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

FABIANA PEGORARO SOARES

**Cartografia Morfológica de Detalhe e Intervenções Antrópicas no
Alto Jacareí: Subsídios à Avaliação da Degradação Ambiental do
Sistema Cantareira.**

São Paulo
2008

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

FABIANA PEGORARO SOARES

**Cartografia Morfológica de Detalhe e Intervenções Antrópicas no
Alto Jacareí: Subsídios à Avaliação da Degradação Ambiental do
Sistema Cantareira.**

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 a obtenção
do título de Mestre.

Orientador: Profa. Dra. Cleide Rodrigues

São Paulo
2008

Agradecimentos

Agradeço a todos que, de alguma forma, participaram do processo de elaboração deste trabalho.

À professora Cleide pela orientação, ajuda e paciência.

À professora Rosely pela orientação em campo.

Aos professores do Departamento de Geografia pelos conhecimentos transmitidos.

Ao meu marido Marcio pela paciência, compreensão e apoio.

Aos meus pais e minha irmã pelo incentivo e por compreenderem os fins-de-semana e feriados em que não pude estar presente.

À minha diretora Marisa, por compreender meus horários.

E aos meus amigos e “anjos-da-guarda”, Rosiane e João Cláudio, por toda a ajuda, do começo ao final deste estudo.

A Deus, pela oportunidade.

Por um futuro melhor...

Resumo

A presente pesquisa baseia-se na utilização da cartografia morfológica de detalhe para a identificação de mudanças ambientais de ciclo curto em áreas com intervenção antrópica e foi desenvolvida em uma sub-bacia hidrográfica pertencente ao Sistema Cantareira de abastecimento da Região Metropolitana de São Paulo, localizada próxima à divisa entre São Paulo e Minas Gerais, na borda da Serra da Mantiqueira, entre os municípios de Joanópolis (SP) e Extrema (MG).

Com esse objetivo o estudo permitiu a identificação do nível de preservação do meio físico de um dos principais sistemas produtores de água para a Região Metropolitana de São Paulo e, eventualmente, o reconhecimento das consequências das intervenções antrópicas na área e o fornecimento de dados para gestão desses recursos hídricos.

Para tanto foram elaborados e comparados mapas de uso da terra, morfológico, de declividade e de indicadores de degradação, obtidos através da fotointerpretação de imagens de 1962 e de 2003, na escala de 1:25.000, e em levantamento de campo, onde foram identificadas evidências morfológicas de degradação física (formas erosivas e tipos de erosão).

Para relacionar a morfologia original, às intervenções antrópicas e às mudanças morfológicas ocorridas na área, optou-se por apoiar-se em estudos de Geomorfologia Antrópica e de cartografia geomorfológica de detalhe. Para esta última, utilizou-se da técnica de mapeamento morfológico proposta por Savigear (1965), adaptada à complexidade morfológica da área.

A correlação entre os mapas morfológico, de declividade e do uso da terra, permitiu uma análise comparativa da área da sub-bacia hidrográfica e o apontamento de evidências de degradação ocorrida na área. Além disso, os mapas podem fornecer

embasamento para posterior monitoramento geomorfológico dos processos e materiais interligados às formas mapeadas (originais ou antropogênicas).

As mudanças ambientais, sobretudo as formas erosivas, foram notadas principalmente quando associadas às ações de desmatamento e pastagem, o que comprova a necessidade de um manejo adequado quanto ao uso da terra em áreas de mananciais.

Palavras-chave: Cartografia Morfológica de Detalhe, Geomorfologia Antrópica, Intervenções Antrópicas, Sistema Cantareira, Alto Jacaréí.

Abstract

The present research is based on detailed morphological mapping that had produced to identify short term environmental changes in man-made surfaces and drainage basin which belong to the most important System of water supply of Sao Paulo Metropolitan area. The study area is seated on Mantiqueira mountain range border, between the municipality of Joanopolis (SP) and Extrema (MG).

With this aim, the study has allowed to discuss about the preservation level of physical systems as well the effects of human interventions in drainage basin and in their water supplies. For these, maps of land use, morphology, slope declivity and degradation indicators were produced and compared. They were obtained from interpretation of aerial photographs dated 1962 and 2003, in scale 1:25.000, and from field studies, where morphological evidence of physical degradation was identified mainly by rain erosion forms.

One of the most important steps of this study was the correlation of original morphology with man-made or morphological changes. Studies about Anthropogenic Geomorphology and Geomorphological Detailed Mapping were decisive factors to support that correlation. The morphological mapping technique proposed by Savigear (1965) was used, and it was adapted to the morphological complexity of this area.

The correlation between the produced maps has permitted to see the degradation evidences occurred in the areas. Besides this, the maps can provide data to later geomorphological watching of process and materials linked to the mapped forms (originals or anthropogenics).

Environmental changes, especially erosive forms, were noted associated to deforestation and pasture mainly, proving that management of land use in headwater areas is needed.

Key-words: Morphological Detailed Mapping, Anthropogenic Geomorphology, Man-made Changes, Cantareira System, Upper Jacaréí.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.1. OBJETIVOS	15
1.2. JUSTIFICATIVAS	16
1.2.1. Legislação ambiental e de uso do solo incidente: proteção aos mananciais	23
2. METODOLOGIA E TÉCNICAS DE PESQUISA	34
2.1. GEOMORFOLOGIA E AÇÃO ANTRÓPICA	34
2.2. CARTOGRAFIA GEOMORFOLÓGICA DE DETALHE	40
2.3. PROCEDIMENTOS E ELABORAÇÃO DA CARTA MORFOLÓGICA DE DETALHE	51
2.3.1. Problemas técnicos em fotointerpretação	54
2.3.2. Procedimentos	57
3. RESULTADOS	61
3.1. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	61
3.2. HISTÓRICO DAS INTERVENÇÕES HUMANAS E CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE AS MUDANÇAS NO MEIO FÍSICO DA REGIÃO	63
3.3. CARACTERIZAÇÃO FÍSICA REGIONAL	64
3.3.1. Geologia	64
3.3.2. Geomorfologia e outros elementos do meio físico	69
3.4. CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA-MORFOMÉTRICA: ESCALA LOCAL (MORFOLOGIA ORIGINAL X MORFOLOGIA ANTROPOGÊNICA)	73
3.4.1. Mapa morfológico de detalhe (morfologia original)	75
3.4.2. Mapa hipsométrico	78
3.4.3. Mapa de declividade	84
3.5. USO DA TERRA E INDICADORES DE DEGRADAÇÃO	88
3.5.1. Mapa de uso da terra - 1962	88
3.5.2. Mapa de uso da terra – 2003	90
3.5.3. Indicadores de degradação	93
4. CORRELAÇÃO DOS DADOS CARTOGRÁFICOS	96
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	101
6. BIBLIOGRAFIA	103

Índice de figuras

Figura 1 - Importância relativa dos sistemas produtores de água.....	16
Figura 2 - Croqui sem escala representando o Sistema Cantareira.....	17
Figura 3 - Taxonomia do relevo.....	49
Figura 4 - Símbolos do mapeamento morfológico.....	53
Figura 5 - Perfil topográfico I/J.....	78
Figura 6 - Perfil topográfico A/B.....	79
Figura 7 - Perfil topográfico C/D.....	80
Figura 8 - Perfil topográfico E/F.....	81
Figura 9 - Perfil topográfico G/H.....	82

Índice de fotos

Foto 01 - Reservatório Jaguari-Jacareí, durante um período de seca, em 25/11/03...	19
Foto 02 - Hotel-fazenda Santa Rita.....	64
Foto 03 - Gnaisse aflorado em vertente do lado esquerdo do rio.....	65
Foto 04 - Vale do rio Jacareí, sobre a Zona de Cisalhamento de Camanducaia.....	68
Foto 05 - Pedra da Extrema, na Serra do Lopo, limite da zona da Serra da Mantiqueira	71
Foto 06 - Afloramento rochoso à margem esquerda do Córrego dos Lima.....	73
Foto 07 - Córrego dos Lima, próximo à fazenda Santa Rita, provavelmente retificado.	74
Foto 08 - Interflúvios do setor Norte da bacia-hidrográfica, margem esquerda do rio principal	76
Foto 09 - Heterogeneidade no uso da terra em área do setor norte da sub-bacia hidrográfica	90
Foto 10 - Ocupação da área próxima ao reservatório do Jacareí.....	91
Foto 11 - Vertente convexa marcada pelo pisoteio, com terracetes de diferentes amplitudes.	94
Foto 12 - Área de nascentes, próxima a Serra da Mantiqueira.....	94
Foto 13 - Vertente da margem esquerda do rio principal com ravinamento.....	99
Foto 14 - Terracetes de pisoteio.....	99
Foto 15 - Gado andando sobre ravina.....	100

Índice de mapas

Mapa 1 - Sistema Cantareira: índice de comprometimento da produção hídrica.	21
Mapa 2 - Sistema Cantareira: variação do ICPH.....	22
Mapa 3 - Mapa de localização.....	62
Mapa 4 - Unidades da região central da Província da Mantiqueira.....	66
Mapa 5 - Mapa geológico do leste paulista e sul de Minas Gerais.....	66
Mapa 6 - Zonas sismogênicas do Estado de São Paulo.....	68
Mapa 7 - Divisão Geomorfológica do Estado de São Paulo.....	70
Mapa 8 - Mapa morfológico de sub-bacia hidrográfica do rio Jacareí.....	79
Mapa 9 - Mapa hipsométrico de sub-bacia hidrográfica do rio Jacareí.....	82
Mapa 10 - Mapa de declividade de sub-bacia hidrográfica do rio Jacareí.....	84
Mapa 11 - Mapa de padrões morfológicos de sub-bacia hidrográfica do rio Jacareí.....	86
Mapa 12 - Mapa de uso da terra de 1962 de sub-bacia hidrográfica do rio Jacareí.....	88
Mapa 13 - Mapa de uso da terra de 2003 de sub-bacia hidrográfica do rio Jacareí.....	91
Mapa 14 - Mapa de indicadores de degradação de sub-bacia hidrográfica do rio Jacareí.....	94

1. Introdução

Esse estudo baseia-se na utilização da cartografia morfológica de detalhe para a identificação de mudanças ambientais em áreas com interferência antrópica e foi desenvolvida na área de uma sub-bacia hidrográfica pertencente ao Sistema Cantareira, responsável pelo abastecimento de grande parte da população da Região Metropolitana de São Paulo. A área está localizada próxima à divisa entre São Paulo e Minas Gerais, na borda da Serra da Mantiqueira, entre os municípios de Joanópolis (SP) e Extrema (MG).

A pesquisa foi baseada na comparação da fotointerpretação de imagens de 1962 e de 2003, na escala de 1:25.000 e em levantamento de campo. Foram mapeadas a morfologia original (sobre a fotografia aérea de 1962), as intervenções antrópicas (uso da terra) e as evidências de degradação física visíveis nas aerofotografias e no campo (principalmente as formas erosivas, como sulcos e ravinas). A correlação entre os mapas elaborados permite destacar as mudanças morfológicas ocorridas nas vertentes, nos canais e planícies fluviais.

A área estudada é parte de um dos sistemas produtores de água da Região Metropolitana de São Paulo, onde se encontram as sub-bacia hidrográficas formadoras dos rios Jaguari e Jacareí, represados para fazer parte do chamado Sistema Cantareira. Esse sistema permitiu a *“reversão de água para a bacia hidrográfica do Alto Tietê, como reforço ao abastecimento da Região Metropolitana de São Paulo”* (ELIAS, 2000, p.1). Constitui, segundo Ab’Saber (1973, p. 9), mais um setor dos sistemas regionais interligados para captar água para abastecer a RMSP, abrangendo os mananciais das áreas que precedem a Serra da Mantiqueira.

A área sofreu mudanças significativas, por intervenção antrópica, desde a sua ocupação (desmatamento para a lavoura cafeeira, ocorrida principalmente no século XIX) até épocas mais recentes, devido à construção do reservatório Jaguari-Jacareí, o investimento no turismo de fim-de-semana e intervenções viárias.

As mudanças ambientais causadas por essa série de intervenções antrópicas são aqui objeto de estudo. Para tanto, houve um levantamento da morfologia original¹ através do mapeamento morfológico e do uso da terra a partir de fotografias aéreas de 1962, e sua correlação com os aspectos morfológicos atuais (morfologia original + morfologia antropogênica).

Desta maneira as questões centrais deste estudo são: quais foram as mudanças ocorridas no meio físico da região? Em quais combinações de morfologia original, morfologia antrópica e uso da terra observam-se um maior número de formas erosivas? Quais tipos de formas erosivas são mais significativos no período estudado? Quais tipos de ação antrópica geram mudanças significativas na paisagem e na sua morfologia e quais as conseqüências dessas intervenções para este meio físico?

O mapa morfológico, aliado às cartas de declividade e de uso da terra e aos perfis topográficos, permitiram interpretações sobre a morfologia original relacionada às intervenções antrópicas. Para obter tais informações foram aqui utilizados técnicas de aerofotointerpretação, a técnica de mapeamento morfológico proposto por Savigear (1965) e princípios da geomorfologia antrópica propostos e sistematizados por autores como Nir (1983) e Rodrigues (1997, 1999). Essas técnicas e referenciais teórico-metológicos orientaram a correlação dos dados obtidos e a avaliação de mudanças físicas ocorridas, principalmente quanto ao surgimento de formas erosivas na área estudada.

É importante ressaltar que, apesar deste estudo estar voltado à morfologia (original, para intervenções antrópicas e para mudanças ambientais no meio físico), o mapa morfológico de detalhe também pode ser usado como base para estudo e registro

¹ Por morfologia original entende-se a morfologia mais próxima das condições da fase anterior às intervenções antrópicas diretas e de grande porte que, de acordo com Rodrigues (2005) seriam as ações de desmatamento, de cultivo de café, da produção de caminhos e estradas, do campo antrópico e pastagens, dentre outras.

de outras características da Geomorfologia, como o estudo dos processos e dos materiais.

1.1. Objetivos

Apesar de não se tratar de uma área densamente povoada, a ocupação e o uso da terra que ocorrem na região do Jaguari-Jacareí, vêm causando mudanças significativas nos sistemas naturais do local, tais como a ampliação dos processos erosivos.

O objetivo geral deste estudo é produzir mapas de detalhe (morfologia original e antropogênica, dentre outros) para avaliação do nível de preservação do meio físico de uma área pertencente a um dos sistemas produtores de água para a Região Metropolitana de São Paulo e, eventualmente, reconhecer as causas e conseqüências desses níveis de preservação e intervenção na área. Com isso, será possível fornecer dados para gestão dessa importante área de recursos hídricos.

Para se alcançarem esses objetivos gerais, foram também considerados os seguintes objetivos específicos:

- Identificar a morfologia original de detalhe de sub-bacia hidrográfica localizada no setor ocidental de Serra da Mantiqueira;
- Identificar mudanças ambientais rápidas em áreas com interferência antrópica;
- Avaliar as relações entre morfologia original e os tipos de intervenção antrópica (uso da terra) e as formas erosivas e deposicionais identificadas.

Os principais procedimentos para que esses objetivos fossem alcançados foram:

- o mapeamento, na escala 1:25.000, da morfologia original e das modalidades de intervenção antrópica (uso do solo) de uma das sub-bacia hidrográficas formadoras do rio Jacareí, mais precisamente a que forma o Córrego dos Limas e o Ribeirão Jacareí;
- a elaboração uma análise comparativa, através de levantamento em campo e de fotointerpretação, da morfologia original e da intervenção antrópica, na área da sub-bacia hidrográfica em 1962 e em 2003, e apontar as evidências de degradação ocorrida no meio físico, mais especificamente nos subsistemas geomorfológicos da bacia hidrográfica.

1.2. Justificativas

O Sistema Cantareira, do qual faz parte a sub-bacia hidrográfica aqui estudada, é o mais importante, dentre os outros existentes, para o abastecimento da Região Metropolitana da Grande São Paulo. Esse sistema abastece mais da metade de sua população, ou seja, cerca de 8,1 milhões de pessoas, conforme mostra o gráfico a seguir:

Fig. 1. Fonte: SABESP, 2000 (IN: MATEUS, 2002, p. 36)

O Sistema Cantareira compreende basicamente um conjunto de quatro reservatórios, situados em cotas decrescentes (Jaguari-Jacareí, Cachoeira, Atibainha e Paiva Castro) interligados por túneis e canais e com bombeamento das águas (na Estação Elevatória de Santa Inês) para a estação de tratamento do Guaraú, após a passagem pelo reservatório Águas Claras (fig. 2).

Sistema Cantareira

1. Represa do Jaguari/Jacareí.....	Contribuição própria 22 m³/s
2. Represa do Cachoeira	Contribuição própria 5 m³/s
3. Represa do Atibainha	Contribuição própria 4 m³/s
4. Represa do Juqueri	Contribuição própria 2 m³/s
5. Elevatória de Santa Inês	4 Grupos de recalque de 20.000 HP – capacidade de 11 m³/s cada grupo
6. Conduto de Recalque	232 m de comprimento variando diâmetro de 1,10 a 3,90 m
7. Represa de Águas Claras.....	Mantém o fluxo de 33 m³/s durante 3 h no caso de parada da elevatória
8. Estação de Tratamento do Guaraú	Capacidade para tratar 33 m³/s de água
9. Av. Paulista – Cidade de São Paulo	Ponto mais alto de São Paulo como referencial

Fig. 2 – Croqui sem escala representando o Sistema Cantareira (SABESP, s.d.).

A construção de um reservatório envolve impactos naturais e sociais, pois há o alagamento de grandes áreas e isto resulta principalmente em modificações na hidrografia, fauna e flora locais, no sistema viário local e remoção de habitantes e de suas atividades. Apesar de à época Ab'Saber (1973) ter considerado que a área utilizada para as obras desse sistema não seriam, do ponto de vista sócio-econômico, dos mais problemáticos, geomorfologicamente, as transformações na paisagem a partir da

construção de um reservatório são significativas. Na maioria dos casos pode-se perceber o alagamento de planícies e baixos terraços, a formação de praias lacustres (devido às variações do nível da água), a predominância de sedimentos finos na sedimentação do fundo, formação de remansos assoreados, alagamento de cursos fluviais adjacentes e mudanças nas formas dos canais por causa da interpenetração das águas do reservatório, entre outras (AB´SABER, 1973).

O reservatório Jaguari-Jacareí foi construído há cerca de 20 anos. O mapeamento morfológico detalhado do local antes desta intervenção, correlacionado aos mapas de uso da terra e de declividade e ao estudo em campo, pode evidenciar mudanças morfológicas no local e fornecer embasamento para posteriores pesquisas voltadas ao balanço hidrológico do sistema que envolve a produção de água para a maior região metropolitana do país. Considerando a disponibilidade das fotografias aéreas da região nesta escala e pela técnica de cartografia morfológica proposta por Savigear (1965), optou-se aqui pela escala de 1:25.000 por representar as formas das vertentes e por permitir adaptações na legenda, possibilitando sua utilização para áreas tropicais úmidas.

Além da construção do reservatório, outra intervenção antrópica importante considerada nesse estudo é o uso da terra para agricultura e pastagem. A área estudada vem sofrendo transformações há mais de cem anos. Primeiramente, a partir de meados do século XIX, houve o desmatamento para a implantação de lavouras de café. Com a desvalorização desta atividade nessa área, no início do século XX, o investimento em gado passou a predominar na região, principalmente a pecuária extensiva. Mais recentemente, além de criação de gado, houve a construção do reservatório Jaguari-Jacareí, a ampliação e implantação de sistemas viários e o investimento em turismo.

Deste modo, antes da área integrar o Sistema Cantareira, já havia uma significativa intervenção antrópica nos sistemas físicos. Tanto o desmatamento para a lavoura cafeeira quanto a criação de gado, podem ter contribuído para com as mudanças

observadas no meio físico local. Posteriormente à construção do reservatório, as intervenções continuaram, principalmente no sentido da urbanização e da construção de estradas e implantações de infra-estruturas voltadas para o turismo, ações essas que podem influenciar a qualidade e a quantidade da água que a região produz.

Foto 01 - Reservatório Jaguari-Jacareí, durante um período de seca, em 25/11/03 (Instituto Socioambiental). Site: www.socioambiental.org, acessado em 12/07/2006.

A ocupação antrópica em áreas de mananciais traz, além dos convencionais prejuízos ao ambiente, prejuízos à produção hídrica da bacia hidrográfica afetada. O Estudo do Instituto Socioambiental sobre o Sistema Cantareira sugere o uso do ICPH – Índice de Comprometimento da Produção Hídrica para a análise de como os impactos da ocupação humana estão sendo absorvidos pelas bacias hidrográficas do sistema.

Segundo Whately (2007), uma das autoras do estudo, *o ICPH é um indicador obtido através da análise integrada entre as características naturais das sub-bacia hidrográficas que compõem uma bacia hidrográfica, tais como relevo, formato, quantidade de nascentes, quantidade de cobertura vegetal e de ocupação por atividades humanas*

(urbanas ou não), e as alterações decorrentes de atividades humanas ocorridas em um determinado período de tempo (p. 47).

Pode-se identificar a sub-bacia hidrográfica aqui estudada nos mapas do estudo do ISA. (mapas 01 e 02). De acordo com o primeiro mapa, que apresenta o IPCH no período de 1989 a 2003, a sub-bacia hidrográfica desta pesquisa não está entre as sub-bacia hidrográficas que apresentam os maiores valores de índice de comprometimento de produção hídrica, mas está perto da situação de limite: os maiores índices ficam entre 1,5 a 3 e a sub-bacia hidrográfica estudada apresenta índices entre 0,5 a 1,5.

O mapa que mostra a variação do ICPH no mesmo período (de 1989 a 2003) indica que a sub-bacia hidrográfica de estudo teve uma variação menor do que 0% ou seja, os índices vêm sido mantidos. Contudo, essa metodologia, tanto quanto a metodologia aqui utilizada, não foi comprovada com estudos equivalentes da variação das vazões anuais dos mananciais superficiais ou com monitoramento da redução de aquíferos sub-superficiais. Um aumento de feições erosivas pluviais, contudo, pode ser indicador de degradação física do sistema, evidenciando desequilíbrios recentes do balanço hídrico local.

Sistema Cantareira
Índice de Comprometimento da Produção
Hídrica (ICPH) no período 1989 a 2003.
 Adap. de Whately (2007, p. 48)

Localização da bacia
 hidrográfica deste estudo

Sistema Cantareira
Variação do Índice de Comprometimento da
Produção Hídrica (ICPH) no período 1989 a 2003.
Adap. de Whately (2007, p. 49)

Desse modo, este estudo se justifica por:

- Tratar de área de mananciais de extrema importância para a produção de água para a RMSP, enfatizando uma sub-bacia hidrográfica que deságua diretamente no reservatório Jaguari-Jacareí;
- Fornecer dados para as discussões científicas sobre a relação natural x antrópico;
- Contribuir para o desenvolvimento teórico da Geografia Física (e suas metodologias de integração, como a aplicação da antropogeomorfologia);
- Produzir resultados de cartografia morfológica de detalhe em áreas de serras e morros de embasamento cristalino no meio tropical úmido, setores ainda pouco estudados dentro dessa perspectiva;
- Produzir recursos teóricos e analíticos para planejamento (urbano e ambiental), uma vez que identifica níveis e causas de suposta degradação dos sistemas físicos.

1.2.1. Legislação ambiental e de uso do solo incidente: proteção aos mananciais

Para o município de Joanópolis, onde está inteiramente localizada a bacia hidrográfica de estudo, seria extremamente importante a aprovação e o cumprimento das leis ambientais, principalmente as leis ligadas à proteção de mananciais, pois se trata de uma área produtora de água para o Sistema Cantareira, como dito anteriormente. Porém, apesar de sua importância hídrica, o município não possui leis específicas sobre o assunto.

As leis ambientais às quais a área está sujeita podem ser hierarquizadas segundo as esferas federal, estadual e as leis orgânicas e o plano diretor do município.

O capítulo VI do título VII da Constituição Federal trata do meio ambiente e, segundo ele:

Art. 225. Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações.

A Constituição ressalta que cabe ao Poder Público preservar e restaurar os processos ecológicos essenciais e prover o manejo ecológico dos ecossistemas, além de exigir estudos prévios de impacto ambiental para atividades degradantes ao meio ambiente, protegendo a fauna e a flora das atividades degradantes que possam afetar a sua função ecológica ou levá-los à extinção. Diz ainda, no § 4º do mesmo artigo, que a Mata Atlântica (vegetação presente na área de estudo) juntamente com a Floresta Amazônica brasileira, a Serra do Mar, o Pantanal Mato-Grossense e a Zona Costeira são patrimônios nacionais, e sua utilização *“far-se-á, na forma da lei, dentro de condições que assegurem a preservação do meio ambiente, inclusive quanto ao uso dos recursos naturais”*.

Anterior à Constituição, em 27 de abril de 1981, foi decretada a lei federal N° 6.902, de trata da criação das APAs, dizendo:

Artigo 8º - O Poder Executivo, quando houver relevante interesse público, poderá declarar determinadas áreas do Território Nacional como de interesse para a proteção ambiental, a fim de assegurar o bem-estar das populações humanas e conservar ou melhorar as condições ecológicas locais.

Artigo 9º - Em cada Área de Proteção Ambiental, dentro dos princípios constitucionais que regem o exercício do direito de propriedade, o Poder Executivo estabelecerá normas, limitando ou proibindo:

- a) - a implantação e o funcionamento de indústrias potencialmente poluidoras, capazes de afetar mananciais de água;*
- b) - a realização de obras de terraplenagem e a abertura de canais, quando essas iniciativas importarem em sensível alteração das condições ecológicas locais;*
- c) - o exercício de atividades capazes de provocar uma acelerada erosão das terras e/ou um acentuado assoreamento das coleções hídricas;*
- d) - o exercício de atividades que ameacem extinguir na área protegida as espécies raras da biota regional.*

Segundo a lei estadual paulista nº 10.111/98, não só o município de Joanópolis, mas todo o sistema Cantareira, faz parte das chamadas Áreas de Proteção Ambiental (APA) sendo protegido também, portanto, pela legislação federal.

LEI ESTADUAL Nº 10.111, DE 4 DEZEMBRO DE 1998 - SÃO PAULO

Declara "Área de Proteção Ambiental - APA" o Sistema Cantareira.

O Presidente da Assembléia Legislativa:

Faço saber que a Assembléia Legislativa decreta e eu promulgo, nos termos do artigo 28, § 8º, da Constituição do Estado, a seguinte lei:

Art. 1º - É declarado de "Área de Proteção Ambiental - APA" o Sistema Cantareira, que compreende os Municípios de Mairiporã, Atibaia, Nazaré Paulista, Piracaia, Joanópolis, Vargem e Bragança Paulista.

Porém, segundo diagnóstico do ISA (WHATELY, 2007, p.31), a APA Sistema Cantareira não está regulamentada, não possui conselho consultivo e nem plano de manejo estando, na prática desprotegida das atividades degradantes.

No ano de 2002, as resoluções 302 e 303 do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) criam as chamadas APPs, Áreas de Preservação Permanente, ao redor dos reservatórios artificiais destinados ao abastecimento público e à geração de energia elétrica, variando de 15 a 100 metros horizontais, dependendo da localização e do uso do reservatório (área urbana ou rural/abastecimento ou geração de energia), e ao redor de topos de morro ("em áreas delimitadas a partir da curva de nível correspondente a dois terços da altura mínima da elevação em relação a base"); nascentes (raio de 50m, mesmo que a nascente seja intermitente), lagos ou lagoas naturais e cursos d'água, entre outras.

No caso da bacia hidrográfica de estudo, a largura da APP seria de 30m horizontais, medida adotada para cursos d'água com menos de 10m de largura.

Ainda no âmbito federal, o município de Joanópolis está inserido, desde junho de 2007, no Programa Produtor de Água (referente, no caso, às bacia hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí), da Agência Nacional das Águas (ANA), ligada ao Ministério do Meio Ambiente. Segundo a ANA, o PPA:

“incentiva produtores rurais a adotarem boas práticas de conservação de água e solo, como, por exemplo, o plantio de matas ciliares ou a conservação de matas nativas. Em contrapartida, os produtores rurais serão remunerados pelos trabalhos realizados de conservação de água e solo, procedimento que se insere na tendência mundial de pagamento de serviços ambientais. A ação conjunta envolvendo todas as instituições participantes do projeto prevê o apoio técnico e financeiro para iniciativas de conservação de solo, readequação de estradas vicinais, recuperação e proteção de nascentes, reflorestamento de áreas de preservação permanente (APPs), saneamento ambiental e o pagamento de incentivos aos produtores que comprovadamente contribuírem para a proteção e recuperação de mananciais, o que beneficia a população da região”.

Porém, o programa abrange, em Joanópolis, apenas o ribeirão Cancã, localizado a leste da bacia hidrográfica estudada e não sendo abrangido por ela.

A legislação estadual paulista² é bem mais específica, principalmente quanto às leis de proteção aos mananciais. A lei Nº 898, de 18 de dezembro de 1975 *“disciplina o uso de solo para a proteção dos mananciais, cursos e reservatórios de água e demais recursos hídricos de interesse da Região Metropolitana da Grande São Paulo”.*

Transcrevem-se abaixo trechos da lei:

Artigo 2º - São declaradas áreas de proteção e, como tais reservadas, as referentes aos seguintes mananciais, cursos e reservatórios de água e demais recursos hídricos de interesse da Região Metropolitana da Grande São Paulo:

I - reservatório Billings;

II - reservatórios do Cabuçu, no Rio Cabuçu de Cima, até a barragem no Município de Guarulhos;

III - reservatórios da Cantareira, no Rio Cabuçu de Baixo, até as barragens no Município de São Paulo;

IV - reservatório do Engordador, até a barragem no Município de São Paulo

V - reservatório de Guarapiranga, até a barragem no Município de São Paulo;

VI - reservatório de Tanque Grande, até a barragem no Município de Guarulhos;

VII - Rios Capivari e Monos, até a barragem prevista da SABESP, a jusante da confluência do Rio Capivari com o Ribeirão dos Campos, no Município de São Paulo;

VIII - Rio Cotia, até a barragem das Graças, no Município de Cotia;

² Apesar de o Sistema Cantareira abrigar os estados de São Paulo e de Minas Gerais, como a área da sub-bacia hidrográfica estudada está restrita apenas ao estado de São Paulo, não serão mencionadas aqui as leis mineiras.

IX - Rio Guaió, até o cruzamento com a Rodovia São Paulo - Moji das Cruzes, na divisa dos Municípios de Poá e Suzano;

X - Rio Itapanhaú, até a confluência com o Ribeirão das Pedras, no Município de Biritiba Mirim;

XI - Rio Itatinga, até os limites da Região Metropolitana;

XII - Rio Jundiá, até a confluência com o Oropó, exclusive, no Município de Moji das Cruzes;

XIII - Rio Juqueri, até a barragem da SABESP, no Município de Franco da Rocha;

XIV - Rio Taiaçupeba, até a confluência com o Taiaçupeba Mirim, inclusive, na divisa dos Municípios de Suzano e Moji das Cruzes;

XV - Rio Tietê, até a confluência com o Rio Botujuru, no Município de Moji das Cruzes;

XVI - Rio Jaguari, afluente da margem esquerda do Rio Paraíba, até os limites da Região Metropolitana;

XVII - Rio Biritiba, até a sua foz;

XVIII - Rio Juquiá, até os limites da Região Metropolitana.

Artigo 3º - As áreas de proteção de que trata esta lei corresponderão, no máximo, às de drenagem referentes aos mananciais, cursos, reservatórios de água e demais recursos hídricos especificados no artigo 2º.

Parágrafo único - Nas áreas de proteção, os projetos e a execução de arruamentos, loteamentos, edificações e obras, bem assim a prática de atividades agropecuárias, comerciais, industriais e recreativas dependerão de aprovação prévia da Secretaria dos Negócios Metropolitanos e manifestação favorável da Secretaria de Obras e Meio Ambiente, mediante parecer da Companhia Estadual de Tecnologia de Saneamento Básico e de Defesa do Meio Ambiente - competências estabelecidas na legislação em vigor para outros fins.

[...]

Parágrafo único - As faixas ou áreas de maior restrição, denominadas de primeira categoria, abrangerão, inclusive, o corpo de água, enquanto que as demais denominadas de segunda categoria, serão classificadas na ordem decrescente das restrições a que estarão sujeitas.

Artigo 8º - Nas áreas ou faixas de maior retenção, denominadas de primeira categoria, somente serão permitidas atividades recreativas e a execução de obras ou serviços indispensáveis ao uso e aproveitamento do recurso hídrico, desde que não coloquem em risco a qualidade da água.

Nota-se que a lei abrange apenas as áreas de mananciais localizadas dentro dos limites da RMSP. As áreas produtoras localizadas fora da Grande São Paulo não são contempladas pela lei de proteção aos mananciais.

A lei nº 9.866, de 28 de novembro de 1997 é uma das várias que complementam a lei no. 898/75 estabelecendo, segundo seu artigo 1º. “*diretrizes e normas para a proteção e a recuperação da qualidade ambiental das bacias hidrográficas dos mananciais de interesse regional do Estado de São Paulo*”:

Parágrafo único - Para efeito desta lei, **consideram - se mananciais de interesse regional as águas interiores subterrâneas, superficiais, fluentes, emergentes ou em depósito, efetiva ou potencialmente utilizáveis para o abastecimento público**³.

³ Grifo nosso.

Nota-se que, apesar de a lei considerar todas as águas efetiva ou potencialmente utilizáveis para o abastecimento público como mananciais de interesse regional, a maioria das bacia hidrográficas do alto Jacareí, que se encaixam completamente nesse padrão, não são contempladas, na prática, pelas leis de proteção aos mananciais.

No seu artigo terceiro, a lei ainda diz que:

Art. 3º - Para os fins previstos nesta Lei, considera-se Área de Proteção e Recuperação dos Mananciais - APRM uma ou mais sub-bacias hidrográficas dos mananciais de interesse regional para abastecimento público.

Parágrafo único. A APRM referida no "caput" deste artigo deverá estar inserida em uma das Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos - UGRHI, previstas no Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos - SIGRH, instituído pela Lei n. 7.663(1), de 30 de dezembro de 1991.

Talvez o grande problema seja que a área estudada, apesar de fazer parte de uma bacia hidrográfica que deságua diretamente no reservatório do Jacareí e de integrar a UGRHI Piracicaba/Capivari/Jundiaí, não é considerada uma área de manancial estadual, por estar localizada fora dos limites da RMSP e também não é considerada área de mananciais pelo município de Joanópolis, pois não está ligada ao sistema de abastecimento da cidade.

Assim, também não há nada específico nas leis municipais referente à proteção ambiental da área. As leis municipais mais importantes, no caso onde há referências à proteção ambiental do município, são a Lei Orgânica e o Plano Diretor da cidade.

Na Lei Orgânica, o assunto "Meio Ambiente" aparece na Seção VIII:

Art. 209. Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, e preservá-lo para as presentes e futuras gerações.

Parágrafo único. Para assegurar efetividade a este direito, o Município deverá articular-se com os órgãos estaduais, regionais e federais competentes e ainda, quando for o caso, com outros Municípios, objetivando a solução de problemas comuns relativos à proteção ambiental.

Art. 211. O Município, ao promover a ordenação de seu território, definirá zoneamento e diretrizes gerais de ocupação que assegurem a proteção dos recursos naturais, em consonâncias com o disposto na legislação estadual pertinente.

Art. 212. *A política urbana do Município e o seu plano diretor de desenvolvimento integrado deverão contribuir para a proteção do meio ambiente, através da adoção de diretrizes adequadas de uso e ocupação do solo urbano.*

Apesar de a Lei Orgânica ressaltar a importância do poder municipal em relação à preservação ambiental do município, em conversas informais com vários funcionários da prefeitura, todos alegaram que o município não possui leis ambientais próprias, seguindo então as leis estaduais.

O Plano Diretor do município está em fase de discussão. Há uma versão preliminar disponível para consulta, mas não há previsão de quando a versão definitiva será sancionada. Segundo o artigo 1º do Plano Diretor do município, este:

“tem por finalidade:

- a) estabelecer diretrizes para o desenvolvimento sustentável integrado para o Município;*
- b) garantir a qualidade de vida de seus moradores e usuários;*
- c) promover o progresso urbano, econômico e social;*
- d) organizar os espaços urbanos e rurais, com preservação e conservação dos recursos naturais, preservando e mantendo a paisagem natural e a edificada;*
- e) atuar como orientador do processo de gestão e política de desenvolvimento sustentável, controle e expansão do Município, em consonância com princípios, normas e instrumentos das Constituições Federal e Estadual, do Estatuto das Cidades e da Lei Orgânica do Município.”*

Na versão preliminar disponível do Plano Diretor, podem-se extrair os seguintes itens relevantes:

- TÍTULO I - Da Política de Desenvolvimento Sustentável, capítulo I - dos Fundamentos, Artigo 1º. - diz que o Plano Diretor do Município de Joanópolis, tem por finalidade, entre outras, estabelecer diretrizes para o desenvolvimento sustentável integrado para o Município; organizar os espaços urbanos e rurais, com preservação e conservação dos recursos naturais, preservando e mantendo a paisagem natural e a edificada e atuar como orientador do processo de gestão e política de desenvolvimento sustentável, controle e expansão do Município, em consonância com princípios, normas e instrumentos das Constituições Federal e Estadual, do Estatuto das Cidades e da Lei Orgânica do Município;

- No Capítulo III - Dos Objetivos, o Artigo 7º. diz que entre os objetivos gerais da Política de Desenvolvimento Sustentável do PDJ estão:

- Disciplinar o uso e a ocupação do solo no município no atendimento das legislações vigentes e criar mecanismos regulatórios próprios necessários para que se efetive uma política de desenvolvimento socioeconômica e ambientalmente sustentável;

- Conservar e preservar o patrimônio ambiental, da fauna e flora, da paisagem natural, da recomposição de matas ciliares e nativas, da preservação de nascentes e cursos d'água, dos lençóis freáticos, da arborização das vias de circulação e de espaços públicos, e de ações de educação ambiental;

- Estabelecer uma política de gestão integrada dos recursos hídricos de modo a garantir a disponibilidade de água em quantidade e qualidade;

- O Capítulo IV - Das Diretrizes de Meio Ambiente o artigo 8º. cita a importância ambiental e a necessidade do município em priorizar as questões ambientais, prevendo a *“elaboração do Plano Diretor de Recursos Hídricos que permita identificar e estabelecer ações para manutenção quantitativa e qualitativa dos corpos d'água”*; a *elaboração da Agenda 21 Municipal “como forma de planejamento e instrumentalização de políticas para o desenvolvimento sustentável no município”* e o *“incentivo à recomposição de matas ciliares”*.

- No Subtítulo II - da Política de Desenvolvimento Rural, Capítulo II - Dos Objetivos, o Artigo 14 diz que são objetivos gerais da Política de Desenvolvimento Rural do PDJ, entre outros:

II. Que não sejam feitos plantios em áreas de APP ou áreas de grande sensibilidade hídrica (áreas de recarga); (...)

V. Promover ações de recomposição da vegetação ciliar e da cobertura vegetal e disciplinamento dos usos do solo, por meio de incentivos e ações de recomposição da vegetação ciliar e de topos de morros, da cobertura vegetal da bacia hidrográfica e de fomento ao disciplinamento do uso do solo, rural e urbano.

VI. Implantar Projetos Piloto do “Programa Produtor de Água” proposto pela Agência Nacional de Águas, ou similar, contemplando parcerias e as recomendações previstas no princípio “provedor-recebedor”: pagamento por serviços ecossistêmicos relacionados com a água.

- Segundo o Artigo 15 do mesmo capítulo, os bairros rurais terão “projetos específicos”, visando seu desenvolvimento, considerando, entre outros no item III:

“soluções alternativas de geração de emprego e renda, associadas às vocações locais e à preservação do meio ambiente natural”;

- no item V:

“estabelecer parcerias entre os organismos públicos e privados e a comunidade local para (...) o manejo adequado do uso do solo, adoção de medidas mitigadoras de impactos e identificação de fontes de financiamento”;

- no item VIII:

“motivação para que o produtor rural passe a adotar atividades de preservação ambiental para manutenção dos recursos hídricos e do patrimônio natural, por meio de políticas públicas voltadas para sistemas de explorações econômicas sustentáveis”⁴;

- e, no item IX:

“A implantação do projeto “Gestão Municipal dos Recursos Hídricos” concebido pelo Comitê de Bacia hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí – PCJ”.

- Segundo o **Artigo 18**,

“Zona Rural é aquela constituída por áreas destinadas à exploração agropecuária, produção agro-industrial, extrativa e destinada à silvicultura sustentável e preferencialmente as aptas às modalidades de Turismo Rural e Ecoturismo, (...):

§ 2º - *As atividades de exploração agrícola e de pecuária deverão atender às boas práticas, sendo necessário o licenciamento de atividades de potencial poluidor e degradador do meio ambiente por meio de erosão e também as com potencial de contaminação superficial ou acumulativa do solo ou de lençóis freáticos pelo uso de agrotóxicos, que se referem à aplicação e uso de defensivos agrícolas principalmente em áreas de recarga de aquíferos e dos corpos d’água.”*

Há ainda propostas em discussão sobre a obrigatoriedade da recomposição da mata ciliar na *Zona Rural*, ao longo das margens dos cursos d’água, lagos, lagoas, reservatórios e topos de morros e sobre a criação e delimitação de áreas especiais que se constituiriam *territórios com restrição à ocupação*, que atendam ao interesse público de *ordem ambiental, cultural, social ou econômica* as quais, no cumprimento da sua função social e não impactante, são passíveis de uso. Porém, como dito anteriormente, o Plano Diretor do município ainda está em fase de elaboração e há diversas pendências para a

⁴ Nota-se que o texto não cita qual seria a motivação que levaria o produtor rural a adotar práticas de preservação ambiental.

introdução destes itens, uma vez que é necessário estabelecer, sobre a obrigatoriedade, quem obriga, quem é obrigado, quais as punições, e sobre o uso das áreas especiais quais os tipos de uso não impactantes, por exemplo.

Outras leis, resoluções e decretos estaduais e federais podem ser consultados segundo a tabela abaixo, elaborada para o diagnóstico realizado pelo ISA (WHATELY, 2007, p.32):

Legislação ambiental básica aplicável à Região do Sistema Produtor de Água Cantareira	
Federal	
Número e Ano (ordem cronológica)	Assunto
Lei Federal nº 4.771 de 1965	Código Florestal.
Lei Federal nº 6.766 de 1979	Parcelamento do solo urbano.
Constituição Federal de 1988	Artigos 22, 23, 24 e 225 (Capítulo do Meio Ambiente).
Decreto Federal nº. 750 de 1993	Regula o corte, a exploração e a supressão de vegetação primária ou nos estágios avançado e médio de regeneração da Mata Atlântica.
Resolução CONAMA nº 01 de 1994.	Regula o corte, a exploração e a supressão de vegetação primária ou nos estágios avançado e médio de regeneração da Mata Atlântica no Estado de S. Paulo.
Lei Federal nº 9.433 de 1997	Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos.
Lei Federal nº 9.605 de 1998	Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente – “Lei de Crimes Ambientais”.
Resolução CNRH nº 12 de 2000	Define critérios para o enquadramento de corpos d’água em classes, segundo seu uso preponderante.
Resolução CNRH nº 16 de 2000	Define regras e critérios para outorga de uso de recursos hídricos.
Lei Federal nº 9.985 de 2000	Cria o Sistema Nacional de Unidades de Conservação - SNUC.
Resolução CNRH nº 17 de 2001	Estabelece diretrizes complementares para a elaboração dos Planos de Recursos Hídricos das Bacias hidrográficas
Decreto Federal nº 4.340 de 2002	Regulamenta a Lei nº 9985/00.
Resolução CONAMA nº 302 de 2002	Define limites para áreas de preservação permanente (APPs) no entorno de reservatórios de água.
Resolução CONAMA nº 303 de 2002	Dispõe sobre parâmetros, definições e limites de APPs.
Resolução CONAMA nº 357 de 2005	Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento e estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes.
Resolução CONAMA nº 369 de 2006	Dispõe sobre os casos excepcionais, de utilidade pública, interesse social ou baixo impacto ambiental, que possibilitam a intervenção ou supressão de vegetação em APP.
Lei Federal nº 11.428 de 2006	Dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica, e dá outras providências.
Lei Federal nº 11.445 de 2007	Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico nacional.

Estado de São Paulo	
Número e Ano	Assunto
Lei Estadual nº 898 de 1975	Proteção aos Mananciais.
Lei Estadual nº 1.172 de 1976	Proteção aos Mananciais.
Decreto nº 8.468 de 1976	Estabelece, dentre outras disposições, as classes de uso da água no Estado e define os seus respectivos parâmetros de qualidade.
Constituição do Estado de São Paulo de 1989	Artigos sobre Meio Ambiente, Recursos Naturais e Saneamento (art. 191 a 204).
Lei Estadual nº 7.663 de 1991	Institui a Política e o Sistema Estadual de Gerenciamento dos Recursos Hídricos.
Lei Estadual nº 9.034 de 1994	Estabelece o Primeiro Plano Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos.
Lei Estadual nº 9.866 de 1997	Estabelece nova lei de Proteção aos Mananciais do Estado de São Paulo.
Portaria DAEE nº 1213 de 2004	Nova outorga do Sistema Cantareira.
Lei Estadual nº 12.183 de 2005	Dispõe sobre a cobrança pela utilização dos recursos hídricos do domínio do Estado de São Paulo, os procedimentos para fixação dos seus limites, condicionantes e valores e dá outras providências.

Fonte: WHATELY, M. (2007).

Como pode ser observado no quadro acima, existem muitas leis, resoluções e decretos, federais e estaduais, que orientam e regulamentam o uso hídrico e da terra na região do Sistema Cantareira. O que falta na área de estudo são leis específicas, que considerem sua importância no abastecimento do reservatório do Jacaré.

2. Metodologia e técnicas de pesquisa

Essa pesquisa, tendo como objetivo identificar mudanças rápidas no meio físico causadas principalmente por intervenção antrópica, insere-se no que se considera Geomorfologia Aplicada. Embleton e Verstappen (1988) definem a Geomorfologia Aplicada como *a aplicação de princípios e técnicas geomorfológicas para as análises e soluções de problemas ambientais geomorfológicos*. Segundo os autores, a cartografia temática e os estudos sobre recursos naturais, os levantamentos ambientais e estudos de riscos naturais e o planejamento do meio físico estão entre as principais áreas de atuação da Geomorfologia Aplicada. Com base neste conceito, este estudo privilegiou a ação antrópica sobre o meio físico e a cartografia morfológica de detalhe.

2.1. Geomorfologia e ação antrópica

Hart (1986) em *Geomorphology, pure and applied*, ressalta o desenvolvimento tardio da Geomorfologia aplicada que, segundo o autor, *“teve que esperar pela geomorfologia de processos”*, que se fortaleceu somente na década de 1960, e aponta para a necessidade de um ramo aplicado da geomorfologia por dois motivos: a demanda intelectual vinda da própria Geomorfologia e a demanda da sociedade por ações práticas.

Vários autores (HART, 1986; NIR, 1983; RODRIGUES, 1997; entre outros) concordam que um dos maiores avanços da Geomorfologia aplicada foi o reconhecimento do homem como agente geomorfológico.

De acordo com Gregory (1992), somente no início da segunda metade do século XX é que a Geografia Física começou a se preocupar com a ação do homem sobre a natureza. Apenas nas décadas de 1960 e 1970 é que começaram a surgir publicações que ressaltavam a necessidade do estudo da antropogeomorfologia, ressaltando a deficiência

de estudos da atividade morfogenética do homem e da sua influência nos fenômenos naturais. A partir de então, o homem passava a ser considerado agente geomorfológico e também influenciador desses processos.

Ainda segundo Gregory (1992), diversas tendências no estudo da geomorfologia antrópica vêm surgindo, dentre elas, a tendência de mensurar o grau de ação do homem, comparando-se as áreas modificadas e as não-modificadas por ele; a tendência da investigação dos riscos terrestres e a tendência da preocupação com o meio ambiente, com advertências acerca do impacto da atividade humana nos debates a respeito do grau de finitude dos recursos terrestres.

Esta última tendência, porém, deve ser estudada com muito cuidado. Atualmente parece haver uma preocupação geral com os estudos ambientais, em diversos ramos da sociedade, preocupação essa que resulta em estudos e informações de qualidade duvidosa. Rodrigues (2004, p. 90) adverte que *“práticas profissionais rotuladas de ambiental auxiliaram no obscurecimento e subutilização de referências anteriormente existentes para o estudo das derivações antrópicas. Recolocações significativas de recursos financeiros para atividades de pesquisa ou de avaliação técnica, assim rotuladas – ambiental –, permitiram que se disseminasse um certo descompromisso metodológico”*.

Na verdade, o estudo da ação antrópica sobre o meio físico não é tão simples como muitas vezes se apresenta. Rodrigues (1997, p. 108) ressalta que *“a consideração do antrópico é essencialmente interdisciplinar e pode envolver os recursos da abordagem sistêmica. Envolve sobremaneira a questão da escala temporal, a noção de magnitude e frequência, noção de limiares, assim como processos e sistemas geomorfológicos”*.

Nir (1983) também ressalta a importância da utilização da abordagem sistêmica⁵ na antropogeomorfologia, realizando considerações importantes sobre intervenções antrópicas na natureza e suas relações com a geomorfologia tais como o desmatamento, a agricultura, a mineração, a construção de estradas e ferrovias, o manejo dos rios e a urbanização.

Diante desse aspecto também se torna importante o conhecimento da teoria do geossistema, divulgada principalmente por Bertrand (1971) e Sotchava (1978). Segundo estes autores, um geossistema trata-se de uma unidade da paisagem formada pela relação entre o potencial ecológico (geomorfologia, clima, hidrologia), a exploração biológica (vegetação, solo, fauna) e a ação antrópica. Dessa maneira, a interferência antrópica faria parte dos elementos que compõem a paisagem, ajudando a defini-la e a modificá-la.

Nir (1983) ressalta, por exemplo, os efeitos desastrosos que o desmatamento pode desencadear na resistência do solo à ação da água. A vegetação influencia nas taxas de infiltração da água no solo; no crescimento das plantas, na superfície de runoff e na resistência do solo à erosão pluvial.

Rodrigues (2004) cita que em 1994, em um esforço para a organização do estudo das mudanças ambientais e, conseqüentemente, das atividades antrópicas no planeta, um grupo de cientistas liderados por Antony Berger e William Iams, vinculado à IUGS (International Union of Geological Sciences), sistematizou uma metodologia definindo parâmetros, técnicas, medidas, escalas e indicadores, para a observação padronizada das mudanças nas taxas, magnitudes e frequência dos eventos que modelam a superfície terrestre. O resultado foi uma lista inicial de indicadores de mudanças dos processos superficiais, denominados *geoindicadores*.

⁵ Sugere-se aqui a definição de sistema proposta por Thornes e Brunsden como “conjunto de objetos ou atributos e das suas relações, que se encontram organizados para executar uma função particular” (CHRISTOFOLETTI, 1979, p. 1).

Os geoindicadores podem ser naturais ou antrópicos e variam conforme o domínio morfoclimático e o contexto morfoestrutural. Segundo Coltrinari (1996, p. 295, tradução nossa), *“as atividades antropogênicas agem como uma força externa que pode alterar os limiares de estabilidade e provocar mudanças nos geoindicadores”*. Atividades vulcânicas são geoindicadores naturais, o uso da terra é um geoindicador humano e o grau de estabilidade de uma vertente pode ser um geoindicador natural e humano, por exemplo (GUPTA, 1999).

A partir de estudos de caso e de revisões da literatura para o estudo da interferência antrópica no meio físico, Rodrigues (1999, pp. 122-124; 2004, pp. 94-102) sistematizou as principais orientações a serem investigadas no estudo dessas intervenções:

1. Observar as ações humanas como ações geomorfológicas na superfície terrestre (*“... as atividades humanas promovem mudanças nos atributos das formas, nas propriedades e posicionamento dos materiais e nas taxas, balanços, magnitude, frequência e localização de processos superficiais.”*).
2. Investigar padrões de ações humanas significativos para a morfodinâmica (*“Essa necessidade impõe o reconhecimento das diversas atividades humanas em sua lógica e dinâmica (...) O acúmulo histórico dessas intervenções e os atributos de ordem natural devem ser compreendidos em sua relação e interferência mútuas”*).
3. Investigar a dinâmica e a história cumulativa das intervenções humanas, iniciando com os estágios pré-perturbação (*“há a necessidade de se buscar reconstituir a situação pré-intervenção ou pré-antropogênica, em que os processos originais, as formas e os materiais devem ser investigados (...) sem esse conhecimento não é possível avaliar a magnitude dos impactos das ações (...) tampouco identificar as variáveis mais relevantes para a detonação de determinados processos indesejáveis”*).

4. Empregar diversas e complementares escalas espaço-temporais (*“propõe-se a consideração simultânea de diversas e complementares escalas de abordagem (...) Essa necessidade é ainda maior para a consideração de um outro agente modelador: as sociedades humanas...”*).
5. Empregar e investigar as possibilidades da cartografia geomorfológica de detalhe.
6. Explorar a abordagem sistêmica e a teoria do equilíbrio dinâmico (*“os princípios contidos na teoria dos sistemas e em suas derivações, tais como a teoria do equilíbrio dinâmico, aplicam-se ao estudo das ações antrópicas e seus efeitos na superfície da Terra”*).
7. Utilizar a noção de limiares geomorfológicos e a análise de magnitude e frequência (*“... um limiar geomorfológico pode ser considerado como o limite superior de alguns processos cumulativos, através do qual uma seqüência particular de eventos cessa e outra, nova, passa a ser introduzida”*).
8. Dar ênfase à análise integrada de sistemas geomorfológicos (*“... sistemas naturais como bacias hidrográficas, vertentes e seus subsistemas, sistemas fluviais, escarpas, dentre outros, podem ser transgredidos e transformados em outros, por meio da artificialidade das ações antrópicas”*).
9. Levar em consideração as particularidades dos contextos morfoclimáticos e morfoestruturais (lembrando que os fenômenos geomorfológicos variam de acordo com o clima e a estrutura geológica).
10. Ampliar o monitoramento de balanços, taxas e geografia dos processos derivados e não derivados de ações antrópicas.

Das orientações sugeridas, algumas são aqui utilizadas, de forma integral ou parcial, tais como, as observações de ações humanas como ação geomorfológica, sendo que a ação antrópica sobre o meio físico é uma das principais bases deste estudo; a

investigação das formas no estágio pré-perturbação; o emprego de diversas e complementares escalas espaço-temporais, sendo que há caracterizações regionais e locais da área de estudo, com ênfase em que a sub-bacia hidrográfica estudada faz parte de um contexto natural e antrópico regionais, e considerações de diversas fases de ocupação antrópica ao longo do tempo, utilizando mapeamentos de duas épocas diferentes (1962 e 2003) e levantamento em campo em momento atual; o emprego da cartografia geomorfológica de detalhe, sendo os mapas elaborados, na escala de 1:25.000, uma das principais ferramentas para a análise das mudanças no meio físico; considerações sobre a abordagem sistêmica, partindo-se do princípio que as intervenções antrópicas podem causar mudanças em vários dos componentes do sistema e em suas relações; ênfase na análise integrada de sistemas geomorfológicos, sendo consideradas as relações entre as bacias hidrográficas e as vertentes e as mudanças que podem ter ocorrido nos seus subsistemas; e consideração das particularidades do contexto morfoclimático e morfoestrutural, sendo que a área de estudo situa-se no meio tropical úmido, onde o papel do escoamento é de importância fundamental na relação com as formas, e em área de embasamento cristalino.

2.2. Cartografia geomorfológica de detalhe

Conforme mencionado anteriormente, baseando-se na idéia de Geomorfologia Aplicada, além da ação antrópica no meio físico, este estudo considera também a cartografia geomorfológica de detalhe.

A maioria dos autores concorda, mesmo considerando-a simplificada, com a definição de geomorfologia como “*ciência envolvida com o estudo das formas da superfície da Terra*” (ST-ONGE, 1968, p. 388, tradução nossa). Porém, para que esse estudo seja completo há, muitas vezes, a necessidade de ilustrá-lo, já que estamos falando de formas concretas da superfície e suas possíveis alterações.

Segundo Hayden (1986, p. 637), durante muito tempo houve certa dificuldade em ilustrar esses estudos das formas de relevo: “*Ao longo do século XIX e nos primeiros anos do século XX o estudo das formas de relevo era dominado por uma fisiografia descritiva estática*”. Ainda segundo o autor, mesmo depois de Davis e seu conceito de ‘ciclo de erosão’ “*na prática, a maior parte da pesquisa geomorfológica continuou dominada por uma fisiografia estática e descritiva onde a paisagem era descrita verbalmente, geralmente acompanhada por blocos diagramas artísticos desenhados para ilustrar as conclusões do autor. Ainda que fossem excelentes ilustrações de processos geomorfológicos, tendiam a idealizar retratos qualitativos mais que análises gráficas verificáveis da paisagem*” (HAYDEN, 1986, p. 637).

St-Onge (1968) também afirma que até meados dos anos 1940, a descrição de uma forma de relevo ou grupos de formas, e a explicação sobre suas origens e idade, eram realizadas quase que exclusivamente por meio de registros escritos. Os “mapas fisiográficos” que, algumas vezes, acompanhavam esses registros, eram elaborados para ilustrar as conclusões do autor e não resultavam de um trabalho de campo e estudo sistemáticos, tendo assim pouca utilidade.

O avanço da tecnologia em fotografia permitiu o seu uso no estudo geomorfológico. *“Em 1899, Albert Heim publicou fotografias e observações realizadas durante uma travessia de balão sobre os Alpes: provavelmente seja a primeira pessoa que utilizou a fotografia aérea na pesquisa geomorfológica”* (HAYDEN, 1986, p. 638).

Vários autores (PEDRAZA GILSANZ, PEÑA MONNÉ, TELLO RIPA, 1988; ST-ONGE, 1968; KLIMASZEWSKI, 1982; HAYDEN, 1986) atribuem a Siegfried Passarge, em 1914, a realização e publicação dos primeiros mapas geomorfológicos em seu “Atlas Morfológico” e concordam que, até a Segunda Guerra Mundial, esta foi praticamente a única experiência representativa.

De acordo com Hayden (1986), a Segunda Guerra Mundial foi de extrema importância para a cartografia geomorfológica, pois graças a ela, houve avanços no uso das fotos aéreas e na fotointerpretação, necessárias às análises de terreno para o estilo de guerra de deslocamentos rápidos que ocorreu entre 1939 e 1945. Além disso, houve avanços no equipamento fotográfico, filmes e instrumentos para interpretação, que aumentaram as possibilidades de estudar as feições das formas de relevo por meio de fotos aéreas.

A guerra e os avanços das técnicas de pesquisa possibilitaram o desenvolvimento da cartografia geomorfológica moderna. *“Foi só depois da Segunda Guerra Mundial que a preparação dos mapas geomorfológicos detalhados com base no mapeamento sistemático das formas de relevo apareceu como uma prioridade ou até uma necessidade”* (KLIMASZEWSKI, 1982, p. 266, tradução nossa). Nos anos 50, segundo Rodrigues (1997) e Pedraza Gilsanz, Peña Monné e Tello Ripa (1988), houve a primeira experiência sistemática, na Polônia, na escala 1:50.000, seguida por outros países como Suíça, Alemanha, Tchecoslováquia, França, Canadá, etc. A partir de então, iniciou-se a preocupação em adotar uma legenda única já que cada grupo de geomorfólogos, às

vezes cada pesquisador, estavam desenvolvendo e/ou adaptando sua própria legenda (PEDRAZA GILSANZ, PEÑA MONNÉ, TELLO RIPA, 1988).

O primeiro momento de discussão do assunto foi o 18º congresso da União Geográfica Internacional (UGI), no Rio de Janeiro, em 1956. Dois anos mais tarde, no congresso da UGI de Estocolmo, foi criada a Subcomissão de Mapeamento Geomorfológico (HAYDEN, 1986). Os principais objetivos desta subcomissão, segundo Klimaszewski (1982, p. 266) eram:

“1 – Introduzir na geomorfologia o método de mapeamento geomorfológico, o resultado do qual é um mapa geomorfológico de detalhe,

2 – adotar um sistema uniforme e princípios de preparação de mapas geomorfológicos de detalhe para assegurar sua comparabilidade,

3 – prover a economia nacional, por meio de mapas geomorfológicos, uma visão detalhada do relevo, que é um importante elemento do ambiente geográfico e, desta forma, facilitar uma utilização racional da superfície da terra. O mapa geomorfológico seria usado no planejamento econômico, local e regional, junto com os mapas geológico, hidrográfico, hidrogeológico, mesoclimático, paleológico e topográfico”.

Em 1962, em Cracóvia, na Polônia, a subcomissão se reuniu e representantes de 15 países estabeleceram um conjunto de diretrizes para a preparação dos mapas geomorfológicos. Essas diretrizes incluíam:

- trabalho de campo como necessidade básica, com fotos aéreas como instrumentos de trabalho;
- mapeamento em escalas entre 1:10.000 e 1:100.000 nas quais o relevo e suas peculiaridades podem ser representados;
- mapeamento de todos os aspectos do relevo, incluindo morfografia, morfometria, morfogênese e morfocronologia, de forma que o passado, o presente e o futuro desenvolvimento do relevo possa ser conhecido;

- o uso de cores e símbolos como veículos de informação;
- o estabelecimento de ordem cronológica no desenvolvimento das formas;
- a inclusão de dados litológicos;
- o arranjo da legenda do mapa em ordem genético-cronológica;
- o reconhecimento do caráter essencial dos mapas geomorfológicos detalhados para o desenvolvimento futuro da geomorfologia (HAYDEN, 1986).

Após reuniões regulares durante a década de 1960, em 1968, no Congresso da UGI em Nova Délhi, Índia, a subcomissão foi encarregada de desenvolver um *Manual de Mapeamento Geomorfológico Detalhado* e uma legenda para um *Mapa Geomorfológico Internacional da Europa*, na escala de 1:2.500.000 (HAYDEN, 1986; RODRIGUES, 1997). A legenda foi publicada em 1971 (BASHENINA et al, 1971) e o manual em 1972 (DEMEK, 1972). Porém, *“apesar do trabalho conjunto da Comissão, existe ainda muita diversidade e desacordo sobre a natureza dos mapas geomorfológicos e seus conteúdos. O número de legendas que representam diferentes aproximações e metodologias tem aumentado. Na maioria dos casos traduzem pontos de vista nacional ou regional e poucas, se tanto, estão de acordo com todas as exigências do mapeamento geomorfológico abrangente”* (HAYDEN, 1986, p. 640).

Concordando com as concepções da Comissão, TRICART (1965, p. 109) escreve que *“o mapa geomorfológico detalhado deve evidenciar as relações no espaço e no tempo das unidades que nele figuram. (...) Ele deve insistir na distinção entre as formas vivas e formas herdadas, estabilizadas ou submetidas a um processo de degradação, pertencendo elas próprias a diversas gerações. A cronologia, e uma cronologia estreita, aí representa um grande papel”*.

Contudo, apesar dessa concordância, ainda é possível perceber uma diferenciação nas legendas dos mapas geomorfológicos de detalhe de países diferentes como, por exemplo, os franceses e os poloneses. Vários autores (RODRIGUES, 1997;

PEDRAZA GILSANZ, PEÑA MONNÉ, TELLO RIPA, 1988; ROSS, 1987; KLIMASZEWSKI, 1982; TRICART, 1965; ST-ONGE, 1968) escrevem sobre as diferenças entre as duas legendas, descrevendo-as e ressaltando suas qualidades ou defeitos.

Sobre a proposta de legenda polonesa, por exemplo, os autores citados escrevem: são usadas cores para a morfogênese (considerando nas formas originadas a combinação entre processos, agentes e idades) e para a cronologia, variando as matizes conforme a idade (matizes escuros para formas mais recentes, matizes claros para formas mais antigas). Esta proposta considera os processos construtivos e destrutivos, podendo situar-se no Terciário, no Pleistoceno e no Holoceno (segundo a subcomissão da UGI, a idade também pode ser marcada por letras usadas na nomenclatura geológica internacional). A morfometria é representada através de símbolos (Fairbridge (1968) traz, em sua obra, uma lista de símbolos). São utilizados símbolos pontuais para acumulação e lineares para formas erosivas. Também podem ser utilizados símbolos variados em cinza para complementar os coloridos e para alguns dados litológicos, que se limitam nestes mapas, à diferenciação entre formas estruturais e depósitos de acumulação, já que a ausência de informações litológicas e da natureza e idade dos depósitos inconsolidados, são características dos mapas poloneses. A morfometria aparece no fundo, com linhas em tons de cinza. São apresentadas 67 combinações possíveis entre símbolos e cores, que resultam em mapas de fácil leitura.

A proposta francesa, segundo os autores citados, tende a considerar um contexto estrutural (região em cor; litologia em trama; tectônica em preto) e formas e depósitos superficiais (sistemas morfogenéticos em cores e símbolos; cronologia com cores de diferentes intensidades; depósitos superficiais com símbolos e trama). Segundo Pedraza Gilsanz, Peña Monné, Tello Ripa (1988), existem notáveis diferenças entre as legendas propostas por Tricart e por Joly. A legenda de Tricart traz 265 símbolos e 6 páginas de textos explicativos. Usa cor para litologia, que é agrupada por tipos (cores sólidas para

rochas sãs e tramas para as rochas alteradas); símbolos coloridos para formas (as cores representam a idade – Neogeno e Holoceno – com nuances diferentes); fundo topográfico e símbolos combinados para os processos. Poucas informações morfométricas são fornecidas.

No manual publicado por Demek (1972), Gellert tenta resolver o problema das diferentes legendas publicando as decisões da subcomissão da UGI, que sugere o uso de base topográfica ao fundo, declividade em tons de cinza ou em cores graduadas, símbolos convencionais para formas, símbolos coloridos para gênese, cores escuras para formas recentes e cores claras para formas antigas, linhas finas ou grossas e de cores diferentes para formas e processos diferentes e letras ou números para idade geológica.

Além disso, houve também a proposta de mapeamento *morfológico*, que se baseia principalmente no reconhecimento dos aspectos morfográficos e morfométricos, apresentada por Savigear, do Departamento de Geografia da Universidade de Sheffield, na Inglaterra. O princípio básico desta técnica de representação é reconhecer as descontinuidades da superfície terrestre e mapeá-las, enfocando as partes das vertentes e suas inclinações e direções. Segundo Cooke e Doornkamp (1990), o ponto positivo principal desta técnica é combinar pesquisa de campo com aerofotointerpretação. Os autores também sugerem que um mapa morfológico pode ser uma ótima ferramenta para a elaboração de um mapa geomorfológico, pois pode agir como estímulo para se pensar sobre as relações entre formas, materiais e processos, e como ocorre o desenvolvimento da paisagem.

No Brasil, o mapeamento geomorfológico tardou a se iniciar. Segundo Barbosa, Silva, Natali Filho, Del'Arco e Costa (s.d.), até 1968, a experiência acumulada no Brasil sobre mapas geomorfológicos era pequena, desigual em escalas e geralmente apoiado em modelos estrangeiros. Quase toda ela baseada em aerofotos e elaborada por universidades. Segundo Ab'Saber (1969a) alguns dos primeiros trabalhos que tentaram

ilustrar formas de relevo no Brasil foram croquis geomorfológicos elaborados por técnicos do Conselho Nacional de Geografia que se basearam no método de representação pictórica desenvolvido por Erwin Raisz. Utilizado por volta da década de 1940, o método logo se tornou obsoleto e de pouca utilidade e os documentos elaborados passaram a ter apenas o valor de ilustração didática.

Ainda de acordo com Ab'Saber (1969a), a Francis Ruellan (nas décadas de 1940 e 1950) se deve a introdução de métodos mais objetivos para a cartografia geomorfológica no Brasil, pois incentivou o uso direto das fotografias aéreas na obtenção de cartas geomorfológicas detalhadas. Além de divulgar a teoria da representação cartográfica por meio de fotografias aéreas, Ruellan teria preparado diversas equipes de fotointerpretores e restituidores, no Rio de Janeiro, em Belo Horizonte e em São Paulo. Infelizmente, a dificuldade de publicação de mapas especiais, do tipo de cartas geomorfológicas, constituiu um sério problema que deixou seu material inédito.

No plano internacional, foi o grupo liderado por Jean Tricart que mais contribuiu para a divulgação das técnicas de cartografia geomorfológica, com base na utilização das fotografias aéreas e através de um rígido controle de campo. No Brasil, aos esforços pioneiros de Francis Ruellan se juntaram os exemplos e o notável grau de detalhamento oriundo dos trabalhos de Jean Tricart. Os estudos cartográficos-geomorfológicos de Olga Cruz (USP) e Margarida Penteado (Fac. Filos. Rio Claro) – em grande parte inéditos – garantem-nos que, de uma vez por todas, foi introduzida a técnica das cartas geomorfológicas detalhadas, com a utilização extensiva de fotografias aéreas (AB'SABER, 1969a).

Outra questão importante no trabalho de cartografia do relevo, é a sua taxonomia. Autores como Cailleux e Tricart (1965) e Demek (1967), por exemplo, evidenciaram preocupação quanto à escala de representação cartográfica das formas, e Mecerjacov (1968), diante de conceitos de morfoestrutura e morfoescultura. Por exemplo,

formas de dimensões espaciais menores ligadas à morfoescultura do relevo, tais como os sulcos, as ravinas, as cicatrizes de deslizamento, pertencem a uma unidade morfoestrutural maior, como uma bacia sedimentar ou um planalto cristalino, mas só podem ser mapeadas em escalas de detalhe.

Segundo Ab'Saber (1969), essa questão forma/escala aliada às dimensões continentais do território brasileiro, prejudicaram o mapeamento detalhado. De acordo com o autor, até meados da década de 1960, os mapeamentos e estudos geomorfológicos eram realizados visando apenas escalas pequenas, em âmbito nacional e no máximo, estadual.

Em 1978, durante o “Colóquio Franco-Brasileiro de Formações Superficiais e suas aplicações em regiões tropicais”, foi apresentado um conjunto de documentos cartográficos realizados através de um convênio entre o Laboratório de Pedologia e Sedimentologia do Instituto de Geografia e Departamento de Geografia da F.F.L.C.H. da Universidade de São Paulo e o Centre de Géomorphologie du C.N.R.S. – CAEN, sob a coordenação de J.P. Queiroz Neto e A. Journaux. Entre estes documentos, podemos encontrar a “Carta do Modelado e das Formações Superficiais do Médio Vale do Rio Parateí 1:25.000”, a “Carta Geomorfológica de São Pedro 1:50.000”, entre outras.

De acordo com Coltrinari (1982, p. 55) *“a carta do Vale do Parateí, escala 1:25.000, assim como suas similares do Vale do Rio Piracicaba, em São Pedro, e do Vale do Rio do Peixe, em Marília, no Estado de São Paulo, juntamente com a carta do carst de Pedro Leopoldo – Lagoa Santa (MG), representa um trabalho de caráter pioneiro no Brasil, tanto pela concepção metodológica a que responde, quanto pelo contexto em que se inserem as áreas cartografadas, a zona tropical úmida.”* Ainda segundo a autora, um dos objetivos da elaboração destas cartas foi a realização do inventário de formas e formações em regiões de morfologia complexa. Ao final do trabalho, baseado na metodologia de Tricart, concluiu-se que há necessidade de se propor uma legenda

geomorfológica adequada às zonas tropicais, pois *“quando se trata de cartografar uma realidade composta por combinações de forma e depósitos gerados por climas tropicais, secos ou úmidos, é necessário proceder com cuidado para que a representação morfológica (geométrica) não suscite confusão com formas similares, geradas a partir de processos distintos, adotando para isso uma simbologia apropriada, ou esclarecendo o aspecto genético no texto que acompanha a carta”* (COLTRINARI, 1982, p. 56).

Ross (1992) também realizou trabalhos relacionados à cartografia geomorfológica e a questão da taxonomia do relevo. Baseando-se na proposta de classificação taxonômica de Demek (1967), que definiu três níveis de representação cartográfica do relevo (as “Superfícies Geneticamente Homogêneas” no 1º táxon, de menor dimensão espacial; as “Formas do Relevo” no 2º táxon, de dimensão intermediária; e os “Tipos de Relevo” no 3º táxon, de dimensão maior). Ross propõe uma divisão do relevo em seis táxons diferentes, o que permitiria representação cartográfica em todas as escalas (fig. 03).

Fig. 03 - Taxonomia do relevo proposta por Ross. ROSS, J.L.S. (1992) p.22.

Em escala pequena, temos como exemplos os mapas geomorfológicos do Projeto Radambrasil, para todo o país, e os do IPT, para o estado de São Paulo. Segundo Ross (1987, p. 45) os mapas do Projeto Radambrasil foram elaborados a partir de imagens de radar na escala 1:250.000 e passaram por várias etapas de representação, decorrentes da evolução da metodologia. Já o mapa do IPT, de 1981, baseia-se em metodologia australiana (da CSIRO – Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation) e, nele, “cada tipo de relevo identificado é subdividido em função da gênese e declividade em subtipos, que por sua vez ainda sofrem uma terceira subdivisão de acordo com o arranjo das formas. (...) O mapa apresenta uma certa dificuldade de identificação dos

grandes compartimentos do relevo, quando contidos em uma mesma estrutura geológica” (ROSS, 1987, p. 49).

Em 1997, também pelo IPT, Ross e Moroz publicaram um mapa geomorfológico do estado de São Paulo na escala de 1:500.000 baseado na divisão taxonômica proposta por Ross (1992). Neste mapa, as unidades morfoestruturais são representadas por famílias de cores, as unidades morfosculturais por um tom de cor de cada uma das famílias de cores e as unidades morfológicas (padrões de formas semelhantes) são representadas por conjuntos de letras símbolos e números arábicos utilizados pelo Projeto Radambrasil para os mapeamentos da região Centro-oeste. As formas lineares e pontuais receberam símbolos convencionais, lineares e pontuais (ROSS e MOROZ, 1997a).

Na escala de detalhe, em 1992, Coltrinari publicou um trabalho utilizando a técnica desenvolvida por Savigear, para a representação morfológica de uma área próxima a São José dos Campos, no vale do Paraíba, em São Paulo. Através da carta obtida, pôde levantar dados relacionados à declividade, correlacionar as formas com as características geológicas e pedológicas do local e obter sinais do trabalho do escoamento da água na região (COLTRINARI, 1992).

Outro bom exemplo de trabalho voltado à cartografia geomorfológica de detalhe foi o desenvolvido por Vargas (1995) em sua dissertação de mestrado. Sob orientação de Coltrinari, a autora elaborou uma carta morfológica, na escala 1:10.000, de um trecho de vertentes serranas em São Sebastião, litoral de São Paulo, utilizando a técnica proposta por Savigear.

Diante dos bons resultados apresentados nos estudos de Coltrinari (1992) e Vargas (1995), para a elaboração do mapa morfológico usado para representar a morfologia original da área estudada, optou-se aqui pelo uso da técnica de mapeamento morfológico apresentado por Savigear (1965). Dentre os motivos desta escolha pode-se

citar que a técnica propõe uma legenda sucinta, que permite a sua utilização em áreas tropicais úmidas, e introdução de novos símbolos, de acordo com as necessidades apresentadas durante o mapeamento. Além disso, é compatível com a escala aqui proposta (1:25.000) e, apesar de privilegiar o estudo das formas, permite possibilidades posteriores de análises cronológicas e morfogenéticas e correlação com outros mapas (uso da terra, declividade, entre outros).

2.3. Procedimentos e elaboração da carta morfológica de detalhe

A elaboração de uma carta geomorfológica de detalhe exige cuidado afinal, como aqui exposto anteriormente, devem constar os dados morfométricos, morfográficos, morfogenéticos e cronológicos, além da escolha de uma legenda adequada.

Os mapas *morfológicos*, porém permitem representar o relevo privilegiando os aspectos morfométricos e morfográficos com um bom grau de detalhamento sem prejudicar as análises de cunho ambiental.

Como dito anteriormente, para a elaboração do mapa morfológico aqui apresentado utilizou-se a técnica de representação da cartografia geomorfológica apresentada por Savigear (1965), desenvolvida no Departamento de Geografia de Sheffield, Inglaterra. *“A técnica é baseada no princípio que as superfícies planas e curvas (facetas e segmentos) da superfície terrestre se seguem em descontinuidades (rupturas de vertentes e inflexões) cujas características podem ser reconhecidas, medidas e mapeadas. (...) há maior sucesso na sua aplicação nas escalas de aproximadamente 1:7.000 até 1:10.000, mas pode ser utilizada resultando em uma representação satisfatória da morfologia em escalas até aproximadamente 1:75.000. (...) as definições e uso dos símbolos foram baseados no princípio que a superfície terrestre é constituída de descontinuidades côncavas e convexas, angulares ou curvas. Uma descontinuidade*

*angular foi definida como ruptura de vertente e uma descontinuidade curva como mudança de vertente*⁶” (SAVIGEAR, 1965, p. 514, tradução nossa).

Sobre a proposta apresentada por Savigear, Cooke e Doornkamp (1990, p.29, tradução nossa) escreveram: *“O mapeamento das formas da superfície é, normalmente baseado em um sistema de mapeamento morfológico que depende do reconhecimento das junções entre vertentes de diferentes declividades e formas, além de quantidade e direções das vertentes. O mapa é elaborado pelo registro da natureza e posição das junções de vertentes, e pela colocação de um símbolo V no lado da inclinação da linha”*.

Para complementação dos dados do mapa morfológico e realização de correlações, optou-se aqui também pela elaboração de cartas de declividade, de uso da terra, de indicadores de degradação e elaboração de perfis topográficos. Todas estas cartas foram elaboradas a partir de fotointerpretações sobrepostas à base topográfica digitalizada, e da utilização de softwares de desenho e de sensoriamento remoto como o Corel Draw e o Ilwis.

Todo o mapeamento realizado através de aerofotointerpretação foi acompanhado de levantamento de campo para checagem e atualização de informações.

⁶ Na legenda aqui proposta optamos por denominar as descontinuidades angulares *ruptura de declividade* e as descontinuidades curvas *mudança de declividade*.

SÍMBOLOS DE MAPEAMENTO MORFOLÓGICO

Rupturas ou mudanças na vertente entre associações côncavo-convexo maiores poderiam ser enfatizadas por linhas mais espessas

Diagrama para ilustrar o uso dos símbolos

Fig. 04 – “Uma ilustração dos símbolos em alguns padrões típicos de formas de uma parte Sul dos Montes Peninos, Inglaterra” (SAVIGEAR, 1965, p. 518). Aplicada ao meio tropical úmido, essa metodologia tem a vantagem de identificar rupturas e mudanças de declividade. A carta topográfica, por si só, não apresenta todas as ferramentas para essa abordagem.

2.3.1. Problemas técnicos em fotointerpretação

A fotografia aérea tem sido utilizada como recurso para o reconhecimento de determinadas áreas desde o século XIX, e seu uso era voltado principalmente para fins bélicos, como a Guerra Civil dos Estados Unidos e a Primeira e Segunda Guerra Mundial (ANDERSON, 1982).

Atualmente, seu uso científico abrange várias disciplinas tais como a Geografia, a Geologia, a Agronomia, a Engenharia, entre outras. Apesar disso, segundo Anderson (1982, p. 14), a fotointerpretação possui seis estágios que são seguidos em quase todas as disciplinas:

- 1) detecção
- 2) reconhecimento e identificação
- 3) análise ou delineação
- 4) dedução
- 5) classificação
- 6) idealização.

Não restam dúvidas que não só as fotografias aéreas, mas todas as formas de sensoriamento remoto podem fornecer dados sobre a superfície terrestre que muitas vezes não se consegue obter em outros tipos de documentos.

Por exemplo, vivemos uma fase em que a demanda por recursos naturais é cada vez maior, ao mesmo tempo em que vemos sua rápida diminuição. Diante de tal situação, Cruz (1981, p. 01) assegura que se torna necessária a execução de inventários a fim de conhecer o potencial de cada região e que o uso do sensoriamento remoto unido à análise e interpretação destes tem se mostrado a melhor ferramenta para tanto.

Porém, trabalhar com fotografias aéreas exige certa dose de cuidado e de paciência. Além da escolha de uma metodologia sistemática, outros fatores devem ser levados em consideração.

Há uma série de elementos básicos que são os guias para o reconhecimento dos objetos nas fotos. Entre eles a tonalidade, a forma, o padrão, a densidade, a declividade, a textura, o tamanho, a sombra, a posição e as adjacências ou convergência de evidências. Segundo Anderson (1982, p. 41), *“cada objeto apresenta-se na fotografia em centenas ou milhares de variações, e suas combinações são infinitas. Felizmente, às vezes, somente se precisa de informações sobre um ou dois elementos de reconhecimento para se fazer a interpretação correta. Outras vezes, no entanto, é necessário que se tenha um conjunto de informações sobre um ou dois elementos de reconhecimento, para limitar as interpretações possíveis a algumas poucas, sobre as quais somente o trabalho de campo pode permitir uma interpretação definitivamente correta”*.

O uso das fotografias aéreas verticais traz uma série de vantagens, mas também desvantagens. Entre as desvantagens apontadas por Anderson (1982, pp. 78 e 80), por exemplo, estão a falta de disponibilidade de escalas e de fotos, os limites de ampliação/redução das fotografias, as distorções geométricas e a necessidade de verificação de campo.

As distorções, no entanto, talvez sejam as que causem maior preocupação e estas foram o principal obstáculo na realização da aerofotointerpretação neste estudo.

Segundo Verstappen (1977, p. 44) *“é fato muito bem conhecido que o relevo estereoscópico é apenas um relevo aparente que pode diferenciar substancialmente do relevo verdadeiro, observado no campo (...) Nas fotografias aéreas verticais a aparência do relevo é normalmente mais forte do que a realidade: diferenças de altura são geralmente duas ou três vezes exageradas e as vertentes são mais íngremes, de acordo*

com o exagero. (...) O exagero do relevo também é afetado por outros fatores relacionados ao observador (fator de exagero pessoal) e o seu olhar estereoscópico, a distância nas qual as imagens são vistas, a estereo-base, etc. O efeito instrumental no exagero do relevo fica particularmente claro quando o mesmo par de fotos é visto através de um estereoscópio simples e de um estereoscópio de espelho: o relevo pode aparecer mais alto e as vertentes mais íngremes” (tradução nossa).

Verstappen (1977, pp. 47/48) diz ainda que muitas pessoas se esquecem que mesmo as fotografias aéreas verticais têm distorções laterais. O autor lembra que, no caso de fotointerpretação de relevo, as distorções laterais também influenciarão as vertentes e que a distorção só é zero no ponto central da foto (ponto nadir), aumentando rapidamente em direção às bordas “onde o relevo pode aparecer muito distorcido, particularmente nas áreas de grande altitude, onde há ocorrência de vertentes íngremes” (VERSTAPPEN, 1977, p. 48). Porém, segundo ele, as áreas muito planas também podem ser difíceis de fotointerpretar devido ao fato de os limites das vertentes (rupturas e mudanças) não serem muito claros.

Em se tratando a área de estudo de uma área com grande desnível altimétrico (650m aproximadamente) e heterogeneidade significativa de formas, as distorções nas vertentes foram obstáculos que foram superados através do uso estrito da área útil da foto e da sobreposição manual do *overlay* fotointerpretado à base topográfica digitalizada.

Ainda de acordo com Verstappen (1977) e Anderson (1982), outros fatores podem interferir na qualidade das fotos e do trabalho, tais como: a luz incidente (no momento em que a foto é tirada e também durante a fotointerpretação), o foco e o tipo de lente da câmera e a qualidade da cópia da fotografia (uma vez que poucos trabalhos são realizados com fotografias originais). No caso de fotografias coloridas, as tonalidades das cores também podem causar distorções.

Por fim, um outro fator que pode influenciar a fotointerpretação é a presença da vegetação, que pode “mascarar” as formas de relevo. Segundo Verstappen (1977, p. 49), a vegetação pode dar a falsa impressão de inversão do relevo, além de esconder mudanças ou sugerir evidências de mudanças no relevo quando há mudança na vegetação.

Apesar de todos os problemas mencionados, como já foi dito, a fotografia aérea pode ser um instrumento útil para várias finalidades. Há que se buscar meios de contornar os problemas e de se chegar o mais próximo possível da exatidão. Aliar técnicas tradicionais às novas tecnologias, especialmente na área de informática, pode trazer bons resultados.

2.3.2. Procedimentos

Como dito anteriormente, para o mapeamento morfológico optou-se aqui pelo uso da técnica proposta por Savigear (1965) por ser voltada às escalas grandes e por privilegiar os aspectos morfográficos e morfométricos.

Assim, esta pesquisa incorpora parte dos estudos realizados por Coltrinari (1992) e Vargas (1995) que utilizaram a referida técnica para o mapeamento morfológico em uma área próxima a São José dos Campos e em vertentes serranas de São Sebastião, respectivamente, e obtiveram resultados que permitiram a correlação das formas com outros aspectos contidos no meio físico estudado, como as características geológicas e pedológicas e o escoamento da água.

Segundo Savigear (1965), entre os aspectos positivos da técnica estão a legenda sucinta, a sua possível aplicação em mapas, plantas e fotografias aéreas em várias escalas e a possibilidade de uso tanto para regiões áridas como para as áreas tropicais úmidas. Contudo, a confecção da carta morfológica apresentou algumas dificuldades de representação.

O levantamento de campo revelou que nas formas de maior dimensão estão embutidas diversas formas de menor dimensão que divergem os fluxos hídricos. Aparecem, por exemplo, vertentes curtas e côncavas entre vertentes retilíneas e com mais extensão, articuladas ao divisor principal por divisores secundários diminutos.

Desse modo, houve a necessidade de adaptações da técnica utilizada, uma vez que as metodologias consagradas mostraram-se inadequadas para áreas com complexidade morfológica desse tipo.

O primeiro passo foi a elaboração da base topográfica a partir das cartas em 1:10.000, utilizando-se de software de vetorização para as curvas, hidrografia e estradas principais.

Houve a tentativa de se criar um mosaico das fotografias aéreas utilizando-se o software Ilwis, mas mesmo com as correções geométricas, as distorções verticais e laterais das fotos não permitiram um resultado satisfatório, no qual a base topográfica se encaixasse perfeitamente sobre as imagens das fotos.

Desse modo, a opção adotada foi a fotointerpretação manual sobreposta à base topográfica digitalizada. Mesmo assim, as distorções causadas pela alta declividade da área estudada foram um obstáculo a transpor. Utilizar estritamente a área útil das fotografias aéreas e ajustar o mapeamento realizado às informações contidas na base topográfica oficial foram as alternativas seguidas para resolver o problema.

Dentre as adaptações da técnica proposta por Savigear (1965), optou-se por assinalar com cor as áreas dos topos dos interflúvios, o que proporcionou uma melhor visualização das formas embutidas em formas maiores. Além disso, baseando-se na proposta de Rodrigues e Rodrigues (2000) e devido às diferenças de ação de processos, os terços superiores das vertentes foram mapeados em marrom, enquanto os terços médios e inferiores, sujeitos à recepção materiais dos terços superiores, foram mapeados na cor laranja. Consideraram-se aqui terço superior da vertente todas as formas que

apresentam conectividade direta com o divisor interfluvial e, ao mesmo tempo, que apresentem valores do terço superior da faixa de amplitude topográfica correspondente à vertente analisada.

Além do mapeamento morfológico, foram realizados mapeamentos do uso da terra. Para se obter um resultado que permitisse comparação, foram utilizadas fotografias aéreas de 1962 e de 2003. O mapeamento de 2003 foi realizado também com levantamento e checagem em campo. Porém, as fotografias aéreas de 2003 disponíveis apresentam alto grau de distorção e, por isso, não foi possível sua sobreposição à base topográfica ortorretificada pelo IGC. Optou-se então por mantê-la, apesar das distorções, apenas para ilustrar a ocupação antrópica na área e para analisar a evolução dessa ocupação nos quarenta anos de intervalo entre um levantamento e outro, não sendo indicado aqui o seu uso para qualquer tipo de mensuração.

A correlação entre as três cartas e as cartas hipsométrica e de declividade (elaboradas a partir da base topográfica digitalizada) além de fotointerpretação específica, permitiu a elaboração de uma nova carta, de indicadores de degradação. Nesta, pode-se observar a localização das áreas mais degradadas, que apresentam sulcos, ravinas e solo exposto.

Durante a elaboração da parte teórica da pesquisa, foi realizado um vasto levantamento de dados bibliográficos e cartográficos. Além dos dados sobre a região estudada, foram levantados também estudos sobre cartografia geomorfológica de detalhe e fotointerpretação.

Foram realizados dois levantamentos de campo preliminares, o primeiro para auxiliar o reconhecimento da área e a delimitação da sub-bacia hidrográfica a ser estudada e o segundo para registros de imagens; e mais dois levantamentos de campo finais para checagem e atualização dos mapas (morfológico e de uso da terra de 2003) e para levantamento pedológico.

Nos trabalhos de campo finais também foram coletadas amostras de solo e de rochas e foram observadas as áreas com maior quantidade de indicadores de degradação como pisoteio pelo gado, processo erosivo, ravinamento, retirada de material e indícios de queimada.

Todos os dados levantados foram interpretados e correlacionados, permitindo assim uma análise mais aprofundada dos aspectos geomorfológicos da área.

3. Resultados

3.1. Localização da área de estudo

A área de estudo localiza-se próxima à divisa do Estado de São Paulo com o Estado de Minas Gerais, ao norte da Região Metropolitana de São Paulo, entre os municípios de Joanópolis (SP) e Extrema (MG).

Conforme mencionado anteriormente, a região possui uma rede hidrográfica formadora do reservatório de Jaguari-Jacareí, o primeiro do conjunto de quatro reservatórios ligados ao Sistema Cantareira, sendo assim de grande importância para o abastecimento da RMSP.

A sub-bacia hidrográfica, escolhida como área de estudo, é formadora do rio Jacareí e localiza-se a noroeste do centro urbano de Joanópolis, seguindo a estrada que leva ao Bairro dos Pires (estrada Entre Serras e Águas), nas coordenadas 22° 52'56" e 22° 57'41" latitude Sul e 46° 15'58" e 46° 18'52" longitude Oeste.

3.2. Histórico das intervenções humanas e considerações gerais sobre as mudanças no meio físico da região

Joanópolis originou-se de um povoado fundado em 24 de junho de 1878, com o nome de São João do Curralinho (por estar rodeado de colinas), no local onde grupos de habitantes da região costumavam se reunir para festejar o dia de São João Batista. Com o desenvolvimento econômico do café, esse povoado foi elevado à categoria de município em 17 de agosto de 1895 e seu nome foi mudado para Joanópolis, em 18 de dezembro de 1917, em referência ao padroeiro da cidade (GOMES, 1992).

Devido à exploração da terra para o cultivo do café, houve intenso desmatamento da cobertura vegetal primária. Após a crise econômica do café, na primeira metade século XX, foram estabelecidas pastagens para gado leiteiro (principalmente) e de corte.

A partir da construção da rodovia Fernão Dias, em 1961, iniciou-se o turismo de fim-de-semana (chácaras). A atividade turística aumentou mais ainda depois da construção das represas dos rios Jaguari e Jacareí, na década de 1980. Mesmo assim, de acordo com Gomes (1992), no início da década de 1990 não existiam hotéis-fazenda em Joanópolis; existiam apenas um hotel-restaurante que funcionava em *“um velho casarão adaptado no centro da cidade”* e uma pensão-restaurante na praça principal. Atualmente, existem vários hotéis, pousadas, restaurantes, marinas, atividades náuticas e passeios ditos “ecológicos” que ajudam a sustentar a economia da região.

É importante ressaltar, porém, que as atividades pecuárias não deixaram de existir para dar espaço ao turismo. Segundo relatórios do IBGE e da PROMINER (ambos 2002), pastagens para rebanho de corte e leite ocupam cerca de 57% do município, sendo 15.000 cabeças de gado, das quais 2.100 cabeças são destinadas à produção leiteira. A ocupação pela pecuária também trouxe mudanças no meio físico: existem na área muitas vertentes marcadas pelo pisoteio do gado, como será discutido adiante.

Foto 02: Hotel-fazenda Santa Rita. Além da ocupação para pastagem, observa-se a ocupação para o turismo de lazer na planície fluvial. (Foto: Fabiana Pegoraro Soares, 2007).

3.3. Caracterização física regional

3.3.1. Geologia

Segundo divisão geológica apresentada por Almeida, F.F.M. e Hasui, Y. (1984), o município de Joanópolis localiza-se no setor central da Província Mantiqueira, em área de formações litológicas do Proterozóico Inferior (grupo ou complexo Amparo), de embasamento cristalino onde afloram gnaisses, gnaisses granitóides e migmatitos formados desde o Pré-Cambriano (foto 03).

Foto 03: Gnaiss aflorado em vertente do lado esquerdo do rio. Evidenciam-se veios de quartzo ressaltados por ação do intemperismo nessas estruturas mineralógicas diferentes. (Foto: Fabiana Pegoraro Soares, 2007).

De acordo com o mapeamento e o relatório do IPT (1981a) e os estudos de Almeida & Hasui (1984), as rochas do Complexo Amparo foram deformadas em três fases principais de metamorfismo atribuídas, respectivamente, aos Ciclos Transamazônico (2.000 M.a.), Uruçuano (entre 1.400 e 1.000 M.a.) e Brasileiro (entre 640 e 450 M.a.) que deram origem a dobramentos de diferentes orientações.

Mapa 04 – As unidades da região central da Província Mantiqueira segundo o “Mapa Geológico do Brasil 1:2.500.000” (Adap. de ALMEIDA, F. F. M. de e HASUI, Y (coord.), 1984).

Mapa 05 – Mapa Geológico das porções do leste paulista e sul de Minas Gerais (Adap. de ALMEIDA, F. F. M. de e HASUI, Y (coord.), 1984).

Bistrichi (2001, p. 17), em seus estudos na região de Atibaia – Bragança Paulista, com maior nível de detalhamento, propõe que exista na região, do ponto de vista tectônico, *“uma atividade tectônica atual, residual, de pequena intensidade e registrada por sismos que têm sido associadas a zonas de cisalhamentos atribuídas ao Cambro-Ordoviciano”*. De acordo com mapa apresentado pelo autor, Joanópolis estaria localizada entre duas zonas sismogênicas: a de Pinhal e a de Cunha (mapa 06). *“Ocorrências de sismos são referidos a Zona Sismogênica de Cunha, relacionados à implantação dos reservatórios das barragens de Paraibuna-Paraitinga e do rio Jaguari”* (BISTRICHI, 2001, p. 18). Ainda segundo Bistrichi (2001, pp. 18-19/72-73), na Província Mantiqueira *“é notória a presença de zonas de cisalhamento que definem uma marcante estruturação regional orientada segundo SE-SW (...) a Zona de Cisalhamento de Extrema, de orientação NE-SW, separa relevos colinosos de morrotes e morros dissecados. (...) A Zona de Cisalhamento de Extrema parece ser o limite entre um bloco em soerguimento a noroeste e outro deprimido a sudeste...”*, neste bloco deprimido estaria Joanópolis, sobre a Zona de Cisalhamento de Camanducaia (foto 04). Por fim, o autor diz que *“a presença de assimetrias de bacias hidrográficas de drenagem e a ocorrência localizada de meandros, controlados por lineamentos e estruturas, evidenciam a continuidade da atividade tectônica até os dias atuais”* (p. 74).

Quanto à litologia da área, Bistrichi (2001, p.21) em seus estudos de escala regional descreve o Complexo Amparo como *“constituído por gnaisses predominantemente bandados, biotíticos com ou sem hornblenda, com plagioclásio predominante e com granada, diopsídio e sillimanita como acessórios, apresentando graus variados de migmatização.”* Ainda segundo o autor, a esses gnaisses estariam intercaladas rochas metassedimentares como quartzitos, mármore, xistos grafitosos, rochas cálcio-silicáticas, além de rochas ortoderivadas como anfibolitos e metaultrabásitos.

Mapa 06 – Zonas Sismogênicas do Estado de São Paulo (Adap. de BISTRICHI, 2001, p. 18).

Foto 04 – Vale do rio Jacareí, sobre a Zona de Cisalhamento de Camanducaia. Nota-se em relevo mais abrupto à direita, parte do bloco soerguido da Serra da Mantiqueira (Foto: Fabiana Pegoraro Soares, 2006).

3.3.2. Geomorfologia e outros elementos do meio físico

Ab'Saber (1973) define o domínio dos mares de morros, onde está inserida a área deste estudo, como a de maior complexidade de padrões de paisagens porque, segundo ele, neste domínio existem padrões locais e sub-regionais condicionados principalmente às variáveis tectônicas (escarpas e linhas de falhas) e litológicas (presença de rochas muito diferentes entre si), o que leva a uma variação na resistência aos processos erosivos, de intemperismo e de pedogênese.

O autor descreve, nas redes hidrográficas da região dos mares de morro, drenagens densas nos ramos menores de forma inseqüente⁷ e com alto grau de dendritificação e cabeceiras com adaptações subseqüentes⁸ com rumos predominantes NW-SE (AB'SABER, 1973).

Ab'Saber (1973, p. 03) ainda define *“a região que se estende desde o norte da Serra da Cantareira até os altos vales do rio Atibaia e Jaguari”* como parte do *“sistema de compartimentação dos terrenos antigos de São Paulo, sujeitos à alternância de processos morfoclimáticos intertropicais e à ação contínua de ascensão epirogênica”*. O autor também ressalta a existência de planícies fluviais *“em meio a depressões isoladas no meio de morros elevados”* com drenagens meândricas e aluviões finas e numerosas cicatrizes de meandros abandonados (AB'SABER, 1973).

Segundo os estudos geomorfológicos de Almeida (1974), Joanópolis situa-se no limite da Serra da Mantiqueira com a Zona Cristalina do Norte, na província geomórfica do Planalto Atlântico, na zona da Serra da Mantiqueira, Parte Ocidental (mapa 07). De acordo com o autor, a zona da Serra da Mantiqueira termina na chamada Pedra da

⁷ Classificação de rios proposta por William Morris Davis considerando a linha geral do escoamento dos cursos d'água em relação à inclinação das camadas geológicas. Rios inseqüentes seriam aqueles que aparentemente não seguem uma orientação preestabelecida, não tendo a estrutura visível controle na disposição da drenagem (CHRISTOFOLETTI, 1980).

⁸ Na mesma proposta de classificação, rios subseqüentes seriam aqueles cuja direção do fluxo é controlada pela estrutura rochosa (CHRISTOFOLETTI, 1980).

Extrema (foto 05), no município de Joanópolis. Ao sul, segue uma seqüência de serras, mas com altitudes menores, cerca de 1200m (serrania de São Roque e Planalto Paulistano). A subzona ocidental da Mantiqueira Paulista é composta, segundo o mapa geomorfológico do IPT (1981b), de escarpas festonadas, escarpas com espigões digitados, morros paralelos, morros com serras restritas, serras alongadas, montanhas com vales profundos e relevos de transição. Almeida (1974) ressalta que, nesta subzona, o frontão serrano teria recuado devido à erosão causada pelos afluentes do rio Paraíba, entre eles os rios Jaguari e Buquira, expandindo assim esta bacia hidrográfica.

Ainda de acordo com Almeida (1974), nesta subzona a drenagem depende da estrutura, que se impõe a ela, havendo assim adaptação da drenagem às estruturas gnáissicas regionais.

Mapa 07 – Divisão Geomorfológica do Estado de São Paulo (ALMEIDA, F. F. M. de, 1964).

Foto 05: Pedra da Extrema, na Serra do Lopo, limite da zona da Serra da Mantiqueira. Observa-se a brusca diminuição de altitude e de declividade, indicando mudanças geológicas no local (Foto: Fabiana Pegoraro Soares, 2006).

Segundo o memorial explicativo do Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo do IPT (1981b, anexo fig. 5.5), a pluviosidade anual na Serra da Mantiqueira varia de 1500 mm (*“nas encostas de transição”*) a mais de 2000 mm (*“nas porções montanhosas”*) e as temperaturas médias anuais são entre 13° e 18°C. Ainda segundo os autores, a vegetação original (não apenas na Serra da Mantiqueira, mas em todo Planalto Atlântico) é constituída por Mata Tropical Latifoliada, atualmente restrita a porções isoladas do território. Os mapas do Projeto RadamBrasil (1983) classificam a vegetação da área como “pastagens em região de floresta ombrófila densa” e “floresta montana”, nas áreas de maior altitude.

Quanto aos solos, segundo publicação da Embrapa sobre o Projeto RadamBrasil (1983) regionalmente predominam os podzólicos vermelho-amarelo e afloramentos rochosos. Especificamente, na área de estudo, de acordo com Ross e Moroz (1997b), encontram-se cambissolos; podzólico vermelho amarelo médio arenoso; latossolo

vermelho amarelo médio arenoso e areias quartzosas. Os levantamentos de campo comprovaram os afloramentos rochosos.

Os estudos de Ross e Moroz (1997b) ainda trazem que a região possui um nível de fragilidade médio (ROSS, 1994), por ser uma área de formas de dissecção média a alta, com vales entalhados e densidade de drenagem média a alta. Devido a essa morfologia, seria uma área sujeita a forte atividade erosiva (ROSS e MOROZ, 1997b).

Segundo o IPT, os processos erosivos predominantes nessa área seriam os *“fenômenos de escorregamentos superficiais e profundos e de rastejo, principalmente em corpos coluvionares. São freqüentes quedas de blocos relacionadas às estruturas da rocha (falhas, diáclases, xistosidade ou qualquer outro tipo de descontinuidade) ou no caso de matacões, devido ao descalçamento provocado pela remoção de material terroso que os envolvem. Nos sopés das encostas são comuns as formas de acumulação (depósitos de talus e rampas de colúvio). Os fenômenos de erosão hídrica são evidentes somente nas áreas desprovidas de qualquer cobertura vegetal (áreas afetadas por escorregamentos, áreas de movimentação de terra em obras civis, etc.)”* (IPT, 1981b, anexo fig. 5.5).

Os levantamentos de campo e os mapeamentos realizados neste estudo comprovam a descrição registrada pelo IPT (1981b) e os estudos de Ross e Moroz (1997b). Afloramentos rochosos, sulcos e ravinas aparecem com freqüência, principalmente nas áreas desmatadas e usadas para pastagem (foto 06).

Foto 06 – Afloramento rochoso à margem esquerda do Córrego dos Lima. Notam-se também os sulcos na vertente por onde ocorre o escoamento superficial da água (Foto: Fabiana Pegoraro Soares, 2006).

3.4. Caracterização morfológica-morfométrica: escala local (morfologia original x morfologia antropogênica)

Nos trabalhos de campo, na pesquisa bibliográfica e através dos mapas elaborados, constatou-se que as cabeceiras da bacia hidrográfica estudada localizam-se muito próximas à divisa com o estado de Minas Gerais, entre os municípios de Extrema (MG) e Joanópolis (SP), em uma área de grande declividade, pertencente à Serra da Mantiqueira. A declividade vai diminuindo na direção sul, porém é notável a presença de várias cachoeiras na região.

Conforme o encontro dos afluentes, são formados o Ribeirão Jacareí e o Córrego dos Limas (canais de 3^a. e 4^a. ordens, respectivamente), que atravessam o bairro dos

Pires e passam a oeste do núcleo urbano de Joanópolis até que o Córrego dos Lima encontra o rio Jacareí, onde a água é represada.

Foto 07 – Córrego dos Lima, próximo à fazenda Santa Rita, provavelmente retificado. Setor de planície fluvial com significativa presença de cascalhos e solos hidromórficos. (Foto: Fabiana Pegoraro Soares, 2007).

Para a realização da caracterização morfológica (morfologia original) e morfométrica da área, optou-se pela elaboração e utilização de quatro mapas: o morfológico (mapa 08), o hipsométrico (mapa 09), o de declividade (mapa 10) e um quarto, resultado da análise e correlação dos anteriores, de padrões morfológicos (mapa 11).

3.4.1. Mapa morfológico de detalhe (morfologia original)

O mapa morfológico (mapa 08) revela, com os detalhes pertinentes à escala escolhida, a complexidade da área estudada.

Nela encontram-se desde grandes topos alongados até pequenas vertentes, talvez residuais, que formam pequenos divisores secundários.

O interflúvio principal, que delimita a área da bacia hidrográfica, possui diversos colos e também interflúvios secundários conectados a ele, tanto à margem esquerda quanto à margem direita do rio principal.

Conforme o distanciamento das cabeceiras e em direção ao reservatório, a paisagem vai mudando: as formas íngremes e dissecadas vão dando lugar às planícies fluviais e a morros com topos mais arredondados.

As formas das vertentes são heterogêneas e complexas. Observam-se formas menores inseridas em um conjunto maior, ou seja, em uma vertente principal são encontradas vertentes menores que formam subunidades da vertente e apresentam formas e orientações variadas (foto 08). Optou-se aqui por separar as vertentes, no conjunto da bacia hidrográfica, em terço superior e terço inferior, lembrando que os processos geomorfológicos apresentam-se diferentes conforme a posição da vertente. Para tal classificação utilizou-se como critério além de sua função, delimitando a bacia hidrográfica, a sua conectividade com o interflúvio principal. Foram considerados terços superiores o interflúvio principal e todos os interflúvios conectados a ele e, foram considerados terços médios e inferiores todas as vertentes abaixo do interflúvio principal, que não apresentam conectividade direta com ele. Foi considerada a possibilidade de utilizar a altimetria como critério, mas o grande desnível entre o norte e o sul da bacia hidrográfica dificultaria uma representação adequada.

Foto 08: Montagem de fotos que ilustra a complexidade morfológica da área, um exemplo no setor norte da bacia hidrográfica, margem esquerda do rio principal. Observam-se interflúvios secundários conectados ao interflúvio principal e as variações nas formas e orientação das vertentes.

Observa-se grande diferença morfológica entre as vertentes da margem direita e da margem esquerda do rio. Na margem esquerda, as vertentes são em geral mais amplas e apresentam menos rupturas do que as vertentes da margem direita do rio. Já as vertentes da margem direita apresentam, de maneira geral, maior declividade, mais rupturas e um grande número de formas menores que fazem parte de um conjunto maior, mas não apresentam atual conexão direta com o interflúvio principal, como dito anteriormente.

Nos limites dos terraços aparecem micro-facetetas: rupturas que demarcam o início da planície de inundação. Porém, como o rio principal não atravessa fundos de vales homogêneos, as micro-facetetas só aparecem em algumas áreas, onde se formam os vales de fundo plano.

Os fundos de vale também apresentam formas variadas. Alguns, localizados principalmente na parte superior da bacia hidrográfica, são vales em v bem encaixados, enquanto, de maneira geral, os vales da parte inferior são menos encaixados e mais dissimétricos. O rio principal (já em 3ª. ordem) nasce em um desses vales encaixados que vai se abrindo até se tornar um vale de fundo plano, porém com vários pontos de estrangulamento em seu caminho, onde surgem alguns pontos de afloramento rochoso.

A drenagem apresenta, de maneira geral, padrão dendrítico com alguns pontos de paralelismo e alguns encontros entre tributários e rio principal em ângulo reto o que, segundo Christofoletti (p.103), em padrão de drenagem dendrítico, *“constitui anomalias que se deve atribuir, em geral, aos fenômenos tectônicos”*. Ainda segundo o autor, *“esse padrão é tipicamente desenvolvido sobre rochas de resistência uniforme”*.

O rio principal recebe o nome de Ribeirão Jacareí, quando em 3^a. ordem, e de Córrego dos Lima em 4^a. ordem, desaguando diretamente no reservatório Jaguari/Jacareí. Apresenta um canal do tipo meandrante na maior parte do seu percurso, apresentando inclusive alguns meandros abandonados.

3.4.2. Mapa hipsométrico

O mapa hipsométrico (mapa 09) foi confeccionado a partir das cartas topográficas digitalizadas utilizando-se o software Ilwis. Foi utilizado neste estudo para fornecer dados morfométricos e também para a confecção de perfis topográficos (todos no sentido NW – SE), cujas localizações aparecem em linhas traçadas no mapa, ilustrando sua complexidade morfológica.

A sub-bacia hidrográfica estudada está situada em uma área de grande desnível altimétrico: 658 metros entre o ponto de maior altitude e o mais baixo. A área mais baixa, com cerca de 850 metros, situa-se na planície fluvial do córrego dos Lima, próxima ao seu encontro com o rio Jacareí e o remanso de seu reservatório (fig. 05). O ponto mais elevado, com 1.508 metros, está situado no interflúvio NW da bacia hidrográfica, já parte da Serra da Mantiqueira, na divisa com o estado de Minas Gerais.

Fig. 05 - O perfil I/J, traçado na parte inferior da bacia hidrográfica, próximo à área onde atualmente há o reservatório, evidencia as baixas altitudes (de 950m a 850m) e os pequenos desníveis altimétricos, que não chegam aos 100m. Os topos das vertentes se mostram mais arredondados do que na parte superior da bacia hidrográfica. Surgem fundos de vales de rios tributários, um à margem direita do rio principal (lado esquerdo do perfil), dissimétrico, e outro à margem esquerda (lado direito do perfil), em v, mas pouco profundo. O rio principal segue em uma grande planície de inundação em direção ao local onde hoje existe o reservatório.

Através do mapa hipsométrico também é possível perceber que há assimetrias relevantes entre as vertentes da margem esquerda e da margem direita do rio principal (no caso, ribeirão Jacareí/córrego dos Lima). O desnível altimétrico da margem direita chega a 567 metros, enquanto na margem esquerda do rio chega a no máximo 250 metros na parte superior da bacia hidrográfica (figs. 06, 07 e 08).

Fig. 06 - O perfil A/B, traçado na parte superior da bacia hidrográfica, evidencia as grandes rupturas, altitudes e desníveis do terreno. Os fundos dos vales aparecem bem encaixados e os topos dos interflúvios bem evidenciados.

Fig. 07 - O segundo perfil, C/D, revela uma alteração morfológica (e também morfométrica) significativa. É possível observar uma grande assimetria entre o lado esquerdo do perfil (margem direita do rio principal) e o lado direito (margem esquerda do rio principal). Morfológicamente, nota-se que aparecem alguns fundos de vale secundários, pouco encaixados, e a formação do terraço do rio principal. As rupturas também surgem em menor quantidade.

Fig. 08 - O perfil E/F foi traçado na área central da bacia hidrográfica e, assim como o perfil C/D, evidencia a assimetria morfológica e morfométrica entre as vertentes localizadas à margem direita e as localizadas à margem esquerda do rio principal. O perfil também revela um grande interflúvio secundário, que o mapa morfológico revela estar conectado ao principal. O rio separado por este interflúvio apresenta fundo de vale encaixado, mas dissimétrico, enquanto o rio principal segue em vale com fundo plano e com formação de terraço. Observa-se a gradativa diminuição nas altitudes, principalmente do lado direito do perfil (margem esquerda do rio principal).

As altitudes também são maiores, de maneira geral, na metade superior da bacia hidrográfica, onde há o predomínio de interflúvios acima dos 1.000 metros. Na metade inferior, as altitudes chegam aos 1.000 metros apenas nos topos dos interflúvios situados no extremo oeste da bacia hidrográfica, ficando entre os 950 e 850 metros na maior parte dela (fig. 09).

Fig. 09 O perfil G/H mostra significativa diferença da declividade e altimetria entre as duas margens do rio. Na margem direita, observa-se um desnível de cerca de 100m, enquanto na margem esquerda o desnível altimétrico mal ultrapassa os 50m. Próximo ao rio principal, as vertentes apresentam menor altitude (cerca de 900m), seus topos são mais arredondados, sem rupturas, e o fundo de vale do rio apresenta-se plano.

3.4.3. Mapa de declividade

O mapa de declividade foi confeccionado a partir da carta topográfica digitalizada, utilizando-se o software Ilwis, e apresenta as classes de declividade em intervalos de aproximadamente 10°. Seu propósito, no caso deste estudo, além de mostrar as áreas de maior ou menor declividade, é também complementar as informações do mapa morfológico para a realização de uma análise morfológica-morfométrica mais detalhada.

O mapa evidencia que as maiores declividades estão localizadas principalmente nas partes N e NW da área da bacia hidrográfica: aí se concentram a maior parte das classes de declividades entre 21° e 40°. Observa-se também que há maior ocorrência destes intervalos de declividade próxima ao interflúvio principal.

As declividades vão diminuindo em direção ao rio principal e divisores próximos da parte inferior bacia hidrográfica. Nas áreas próximas ao rio principal as declividades são menores, até 10°, exceto nos limites dos terraços, onde ocorrem mudanças de declividade e micro-facetadas.

Observam-se declividades menores também na parte sul da bacia hidrográfica, onde predominam os índices de até 20° tanto nas vertentes dos interflúvios quanto nas áreas próximas ao rio principal.

A análise do mapa de declividade, aliada à análise do mapa morfológico, auxiliou na identificação de padrões de unidades morfológicas superiores à unidade ou subunidade da vertente na área da bacia hidrográfica. Desse modo, optou-se aqui pela classificação morfológica em uma escala mais regional do que o mapeamento de detalhe, elaborando o mapa de padrões morfológicos (mapa 11). Este mapa apresenta uma classificação da área segundo os padrões de unidades morfológicas e os diferentes padrões de declividade e facilitou a análise e a correlação dos dados das diferentes cartas elaboradas.

3.5. Uso da terra e indicadores de degradação

3.5.1. Mapa de uso da terra - 1962

No mapa de uso da terra de 1962 (mapa 12), elaborado a partir de fotointerpretação, a ampla área ocupada por pastagens/campos antrópicos e pastos sujos chama a atenção. Praticamente dois terços da área da bacia hidrográfica mostram este tipo de ocupação antrópica.

As áreas de mata ocupam principalmente as maiores altitudes, a norte e noroeste da área da bacia hidrográfica, mostrando-se em pequena quantidade, mas protegendo várias nascentes da margem direita do rio. Há também pequenas manchas de mata isolada espalhadas pela área da bacia hidrográfica.

Na margem esquerda do rio, onde a quantidade de vertentes com maiores declividades é menor, observa-se uma diminuição na presença de matas, estando as nascentes protegidas apenas por vegetação arbustiva ou desprotegidas, em áreas ocupadas por pastagens.

As edificações são poucas e espalhadas, o que confirma a função rural da área. A fotointerpretação também evidenciou poucas áreas de cultivo, comprovando que na década de 1960, as plantações de café já haviam sido substituídas por pastagens.

Observam-se também poucas estradas. Naquela época, a área urbana de Joanópolis (não pertencente à área da bacia hidrográfica e, portanto, não mapeada) era muito pequena, o reservatório não existia e a rodovia Fernão Dias não era duplicada. As estradas que levavam aos bairros situados na área da bacia hidrográfica (todas de terra ainda nos dias de hoje) eram, em sua maioria, estreitas e muitas vezes difíceis de visualizar na fotointerpretação por estarem camufladas pela vegetação. Observa-se uma estrada principal, que se bifurca, levando até Extrema, no estado de Minas Gerais. Parte dessa estrada foi alagada pela construção do reservatório na década de 1980.

3.5.2. Mapa de uso da terra – 2003

O mapa de uso da terra de 2003 evidencia que a vegetação é heterogênea ao longo da bacia hidrográfica. Nas cabeceiras, vegetação de floresta densa, porém logo que as declividades começam a diminuir, as pastagens, as construções e os solos nus passam a predominar (foto 09).

Comparado ao de 1962, o mapeamento de 2003 mostra um aumento da área de mata e de vegetação arbustiva, principalmente nas partes norte e noroeste da área da bacia hidrográfica. Já nas partes nordeste, leste (margem esquerda do rio principal) e sul da área da bacia hidrográfica observa-se uma diminuição na vegetação, que se apresenta espalhada em pequenas manchas, e aumento significativo das atividades antrópicas, principalmente de chácaras, edificações, estradas e pastagem/campo antrópico. Essas construções ocupam as áreas próximas aos rios e às estradas principais, que permanecem todas de terra. O levantamento de campo revelou que boa parte dessas chácaras e edificações são hotéis/pousadas, ou seja, atendem ao turismo. Apesar disto, foi observado que a atividade agropecuária ainda tem presença marcante na região, dividindo espaço com as atividades turísticas.

Foto 09 – Área pertencente ao setor norte da sub-bacia hidrográfica estudada. Observa-se a heterogeneidade na cobertura vegetal e no uso da terra: há a presença de vegetação densa, principalmente nos topos dos interflúvios, e também das intervenções antrópicas, sobretudo pastagens. (Foto: Fabiana Pegoraro Soares, 2006).

A criação do reservatório obrigou a construção de um desvio na estrada principal que vinha do extremo sul da bacia hidrográfica em direção à Extrema, uma vez que esta foi alagada pelo reservatório. Observa-se um aumento do número de estradas, o que trouxe a essa área um aumento da ocupação (foto 10). Podem-se perceber várias manchas de movimento antrópico de terra/terraplanagem e de solo exposto, o que pode ser um indicativo de que a ocupação tende a aumentar.

Existem algumas áreas de reflorestamento, porém são muito pequenas e espalhadas pela área da bacia hidrográfica.

Foto 10 – Ocupação da área próxima ao reservatório do Jacareí. Verificam-se várias construções próximas à represa e, em primeiro plano, um exemplo de movimento antrópico de terra/terraplanagem. (Foto: Fabiana Pegoraro Soares, 2006).

3.5.3. Indicadores de degradação

O mapa de indicadores de degradação (mapa 14) foi elaborado a partir da fotointerpretação de fotografias aéreas de 1962 e 2003 e de levantamento de campo. Optou-se por mapear as formas erosivas (sulcos, ravinas, solo exposto e movimento de massa/escorregamento) e a escolha da legenda foi baseada na proposta de Journaux (1975) e nos trabalhos de Coutard, J. P.; Pellerin, J.; Aguiar, M. B.; Coltrinari, L. (1978a e b).

Através da análise da carta elaborada, observa-se que em 1962 já havia indicadores de degradação, principalmente sulcos e ravinas, nas áreas de maior ocupação antrópica, especialmente nas áreas de pastagem e de cortes viários.

Tendo a ocupação antrópica aumentado com o passar dos anos, observa-se que a quantidade de formas erosivas associadas a essa ocupação também aumentou. As áreas que foram desmatadas, para a criação de chácaras ou de pasto são as que apresentam a maior quantidade de sulcos e ravinas recentes. Podem ser observadas muitas das vertentes do local, a maioria com formas convexas, com terracetes de pisoteio de gado (foto 11), uma vez que uma das atividades econômicas predominantes no local é a pecuária extensiva. Outras vertentes foram cortadas por estradas. As concavidades que predominam nas áreas de nascentes se apresentam um pouco mais preservadas (foto 12).

Além disso, não havia sinais de movimentos de massa/escorregamentos em 1962, mas em 2003, estes aparecem em áreas próximas ao reservatório, também provavelmente associados ao desmatamento, à abertura de estradas e à criação de chácaras.

Foto 11: Vertente convexa marcada pelo pisoteio, com terracetes de diferentes amplitudes. Observa-se retirada de materiais, o que também pode estar associado a outras intervenções antrópicas. (Foto: Fabiana Pegoraro Soares, 2007)

Foto 12 – Área de nascentes pertencentes à sub-bacia hidrográfica estudada, próxima a Serra da Mantiqueira. Na foto, observam-se as concavidades das nascentes, com manchas de mata, em meio ao predomínio de convexidade nas partes superiores dos divisores, característica que pode ser observada em boa parte das vertentes da margem direita do rio principal. (Foto: Fabiana Pegoraro Soares, 2006).

4. Correlação dos dados cartográficos

Para facilitar a análise e a correlação dos dados das diferentes cartas elaboradas, optou-se por regionalizar a área baseando-se nos diferentes padrões morfológicos e morfométricos apresentados (mapa 11).

A partir dessa divisão em grandes unidades, montou-se uma tabela para ilustrar a correlação dos dados.

Através da correlação dos dados cartográficos, pode-se chegar às seguintes conclusões:

- As maiores rupturas em vertentes localizam-se nas áreas de maior declividade ($\geq 30^\circ$).
- Áreas desmatadas com presenças de nichos de nascentes apresentam grande quantidade de ravinas, principalmente próximo às concavidade/anfiteatros.
- Os sulcos e as ravinas predominam nas áreas côncavas, mas podem aparecer tanto nas áreas côncavas quanto nas convexas, principalmente onde há maior declividade, quando há desmatamento aliado ao uso do solo para pastagem e conseqüente pisoteio do gado ou abertura de estradas (foto 13).
- São encontrados terracetes, causados pelo pisoteio do gado, junto à presença de sulcos e/ou ravinas em boa parte das áreas que apresentam este tipo de feição erosiva (foto 14).
- Boa parte das cabeceiras está protegida por matas, porém a construção de pequenos reservatórios pelos proprietários das terras represando o escoamento dos rios intermitentes pode prejudicar o fluxo da água que chega ao rio.
- Apesar da grande declividade, não há indícios de movimentos de massa naturais. Os movimentos de massa mapeados apresentam fortes indícios de terem origem antrópica, uma vez que estão localizados próximos a chácaras e edificações.
- As áreas de planície fluvial, apesar de serem as mais ocupadas, são as que apresentam menor quantidade de indicadores de degradação.
- As áreas onde estão concentrados os indicadores de degradação são aquelas que apresentam atividades relacionadas à ação antrópica: pastagem/campo antrópico, chácaras e sistema viário.

Foto 13: Vertente da margem esquerda do rio principal. Observam-se inúmeros sulcos e ravinas, tanto nas áreas côncavas quanto nas convexas, relacionados ao pisoteio do gado (que, na foto, pode ser visto pastando). (Foto: Fabiana Pegoraro Soares, 2007).

Foto 14: Observam-se os terracetes de pisoteio de gado em área de mudança de declividade em vertente da margem esquerda do rio principal. Pode-se observar que esses terracetes estão associados a início de ravinamento e à exposição do solo. (Foto: Fabiana Pegoraro Soares, 2007).

Foto 15: Gado andando sobre ravina. Existem evidências da participação do pisoteio na formação da maioria das ravinas da área da bacia hidrográfica. (Foto: Fabiana Pegoraro Soares, 2007).

5. Considerações finais

Localizada na Serra da Mantiqueira, na divisa entre São Paulo e Minas Gerais, no município de Joanópolis, a sub-bacia hidrográfica estudada faz parte do Sistema Cantareira de abastecimento da Região Metropolitana da Grande São Paulo, sendo seus rios formadores do reservatório Jaguari-Jacareí, o primeiro dos quatro reservatórios compreendidos pelo sistema.

A área situa-se em terreno de embasamento cristalino e apresenta grande variação de altitude e declividade, mas isso não impediu a sua ocupação, no século XIX, pelas lavouras cafeeiras e depois pelas pastagens, o que trouxe mudanças significativas na sua paisagem e morfologia.

Para relacionar a morfologia original, as intervenções antrópicas e as mudanças ambientais ocorridas na área, optou-se aqui por estudos de Geomorfologia Antrópica e pela cartografia geomorfológica de detalhe baseada em aerofotointerpretação, utilizando a técnica de mapeamento morfológico proposta por Savigear (1965) que teve que ser adaptada à complexidade morfológica da área.

Através da utilização de fotografias aéreas de 1962 e de 2003 e de levantamentos de campo, também foram elaborados mapas de uso da terra e de indicadores de degradação.

Estes mapas correlacionados ao mapa de declividade permitem uma análise comparativa da área da sub-bacia hidrográfica e o apontamento das mudanças ambientais rápidas ocorridas na área. Além disso, fornecem embasamento para posterior monitoramento geomorfológico dos processos e materiais interligados às formas mapeadas (originais ou antropogênicas).

O estudo comprovou que as evidências de degradação no meio físico podem ser observadas por toda parte, já que há um histórico de ocupação desde a época das plantações de café. Atualmente, verifica-se um aumento no corte de estradas para facilitar

o turismo, o pisoteio do gado e o remanejamento de materiais como os principais indicadores da atividade antrópica. Verificaram-se inúmeros terracetes de pisoteio do gado, de diversas amplitudes, e ravinamentos e sulcos associados a eles, uma vez que estes terracetes de pisoteio são indícios de mobilização e compactação do solo e interferem no escoamento superficial da água, facilitando assim o surgimento das ravinas e sulcos.

6. Bibliografia

AB'SABER, A. N. (1973) Geomorfologia da área das barragens do Alto Jaguari. In: Geomorfologia no. 42. IG. São Paulo.

AB'SABER, A. N. (1969a) Problemas no Mapeamento Geomorfológico no Brasil. In: Geomorfologia no. 06. IG. São Paulo.

AB'SABER, A. (1969b) Um conceito de geomorfologia a serviço das pesquisas sobre o quaternário. IN: Geomorfologia no. 18. IGEOG – USP.

AHNERT, F. (1987) An Approach to the Identification of Morphoclimates. IN: International Geomorphology. Germany. Gardiner.

ALMEIDA, F. F. M. de. (1974) *Fundamentos geológicos do relevo paulista*. IGEOG – USP. São Paulo.

ALMEIDA, F. F. M. de. (1964) *Divisão Geomorfológica do Estado de São Paulo*. IGEOG – USP. São Paulo.

ALMEIDA, F. F. M. de e HASUI, Y (coord.) (1984) *O pré-Cambriano do Brasil*. São Paulo. Edgard Blücher.

ANDERSON, P. S. (coord.) (1972) *Fundamentos para Fotointerpretação*. Sociedade Brasileira de Cartografia. s. l.

BARBOSA, G. V.; SILVA, T. C.; NATALI FILHO, T.; DEL'ARCO, D. M.; COSTA, R. C. R. (s.d.) *Evolução da Metodologia para Mapeamento Geomorfológico do Projeto RADAMBRASIL*.

BASHENINA, N. V. (1971) *Legend to the international map of Europe 1: 2.500.000*. UGI Commission on Geomorphic Survey and Mapping. Brno, Czechoslovak Academy of Sciences, Institute of Geography.

BERGER, A. R. (1996) The Geoindicator Concept and its Application: an Introduction. In: BERGER, A. R.; IAMS, W. J. Geoindicators – Assessing rapid environmental changes in earth systems. Rotterdam. Brookfield.

BERTRAND, G. (1991) A natureza em Geografia: um paradigma de interface. IN: Geodoc no. 34. Univesité de Tolouse. Lê Mirail.

BERTRAND, G. (1971) Paisagem e Geografia Física Global – esboço metodológico. IN: Caderno de Ciencias da Terra. No.13. IGEOG – USP. São Paulo.

BISTRICHI, C. A. (2001) *Análise estratigráfica e geomorfológica do Cenozóico da região de Atibaia-Bragança Paulista, estado de São Paulo*. Rio Claro. (Tese – Doutorado). Instituto de Geociências e Ciências Exatas – UNESP.

BUZATO, E. (2000) *Distribuição atual e tipos de ferricetes nas serras de Itaqueri e São Pedro (SP) e sua relação com o relevo*. São Paulo. (Dissertação – Mestrado). FFLCH – USP.

CARMO, Roberto L. do (2001) *A água é o limite? Redistribuição espacial da população e recursos hídricos no Estado de São Paulo*. Campinas. (Tese - Doutorado). Dep. de Sociologia do IFCH – UNICAMP.

CHRISTOFOLETTI, A. (1980) *Geomorfologia*. São Paulo. Blücher.

CHRISTOFOLETTI, A. (1979) *Análise de Sistemas em Geografia*. São Paulo. Hucitec.

COUTARD, J. P.; PELLERIN, J.; AGUIAR, M. B.; COLTRINARI, L. (1978a). Carta do Modelado e das Formações Superficiais do Médio Vale do Rio Parateí, SP (1:25.000) – Memorial Explicativo. In: Sedimentologia e Pedologia no. 09 p. 03-18.

COUTARD, J. P.; FERREIRA, R. P. D.; PELLERIN, J.; QUEIROZ NETO, J. P. (1978b). Carta Geomorfológica de São Pedro, SP. (1:50.000) – Memorial Explicativo. In: Sedimentologia e Pedologia no. 12

COLTRINARI, L. (1996) Natural and Anthropogenic Interactions in the Brazilian Tropics. In: BERGER, A. R.; IAMS, W. J. Geoindicators – Assessing rapid environmental changes in earth systems. Rotterdam. Brookfield.

COLTRINARI, L. (1992) Geomorfologia e Dinâmica Quaternária no Sudeste do Brasil. In: Revista do Departamento de Geografia no. 06. São Paulo. FFLCH – USP.

COLTRINARI, L. (1982). Um exemplo de Carta Morfológica de Detalhe: a Carta do Médio Vale do Rio Parateí, SP. (1:25.000). In: Revista do Departamento de Geografia. Separata do no. 1. São Paulo. FFLCH – USP.

COLTRINARI, L. (1980) Levantamento de Vertentes em Barueri - SP. In: Geomorfologia no. 58. São Paulo. IG – USP.

COLTRINARI, L. (1974) *Contribuição à geomorfologia da região de Guaratinguetá-Aparecida*. São Paulo. (Tese – doutorado). FFLCH – USP.

COOKE e DOORKAMP (1990) *Geomorphology in environmental management – A new introduction*. Clarendon Press – Oxford.

CRUZ, O. (1981) *Alguns conhecimentos básicos para fotointerpretação*. In: Aerofotogeografia no. 25. São Paulo. IG – USP.

(1972). *Carta topográfica do município de Extrema*. IBGE. (Escala 1: 50.000).

DEHLER, N. M. e MACHADO, R. (1998) Análise Geométrica e Cinemática das Rochas Metassedimentares da Região de Ijaci, Sul de Minas Gerais. In: Revista Brasileira de Geociências vol.28. São Paulo. IG – USP.

DELPOUX, M. (1974) Ecossistema e paisagem. In: Métodos em questão no. 07. São Paulo. IGEOG – USP.

DEMEK, J. (1977) Generalization of Geomorphological Maps. In: Progress Made in Geomorphological Mapping. Brno.

DEMEK, J. (1972) *Manual of detailed geomorphological mapping*. Praga. Academia.

DEMEK, J. (1967) *Progress made in geomorphological mapping*. Brno.

ELIAS, Alexandre A. (2000) *Bacia hidrográfica do rio Jaguari e sua problemática. Projeto Água*. IE – UNICAMP.

EMBLETON, C. e VERSTAPPEN, H. T. (1988) The nature and objectives of applied geomorphological mapping. In: Z. Geomorph. N.F. no. 68. Berlim - Stuttgart.

GEORGE, Pierre. (1972) *Os métodos da Geografia*. São Paulo. Difusão Européia do Livro.

GIROLDO, L. e RODRIGUES, C. (2008) Formas erosivas em região de mananciais: as bacias hidrográficas dos rios Jaguari (SP e MG) e Jacareí (SP). Atas do SINAGEO 2008 – Prelo. Belo Horizonte

GOMES, N. R. (1992) *Joanópolis – jóia da Mantiqueira. Inventário de Recursos Naturais e Culturais para turismo*. São Paulo. (Dissertação – Mestrado). ECA – USP.

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. Secretaria de Economia e Planejamento. Coordenadoria de Divisão Regional – Divisão de Geografia. (1979). *Carta topográfica do município de Joanópolis*. São Paulo. TerraFoto. (Escala 1: 10.000).

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. Secretaria de Economia e Planejamento. Coordenadoria de Divisão Regional – Divisão de Geografia. (1979). *Carta topográfica Bairro dos Pires*. São Paulo. TerraFoto. (Escala 1: 10.000).

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. Secretaria de Economia e Planejamento. Coordenadoria de Divisão Regional – Divisão de Geografia. (1979). *Carta topográfica da Fazenda Liberdade*. São Paulo. TerraFoto. (Escala 1: 10.000).

GREGORY, J. (1992) *A Natureza da Geografia Física*. Rio de Janeiro. s. ed.

GUPTA, A. (1999) *Ge indicators for tropical urbanization*. Anais da Regional Conference on Geomorphology. Rio de Janeiro – UFRJ (prelo).

HAYDEN, R. S. (1986) Geomorphological mapping. In: SHORT, N. M.; BLAIR Jr., R. W. *Geomorphology from space*. Washington, DC, NASA, p. 637-640.

HART, M. G. (1986) *Geomorphology – Pure and Applied*. London. George Allen & Unwin.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE (1972) *Folha Topográfica de Extrema*. (1:50.000)

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (1981a) *Mapa Geológico do Estado de São Paulo* (1:500.000) – Memorial Explicativo vol 1. São Paulo. IPT, Divisão de Minas e Geologia Aplicada.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (1981b) *Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo* (1:500.000) – Memorial Explicativo vol 1. São Paulo. IPT, Divisão de Minas e Geologia Aplicada.

JOURNAUX, A. (1975) Légende pour une carte de l'environnement et de sa dynamique. In : HELLUIN-QUINEJURE, E. Les Sources de Documentation. Faculté des Lettres et Sciences Humaines de Caen. Caen.

KLIMASZEWSKI, M. (1982) *Detailed geomorphological maps*. Kraków. ITC Journal, p. 265-271.

LEINZ, V. e AMARAL, S. E. (1998) *Geologia Geral*. Nacional. São Paulo.

LIBAULT, A. (1971) Os quatro níveis da pesquisa geográfica. In: Métodos em Questão no. 01. IGEOG/USP. São Paulo.

LIMA, C. R. (1990) *Urbanização e intervenções no meio físico na borda da bacia hidrográfica sedimentar de São Paulo: uma abordagem geomorfológica*. São Paulo. (Dissertação – Mestrado) – Dep. de Geografia – FFLCH – USP.

MARUJO, Marta F. (1994) *Estudo morfológico de uma bacia hidrográfica de drenagem nas escarpas do planalto de Campos do Jordão, Serra da Mantiqueira, SP*. São Paulo. (Dissertação – Mestrado) - Dep. de Geografia -FFLCH - USP.

MATEUS, R. S. (2002) *O ritmo climático e o abastecimento de água na RMSP – o caso do Sistema Guarapiranga*. São Paulo. (Trabalho de Graduação Individual) – Dep. de Geografia – FFLCH- USP.

MECERJACOV, J. P. (1968) *Les concepts de morphostruture et de morphosculture: un nouvel instrument de l'analyse geomorphologique*. In: Annales de geographie, 77 e années 423. Paris.

MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA, SECRETARIA GERAL, MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, EMBRAPA - PROJETO RADAMBRASIL. (1983) *Mapa exploratório de solos* (1:1.000.000). Folhas SF 23/24 - Rio de Janeiro/Vitória. Rio de Janeiro.

MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA, SECRETARIA GERAL - PROJETO RADAMBRASIL. (1983) *Mapa de vegetação* (1:1.000.000). Folhas SF 23/24 - Rio de Janeiro/Vitória. Rio de Janeiro.

NIR, D. (1983) *Man, a geomorphological agent*. Israel. Keter Publishing House.

OLIVEIRA, J. de (org.) (1988) *Constituição da República Federativa do Brasil*. São Paulo. Saraiva.

PEDRAZA GILSANZ, J.; PEÑA MONNÉ, J. L.; TELLO RIPA, B. (1988) La cartografía geomorfológica. In: GUTIÉRREZ, M.; PEÑA, J.L. (eds.) Perspectivas en geomorfología. Zaragoza, Monografía S.E.G., 2.

PIACENTE, S. (1996) Man as geomorphological agent. In: PANIZZA, M. Environmental Geomorphology. Italy. Elsevier.

POPP, J. H. (1998) *Geologia Geral*. São Paulo. LTC Editora.

PORTO, M. (2003) *Recursos Hídricos e Saneamento na Região Metropolitana de São Paulo: um Desafio do Tamanho da Cidade*. Série Água Brasil. Brasília. Banco Mundial.

PROMINER. (2002) *Relatório Ambiental Preliminar (RAP) – Estrada Vicinal Joanópolis ao Bairro dos Pretos*. São Paulo.

RODRIGUES, C. (2005) Morfologia original e morfologia antropogênica na definição de unidades espaciais de planejamento urbano: exemplo na metrópole paulista. In: Revista do Departamento de Geografia no. 17. São Paulo. FFLCH – USP.

RODRIGUES, C. (2004) A urbanização da metrópole sob a perspectiva da Geomorfologia: tributo a leituras geográficas. IN: CARLOS, A. F. A. e OLIVEIRA, A. U. (org.) Geografias de São Paulo: representação e crise da metrópole. São Paulo. Contexto.

RODRIGUES, R. e RODRIGUES, C. (2000) Cartografia Morfológica de Detalhe como Subsídio às Avaliações Ambientais: Experiência na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Aveçuia, Porto Feliz (SP). In: III Simpósio Nacional de Geomorfologia/UNICAMP, 2000, Campinas. Anais do III Simpósio Nacional de Geomorfologia/UNICAMP. 1p., v. 1.

RODRIGUES, C. (1999) *On anthropogeomorphology*. Rio de Janeiro. Regional Conference on Geomorphology – UFRJ.

RODRIGUES, C. (1997) *Geomorfologia Aplicada: avaliação de experiências e de instrumentos de planejamento físico-territorial e ambiental brasileiros*. São Paulo. (Tese – Doutorado) - Dep. de Geografia – FFLCH – USP.

ROSS, J. L. S. (2003) *Geomorfologia: ambiente e planejamento*. São Paulo. Contexto.

ROSS, J. L. S. (1998) Geomorfologia Ambiental. IN: GUERRA, A. J. T. e CUNHA, S. B. Geomorfologia do Brasil. Rio de Janeiro. Bertrand Brasil.

ROSS, J. L. S. e MOROZ, I. C. (1997a) *Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo* (1:500.000) – Memorial Explicativo vol. 1. São Paulo. FFLCH/USP, IPT, FAPESP.

ROSS, J. L. S. e MOROZ, I. C. (1997b) *Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo* (1:500.000). São Paulo. FFLCH/USP, IPT, FAPESP.

ROSS, J. L. S. (1995) Geomorfologia aplicada aos EIAs-RIMAs. IN: GUERRA, A. J. T. e CUNHA, S. B. Geomorfologia e meio ambiente. Rio de Janeiro. Bertrand Brasil.

ROSS, J. L. S. (1994) Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizados. IN: Revista do Departamento de Geografia no. 08. São Paulo. FFLCH – USP.

ROSS, J. L. S. (1992) O Registro Cartográfico dos Fatos Geomórficos e a Questão da Taxonomia do Relevo. IN: Revista do Departamento de Geografia no. 06. FFLCH – USP. São Paulo.

ROSS, J. L. S. (1987) *Estudo e Cartografia Geomorfológica da Província Serrana – MT*. São Paulo. (Tese – Doutorado) - Dep. de Geografia – FFLCH – USP.

RUDIO, Franz V. (1979) *Introdução ao projeto de pesquisa científica*. Rio de Janeiro. Vozes.

SABESP (Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo). (1989) *Data Oper Sistema Cantareira*. Governo do Estado de São Paulo.

SALEMI, M. A. G. (1974) Cartografia Hidrogeomorfológica. Un Ejemplo de su Aplicacion : Amaicha del Valle. In : Geomorfologia no. 46. São Paulo. IG – USP.

SAVIGEAR, R.A.G. (1965) *A technique of morphological mapping*. University of Sheffield, England.

SOARES, P. C. e FIORI, A. P. (1976) *Lógica e sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas em Geologia*. In: Not. Geomorfol., 16. Campinas.

SOTCHAVA, V. B. (1978) Uma teoria de classificação de geossistemas da vida terrestre. IN: Bibliografia no. 14. IGEOG – USP.

ST-ONGE, D. A. (1968). Geomorphic Maps. In : FAIRBRIDGE, R. W. The Encyclopedia of Geomorphology. Encyclopedia of Earth Sciences, vol. III. N. York. Reinhold Book Corp. p. 388 – 403.

TRICART, J. (1977) *O conceito ecológico*. IN: Ecodinâmica.

TRICART, J. (1965) *Principes et methodes de la geomorphologie*. Paris. Masson et Cie editeurs.

VARGAS, M. S. (1995) *Mapeamento Morfológico de um Trecho das Vertentes da Serra do Mar entre as Praias das Galhetas e do Guaecá, São Sebastião, SP*. São Paulo. (Dissertação – Mestrado) - Dep. De Geografia – FFLCH /USP.

VERSTAPPEN, H. T. (1977) *Remote Sensing in Geomorphology*. Amsterdam. Elsevier Scientific Publishing Company.

VINK, A. P. A.; VERSTAPPEN, H. Th. e BOON, D. A. (1982) Problemas Metodológicos da Interpretação de Fotografias Aéreas. In: ANDERSON, P. S. (coord.) Fundamentos para Fotointerpretação. Sociedade Brasileira de Cartografia. s. l.

Sites consultados

www.ibge.gov.br

www.igc.sp.gov.br

www.legislacao.sp.gov.br (consultado em 19/07/06)

www.sabesp.com.br

www.socioambiental.org (acessado em 12/07/06 e 03/07/07)

http://camarajoaopolis.sp.gov.br/lei_organica.php (acessado em 02/07/07)

http://camarajoaopolis.sp.gov.br/plano_diretor.php (acessado em 02/07/07)

<http://www.sigam.ambiente.sp.gov.br> (acessado em 20/07/07)

http://www.planalto.gov.br/ccivil/LEIS/LEIS_2001/10257.htm (acessado em 05/07/07)

http://www.ana.gov.br/SalaImprensa/noticiasExibe.asp?ID_Noticia=437 (acessado em 05/07/07)

<http://www.mma.gov.br/pot/conama/re/res02/res30202.html> (acessado em 20/07/07)

<http://www.mma.gov.br/pot/conama/re/res02/res30203.html> (acessado em 20/07/07)