incidência muito grande de movimentos de massa, ao contrário do que ocorre na zona escarpada da Serra de Itaqueri. Nesta, foram identificadas apenas algumas cicatrizes de escorregamento na região oeste, próxima à Serra de São Pedro.

A porção de articulação entre a escarpa e o **sopé** correspondente ao tálus. Apresenta-se como uma rampa, com declividades entre 5 e 15%. Os morrotes apresentam declividades que variam entre 15 e >25%, enquanto que as colinas tem topos bastante amplos marcados por rupturas convexas suaves e declives menores que 10%. Nos morrotes, as cornijas, embora numerosas, apresentam pequeno desnível e são descontínuas, ao contrário das situadas nas colinas amplas. Nestas, as cornijas são longas, o degrau tem maior amplitude e marcam o limite do topo dos interflúvios. A densidade de drenagem é baixa e os vales são em berço, sobretudo nas cabeceiras de drenagem. Nessas cabeceiras estão situadas parte das ravinas e voçorocas do Araquá.

O setor interior do grande anfiteatro que aloja as cabeceiras do Araquá, na grande estrutura da Depressão Periférica, apresenta relevo onde dominam amplos interflúvios, morrotes e colinas baixas. As declividades variam entre maiores que 15% nas vertentes das colinas de topos amplos ricas em cornijas, no **Sopé da**

Escarpa, a oeste, e menores que 10% nas planícies fluviais dos canais principais. A rede de drenagem tem densidade elevada, destacando-se os canais de primeira ordem nas cabeceiras. Os vales pouco marcados nas cabeceiras tornam-se incisos em "V" nos canais perenes e passam para planos aluviais amplos a jusante. O padrão de drenagem, dendrítico nas cabeceiras, passa para meândrico nas planícies fluviais dos ribeirões Araquá e Água Branca, onde são encontrados níveis de terraços e meandros abandonados.

A leste da área mapeada, entre o ribeirão Água Branca e o córrego Boa Vista se destaca a presença de um morro isolado nessa zona de colinas médias, tanto pela sua altimetria, 650 m, equivalentes ao topo dos interflúvios do pé da serra, como pela sua morfologia. Seu topo convexo é delimitado por cornijas, também freqüentes nas vertentes. Essa feição de relevo tão particular se destaca também como uma zona de nascentes que criam localmente padrão de drenagem radial.

O compartimento das **Planícies Fluviais** vai caracterizar o vale do Araquá desde o seu setor de montante, onde ocorre de forma mais descontínua. A partir da confluência com o córrego do Querosene, o plano aluvial se amplia para constituir uma planície fluvial meândrica com terraços bem marcados (foto 4-2) após o desaguar em um de seus principais afluentes, o ribeirão da Água Branca. Compreendem terrenos com declividades muito baixas, inferiores a 5%, densidade de drenagem baixa e padrão meândrico nos dois canais principais.

O mapa morfopedológico (mapa 4-2) e a sua legenda expandida (tabela 4-1), que compõe o **item (b)** deste capítulo, estão expostos adiante, depois das fotos 4-1 e 4-2.

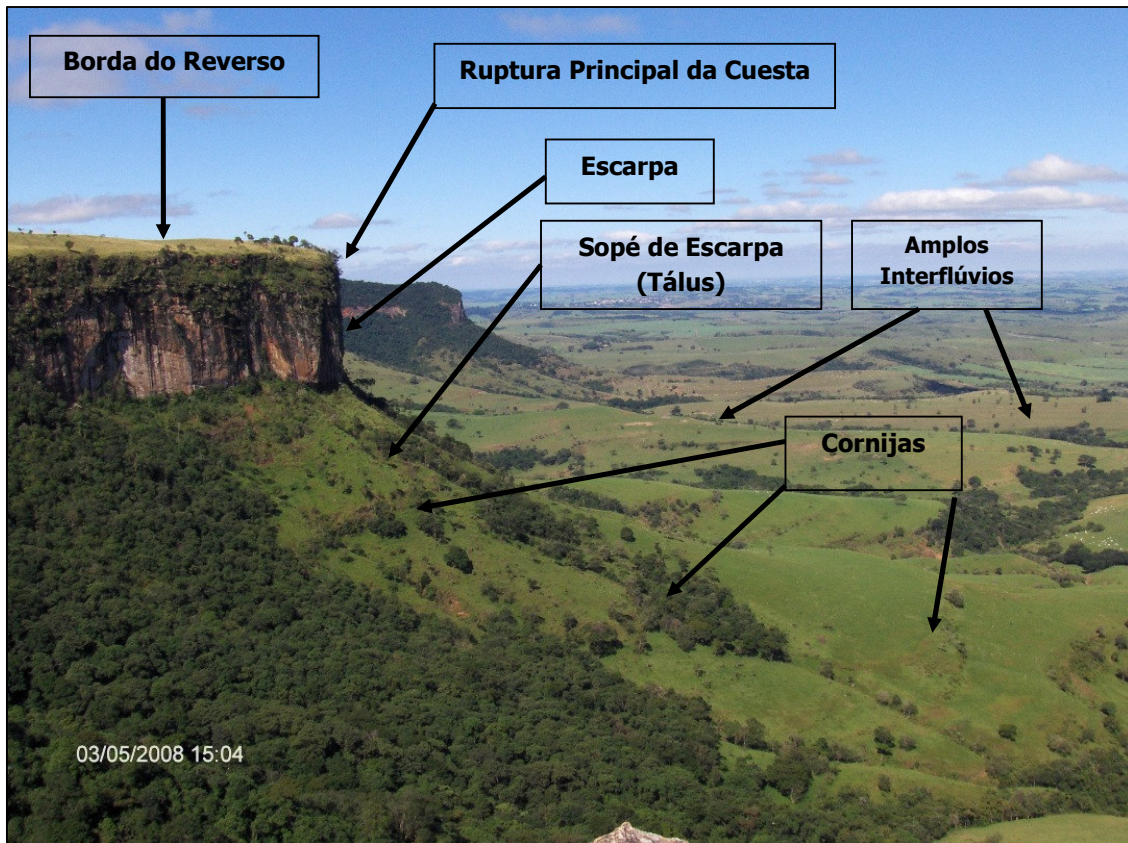


Foto 4-1: Esquema mostrando os principais elementos do relevo.

Localização: 203.209 W; 7.516.290 S.

Fonte: Marcos R. Pinheiro. Maio de 2008.

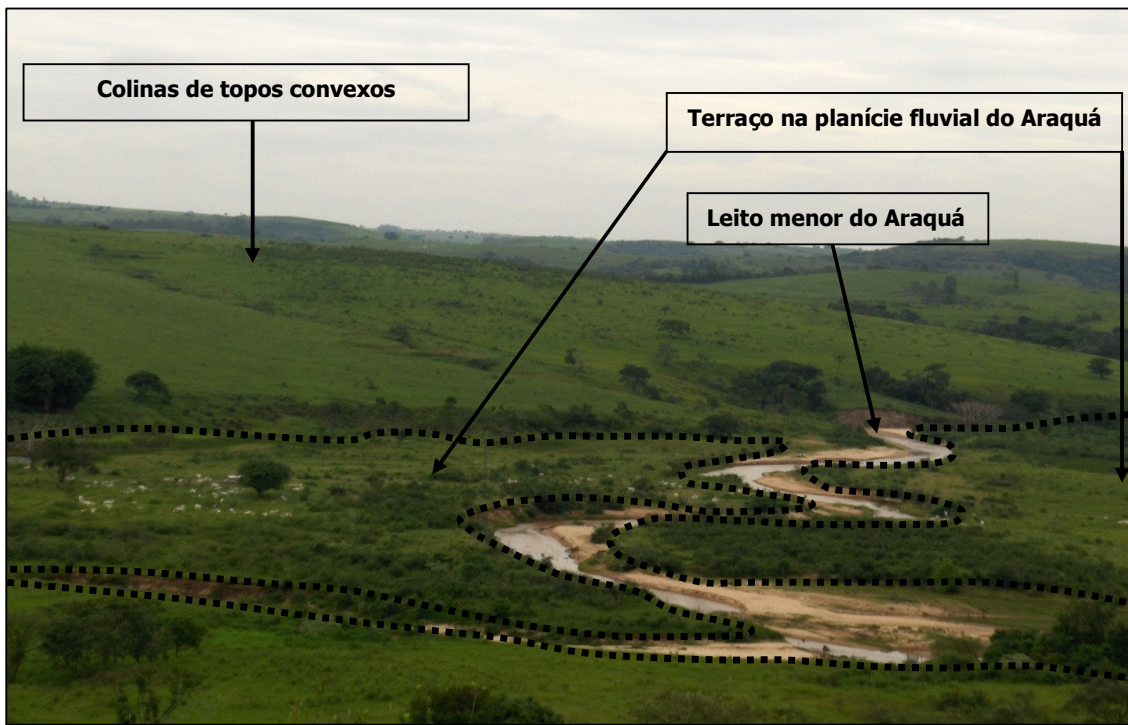
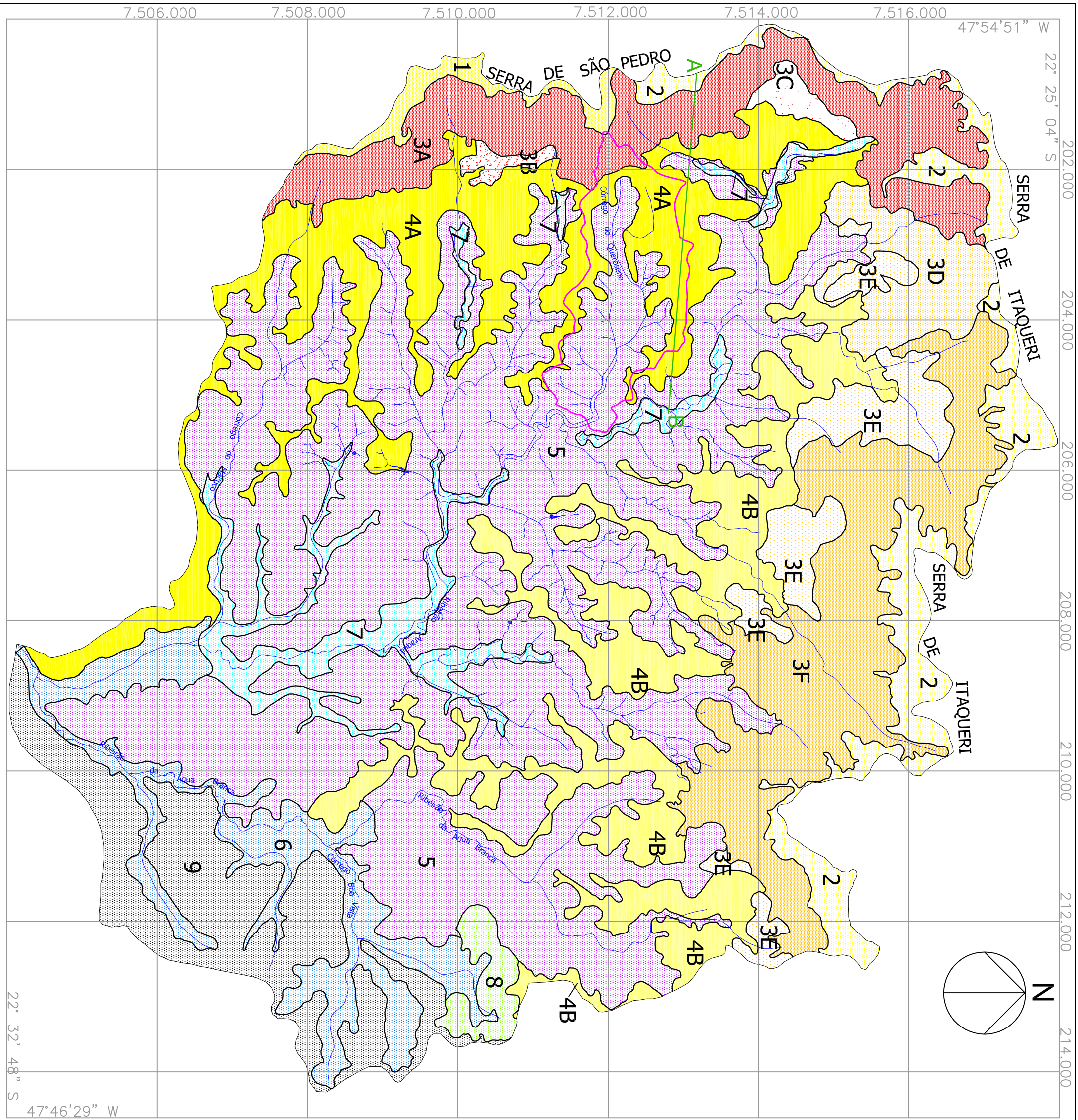


Foto 4-2: Exemplo das formas mais comuns nos compartimentos Planícies Fluviais e Morros e Colinas.

Localização: Médio curso do ribeirão Araquá.

Fonte: Marcos R. Pinheiro. Janeiro de 2008.



MAPA 4-2

LEGENDA	
	Unidade 1
	Unidade 2
	Unidade 3A
	Unidade 3B
	Unidade 3C
	Unidade 3D
	Unidade 3E
	Unidade 3F
	Unidade 4A
	Unidade 4B
	Unidade 5
	Unidade 6
	Unidade 7
	Unidade 8
	Unidade 9
	Rede de Drenagem
	Represamentos
	Limite das Unid. Morfopedológicas
	Localização do Perfil Topográfico
	Sub-Bacia do Corrego do Querosene
	REVERSO
	ESCARPA E SOPÉ
	AMPLAS INTERFLÚVIOS (SOPÉ DA ESCARPA)
	MORROS E COLINAS
	MORROS E COLINAS
	PLANÍCIES FLUVIAIS
	MORROS E COLINAS
	MORROS E COLINAS
	MORROS E COLINAS

Projeção Universal Transversa de Mercator
 Datum Horizontal SAD69
 Meridiano Central 45°. Fuso Central 23
 Escala 1:50.000

Mapa Morfopedológico da Alta Bacia do Ribeirão Araquá – São Pedro e Charqueada/SP

Fonte: BASE S.A. Levantamento Aerofotogramétrico. Escala 1:30.000. 2006. IBGE. Folhas Topográficas de São Pedro e Ibitiruna/SP. Escala 1:50.000.
 Elaboração: Marcos Roberto Pinheiro. 2008.

Quadro 4-1: Legenda Expandida do Mapa Morfopedológico da Alta Bacia do Ribeirão Araquá (Mapa 4-2).

COMPARTIMENTO GEOMORFOLÓGICO	UNIDADES	GEOLOGIA	RELEVO				COBERTURA PEDOLÓGICA		USO DA TERRA	TIPOS DE EROÇÃO
			Hipsometria	Declividades	Morfologia	Rede de Drenagem	Tipos de Solo	Morfologia		
REVERSO	1	Arenitos da Formação Botucatu, Arenitos silicificados/ferruginizados da Formação Itaqueri e basaltos da Formação Serra Geral.	Entre 900 e 1060 m de altitude, dentro da zona considerada como "Reverso da Cuesta".	Inferior a 5% em quase toda a área. Raramente, entre 5-10%.	Relevo pouco dissecado, cornijas pouco numerosas e predominantes próximas aos anfiteatros.	Baixa densidade de canais (2,06 km de canais/km ²), padrão dendrítico e alta concentração de cabeceiras.	Latossolos arenosos e neossolos litólicos (substrato de rochas básicas) com A chermozêmico ou moderado.	<p>- Latossolos arenosos com ligeiro acréscimo de argila a 50 cm, cor variando entre o bruno claro, escuro e vermelho médio, profundidade >1,20 m, transição gradual entre as camadas e pequenos fragmentos de couraças a partir de 60 cm de profundidade.</p> <p>- Neossolos litólicos com ou sem horizonte superficial rico em matéria orgânica e com fragmentos de basalto e couraças.</p>	Predominam gramíneas com indivíduos arbóreos isolados da Mata Tropical Latifoliada e eucaliptos. Na porção sul da mancha há chácaras e estradas sem pavimentação.	- Predominantemente laminar, com sulcos rasos (<30 cm de profundidade) ao longo do sistema viário.

REVERSO	2	Arenitos da Formação Botucatu, Arenitos silicificados/ferruginizados da Formação Itaqueri e basaltos da Formação Serra Geral.	Acima de 900m de altitude, dentro da zona considerada como "Reverso da Cuesta" e níveis elevados da Serra de Itaqueri.	Predominantemente e inferior a 10%. Pontualmente, entre 15 e 25%, como em anfiteatros e cornijas.	Relevo pouco dissecado, cornijas com ocorrência expressiva, sobretudo em anfiteatros, pequenas escarpas ou vertentes de interflúvios em crista. Os vales são em berço, mas, com aumento da incisão nos canais perenes, passam a "V".	Baixa densidade de canais (2,59 km de canais/km ²), padrão dendrítico e alta concentração de cabeceiras.	Latossolos argilosos, plintossolos, neossolos litólicos e cambissolos.	<ul style="list-style-type: none"> - Latossolos argilosos profundos (2m), uniformidade textural, estrutura granular pequena, transição gradual entre camadas. - Plintossolos rasos, argilosos e contato lítico. - Neossolos litólicos e cambissolos com camadas de material pedogeneizado rico em fragmentos de basaltos. 	- Predominam pastagens no norte da serra de São Pedro e oeste da serra de Itaqueri. Nas porções central e leste da serra de Itaqueri alternam-se grandes manchas de silvicultura de eucaliptos e extensas áreas de cultivo de cana-de-açúcar. A Mata Tropical Latifoliada está restrita às zonas adjacentes aos canais de drenagem, cabeceiras e pequenos fragmentos situados de forma esparsa pelo local.	- Linear na forma de sulcos associados ao pisoteio do gado e, de forma mais restrita, no sistema viário e em zonas com movimento de terra. A erosão laminar ocorre de forma esparsa, embora seja sensivelmente menor na serra de Itaqueri, onde os solos são mais argilosos.
---------	---	---	--	---	--	--	--	--	--	--

ESCARPA	3A	Arenitos da Formação Botucatu e basaltos da Formação Serra Geral.	Aproximadamente entre 660 e 900 m de altitude, dentro da zona da Escarpa e em pequenas porções no Sopé da Escarpa.	Declividades muito elevadas, entre 20-25% e >25%, predominando esta última.	Relevo escarpado, limitado pelo topo da cuesta e o sopé da escarpa, com alta concentração de cornijas. A forma predominante dos vales é em "V", mas vales em berço são freqüentes nas zonas de cabeceira.	Média densidade de canais (4,74 km de canais/km ²), padrão variável entre paralelo e dendrítico, angularidade baixa assimetria fraca e tropia unidirecional.	Neossolos litólicos, cambissolos e afloramentos rochosos.	- Neossolos litólicos com A moderado ou chernozêmico, substrato arenitos das formações Pirambóia e Botucatu.	Predomínio absoluto da Mata Tropical Latifoliada com ocorrência pequena de pastagens	Predomínio de movimentos de massa na escarpa da serra. As feições erosivas lineares são freqüentes na forma de sulcos, muitas vezes esculpidos pela grande quantidade de material e água que desce a serra nos movimentos de massa. As linhas de pisoteio e os terracetes são raros.
SOPÉ DA ESCARPA	3B	Arenitos das Formações Botucatu e Pirambóia e basaltos da Formação Serra Geral.	De 620 a 720 m de altitude, inserida nos compartimentos "Escarpa" e "Sopé da Escarpa"	Declividades que variam entre 5 e 15%.	Área de provável depósito de sopé de escarpa (blocos tombados por gravidade) e cornijas de diferentes amplitudes.	Média densidade de canais (3,08 km de canais/km ²), padrão variável entre paralelo e dendrítico, angularidade baixa assimetria fraca e tropia unidirecional.	Neossolos litólicos, cambissolos, afloramentos rochosos e pontualmente nitossolos vermelhos.	Neossolos litólicos com A moderado ou chernozêmico, substrato arenitos das Formações Pirambóia, Botucatu e basaltos da Serra Geral.	Cana-de-açúcar e pastagens, com ocorrência de vegetação de mata nas cabeceiras e ao longo dos canais de drenagem	Erosão laminar intensa e sulcos rasos que são desfeitos pelo preparo da terra para a agricultura.

SOPÉ DA ESCARPA	3C	Arenitos das Formações Botucatu e Pirambóia, basaltos da Formação Serra Geral e blocos de arenitos silicificados/ferruginizados da Formação Itaqueri.	De 660 a 740 m de altitude, dentro das zonas da "Escarpa" e "Sopé da Escarpa".	Declividades predominantes entre 5 e 15%, porém com pequenos trechos em que os valores atingem até 20%.	Área de possível depósito de sopé de escarpa, cornijas raras e intensa dissecação pela rede de drenagem.	Alta densidade de canais (8,59 km de canais/km ²), padrão variável entre paralelo e dendrítico, angularidade baixa e assimetria fraca e tropia unidirecional.	Neossolos litólicos, cambissolos e afloramentos rochosos.	Neossolos litólicos com A moderado ou chernozêmico, substrato arenitos das Formações Pirambóia, Botucatu e basaltos da Serra Geral, além da possibilidade de ocorrência de blocos da Formação Itaqueri.	Vegetação de Mata em estágios diversos de regeneração.	Não verificada.
ESCARPA	3D	Arenitos das Formações Botucatu e Pirambóia, basaltos da Formação Serra Geral e blocos de arenitos silicificados/ferruginizados da Formação Itaqueri.	De 620 a 1040 m de altitude, contemplando 3 compartimentos morfológicos: Sopé da Escarpa, Escarpa e Reverso da Cuesta.	Declividades bastante acentuadas, predominando as superiores a 25%, localmente entre 20 e 25%.	Zona com relevo bastante dissecado, com esporões, interflúvios em crista, paredões rochosos, grande número de cornijas, os vales são em "V", estreitos e bastante entalhados. As cabeceiras de drenagem são muito freqüentes.	Média densidade de drenagem (3,95 km de canais/km ²), padrão variável entre paralelo e dendrítico, angularidade baixa e média, assimetria fraca e tropia bidirecional.	Neossolos litólicos, cambissolos e afloramentos rochosos.	Neossolos litólicos com A moderado ou chernozêmico, substrato arenitos das Formações Pirambóia, Botucatu e basaltos da Serra Geral, além da possibilidade de ocorrência de blocos da Formação Itaqueri.	Vegetação de Mata em estágios diversos de regeneração e pastagens no sopé da escarpa.	Muitos movimentos de massa na escarpa e inúmeras linhas de pisoteio e terracetes nas zonas de pastagens, onde também ocorrem sulcos e ravinas.