UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Instituto de Geociências e Ciências Exatas

***Campus* de Rio Claro**

ADRIANO LUÍS HECK SIMON

INFLUÊNCIA DO RESERVATÓRIO DE BARRA BONITA SOBRE A MORFOHIDROGRAFIA DA BAIXA BACIA DO RIO PIRACICABA – SP: CONTRIBUIÇÕES À GEOMORFOLOGIA ANTROPOGÊNICA

Tese de Doutorado apresentada ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas do Campus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Geografia.

Rio Claro – SP

2010

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Instituto de Geociências e Ciências Exatas

***Campus* de Rio Claro**

ADRIANO LUÍS HECK SIMON

INFLUÊNCIA DO RESERVATÓRIO DE BARRA BONITA SOBRE A MORFOHIDROGRAFIA DA BAIXA BACIA DO RIO PIRACICABA – SP: CONTRIBUIÇÕES À GEOMORFOLOGIA ANTROPOGÊNICA

Tese de Doutorado apresentada ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas do Campus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Geografia.

Orientador: Dr. Archimedes Perez Filho
Co-orientador: Dra. Cenira Maria Lupinacci da Cunha

Rio Claro – SP

2010

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dr. Archimedes Perez Filho – Orientador
(IGCE/UNEP/Rio Claro)

Profa. Dra. Regina Célia de Oliveira
(IGE/UNICAMP)

Prof. Dr. João Osvaldo Rodrigues Nunes
(FCT/UNESP/Presidente Prudente)

Prof. Dr. Sérgio dos Anjos Ferreira Pinto
(IGCE/UNESP/Rio Claro)

Prof. Fabiano Tomazini da Conceição
(IGCE/UNESP/Rio Claro)

Resultado final – APROVADO

Rio Claro – 20 de Dezembro de 2010

AGRADECIMENTOS

Ao Dr. Archimedes Perez Filho, pelo voto de confiança depositado em minha proposta de trabalho, pelas orientações, pela disponibilidade e por apoiar sempre a criatividade dos novos geomorfólogos.

Agradeço a Dra. Cenira Maria Lupinacci da Cunha, por todos os ensinamentos geomorfológicos, geográficos e pessoais, pelas orientações objetivas, pelas oportunidades, pela confiança no meu trabalho e na minha pessoa, pela sinceridade em todos os momentos, e pelo exemplo de profissional a ser seguido.

[redacted]

A Dra. Iandara Alves Mendes, agradeço muito pelas orientações recebidas nos exames de qualificação de mestrado e de doutorado e pelas primeiras orientações neste período de UNESP.

Aos meus pais Mauri e Marta, que me apoiaram sempre, incondicionalmente, respeitando e admirando meu trabalho. À minha irmã Patrícia, tão querida, pela amizade e pela compreensão desses anos de distância.

Agradeço à Fernanda Ludwig, pelo amor e companheirismo, pela compreensão, por ter caminhado comigo durante este período e por termos construído juntos um sonho que se torna realidade.

A minha grande amiga e colega Gracieli Trentin. Como pessoa: especial, sincera e companheira. Como profissional: competente, crítica e sagaz. Obrigado!

A Cristina Beneditti, pela amizade e, sobretudo pela ajuda e disposição nos trabalhos de campo.

Agradeço a Cristiane da Silva Ramos pelo auxilio durante minha estadia em Melbourne, mas acima de tudo pela amizade e pelos conselhos profissionais e pessoais que surgiram neste período.

Às colegas, Letícia Giuliana Paschoal, Tissiana de Almeida de Souza e Simone Emiko Sato, pela descoberta de uma grande amizade, pelas discussões geomorfológicas. Aprendi muito com vocês!

À Cláudia Vanessa dos Santos Corrêa, Livi Schivinatto, Fernando Aguirre, Lindyce Fernandes e Camila Brito pelo auxílio nos trabalhos de mapeamento. Vocês foram em vários momentos o meu braço direito nessa empreitada!

Aos colegas do Laboratório de Geomorfologia da UNESP de Rio Claro. Obrigado por poder compartilhar com vocês de um lugar tão bom para trabalhar aprender.

A Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo (processo n. 08/54524-2), pela concessão de bolsa de estudo.

Por fim, meu agradecimento a todos que de alguma forma colaboraram para o desenvolvimento desta pesquisa.

RESUMO

A imposição de mecanismos de controle antrópico sobre a dinâmica da morfohidrografia transforma os processos modeladores do relevo e faz com que os mesmos passem a respeitar uma lógica diferenciada de evolução. Como consequência, feições do relevo antropogênicas podem se desenvolver em função da reorganização da morfodinâmica. Diante destas considerações, esta pesquisa foi desenvolvida com o objetivo de identificar e analisar as alterações impostas à dinâmica geomorfológica no setor à montante do reservatório de Barra Bonita, no eixo final do Rio Piracicaba - SP, a fim de evidenciar a evolução das formas do relevo e da dinâmica fluvial em áreas controladas por barramentos e com predomínio de atividades agropastoris, sob a perspectiva da antropogeomorfologia. A operacionalização do trabalho ocorreu a partir da elaboração de mapas geomorfológicos e da dinâmica de ocupação e uso das terras em quatro cenários para o setor de fundo de vale (1962, 1972, 1995 e 2007) e três cenários para as bacias hidrográficas dos ribeirões Samambaia e Bonito (1962, 1972 e 2007). Mapas de declividade também foram elaborados para as bacias hidrográficas, a fim de avaliar as características da geometria do relevo e sua relação com o processo de ocupação e com as alterações morfohidrográficas. Por fim foi realizada a análise areal das bacias hidrográficas, com ênfase nos índices de densidade de rios e de drenagem, avaliados em três cenários (1962, 1972 e 2007). Os mapeamentos geomorfológicos indicaram alterações diretas e indiretas sobre os elementos morfohidrográficos e os mapeamentos de ocupação e uso das terras evidenciaram a evolução significativa das áreas de cana-de-açúcar. Assim, foi possível confirmar a tese de que as formas e processos geomorfológicos são ativamente controlados pela ação antrópica em regiões que possuem sua morfohidrodinâmica fortemente influenciada pela elevação do nível de base causada pela construção de reservatórios. As alterações de caráter direto desencadeadas pela mudança no nível de base foram maiores no setor de fundo de vale, em áreas onde houve alagamento das feições geomorfológicas organizadas sobre depósitos aluviais. A elevação do nível de base teve repercussões indiretas nas bacias hidrográficas, e foi acompanhada por um processo de ocupação e uso das terras que contribuiu para as transformações verificadas nos índices de densidade de rios e de drenagem, atuando na organização de processos e formas antropogênicas.

Palavras-chave: Antropogeomorfologia. Morfohidrografia. Ocupação e uso das terras. Bacia Hidrográfica. Rio Piracicaba.

INFLUENCE OF BARRA BONITA RESERVOIR AT PIRACICABA LOW COURSE MORPHOHYDROGRAPHY: CONTRIBUTIONS TO ANTHROPOGENIC GEOMORPHOLOGY

ABSTRACT

The imposition of anthropic control mechanisms on the morphohydrography dynamics changes the modeling processes and makes them follow a different evolution perspective. As consequence, anthropogenic land features can develop due to the morphodynamics reorganization. Based on these context, the present study had as main aim the identification and analysis of changes imposed on the geomorphological dynamics in the sector upstream to Barra Bonita Reservoir, at the final course of Piracicaba River, Sao Paulo State, Brazil, showing the evolution of landforms and fluvial dynamics in areas controlled by busbars where agriculture and livestock activities predominate, from the anthropogeomorphologic perspective. The work started with the elaboration of geomorphological maps and land use maps in four scenarios for the valley bottom sector (1962, 1972, 1995 and 2007) and three scenarios for the watersheds of Samambaia and Bonito rivers (1962, 1972 and 2007). Slope maps were also elaborated for the watersheds in order to evaluate the land geometric features and their relationship with the occupation process and the morphohydrographic changes. At last, an areal analysis of the watersheds was performed focusing on the drainage density index of rivers, assessed in three scenarios (1962, 1972 and 2007). Geomorphologic mappings indicated direct and indirect changes on morphohydrographic elements, while occupation and land use mappings evidenced the significant evolution of sugarcane areas. Thus, the thesis that geomorphologic processes and forms are actively controlled by the anthropic action in regions where the morphohydrodynamics is strongly influenced by the base level elevation, caused by the construction of reservoirs could be confirmed. Direct changes caused by the base level alteration were higher in the valley bottom sector, in areas with flooding of geomorphologic features organized by alluvial deposits. The base level elevation had indirect consequences on the watersheds and was followed by a process of land occupation and use, which contributed to the changes observed in the drainage density index of rivers, acting in the organization of anthropogenic processes and forms.

Key-words: Anthropogeomorphology. Morphohydrography. Land use. Hidrographyc Basin. Piracicaba River.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Adaptação das simbologias de Tricart (1965) e Verstappen; Zuidan (1975) aplicadas ao mapeamento geomorfológico na área em estudo. 35
Figura 2: Mapeamento das feições geomorfológicas no setor das cuestas basálticas (A); na média bacia do ribeirão Bonito (B) e no setor de fundo de vale do Rio Piracicaba (C), a partir da utilização de imagens do sistema ALOS/PRISM. 41
Figura 3: Ábacos para a elaboração de cartas de declividade e utilização do ábaco complementar. 47
Figura 4: Elaboração e utilização do ábaco analógico. 48
Figura 5: Etapas da estrutura organizacional do ábaco digital. 48
Figura 6: Etapas da estrutura organizacional do ábaco digital. 49
Figura 7: Aspecto do uso da terra nas vertentes marginais ao setor de fundo de vale do baixo Rio Piracicaba: 63
Figura 8: Características da foz do Rio Piracicaba em área de oscilação da lâmina de água do reservatório de Barra Bonita: 67
Figura 9: Aspectos da área sob oscilação do nível da lâmina de água do reservatório de Barra Bonita: 68
Figura 10: Características de cabeceiras de drenagem com evidências de dinamização de retomadas erosivas: 78
Figura 11: Setores de análise e localização das amostras circulares na bacia 80
Figura 12: Característica das áreas de expansão da estrutura urbana de baixa densidade na bacia do ribeirão Samambaia: 86
Figura 13: Características do setor do front cuestiforme na área de abrangência da amostra circular 8: 89
Figura 14: Setores de análise e localização das amostras circulares na bacia do ribeirão Bonito. 97
Figura 15: Características morfohidrográficas e do uso da terra em área de abrangência da amostra 1 na bacia do ribeirão Bonito: 99
Figura 16: Aspectos da evolução das lavouras de cana-de-açúcar em área de abrangência da amostra 3: (a) no ano de 1962 e (b) no ano de 2007. 101
Figura 17: Área de abrangência da amostra 5 na bacia do ribeirão Bonito: 103
Figura 18: Aspectos da área de intenso voçorocamento na amostra 6: 104

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Extensão espacial das principais feições geomorfológicas de fundo de vale (segmento final do Rio Piracicaba - SP – (1962). 56
Tabela 2: Extensão (em km²) das classes de ocupação e uso das terras no setor de fundo de vale do curso final do Rio Piracicaba. 61
Tabela 3: Ocupação e uso das terras na bacia do ribeirão Samambaia. 74
Tabela 4: Formas de origem denudativa identificadas na Bacia do Ribeirão Samambaia 76
Tabela 5: Valores da densidade de rios (Dr) na bacia do ribeirão Samambaia em 1962, 1972 e 2007 79
Tabela 6: Valores da densidade de drenagem (Dd) na bacia do ribeirão Samambaia em 1962, 1972 e 2007 79
Tabela 7: Ocupação e uso das terras na bacia do ribeirão Bonito 92
Tabela 8: Formas de origem denudativa identificadas na Bacia do Ribeirão Bonito 94
Tabela 9: Valores da densidade de rios (Dr) na bacia do ribeirão Bonito em 1962, 1972 e 2007 96

Tabela 10: Valores da densidade de drenagem (Dr) na bacia do ribeirão Bonito em 1962, 1972 e 2007 96

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Características das classes adotadas para o mapeamento das declividades nas bacias do ribeirões Samambaia e Bonito. 46

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Evolução da ocupação e uso das terras no setor de fundo de vale do curso final do Rio Piracicaba. 60

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1: Base cartográfica da área em estudo
Anexo 2: Características físico-ambientais do segmento final do baixo curso do Rio Piracicaba
Anexo 3: Características físico-ambientais da bacia do ribeirão Samambaia
Anexo 4: Características físico-ambientais da bacia do ribeirão Bonito
Anexo 5: Sistema de classificação da ocupação e uso das terras na área em estudo
Anexo 6: Mapa geomorfológico do setor de fundo de vale da baixa bacia do Rio Piracicaba – SP (1962)
Anexo 7: Mapa de ocupação e uso das terras do setor de fundo de vale da baixa bacia do Rio Piracicaba – SP (1962)
Anexo 8: Mapa geomorfológico do setor de fundo de vale da baixa bacia do Rio Piracicaba – SP (1972)
Anexo 9: Mapa de ocupação e uso das terras do setor de fundo de vale da baixa bacia do Rio Piracicaba – SP (1972)
Anexo 10: Mapa geomorfológico do setor de fundo de vale da baixa bacia do Rio Piracicaba – SP (1995)
Anexo 11: Mapa de ocupação e uso das terras do setor de fundo de vale da baixa bacia do Rio Piracicaba – SP (1995)
Anexo12: Mapa geomorfológico do setor de fundo de vale da baixa bacia do Rio Piracicaba – SP (2007)
Anexo13: Mapa de ocupação e uso das terras do setor de fundo de vale da baixa bacia do Rio Piracicaba – SP (2007)
Anexo 14: Ocupação e uso das terras na bacia do ribeirão Samambaia – SP (1962, 1972 e 2007)
Anexo 15: Geomorfologia da bacia do ribeirão Samambaia – SP (1962, 1972 e 2007)
Anexo 16: Amostras circulares da bacia do ribeirão Samambaia
Anexo 17: Mapa das classes de declividade da bacia do ribeirão Samambaia – SP
Anexo 18: Ocupação e uso das terras na bacia do ribeirão Bonito – SP (1962, 1972 e 2007)
Anexo 19: Geomorfologia da bacia do ribeirão Bonito – SP (1962, 1972 e 2007)
Anexo 20: Mapa das classes de declividade na bacia do ribeirão Bonito – SP
Anexo 21: Amostras circulares da bacia do ribeirão Bonito
Anexo 22: Síntese das alterações morfohidrográficas e na dinâmica de ocupação e uso das terras na área em estudo

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 1

2. CARACTERIZAÇÃO DO MEIO FÍSICO E DO PROCESSO DE OCUPAÇÃO DA ÁREA EM ESTUDO 7

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA 21

3.1 Sistemas em Geografia e as Organizações Espaciais 21

3.2 A ação do Homem sobre sistemas morfohidrográficos: Antropogeomorfologia 23

4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS 32

4.1 Técnicas cartográficas 32

4.1.1 Base cartográfica 32

4.1.2 Mapas geomorfológicos dos anos de 1962, 1972, 1995 e 2007 33

4.1.2.1 Organização da legenda dos mapas geomorfológicos 33

4.1.2.2 Mapeamento geomorfológico das bacias dos ribeirões Samambaia e Bonito 39

4.1.2.3 Mapeamento geomorfológico do setor de fundo de vale do baixo curso do Rio Piracicaba 42

4.1.3 Mapas de ocupação e uso das terras dos anos de 1962, 1972, 1995 e 2007 42

4.1.3.1 Organização da legenda dos mapas de ocupação e uso das terras 42

4.1.3.2 Mapeamento da ocupação e uso das terras das bacias dos ribeirões Samambaia e Bonito e do setor de fundo de vale do baixo curso do Rio Piracicaba 44

4.1.4 Mapas das classes de declividade das bacias dos ribeirões Samambaia e Bonito 44

4.2 Análise areal das bacias hidrográficas 50

5.2.1 Análise temporal com base em amostras circulares 51

4.3 Trabalhos de campo 52

5. ANÁLISE DOS RESULTADOS 54

5.1 Alterações morfohidrográficas e dinâmica de ocupação e uso das terras no setor de fundo de vale do baixo curso do Rio Piracicaba 55

5.1.1 Aspectos da morfologia original no ano de 1962 55

5.2 Alterações morfohidrográficas e dinâmica de ocupação e uso das terras nas bacias dos ribeirões Samambaia e Bonito. 73

5.2.1 A bacia hidrográfica do ribeirão Samambaia 73

5.2.1.1 Setor da baixa bacia 81
5.2.1.2 Setor da média bacia 84
5.2.1.3 Setor do *front* cuestiforme 88
5.2.1.4 Setor do reverso cuestiforme 90
5.2.2 A bacia hidrográfica do ribeirão Bonito 92
5.2.2.1 Setor da média e baixa bacia 98
5.2.2.2 Setor do *front* cuestiforme e dos patamares estruturais 106
5.2.2.3 Setor do reverso cuestiforme 109

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS 111

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 119

ANEXOS 128

1. INTRODUÇÃO

A temática ambiental tornou-se expressiva nos debates contemporâneos. A Geografia, e em especial a Geografia Física, sempre ocuparam papel de destaque entre as ciências que abordam questões vinculadas à análise dos sistemas físico-ambientais, bem como as consequências da intervenção antrópica sobre os elementos que compõe estes sistemas, atuando na alteração dos seus atributos.

A evolução tecnológica do sistema socioeconômico promoveu transformações graduais e intensas nos elementos dos sistemas físico-ambientais, desencadeando alterações, sobretudo naqueles elementos que se encontram em contato direto com as atividades humanas como a cobertura vegetal, as formas do relevo e a rede hidrográfica (CASSETI, 1994). Desta forma, a transformação inicial da cobertura vegetal estabelece o *start* de outros fenômenos verificados principalmente sobre as formas do relevo e sobre a hidrografia, alterando, consequentemente, a morfodinâmica e a dinâmica fluvial (CASSETI, 1994; DREW, 1986; NIR, 1983).

Christofoletti (1967) e Perez Filho et al. (2001) afirmam que a ação antrópica atribui características artificiais aos sistemas geomorfológicos e hidrográficos a partir de interferências na morfodinâmica e manifestam a necessidade em analisar as repercussões que a atividade humana desencadeia sobre os processos geomorfológicos.

Tais estudos devem basear-se numa perspectiva histórica, ou seja, que se esforce em avaliar a evolução da intervenção antrópica, procurando compreender de que modo elas

contribuíram para o controle da morfodinâmica, através da aceleração, estagnação ou anulamento de determinados processos evidenciados na atualidade.

Amorim e Nunes (2006) afirmam que a análise ambiental em Geografia Física e, por extensão, aquela vinculada à geomorfologia, deve procurar elementos que convirjam para estudos integrados, onde as relações entre homem e natureza repercutam em pesquisas de cunho sistêmico. Suertegaray e Nunes (2001) manifestam a importância de análises geomorfológicas que inserem o agente antrópico enquanto elemento ativo nas transformações do relevo, procurando analisar as alterações com enfoques veiculados para além de uma escala de tempo geológica, considerando, por conseguinte, a escala de tempo humana ou histórica, assimilando o "tempo que se faz" e a velocidade deste fazer humano sobre as formas e processos geomorfológicos.

Estas novas concepções fazem parte de discussões que vêm figurando no cenário geomorfológico mundial e ampliando sua significância em pesquisas acadêmicas. Nir (1983) realizou um resgate histórico das modalidades de intervenção antrópica sobre as formas do relevo, recorrendo a clássicos como Marsh (1864) e Sherlock (1922; 1931), ícones da vanguarda na inserção do agente antrópico em estudos geomorfológicos e geológicos.

Nir (1983) organizou suas análises em torno da concepção de que a quase totalidade dos processos geomorfológicos encontra-se sob influência de mecanismos de controle antrópicos, que impõem barreiras ou condicionam à aceleração da morfodinâmica. Desta forma, considerando o homem enquanto agente geomorfológico, o autor citado sugere o estudo da Geomorfologia Antrópica, Geomorfologia Antropogênica ou Antropogeomorfologia.

O desencadeamento e evolução de processos morfohidrográficos antropogênicos são frequentemente pesquisados em regiões densamente urbanizadas. Entretanto, áreas sob interferência de reservatórios hidrelétricos, onde a dinâmica de ocupação e uso das terras é marcada por atividades agropastoris, com espaços urbanos de pequeno e médio porte, também oferecem interessante campo de pesquisa para as análises voltadas aos impactos antrópicos sobre a morfohidrografia. Mesmo assim, esta modalidade de estudos recebe pouca atenção e precisa ser mais bem explorada.

Os reservatórios destinados à produção de energia geram impactos na hidrologia, como a alteração do fluxo de corrente, alteração de vazão, alargamento do leito, elevação do nível de base e geração de áreas alagadas. Estes impactos abrangem também a erosão marginal do barramento, com significativas perdas do solo e assoreamento do lago,

provocando a diminuição da vida útil do reservatório e da função para geração de energia elétrica (LEITE, 2005).

Os efeitos da construção de reservatórios associados à dinâmica de ocupação e uso das terras em áreas onde predominam atividades agropecuárias, com espaços urbanos de pequeno e médio porte, compreendem outra lógica de transformação das feições do relevo e de alteração da morfohidrodinâmica. Estudos realizados nestas áreas devem partir do fato de que estas apresentam um processo de ocupação histórico, onde várias conjunturas de interferência antrópica atuaram na transformação dos elementos do sistema físico-ambiental. Portanto, a abordagem histórica deve reconhecer este processo de ocupação a fim de conceder fidelidade à análise das atuais alterações e estado de controle imposto pela ação antrópica (PEREZ FILHO, 2007).

Estudos recentes realizados por Rodrigues (2006) e Perez Filho et al. (2001) em reservatórios de grande porte do estado de São Paulo, vêm demonstrando que a situação de reajustamento dos canais fluviais em face da imposição de reservatórios, descrita por Christofoletti (1980), Brookes (1988) e Cunha (2001), possui um caráter muito mais complexo, diretamente ligado ao perfil de integração existente entre os elementos naturais e seus atributos, bem como à atuação antrópica.

A relação destes fatores é capaz de promover a intensificação de processos de sedimentação e reativação fluvial por toda a extensão das áreas à montante do barramento, a partir de mecanismos de retroalimentação que não possuem direção e magnitudes únicas e previsíveis. Assim, existe uma atenção veemente por parte desta pesquisa em confluir para análises sobre os processos que se desenvolvem em bacias hidrográficas e em setores de fundo de vale alagados por reservatórios, procurando corroborar com estudos contemporâneos que evidenciam a complexidade do reajustamento dos elementos e atributos do sistema físico-ambiental em face da imposição de mecanismos de controle antrópico.

Neste contexto, considera-se que a cartografia geomorfológica cria subsídios para a avaliação destas transformações, a partir do mapeamento de cenários de diferentes épocas, que demonstram a evolução de feições geomorfológicas coordenadas pela lógica de ocupação e uso das terras. Existe assim a possibilidade de identificar as características anteriores e posteriores à consolidação dos pontos de controle mais intensos, como reservatórios e alterações bruscas na cobertura vegetal original para a implantação de zonas agrícolas, abrangendo a análise do antes (morfologia original) e do depois (morfologia antropogênica), conforme proposto por Nir (1983), Rodrigues (2005) e Fujimoto (2002).

Os mapas geomorfológicos em séries temporais possibilitam a identificação de transformações espaciais ocorridas na rede de drenagem (alteração na configuração dos canais, aumento no número de canais de drenagem, canalização ou retilinização de determinados segmentos dos rios). Ainda, a partir do mapa geomorfológico, é possível verificar a evolução de feições produzidas pelo agente antrópico e que possuem significativa atuação na morfodinâmica local, como por exemplo: cortes e aterros para construção de estradas e rodovias, cortes bruscos na topografia para a exploração mineral, pontes, dutos, terraços agrícolas e curvas de nível, todos estes contribuindo ativamente para a alteração da morfodinâmica.

Partindo destas considerações preliminares, esta pesquisa foi desenvolvida com o **objetivo geral** de identificar e analisar as alterações impostas à dinâmica geomorfológica no setor à montante do reservatório de Barra Bonita, no eixo final do Rio Piracicaba, a fim de evidenciar a evolução das formas do relevo e da dinâmica fluvial em áreas controladas por barramentos e com predomínio de atividades agropastoris intensas. A análise ocorreu sob a perspectiva da abordagem Antropogeomorfológica e enfatizou as transformações desencadeadas no setor de fundo de vale do baixo curso do Rio Piracicaba (palco de variações na lâmina de água do reservatório), abrangendo também a repercussão da intervenção humana em duas bacias hidrográficas experimentais marginais: a bacia hidrográfica do ribeirão Bonito, que teve as áreas de foz e baixo curso totalmente alagadas; e a bacia do ribeirão Samambaia, sob influência da sazonalidade no nível da lâmina de água do reservatório de Barra Bonita.

A partir do objetivo geral, foram propostos os seguintes **objetivos específico**s:

* Identificar as principais formas do relevo da área a partir de mapeamentos geomorfológicos em distintas situações temporais (1962, 1972, 1995 e 2007). Tais mapeamentos permitem reconhecer e avaliar as transformações ocorridas sobre a morfologia e sobre a rede hidrográfica, bem como a evolução das formas de relevo derivadas da ação humana, que de acordo com Nir (1983) compõe o espectro da Antropogeomorfologia.

* Obter dados sobre a dinâmica da ocupação e uso das terras, por meio de mapeamentos dos anos de 1962, 1972, 1995 e 2007, a fim de estabelecer a contribuição do processo de ocupação humana na área em questão. O uso da terra representa um retrato estático das manifestações dinâmicas desencadeadas pelas relações socioeconômicas de um território com as características físico-ambientais. A interpretação desse retrato – em um

único período ou em série cronológica – revela indicadores de eventos que reproduzem a evolução histórico-temporal da área em estudo.

* Avaliar as implicações que a alteração no nível de base local – desencadeada pela construção do reservatório de Barra Bonita – impôs à dinâmica morfohidrográfica da área em estudo, sobretudo na configuração espacial dos canais de drenagem.

A partir dos objetivos propostos, pretende-se comprovar a tese de que as formas e processos geomorfológicos são ativamente controlados pela ação antrópica em regiões que possuem sua morfohidrodinâmica fortemente influenciada pela elevação do nível de base local causada pela construção de reservatórios. O barramento altera setores do canal fluvial principal e as bacias hidrográficas adjacentes e tal transformação reflete nas vertentes e no sistema erosivo da área, que ainda sofre interferências diretas e indiretas da dinâmica de ocupação e uso das terras voltada para atividades agropastoris. Como consequência, tem-se a evolução de um relevo antropogênico caracterizado pela dinamização dos processos modeladores.

Diante desta questão, foram lançadas hipóteses que orientaram a pesquisa no sentido de legitimar a tese proposta:

- Bacias hidrográficas sob influência de níveis de base artificiais, como no caso do reservatório de Barra Bonita, tendem a reativação do entalhamento fluvial, ocasionando a aceleração dos processos erosivos e de sedimentação, assim como o consequente reajustamento das vertentes às novas condições estabelecidas;

- A alteração no nível de base local conduz a reajustes fluviais que desencadeiam o aumento da densidade de drenagem e da densidade de rios, como fruto do processo de reativação fluvial;

- A significativa ação dos mecanismos antrópicos sobre a dinâmica geomorfológica faz com que terrenos teoricamente não suscetíveis à erosão intensa, devido a aspectos da geometria do relevo como a declividade e as densidades de drenagem e de rios, venham a sofrer tais processos;

- As características da dinâmica de ocupação e uso das terras em áreas onde predominam atividades agropastoris atuam de forma decisiva na imposição de mecanismos de controle diretos e indiretos sobre as formas do relevo e sobre a rede hidrográfica, conduzindo a alterações que se irradiam a partir de mecanismos de retroalimentação, provocando a aceleração dos processos erosivos;

- Tanto a alteração do nível de base, ocasionada pelo barramento, como a evolução do uso da terra em áreas com predomínio de usos voltados às atividades agropastoris, contribuem diretamente para a criação de formas de relevo antropogênicas que dinamizam os processos geomorfológicos.

- O mapeamento geomorfológico, a partir da análise temporal das alterações nas formas do relevo, e por dedução, dos processos atrelados, possibilita o reconhecimento de transformações sobre as taxas de erosão, por meio da constatação de mudanças nas feições do relevo que caracterizam maior dinâmica erosiva.

Para a apresentação das análises realizadas, a tese foi estruturada em seis capítulos: o **1° Capítulo** realiza uma introdução acerca da temática proposta, enquanto o **2° Capítulo** apresenta a caracterização geral da área em estudo, a partir de informações sobre o processo histórico de ocupação, bem como das características dos elementos que compõe o sistema físico-ambiental.

No **3° Capítulo** é apresentada a fundamentação teórica da pesquisa, com ênfase ao método científico adotado e à ação do agente antrópico sobre os sistemas morfohidrográficos, enquanto problemática nos estudos geomorfológicos.

No **4° Capítulo** são detalhados os procedimentos metodológicos que compreendem o conjunto de técnicas cartográficas, a análise areal das bacias hidrográficas e os trabalhos de campo.

O **5° Capítulo** apresenta a análise dos resultados obtidos, procurando estabelecer a relação entre as alterações morfohidrográficas verificadas com as transformações no nível de base e com a dinâmica de ocupação e uso das terras, a partir de uma concepção sistêmica, vinculada a geomorfologia antropogênica. Por fim, o **6° Capítulo** engloba as considerações finais, relacionando os resultados obtidos com a tese proposta, com o objetivo central e com as hipóteses lançadas para a presente pesquisa.

2. CARACTERIZAÇÃO DO MEIO FÍSICO E DO PROCESSO DE OCUPAÇÃO DA ÁREA EM ESTUDO

A organização espacial da área em estudo decorre das relações entre o sistema físico-ambiental e o sistema socioeconômico (CHRISTOFOLETTI, 1999). A ação do sistema socioeconômico sobre os elementos naturais desencadeia o controle de alguns processos que passam a ocorrer de acordo com as intenções antrópicas. Assim, para compreender a organização espacial da área selecionada para a aplicação desta pesquisa, fez-se necessária a caracterização geográfica dos elementos que compõe o sistema físico-ambiental e das peculiaridades evolutivas do sistema socioeconômico.

A área em estudo localiza-se na baixa bacia do Rio Piracicaba, estado de São Paulo (Anexo 1). Os objetivos da pesquisa conduziram à seleção de duas áreas distintas: (1) uma extensão de fundo de vale, localizada entre a foz do Ribeirão Araquá e a foz do Rio Piracicaba no Rio Tietê (já compreendendo o reservatório de Barra Bonita) e (2) duas bacias hidrográficas à margem direita do Rio Piracicaba: a bacia do ribeirão Samambaia (70,5 km²) e a bacia do ribeirão Bonito (92,3 km²). A primeira localiza-se integralmente no município de São Pedro enquanto a segunda ocupa parte do município de Santa Maria da Serra (média e baixa bacia) e Torrinha (alta bacia).

A dimensão e a localização espacial dos recortes selecionados para a aplicação da pesquisa sugerem uma caracterização da área que abranja um contexto regional, evidenciando, sempre que possível, as peculiaridades.

O arcabouço estrutural no qual se assentam as superfícies da área de estudo faz parte, de forma integral, da Bacia Sedimentar do Paraná, que abrange a parte centro-ocidental do Estado de São Paulo. Trata-se de uma bacia intra-cratônica, com material acumulado de gênese distinta, abrangendo litologias sedimentares de origem marinha, flúvio-lacustre e desértica, datadas do Paleozóico e do Mesozóico (ALMEIDA, 1956; IPT, 1981a).

De acordo com Almeida (1949), desde sua constituição, no Devoniano inferior, a Bacia do Paraná vem sofrendo subsidência acentuada ao longo de seu eixo central, fato que determina a inclinação das camadas sedimentares em sua periferia, conferindo caráter homoclinal em setores como os da borda leste situada no Estado de São Paulo. No Jurássico, processos tectônicos desencadearam uma série de fraturas e falhas que deram vazão a grandes quantidades de magma basáltico, formando derrames, *sills* e diques de rochas básicas (ALMEIDA, 1956; IPT, 1981a).

Tais derrames basálticos deram origem a rochas resistentes da Formação Serra Geral, que junto com as Formações Pirambóia e Botucatu constituem o Grupo São Bento e ocorrem na área em estudo. São identificados também Depósitos de Cimeira no reverso da *cuesta* e Depósitos Aluviais nos compartimentos de fundo de vale principais (IPT, 1981a). Litologias vinculadas à Formação Corumbataí também ocorrem com menor representatividade (Anexos 2, 3 e 4).

A Formação Corumbataí apresenta espessuras inferiores a 150 metros no estado de São Paulo e data do Permiano Superior (Kazaniano). Geralmente, está assentada de forma concordante sobre as superfícies da Formação Irati e conectada de forma discordante com os sedimentos superiores da Formação Pirambóia (IPT, 1981a; RADAMBRASIL, 1983). Caracteriza-se nas porções inferiores por argilitos, folhelhos e siltitos de cor cinza escura, depositados em ambiente marinho de águas rasas. A parte superior é composta por argilitos, folhelhos e siltitos arroxeados a avermelhados, com intercalações carbonáticas e camadas de arenitos muito finos, depositados sob ação de águas rasas, em condições climáticas oxidantes, sob influência das marés (IPT, 1981a; RADAMBRASIL, 1983; FACINCANI, 2000; ANDREIS; CARVALHO, 2001). Na área de estudo, esta formação localiza-se no entorno do fundo de vale do Rio Piracicaba à montante da foz da bacia do Ribeirão Samambaia (Anexo 2).

O Grupo São Bento abrange os arenitos e basaltos de idade Juracretácea, de grande representatividade areal na Bacia Sedimentar do Paraná. Subdivide-se, da base ao topo, em: Formação Pirambóia, Formação Botucatu e Formação Serra Geral (RADAMBRASIL, 1983).

A Formação Pirambóia compreende a sucessão de camadas arenosas e avermelhadas do Mesozóico (pré Jurássico superior), de granulação fina e maior fração de argila nas camadas inferiores, chegando a areno-conglomerados nas porções superiores (IPT, 1981a). Estende-se de maneira contínua por todo o Estado de São Paulo, aflorando na Depressão Periférica Paulista e possui espessuras superficiais máximas registradas de 270 metros nas adjacências de São Pedro e Anhembi (CAETANO-CHANG; WU, 2003). Contatos inferiores desta formação ocorrem discordantemente com a Formação Corumbataí, enquanto que nas porções superiores ocorre transição com a Formação Botucatu (RADAMBRASIL, 1983). Petri; Fúlfaro (1983) destacam que o contato entre as Formações Botucatu e Pirambóia é tema de discussão, pois adquire características bruscas e graduais em determinados pontos. "A verificação destes contatos pode ser realizada em fotografias aéreas a partir da identificação de ressaltos na topografia" (PETRI; FÚLFARO, 1983, p. 212).

Caetano-Chang; Wu (2003) afirmam que a compactação não constitui processo de relevância na história diagenética desta unidade. Seu ambiente de sedimentação pressupõe condições climáticas úmidas, deposição continental de gênese fluvial, com pequenas lagoas esparsas (IPT, 1981a; RADAMBRASIL, 1983; FACINCANI, 2000). É registrada na extensão do fundo de vale do baixo curso do Rio Piracicaba e nos compartimentos de média e baixa bacia dos Ribeirões Samambaia e Bonito (Anexos 2, 3 e 4).

A Formação Botucatu é constituída por arenitos de boa seleção granular e pouca matriz, datados do Juracretáceo (IPT, 1981a, PETRI; FÚLFARO, 1983; RADAMBRASIL, 1983; FACINCANI, 2000). Raramente ultrapassa os 100 metros de profundidade e possui inclinação cruzada de médio a grande porte. Estas características elementares sugerem que tal formação tenha origem eólica em ambiente desértico predominantemente, com depósitos por acreção de areia na frente de dunas (PETRI; FÚLFARO, 1983; RADAMBRASIL, 1983).

Os contatos superiores com a Formação Serra Geral ocorrem por interdigitação (IPT, 1981a). Na área em estudo, encontra-se geralmente ocultada e preservada pelos depósitos de tálus que compõe o *front* cuestiforme nas bacias dos Ribeirões Samambaia e Bonito (Anexos 3 e 4).

A Formação Serra Geral abrange o conjunto de rochas efusivas e intrusivas (diques e soleiras), com gênese no vulcanismo de fissura ocorrido a partir do Jurássico Superior (IPT,

1981a; RADAMBRASIL, 1983). Constitui-se predominantemente por basaltos e basalto-andesitos de filiação toleítica (FACINCANI, 2000) que atuam na manutenção do *front* cuestiforme (CUNHA, 2001, p. 32). Na área em estudo, os derrames afloram na parte superior das escarpas da *cuesta* e são na maioria dos casos camuflados por parco manto intempérico e cobertura vegetal (Anexos 3 e 4). Corpos intrusivos também são frequentes na Depressão Periférica na forma de *sills* ou diques de variadas espessuras e extensões (IPT, 1981a, PETRI; FÚLFARO, 1983; RADAMBRASIL, 1983). Estes últimos atuam na resistência das estruturas litológicas sedimentares à erosão, causando escalonamento no relevo, desenvolvimento de morros testemunhos e soleiras em canais fluviais de distintas ordens.

Os Depósitos de Cimeira, ou coberturas superficiais são geralmente caracterizados por pacotes conglomeráticos basais e areno-argilosos superiores (FACINCANI, 2000) e são verificados nos compartimentos de reverso cuestiforme das bacias hidrográficas (Anexos 3 e 4). De acordo com RADAMBRASIL (1983), estes Depósitos de Cimeira podem ser classificados como Coberturas Indiferenciadas. Este grupo não possui conclusões definitivas a respeito de sua gênese, embora alguns autores classifiquem estes depósitos como pertencentes ao Grupo Bauru. Almeida; Barbosa (1953) definiram estas coberturas como pertencentes à Formação Itaqueri, entretanto Cottas; Barcelos (1981) consideraram estes sedimentos como porções das formações Pirambóia e Botucatu retrabalhadas, propondo sua exclusão do Grupo Bauru e sua imediata classificação como sedimentos Cenozóicos parcialmente silicificados e com estruturas semelhantes a de solos.

Os Depósitos Aluviais Cenozóicos são pouco discutidos na literatura geológico-geomorfológica em função da escala de trabalho dos principais levantamentos realizados. Entretanto, Oka Fiori (1980), IPT (1981a), Petri; Fúlfaro (1983) e RADAMBRASIL (1983) assinalam a ocorrência esparsa destes depósitos nos fundos de vale dos principais rios da Bacia Sedimentar do Paraná, entre eles o Rio Piracicaba (Anexo 2). Em campo, estes depósitos aluviais Cenozóicos também foram verificados ao longo do baixo e médio curso dos principais afluentes do Rio Piracicaba. Trata-se, de acordo com os autores citados, de depósitos compostos por sedimentos arenosos, frequentemente de granulação média, com estratificações cruzadas em processo constante de retrabalhamento por canais fluviais de padrão meandrante ou não.

As formas do relevo resultantes dos processos que atuam sobre as litologias da Bacia Sedimentar do Paraná são consideradas, de acordo com critérios geomorfológicos propostos pelo RADAMBRASIL (1983), pertencentes ao Domínio Morfoestrutural dos Depósitos

Sedimentares. A propósito dos compartimentos de relevo mais específicos, existem diferentes classificações, conforme RADAMBRASIL (1983), IPT (1981b) e Ross; Moroz (1997).

Nesta investigação, a análise do relevo segue o sistema de classificação das províncias, zonas e feições geomorfológicas proposto pelo IPT (1981b). Cabe ressaltar que as informações derivadas das demais classificações do relevo paulista também foram utilizadas nesta análise dos atributos geomorfológicos da área em estudo, sempre que possível e de forma coerente com a proposta adotada.

A escolha da classificação proposta pelo IPT (1981b) decorre da localização da área de estudo em zona de transição de litologias que demarca a ocorrência de feições estruturais como o *front* cuestiforme e patamares estruturais. Estas feições possuem importância uma vez que, na escala de análise da presente pesquisa não é possível considerá-las apenas como linha de transição demarcada por feição estrutural, conforme propõe Ross; Moroz (1997), sendo necessário seu reconhecimento enquanto conjunto espacial de feições geomorfológicas.

O IPT (1981b), no entanto, reserva especial atenção a este conjunto de formas, que são enquadrados na província das Cuestas Basálticas. As porções da média e baixa bacia dos Ribeirões Samambaia e Bonito, bem como todo o setor de fundo de vale do baixo curso do Rio Piracicaba inserem-se, de acordo com o IPT (1981b) na província geomorfológica da Depressão Periférica.

A Depressão Periférica Paulista possui caráter monoclinal e compreende o conjunto de feições geomorfológicas colinosas de relevo suave inseridas na zona de circundesnudação Pós-Cretácea da Bacia do Paraná (AB´SABER, 1949; 1969). As colinas levemente convexas, com topos aplainados e amplos, alcançam de 500 a 700 metros de altitude e os desníveis topográficos vão de 20 a 50 metros – com exceções superiores a 100 metros (PENTEADO, 1976). A Depressão Periférica Paulista destaca-se ainda pela presença de níveis altimétricos intermediários nas vertentes, derivados de lento tectonismo positivo e oscilações climáticas que demarcaram a sucessão de climas secos (aplainamento lateral) e úmidos (entalhamento dos talvegues), formando patamares cobertos por cascalheiras (PENTEADO, 1976).

A rede de drenagem possui padrão dendrítico e respeita uma hierarquia composta por cataclinais principais que se superimpuseram às estruturas arenítico-basálticas da borda da Bacia do Paraná, rompendo o *front* cuestiforme e originando *percées* ou boqueirões (ALMEIDA, 1956; PENTEADO, 1976). Cursos ortoclinais demarcam o desenvolvimento da depressão e desenvolvem-se com ângulos perpendiculares aos cataclinais. Atuam sobre as diferenciações litológicas da área seccionando o pacote de sedimentos Paleo-Mesozóicos e

interpõe-se aos ressaltos topográficos decorrentes das intrusões basálticas. Drenagens de caráter anaclinal atuam como frente erosiva, desencadeando o festonamento do *front* cuestiforme com significativa energia de entalhe.

A área em estudo localiza-se na Zona do Médio Tietê, definida por Deffontaines (1945) como uma das três subdivisões da Depressão Periférica Paulista e conservada nos estudos desenvolvidos por Almeida (1974); Penteado (1976); IPT (1981b) e Ross; Moroz (1997). Esta zona é identificada por expressivas intrusões básicas no pacote de estratos Paleo-Mesozóicos e por falhamentos típicos de borda de bacia sedimentar que perturbam as camadas, promovem o controle de alguns canais fluviais (IPT, 1981b) e desempenham papel saliente na topografia a partir da formação de patamares estruturais e soleiras (ALMEIDA, 1974).

O Rio Tietê corresponde ao curso cataclinal principal desta zona e, junto com o seu afluente, o Rio Piracicaba, promove a evolução de uma *perceé*, e segmenta o *front* cuestiforme na área de confluência destes dois cursos formando um grande funil (PENTEADO, 1976).

Predominam na área de estudo relevos originados de ações deformacionais, em planaltos dissecados, compreendidos pelas Colinas Amplas, Colinas Médias e Morrotes Alongados e Espigões (Anexos 2, 3 e 4) (IPT, 1981b). As Colinas Amplas abrangem o conjunto de formas esculpidas predominantemente sobre a Formação Pirambóia. Caracterizam-se por interflúvios com áreas superiores a 4 Km², topos extensos, aplainados e vertentes com perfis retilíneos e convexos. A drenagem possui baixa densidade, padrão subdendrítico, vales abertos, planícies aluviais interiores restritas e presença eventual de lagoas perenes ou intermitentes (IPT, 1981b).

As Colinas Médias e os Morrotes Alongados e Espigões ocorrem em áreas onde o embasamento rochoso possui característica mais heterogênea (IPT, 1981b). Na área em estudo são verificadas no setor de nascentes e na baixa bacia do Ribeirão Samambaia, bem como em porções segmentadas das duas margens do fundo de vale do Rio Piracicaba estando geralmente vinculados aos patamares estruturais desenvolvidos em zonas de contato com arenitos silicificados ou diques da formação Serra Geral (Anexos 2 e 3).

Nas Colinas Médias predominam interflúvios com áreas de 1 a 4 Km², topos extensos e aplainados e vertentes com perfis convexos a retilíneos. A drenagem apresenta baixa a média densidade com padrão sub-retangular e vales abertos a fechados. As planícies aluviais interiores são restritas, ocorrendo a presença eventual de lagoas perenes ou

intermitentes. Já os Morrotes Alongados e Espigões abrangem os interflúvios sem orientação preferencial, com topos angulosos e achatados e vertentes ravinadas com perfis retilíneos. A drenagem, de média a alta densidade, possui padrão preferencialmente dendrítico com vales fechados (IPT, 1981b).

Os Depósitos Aluviais são comuns no baixo curso do Rio Piracicaba onde, no cenário de morfologia original (pré-barramento), formavam uma extensa zona de planície bem desenvolvida, caracterizada pela existência de feições morfohidrográficas típicas de canais com perfil meandrante (SIMON et al. 2010). Atualmente são identificados na zona sob oscilação da lâmina de água do reservatório de Barra Bonita (Anexo 2). Informações de campo indicaram a ocorrência destes depósitos Cenozóicos também nas bacias dos ribeirões Samambaia e Bonito, junto aos canais fluviais de maior grandeza.

De acordo com Ross (1995), as depressões monoclinais periféricas ou marginais – como no caso da zona do Médio Tietê na Depressão Periférica Paulista – caracterizam-se por apresentar nos contatos litológicos, relevos escarpados assinalados por frentes de Cuesta. Na área em estudo, a existência de litologias pertencentes à Formação Serra Geral assinala a resistência aos processos erosivos, determinando a ocorrência de um *front* cuestiforme.

De acordo com Almeida (1974) o relevo de *cuestas* vem sendo intensamente esculpido pela erosão normal, a partir de densa rede de drenagem que favorece o intemperismo de caráter diferencial. O autor explica que os primeiros registros desse conjunto de feições geomorfológicas de caráter estrutural foram realizados por Moraes Rego em 1932. As *cuestas* basálticas são compreendidas pelo conjunto de formas do relevo delimitadas por feições subordinadas, como as linhas que demarcam os limites dos relevos escarpados (IPT, 1981b) e que por vezes se desdobram formando mais de um *front* ou então patamares derivados da erosão diferenciada.

As *cuestas* basálticas são marcantes na paisagem da área de estudo. Ocorrem nas bacias dos ribeirões Samambaia e Bonito no setor de nascentes (Anexos 3 e 4). Compõe a unidade das Escarpas Festonadas associada, por vezes, aos Morrotes Alongados e Espigões (IPT, 1981b). Nestas áreas, a característica estrutural – intercalação de derrames basálticos Jurássicos com formações sedimentares do Grupo São Bento – determinou resistências litológicas aos processos erosivos, desencadeando irregularidades topográficas na ordem dos 300 a 400 metros (PENTEADO, 1976). A ação de cursos anaclinais com elevado gradiente altimétrico e energia de entalhe significativa promovem o festonamento do *front*, com formação de vales encaixados e feições residuais (morros testemunhos) que demarcam maior

resistência litológica. Apesar de característicos desta unidade, morros testemunhos não ocorrem na área de estudo.

As estruturas arenítico-basálticas e as feições do relevo derivadas encontram-se sob influência de condições climáticas úmidas, em área de transição tropical/subtropical (MONTEIRO, 1976). Troppmair (2000, p. 59), ao seguir a classificação climática de Koeppen, indicou a ocorrência de clima "Cwa" (mesotérmico) com invernos secos e verões úmidos e ocorrência de temperaturas médias anuais de 21ºC, com média das temperaturas máximas de 30ºC e das mínimas de 12ºC, nos setores da área em estudo inseridos na Depressão Periférica Paulista.

Já na a região das Cuestas Basálticas, Toppmair (2000, p. 62) destacou a ocorrência dos climas "Cwa" e "Cfa" com gênese vinculada ao avanço de massas tropicais e polares. O autor enfatizou ainda a influência da altitude nas condições térmicas desta área e apontou temperaturas médias anuais em torno de 21ºC, com média das máximas de 29ºC e média das mínimas de 11ºC.

Os dados das médias pluviométricas mensais, obtidos nos postos de São Pedro e Santa Maria da Serra (para as bacias hidrográficas) e do posto de Ibitiruna (para o setor de fundo de vale do Rio Piracicaba) apontam para dois períodos diferenciados: um destes, chuvoso, situado entre os meses de outubro e março, apresenta volumes de precipitação entre 100 e 200 mm. Já entre os meses de abril e setembro o ritmo das precipitações diminui, com médias inferiores aos 80 mm, podendo chegar a menos de 40 mm nos meses de julho e agosto (SIGRH/SP, 2010) (Anexos 2, 3 e 4).

As características climáticas evidenciadas contribuem para o predomínio do intemperismo químico, com atividades pedogenéticas ativas que ocorrem mais intensamente nos verões quentes e úmidos e com menor vigor durante os invernos secos, em decorrência da diminuição no ritmo das precipitações. A estruturação do manto de intemperismo em perfis pedológicos dá origem a distintos tipos de solo. Predominam os Argissolos Vermelho-Amarelos, os Neossolos Quartzarênicos e os Latossolos Vermelho-Amarelos – em função da característica arenítica do material de origem (Formações Pirambóia e Botucatu) (Anexos 2, 3 e 4).

Em menor abrangência, geralmente em situações de relevo específicas, são verificados os Neossolos Litólicos, os Gleissolos e os Cambissolos (Anexos 2, 3 e 4). Os dados de caracterização dos solos da área em estudo foram organizados a partir da compilação de informações cartográficas e bibliográficas do IAC (1981), Araújo Jr. (1997), Oliveira et al.

(1999) diante da inexistência de dados espaciais específicos que compreendessem toda a extensão da área em estudo.

Os Argissolos Vermelho-Amarelos possuem profundidade variável e textura que alterna de arenosa a argilosa no horizonte A, para média a muito argilosa no horizonte B textural, sempre havendo aumento de argila do primeiro para o segundo (EMBRAPA, 1999, p. 83). Por esse motivo a velocidade de infiltração da água é muito rápida na superfície e lenta em sub-superfície, com potencialidade para o desenvolvimento de feições erosivas localizadas. Ocorrem, de forma segmentada, por toda a extensão do setor de fundo de vale do Rio Piracicaba e abrangem também a baixa bacia do ribeirão Samambaia bem como a média e baixa bacia do ribeirão Bonito (Anexos 2, 3 e 4).

Os Neossolos Quartzarênicos caracterizam-se por ausência de minerais primários alteráveis (exceto quartzo) e textura arenosa ou franco arenosa que prevalece geralmente até os 150 cm ou então até o contato com a rocha (EMBRAPA, 1999). Ocorrem em áreas de relevo plano a suave ondulado e são utilizados principalmente para cultivo de cana-de-açúcar e pastagem (RADAMBRASIL, 1983). Na área em estudo abrangem setores pronunciados e contínuos da média bacia do ribeirão Samambaia até o contato com o *front* cuestiforme. Ocorrem também em porções esparsas da baixa bacia do Bonito e no setor de fundo de vale do Rio Piracicaba (Anexos 2, 3 e 4). São solos frágeis com grande potencial de infiltração e suscetibilidade a eventos erosivos sob usos da terra agrícolas sem intervenção de manejo adequado (ARAÚJO JR., 1997).

Os Latossolos Vermelho-Amarelos são constituídos de minerais em avançado estágio de intemperização, como resultado de enérgicas transformações no material constitutivo (EMBRAPA, 1999). São geralmente profundos ou muito profundos e acentuadamente a bem drenados (RADAMBRASIL, 1983). Na área em estudo, abrangem porções do reverso cuestiforme nas bacias dos ribeirões Samambaia e Bonito, sobre os Depósitos de Cimeira. Ocorrem também nos interflúvios da média bacia do Bonito e nas médias vertentes do setor de fundo de vale (Anexos 2, 3 e 4), associados à Formação Pirambóia.

Os Neossolos Litólicos são verificados no setor cuestiforme das bacias hidrográficas, geralmente em associação com os depósitos de tálus e a cornija que compõem o *front* cuestiforme (Anexos 3 e 4). Troppmair (2000) explica que estes solos são derivados de material heterogêneo constituído por arenitos e basaltos que dão origem a formações com textura bastante argilosa. Nestas áreas existe a predominância de cobertura vegetal preservada em função das declividades acentuadas, conforme verificado nos trabalhos de campo.

Os Gleissolos da área em estudo são caracterizados principalmente por seu caráter hidromórfico e ocorrem predominantemente no setor de fundo de vale do Rio Piracicaba, junto às áreas de planície sob oscilação do nível de água do reservatório de Barra Bonita e também ao longo do baixo curso dos principais canais fluviais, como os ribeirões Samambaia e Bonito (Anexos 2, 3 e 4). Estes solos são constituídos de material mineral, que são periodicamente saturados por água, podendo implicar na manifestação de cores acinzentadas, azuladas ou esverdeadas em virtude da acumulação de matéria orgânica (EMBRAPA, 1999; RADAMBRASIL, 1983). A limitação de uso destes solos decorre do excesso de água.

Os Cambissolos possuem alto teor de silte, podendo ser rasos ou fundos e bem a imperfeitamente drenados (EMBRAPA, 1999). Alguns Cambissolos podem possuir características semelhantes aos solos com horizonte B latossólico, mas são menos evoluídos devido a sua gênese heterogênea (RADAMBRASIL, 1983). Localizam-se em áreas esparsas do setor de fundo de vale, geralmente associados aos terraços fluviais situados na planície do baixo curso do Rio Piracicaba (Anexo 2). Sua identificação ocorreu de forma mais detalhada na área mapeada a partir da quadrícula Piracicaba (1:100.000).

As características morfopedológicas descritas, em associação com as condições climáticas da área em estudo, condicionaram o desenvolvimento de coberturas vegetais primitivas assinaladas por combinações entre pastos limpos, pastos sujos e áreas de mata nativa (TROPPMAIR, 1969). De acordo com o autor citado, áreas de Cerrado ou Cerradão não são comuns na área de pesquisa enquanto vegetação primitiva.

Deffontaines (1945) evidencia que as precipitações torrenciais, características dos meses de verão da Depressão Periférica, são responsáveis pelo desenvolvimento de feições erosivas nos solos arenosos. O autor explica ainda que estas características do clima e dos solos não favorecem a formação de florestas, dando origem a vegetação de campos naturais. Sanchez (1969, p.41) também aponta para o fato do município de São Pedro apresentar mais de 50% de sua área coberta por pastagens.

Atualmente a cobertura vegetal original encontra-se descaracterizada em decorrência do processo de ocupação e uso das terras para as práticas agropastoris e urbano-industriais. De acordo com o Inventário Florestal do Estado de São Paulo (IFSP, 2001) nenhum dos municípios inseridos no contexto da área em estudo possui superfícies cobertas por vegetação natural superior a 10% de sua área total. Em Santa Maria da Serra, Torrinha e São Pedro, as áreas de mata nativa encontram-se preservadas nos setores de relevo escarpado das *cuestas* basálticas, onde a ocupação não é intensa. Trabalhos de campo indicaram a existência de

matas nativas também ao longo dos principais canais fluviais, em associação com vegetações de várzea e pastos sujos. Áreas de pasto limpo foram descaracterizadas e ampliadas pela ocupação antrópica e glebas de reflorestamento também são verificadas.

No setor de fundo de vale, as áreas de mata nativa restringem-se ao divisor de águas dos rios Piracicaba e Tietê e são praticamente inexistentes nas margens do reservatório, onde predominam, de forma esparsa, coberturas vegetais de várzea ou pasto sujo situadas no segmento final dos principais canais fluviais (IFSP, 2001).

A ocupação antrópica condicionou a alteração das características dos elementos do sistema físico-ambiental, sobretudo aqueles que se encontram em contato direto com as atividades socioeconômicas, como a cobertura vegetal, o relevo e a hidrografia. A ocupação do Estado de São Paulo iniciou-se no século XVI e tardou a avançar para os planaltos do oeste (MONBEIG, 1984). A área em estudo, mesmo inserida no contexto das grandes franjas pioneiras destacadas por Monbeig (1984), permaneceu adjacente ao processo intenso de ocupação, o qual veio a ocorrer com maior intensidade a partir da ascensão do cultivo de cana-de-açúcar, com a crise do café, em 1929.

De acordo com Demangeon (1946, p. 708), “a criação de gado foi, nos começos da colonização, a primeira ocupação dos habitantes do interior e o gado, a primeira riqueza da região. Sucedeu-se então a era da cultura das plantações e o triunfo do café”.

Monbeig (1984) destaca que o incipiente ciclo do açúcar ocorrido entre 1780 e 1850 (período Regencial), pouco acrescentou modificações na paisagem paulista, restringindo-se a zona da média Depressão Periférica, onde Piracicaba, Campinas, Itu e Mogi-Mirim configuravam-se como os principais centros canavieiros. A população apresentava caráter muito disperso nestas áreas e os ataques indígenas nas orlas das áreas de cultivo acabavam por provocar seu abandono Sampaio (1973) destaca que, apesar de seu caráter incipiente no período Regencial, a cana-de-açúcar jamais desapareceu do contexto agrícola paulista, até mesmo no apogeu do ciclo do café.

De acordo com Araújo Filho (1976), a arrancada no processo de ocupação se deu a partir do ciclo do café no início do século XIX, que, como frente de expansão espacial desde as áreas do vale do rio Paraíba, penetrou pelos terrenos da Depressão Periférica Paulista e atingiu o Planalto Ocidental, em fins do século XIX, determinando ritmos e tendências de organização do espaço que modificaram as paisagens naturais, contribuindo para o desenvolvimento das paisagens humanizadas.

> [...] todo o interior planaltino, que, em mais da metade de sua área, ainda estava para ser povoado, foi ocupado rapidamente, à medida que os cafezais e suas culturas anciliares, aliados a um pastoreio semi-intensivo e, mais tarde, à policultura e à industrialização, se constituíram, juntamente com a imigração estrangeira, a rede ferroviária e a rede escolar, em molas mestras da riqueza paulista (ARAÚJO FILHO, 1976).

De fato, as crescentes safras de café e a expansão das zonas cafeicultoras tornaram necessária a estruturação de uma rede de transporte da produção, como também de pessoas, para mão-de-obra nas lavouras. A expansão das estradas de ferro em direção ao interior paulista possuiu várias fases, determinadas por distintas companhias empreiteiras.

Matos (1956) destaca que no ano de 1837 uma lei paulista concedeu o direito de construção de uma estrada de ferro ligando Santos à região de Piracicaba e Campinas, que até então tinham sua economia baseada quase que inteiramente na cana-de-açúcar, fato que fez malograr a estruturação de tal ferrovia. Foi somente em 1879 que a estrada de ferro Ituana (que depois de falida foi incorporada a Sorocabana), vinda de Jundiaí chegou a Piracicaba (já elevada à categoria de município em 1856), influenciando também a organização espacial da área em estudo (MATOS, 1956, p. 373).

Ainda de acordo com Matos (1956) a Ituana prolongou sua extensão de estradas de ferro até São Pedro, em 1894, e a partir daí não se interessou em seguir até Brotas e Jaú (grandes produtores de café da época), tendo se interessado pelo caminho de São Manuel e Lençóis Paulista – planos estes que acabaram não ocorrendo. Esta situação transformou São Pedro em "ponta de trilhos sem ser boca de sertão" (MATOS, 1956) e pode explicar a situação marginal da área de estudo em relação às regiões adjacentes, vinculadas a grandes eixos de desenvolvimento desde o período da explosão das culturas cafeeiras. Sanchez (1969, p. 53) destaca que após a crise do café ocorreu uma política de mitigação das ferrovias anti-econômicas e os trilhos da estrada que ligava Piracicaba e São Pedro acabaram sendo arrancados.

Aliadas a esta questão logística, existem aspectos naturais que também determinaram a situação marginal das terras abrangidas pela área em estudo, dentro do processo de expansão das lavouras de café e da marcha populacional. Araújo Filho (1976) destaca que havia uma tradição por parte dos agricultores em geral e, sobretudo dos cafeicultores, em adquirir tratos de terra cobertos por matas nativas para a abertura e desenvolvimento de áreas agrícolas, em detrimento aos trechos abertos de campos e pastos sujos, como os localizados nos terrenos marginais ao fundo de vale do baixo curso do Rio Piracicaba.

De acordo com Deffontaines (1945), os fazendeiros não colocavam todas suas propriedades à disposição das lavouras de café. Entre as manchas de terras roxas ocorriam solos mais pobres onde predominavam campos ou pastos destinados à criação de gado. Deffontaines (1945) destaca ainda que a ocorrência de geadas esporádicas no inverno da Depressão Periférica Paulista tornaram aleatórias as plantações de café, estando estas fadadas ao prejuízo.

De acordo com Monbeig (1884), no período de 1900 a 1905, as áreas de plantio de café na região da Depressão Periférica eram densas e se mesclavam muito com plantações de cana-de-açúcar na região situada entre o rio Tietê e seu afluente, o Rio Piracicaba. Em documento cartográfico publicado por Monbeig (1984, p. 169), para a situação geográfica das zonas cafeeiras no início do século XX, é possível verificar a quase inexistência de áreas de café na área de abrangência desta pesquisa.

Em outro documento cartográfico, indicando a conjuntura da cafeicultura às vésperas da crise de 1929 (MONBEIG, 1984, p. 186) a situação persiste e inexistem zonas expressivas de cultivo de café. Tal situação pode explicar o fato de terem sido preservadas as áreas de campo localizadas sobre as superfícies da Depressão Periférica na área em estudo, para a manutenção de atividades pecuárias e plantio de outros gêneros agrícolas.

Ainda de acordo com o autor citado, estas áreas de relevo plano, localizadas nos fundos de vale, permaneciam reservadas às pastagens e assinalavam corredores de separação entre grupamentos em bloco das estruturas de café, favorecendo a formação de regiões econômicas distintas (MONBEIG, 1984, p.172).

As oscilações no ciclo do café no Estado de São Paulo desencadearam a ascensão e expansão das lavouras de cana-de-açúcar, que não mantinham tamanha dependência do mercado externo. De acordo com Bray (1998) as crises do café acabaram favorecendo o reaparecimento da cana-de-açúcar nas áreas de Campinas, Piracicaba e Porto Feliz, quando os ganhos com o café apresentaram fortes baixas.

Bray (1998) explica que o reaquecimento da produção de cana-de-açúcar não se deu como substituição ao ciclo cafeeiro, e sim, concomitante ao seu retrocesso e praticado pelos próprios cafeicultores que viram na cana uma boa substituta ao café em gradual crise. Esta situação também é verificada por Sanchez (1969, p. 52).

Bray (1998) demonstra ainda, a partir da distribuição espacial da produção de açúcar nas usinas de São Paulo, um aumento considerável na região de Piracicaba, que hoje concentra uma das maiores áreas de produção de cana-de-açúcar do estado e pode ser

considerada como o vetor de expansão das lavouras de cana em direção a baixa bacia do Rio Piracicaba. Sampaio (1973) evidencia que a evolução das lavouras de cana-de-açúcar pela região de Piracicaba teve forte relação com o processo de industrialização do município para a produção de açúcar e álcool.

Verifica-se que processo de ocupação dos municípios de São Pedro e Santa Maria da Serra – onde se localiza a maior parte da área em estudo – esteve significativamente atrelado aos fatos históricos ocorridos no município de Piracicaba. São Pedro foi elevado à categoria de município em 1881, sendo desmembrado de Piracicaba. Santa Maria da Serra (então simplesmente Santa Maria) passa a figurar como o principal distrito de São Pedro (IBGE, 2010).

O distrito de Santa Maria originou-se a partir da localização estratégica de uma pousada que abrigava migrantes que se dirigiam ao oeste paulista para trabalhar em lavouras de café (PREFEITURA DE SANTA MARIA DA SERRA, 2010). Esta aglomeração foi elevada à categoria de município somente no ano de 1959, sendo reconhecida então pelo nome de Santa Maria da Serra, com forte alusão à sua localização nas proximidades do *front* cuestiforme.

Conforme se constata, o processo de ocupação na área em estudo veio a ocorrer com maior intensidade a partir do declínio do ciclo do café, pois durante este ciclo econômico a área não apresentava aspectos característicos das zonas de expansão da referida cultura e relevantes para sua ocupação efetiva. Assim, por um longo período esta zona serviu apenas como passagem de tropas e migrantes, estando também condicionada ao jogo de interesses das empreiteiras construtoras de ferrovias.

Exceções desta adjacência ao ciclo cafeeiro são as porções do município de São Pedro localizadas no reverso cuestiforme. Nestas áreas predominam extensões de "terras roxas" que possibilitaram a evolução de áreas expressivas de cultivo de café que marcaram a existência de várias fazendas voltadas a este gênero agrícola no município de São Pedro (SANCHEZ, 1969). Entretanto, estas porções não são abrangidas pela área selecionada para a pesquisa.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Sistemas em Geografia e as Organizações Espaciais

A ação antrópica sobre a dinâmica dos sistemas físico-ambientais é alvo de estudo de diferentes ramificações do conhecimento científico. Na Geografia, estas investigações são orientadas para a análise espacial das organizações derivadas da relação do sistema socioeconômico com os elementos do sistema físico-ambiental. A geomorfologia, ao longo da evolução de seus métodos e técnicas, procurou pela inserção do homem em seus estudos específicos sobre as formas e processos do relevo.

As pesquisas vinculadas à Geografia devem assumir um caráter integrador, a fim de diagnosticar a magnitude e as características das intervenções antrópicas sobre os elementos naturais, no processo de estruturação das organizações espaciais. Por este motivo, a orientação metodológica que norteia a presente pesquisa vincula-se à Teoria Geral dos Sistemas aplicada à Geografia. De acordo com Tricart (1977, p.19),

> [...] o conceito de sistema é o melhor instrumento lógico de que dispomos para estudar os problemas do meio ambiente. Ele permite adotar uma atitude dialética entre a necessidade da análise – que resulta do próprio progresso da ciência e das técnicas de investigação – e a necessidade contrária, de uma visão de conjunto, capaz de ensejar uma atuação eficaz sobre esse meio ambiente.

Chorley; Kennedy (1971, p. 1) explicam que um "sistema é um conjunto estruturado de objetos e atributos", constituídos de componentes ou variáveis que assumem diferentes magnitudes, de acordo com determinado padrão e exibem relações discerníveis uns com os outros, operando conjuntamente como um todo complexo. Christofoletti (1979, 1999) conceitua o termo sistema como uma unidade integradora, representada pelo conjunto organizado de elementos com inúmeras relações de diversos níveis hierárquicos entre seus atributos.

De acordo com Gregory (1992, p. 218) a abordagem sistêmica foi adotada sucessivamente pela Biogeografia, Geografia dos Solos, Climatologia e Geomorfologia, possuindo, portanto, maior inserção em estudos da Geografia Física.

Christofoletti (1999) explica que, sob a ótica sistêmica, a Geografia possui como foco de análise as inter-relações dos sistemas físico-ambientais e dos sistemas socioeconômicos. De acordo com o autor citado, o estudo dos sistemas físico-ambientais encontra-se atrelado à Geografia Física, e abrange os elementos naturais materializáveis ou não: geologia, formas do relevo, solos, cobertura vegetal, organização da rede de drenagem e clima, e que se organizam na formação de conjuntos naturais distintos.

Christofoletti (1999) destaca ainda que o sistema socioeconômico encontra-se atrelado às análises da Geografia Humana, e compreende os processos de ocupação do espaço pelas sociedades, a partir de distintos estágios de evolução tecnológica que desencadeiam formas de intervenção diferenciadas sobre os elementos dos sistemas físico-ambientais. Ressalta-se que essas distinções nos estudos ocorrem com o intuito de agregar funções aos diferentes ramos da ciência geográfica, e que a relação entre os dois sistemas é sempre vista como fundamental.

A inter-relação entre os sistemas físico-ambientais e socioeconômicos dá origem às organizações espaciais, que são reconhecidas como o objeto de estudo da Geografia (CHRISTOFOLETTI, 1978, 1983, 1986-1987, 1990, 1999; ABLER, 1971; CHORLEY; KENNEDY; 1971, CHORLEY, 1971; GREGORY, 1992).

Os sistemas físico-ambientais são regulados pelo jogo das forças geodinâmicas internas e externas, que controlam as entradas e as saídas de matéria e energia, desencadeando processos e respostas peculiares à organização dos elementos que os compõem (CHRISTOFOLETTI, 1999; SIMON, 2007). Estes sistemas tendem a se organizar em um estado de equilíbrio dinâmico, caracterizado pelo ajustamento dos atributos de seus elementos

a determinados níveis de entrada de matéria e energia *(inputs)* (CHORLEY; KENNEDY, 1971; CHORLEY, 1971; CHRISTOFOLETTI, 1979, 1999; GREGORY, 1992).

Esforços externos ao equilíbrio dinâmico dos sistemas físico-ambientais podem provocar o reajustamento dos atributos e elementos, comprometendo sua resistência e resiliência diante dos mecanismos de controle impostos (DREW, 1986). A dinâmica histórica do sistema socioeconômico e a intervenção antrópica impuseram mecanismos de controle de diferentes magnitudes aos sistemas físico-ambientais, atuando no sentido de regular as relações dos atributos dos elementos, desencadeando alterações de ordem espacial na sua morfologia (CHORLEY; KENNEDY, 1971; DREW, 1986; SIMON, 2007; SIMON; CUNHA, 2009). Christofoletti (1999, p. 131) compactua com estas considerações ao afirmar que "A ação antrópica é responsável por mudanças nas formas e processos dos sistemas físico-ambientais".

A interferência das sociedades pode desencadear a aceleração, o retardamento e a extinção de alguns processos naturais (SIMON, 2007). O conjunto de técnicas desenvolvidas pelo homem sobre os sistemas físico-ambientais comanda os fluxos de matéria e energia, a fim de manter as atividades urbano-industriais e agropastoris que são sustentadas pela exploração dos recursos naturais (CHRISTOFOLETTI, 1999, p.37).

As formas do relevo, a hidrografia e a cobertura vegetal original são os elementos dos sistemas físico-ambientais situados em contato direto com as alterações efetivadas pelos sistemas socioeconômicos no processo de ocupação e apropriação dos recursos naturais, (CASSETI, 1991; SIMON; CUNHA, 2006). Desta forma, estes elementos se encontram mais suscetíveis às alterações de caráter direto e indireto, de distintas magnitudes, dando origem a formas e processos antropogênicos.

3.2 A ação do Homem sobre sistemas morfohidrográficos: Antropogeomorfologia

A ação do Homem sobre a natureza não é recente, tendo iniciado a partir da organização dos grupos nômades que conduziam práticas agrícolas incipientes, no médio Holoceno (ZALASIEWICZ et al., 2008). No entanto, a intensificação das técnicas de apropriação e transformação dos recursos naturais pode ser considerada recente (ELORZA, 2007). Seu incremento maior ocorreu no período das colonizações, passando por transformações significativas durante a Revolução Industrial, quando as relações Homem e

Meio Ambiente deixaram de ser locais e seus ritmos se tornaram mais vigorosos e globalizados (GOUDIE, 1977; 1986).

A ocupação e o uso das terras pelas sociedades ocorrem a partir de alterações na cobertura vegetal original para a prática de atividades agropastoris e urbano-industriais. A alteração do revestimento da terra é o ponto de partida para a dinamização dos processos erosivos que ocorrem nas vertentes, pois intervém no equilíbrio dos elementos naturais e concede novas características ao funcionamento dos sistemas físico-ambientais que até então respeitavam lógicas naturais de manutenção do equilíbrio dinâmico (BROWN, 1971; ELORZA, 2007).

A interferência antrópica sobre a morfohidrografia – termo destacado por Simon (2007), para representar as intrínsecas relações entre os atributos do relevo e da hidrografia – pode ocorrer direta ou indiretamente (BROWN, 1971). O controle direto acontece de forma localizada, a partir da construção de reservatórios, da retilinização ou canalização de cursos fluviais, das atividades de mineração, construção de estradas, pontes e dutos, da exploração de aquíferos e da irrigação das lavouras. Ação antrópica indireta sobre a morfohidrografia possui maior dimensão areal e encontra-se atrelada à dinâmica de ocupação e uso das terras, que expõe as formas do relevo à ação mais efetiva dos processos operantes (DREW, 1986; SIMON, 2007).

Os estudos sobre o efeito da ação humana no equilíbrio e funcionamento dos sistemas morfohidrográficos por muito tempo ocuparam papel coadjuvante nas pesquisas em geomorfologia (BROWN, 1971). Assim, as formas do relevo e os processos modeladores foram compreendidos exclusivamente sob o ponto de vista da operação dos processos de ordem natural, desencadeados em uma escala de tempo geológica (SUERTEGARAY; NUNES, 2001; ROSSATO; SUERTEGARAY, 2000).

Entretanto, a constatação de que as condições de controle direto e indireto impostas pelas atividades antrópicas poderiam conduzir a reorganização das formas e processos morfohidrográficos, possibilitou a ampliação de pesquisas geomorfológicas que consideram o Homem enquanto agente dinamizador dos processos morfohidrográficos. Este posicionamento permitiu a evolução de um novo paradigma na Geomorfologia: a Geomorfologia Antrópica ou Antropogeomorfologia.

Os primeiros trabalhos dedicados a esta temática não possuíam vínculo restrito com a Geomorfologia. March (1894) e Shaler (1905) desenvolveram estudos de caráter ambientalista, onde procuraram destacar as conjunturas gerais da evolução humana na Terra.

As considerações da ação antrópica sobre o relevo ocorreram de forma segmentada nestes trabalhos, geralmente atreladas à perda de solos e aos processos erosivos derivados das práticas agrícolas, sem considerar prováveis modificações nas formas do relevo ou feições erosivas derivadas da dinamização dos processos geomorfológicos.

O aumento populacional, os adensamentos urbanos e a necessidade crescente por recursos naturais são citados como causa principal da intensificação das alterações nos sistemas físico-ambientais, com ênfase à utilização das terras e dos recursos hídricos. Predominam análises sobre a retirada da cobertura vegetal original e o desencadeamento de desequilíbrios nos processos erosivos causados pelo aumento das áreas agrícolas desprovidas de técnicas de proteção do solo (MARCH, 1894).

As considerações sobre a intervenção na hidrografia concentram-se na poluição dos corpos de água, mas também atentam para o aumento na carga de sedimentos no leito dos rios, derivados da intensificação das atividades agrícolas, bem como das ações diretas sobre os canais fluviais, decorrentes de obras de engenharia (MARCH, 1894; SHALER, 1905). Existe um consenso de que as interferências antrópicas derivam de um processo de evolução das atividades humanas desde o surgimento do Homem na Terra e se encontram inseridas em ciclos socioeconômicos distintos.

Sherlock (1922) explicou a ação antrópica no desencadeamento de alterações da configuração espacial dos canais fluviais, nos processos de denudação e também atentou para efeitos de subsidência vinculados à mineração. A ênfase da publicação de Sherlok (1922) embora voltada à Geologia, possui conexões com a Geomorfologia, pois caracteriza alterações espaciais das formas do relevo e da rede de drenagem, indicando também modificações nos processos que dão origem às feições geomorfológicas. Trata-se de uma das primeiras publicações que procuram considerar o Homem enquanto agente geológico-geomorfológico.

Os trabalhos de Tricart (1956) e Brown (1971) possuem maiores referências sobre a ação do Homem enquanto agente geomorfológico e mostram uma evolução deste paradigma. Os autores citados procuraram definir as formas diretas e indiretas de intervenção antrópica sobre o modelado terrestre e as consequências destas ações sobre os processos geomorfológicos. Embora de caráter empírico, os estudos trazem exemplos de situações nas quais a interferência antrópica pode ter sido irreversível, e questionam o fato destas possuírem maior amplitude e magnitude do que processos comandados pelos elementos naturais como a água, o vento e o gelo.

As concepções levantadas até o momento foram definidas como pertencentes a um período pioneiro no que tange as discussões a respeito da interferência antrópica nas formas e processos morfohidrográficos. Estes estudos influenciaram o desenvolvimento de pesquisas e publicações realizadas nas décadas seguintes, quando os trabalhos vinculados à geomorfologia antropogênica alcançam um patamar considerado de desenvolvimento/consolidação.

A obra mais importante deste período foi escrita por Dov Nir (1983) e já no título evidencia a Geomorfologia Antrópica como o termo que caracteriza as distintas formas de intervenção do homem sobre o relevo. O trabalho de Nir (1983) continua uma tendência anterior ao destacar as particularidades da ação humana em diferentes ambientes (áreas rurais, urbanas, florestas, mineração, entre outros).

Entretanto, se diferencia por apresentar um roteiro metodológico de análise destas intervenções que leva em consideração a dinâmica do sistema socioeconômico e a veiculação das alterações morfológicas a uma escala de tempo histórica. Nir (1983) propõe análises geomorfológicas que contemplem períodos pré e pós significativa intervenção humana, destacando a necessidade de um cenário base para a avaliação das derivações antrópicas sobre a morfohidrografia. Assim, possibilita o desenvolvimento de análises sistêmicas nos estudos vinculados à geomorfologia antropogênica, pois conduz a compreensão da relação existente entre os elementos físico-ambientais e socioeconômicos ao longo do tempo, bem como as consequentes transformações espaciais decorrentes do controle humano sobre os processos naturais.

No início da década de 1990, o enfoque para as alterações ambientais decorrentes da interferência antrópica sobre o equilíbrio dinâmico do clima global repercutiu também na Geomorfologia. Neste cenário, Goudie (1993) avaliou a participação que as mudanças climáticas globais desencadeadas pela ação antrópica possuem enquanto mecanismos externos de evolução do relevo, ocasião na qual estruturou o termo Antropogeomorfologia.

O autor citado destacou que as variações no clima incitam mudanças nos processos de evolução dos diferentes domínios morfoclimáticos, sendo que o relevo responde por alterações na cobertura vegetal, na precipitação e no escoamento superficial. Expôs ainda a necessidade de estudos geomorfológicos a longo prazo e propôs a utilização de técnicas de sensoriamento remoto e cartografia geomorfológica para identificar, mensurar e compreender os processos decorrentes dessas mudanças em escala local dentro dos diferentes domínios morfoclimáticos globais (GOUDIE, 1993).

Os estudos atuais atrelados à geomorfologia antropogênica evoluiriam tanto no campo teórico como no campo metodológico. As intervenções humanas passaram a adquirir uma interpretação a partir da aplicação de técnicas de análise geográfica (constatação de alterações espaço-temporais na organização dos sistemas geomorfológicos e fluviais) e geológicas (compreensão das alterações nos processos geomorfológicos vinculados, sobretudo à erosão e à sedimentação).

No campo teórico, as discussões sobre a abrangência e consolidação deste novo posicionamento metodológico adquiriram destaque juntamente com as diferentes nomenclaturas derivadas da ação antrópica enquanto dinamizadora dos processos geomorfológicos (HAFF, 2001; CRUTZEN, 2002; HILS, 2005; SLAYMAKER, 2009).

Haff (2001) discute as implicações antrópicas envolvidas nas taxas de denudação das vertentes e de deposição de sedimentos a partir das distintas formas de organização das sociedades. O autor citado abrange também as modificações impostas por obras de engenharia às características espaciais das formas do relevo, evidenciando que a alteração das feições geomorfológicas implica na transformação dos processos que se ajustam à nova estrutura condicionada pelo Homem.

Por fim, Haff (2001) indica que o reconhecimento do conjunto de atividades humanas como agentes geomorfológicos diretos e indiretos poderiam ser compreendidos como foco de análise da Neogeomorfologia, que, neste caso, seria um sinônimo dos termos Geomorfologia Antrópica (NIR, 1983) e Antropogeomorfologia (GOUDIE, 1993).

As discussões a respeito do grau de interferência antrópica sobre as formas do relevo e sobre os processos modeladores também desencadearam novas proposições na Geologia. Phillips (1997); Crutzen (2005) e Zalasiewicz et al. (2008) ao abordar a rápida evolução das paisagens sob a perspectiva de escalas de tempo influenciadas pela ação do Homem, questionaram as possibilidades do estabelecimento de uma nova era geológica, denominada de Antropoceno. Para os autores, o Antropoceno descreveria o período mais recente da história da Terra e teria início com o aparecimento do Homem, abrangendo todas as alterações efetivadas pelo conjunto de técnicas antrópicas desenvolvidas ao longo da história.

Oliveira (1994) e Pellogia (1997, 2005) consideram que a interferência antrópica ocorre de forma significativa sobre as formas do relevo e o substrato geológico, a ponto de atuar no desenvolvimento de feições geomorfológicas artificiais, como no caso de depósitos construídos, induzidos ou modificados (OLIVEIRA, 1994). Os autores citados explicam que a gênese antrópica e a velocidade da formação destes depósitos seriam alheias ao tempo

geológico, respeitando o tempo histórico da ação das técnicas das sociedades. Assim, o conjunto de formas e processos derivados da ação antrópica deveria ser classificado dentro de um novo período: o Quinário ou Tecnógeno.

Questões a respeito do posicionamento teórico-metodológico da geomorfologia em face da aceitação do Homem enquanto agente geomorfológico também foram incorporadas pela Associação Internacional de Geomorfologia (IAG). Em 2005, durante a sexta Conferência Internacional de Geomorfologia em Zaragoza, Espanha, foi aprovada a criação do Grupo de Trabalho "Human Impact on the Landscape" (HILS, 2005).

De acordo com o estatuto deste grupo, pesquisadores vinculados à análise das alterações geomorfológicas derivadas da ação antrópica direta e indireta são convidados a conduzir as pesquisas de acordo com os seguintes objetivos, estruturados a fim de padronizar os estudos desta linha: (1) definição de Antropogeomorfologia e seus sinônimos; (2) inventário e classificação das formas produzidas pelo Homem; (3) modelagem dos mecanismos de interferência antrópica sobre sistemas geomorfológicos; (4) impactos antrópicos e integridade do equilíbrio ambiental; (5) interações entre processos naturais e antrópicos no controle da evolução dos sistemas geomorfológicos e (6) escalas espaciais e temporais dos processos antropogeomorfológicos.

As pesquisas aplicadas surgem como possibilidade de constatação das alterações desencadeadas pela ação antrópica, alavancando o desenvolvimento de estudos que possuem maior aceitabilidade pela ciência geomorfológica e desvinculam-se da excessiva carga empírica, característica dos trabalhos pioneiros em Antropogeomorfologia (HOOKE, 2000).

Atualmente, as investigações atreladas à ação antrópica sobre a morfohidrografia adquiriram um posicionamento mais específico e também técnico, sendo desenvolvidas nas áreas tradicionais da Geomorfologia, sob o enfoque dos processos naturais influenciados por mecanismos de controle antrópico diretos e indiretos (URBAN, 2002; JAMES, 2006). Tal situação permite identificar que, apesar de por um lado a geomorfologia antropogênica estar adquirindo maior espaço no escopo da ciência geomorfológica, amadurecendo suas próprias técnicas de análise, também se insere nos distintos ramos deste conhecimento, a partir do momento em que as ramificações da Geomorfologia passam a conceber as alterações morfológicas e processuais derivadas da dinâmica socioeconômica.

No Brasil, estudos vinculados à antropogeomorfologia foram realizados por Rodrigues (2005; 2007) e Silva (2005), na região metropolitana de São Paulo. Fujimoto (2005, 2007) e Penteado (2006) também inseriram elementos da geomorfologia antropogênica

em suas análises sobre alteração ambiental urbana na cidade de Porto Alegre. Peloggia (1997, 2005), em estudos realizados no município de São Paulo, analisou a ação do homem sobre as formas do relevo, constatando a modificação e a criação dos processos geomórficos e de formas de relevo pelo Homem.

Rodrigues (2006) e Perez Filho et al. (2001) avaliaram a ação antrópica sobre sistemas morfohidrográficos a partir da análise histórica do comportamento dos canais de drenagem em bacias hidrográficas do centro-oeste paulista, com ênfase em bacias controladas pela alteração do nível de base efetivado pela construção de reservatórios hidrelétricos. A dinâmica temporal apontou para o aumento das densidades de drenagem e hidrográficas. Os autores citados concluíram que o reservatório, enquanto intervenção antrópica direta sobre o sistema morfohidrográfico, teve significativa contribuição na aceleração da morfodinâmica, a partir do estabelecimento de um novo nível de base local, que pode ter desencadeado os processos que configuraram as alterações espaciais na rede de drenagem.

Simon (2007) avaliou os efeitos do crescimento urbano da cidade de Pelotas-RS, da construção de reservatórios de água e da mecanização agrícola em uma bacia hidrográfica durante o período de 53 anos. O autor constatou alterações notáveis sobre as formas do relevo, especialmente no desenvolvimento de rupturas de declive (indicando a dinamização dos processos erosivos) e na evolução espacial das áreas de deposição de sedimentos. Simon (2007) correlacionou estas evidências com a construção do reservatório e com a evolução das áreas agrícolas sobre os fundos de vale no setor de nascentes da bacia, indicando a dinâmica de uso da terra como responsável pelo contínuo controle da morfodinâmica local ao longo do período analisado.

Constatam-se duas características em comum na maior parte das pesquisas realizadas no Brasil e que procuram analisar o impacto antrópico sobre sistemas geomorfológicos. A análise espacial das alterações dos elementos morfohidrográficos encontra-se presente e lança mão da cartografia geomorfológica para a diagnose destes fenômenos. Isto porque a cartografia geomorfológica, aplicada em intervalos de tempo sobre um mesmo fragmento espacial concede respaldo a análise das formas e, por dedução, aos processos que atuam sobre determinado sistema. A drástica transformação da organização das formas do relevo pode corresponder a significativas transformações na morfodinâmica, diante de sua subordinação a mecanismos de controle.

Existe também uma tendência à execução de estudos que avaliam a antropogeomorfologia em áreas densamente urbanizadas. Esta perspectiva encontra-se

atrelada, sobretudo, à possibilidade que estes ambientes representam para a análise das transformações geralmente súbitas, de grande intensidade e magnitude que ocorrem sobre as feições e processos geomorfológicos. Os resultados oriundos desta modalidade de análise antropogeomorfológica são extremamente importantes para a execução de ações de planejamento e gestão das cidades.

A ênfase na análise antropogeomorfológica voltada para a interferência dos mecanismos de controle antrópico desvinculados da ótica da urbanização, apesar de significativa, é modestamente verificada na literatura. O desencadeamento e a evolução de processos morfohidrográficos antropogênicos também se encontram vinculados à construção de reservatórios, bem como à dinâmica de ocupação e uso das terras em áreas onde predominam atividades agropastoris, com espaços urbanos de pequeno e médio porte. Neste contexto residem os objetivos desta pesquisa, que procura contribuir para os estudos vinculados a antropogeomorfologia em áreas voltadas predominantemente para as atividades agropastoris e com morfohidrografia controlada por reservatórios de água.

Hathaway (1948); Petts (1979; 1980); Petts; Gurnel (2005) e Magilligan; Nislow (2005) explicam que reservatórios de água geram impactos na hidrologia, como a alteração do fluxo de corrente e da vazão, alargamento do leito, aumento da profundidade, elevação do nível do lençol freático e geração de áreas alagadas, que diferem significativamente do regime de escoamento natural pré-represamento.

Bexter (1977) afirma que o funcionamento dos reservatórios é complexo e depende das características dos elementos físico-ambientais marginais como declividade, tipo de solo, densidade de drenagem e cobertura vegetal, que irão controlar os processos erosivos lineares ou em lençol que podem ocorrer nas suas margens. O autor explica ainda que o uso da terra também irá interferir de forma significativa no tempo de vida útil dos reservatórios.

No entanto, é a alteração no nível de base local, provocada pelo barramento do canal principal, que desencadeia as principais perturbações nos processos erosivos em sistemas morfohidrográficos. Makkaveyev (1972); Leopold; Bull (1979); Nir (1983); Cunha (2001) e Petts; Gurnel (2005) explicam que os reservatórios rompem o equilíbrio das bacias de drenagem, desencadeando três processos morfohidrográficos distintos: (a) à montante do reservatório, a elevação do nível de base altera a capacidade de transporte e conduz a deposição e consequente assoreamento dos fundos de vale; (b) no ponto de barramento, o lago artificial possibilita a ação das ondas que provocam o solapamento basal das margens que, na maior parte dos casos, encontram-se desprovidas de vegetação marginal; por fim, (c) à jusante

do reservatório onde a dinamização das descargas atua no processo de reentalhamento do leito dos canais fluviais com retirada de material das margens e deposição a jusante, a longas distâncias.

Leopold; Bull (1979) e Petts; Gurnel (2005) afirmam que qualquer alteração no nível de base efetivado por reservatórios interrompe a transferência de sedimentos oriundos das cabeceiras de drenagem. Petts; Gurnel (2005) explicam ainda que as dimensões de largura, profundidade e declividade dos canais fluviais tendem a ajustar as cargas de água e sedimentos carregados ao novo padrão de controle imposto. Estas alterações interferem drasticamente no perfil de "quase-equilíbrio" dos canais fluviais, desencadeando transformações na característica espacial da bacia de drenagem (PETTS; GURNEL, 2005).

Estudos recentes evidenciam que a elevação do nível de base efetivado por reservatórios de água condiciona o aumento da densidade hidrográfica e da densidade de drenagem, provocando mudanças nas cabeceiras das redes hidrográficas, intensificando processos erosivos superficiais e provavelmente subsuperficiais que se associam aos primeiros (PEREZ FILHO et al., 2001; RODRIGUES, 2006). Diante do controle dos processos morfohidrográficos efetivados pelo barramento, a evolução do modelado passa a ocorrer a partir da orientação definida pela ação antrópica direta, caracterizada pelo reservatório.

Os efeitos da construção de reservatórios associados à dinâmica de uso da terra em áreas onde predominam atividades agropecuárias, com espaços urbanos de pequeno e médio porte, compreendem outra lógica de transformação das feições do relevo e de alteração da morfohidrodinâmica. O desencadeamento das alterações em áreas onde predominam atividades agropastoris deve partir do fato de que estas apresentam um processo de ocupação histórico, onde várias conjunturas de interferência antrópica atuaram na transformação dos elementos do sistema físico-ambiental. Portanto, a abordagem histórica deve reconhecer este processo de ocupação a fim de conceder fidelidade à análise das atuais alterações e estado de controle imposto pela ação antrópica (PEREZ FILHO, 2007).

4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

4.1 Técnicas cartográficas

A compreensão das transformações decorrentes da dinâmica de ocupação e uso das terras sobre os sistemas morfohidrográficos da área em estudo lançou mão de dados cartográficos que possibilitassem análises quantitativas e qualitativas das alterações desencadeadas a partir da ação antrópica. Desta forma, a partir da organização da base cartográfica, foram elaborados os mapas geomorfológicos e de ocupação e uso das terras de cenários distintos (1962, 1972, 1995 e 2007), que representam a evolução da organização espacial da área em estudo. Ainda a partir da base cartográfica foram organizados os mapas das classes de declividade das bacias hidrográficas dos ribeirões Samambaia e Bonito. As técnicas cartográficas são descritas a seguir.

4.1.1 Base cartográfica

A base cartográfica da área em estudo foi preparada a partir dos dados em formato vetor, na escala de 1:50.000, disponíveis no site do Projeto PiraCena (ESALQ/USP) e compreende as seguintes folhas: São Pedro (SF-23-M-III-1), Itirapina (SF-23-M-I-3), Santa

Maria da Serra (SF-22-Z-B-VI-2), Brotas (SF-22-Z-B-III-4) e Barra Bonita (SF-22-Z-B-VI-1), conforme articulação representada no Anexo 1.

No intuito de possibilitar maior precisão aos dados em formato vetor procedeu-se ainda a coleta das cartas topográficas originais, que foram alinhadas a base cartográfica. Esta coleta justifica-se ainda pela necessidade de um número diversificado de pontos de controle para o georreferenciamento das fotografias aéreas (mapas de ocupação e uso das terras) e dos *overlays* derivados das atividades de fotointerpretação (mapas geomorfológicos). As cartas topográficas originais foram coletadas junto ao acervo existente no Laboratório de Geomorfologia e no Centro de Análise e Planejamento Ambiental da Unesp/Rio Claro.

4.1.2 Mapas geomorfológicos dos anos de 1962, 1972, 1995 e 2007

4.1.2.1 Organização da legenda dos mapas geomorfológicos

O mapeamento das feições do relevo dos segmentos espaciais selecionados para esta pesquisa foi realizado considerando a concepção de Cunha (2001, p. 109), que explica que "é impossível estabelecer um mapeamento geomorfológico visando a gestão ambiental que seja universal e dogmático". Dessa forma, torna-se necessário levar em consideração os diferentes sistemas morfohidrográficos existentes, além dos problemas ambientais que são encontrados na área em estudo. Isso faz com que possam ocorrer adaptações que permeiem os objetivos do trabalho, podendo ser dada maior ênfase a determinadas feições e processos.

Assim, considerando a proposta da autora citada, o mapeamento geomorfológico realizado enfatizou a morfografia, representada pela simbologia, com destaque para as feições de relevo que indicam maior dinâmica erosiva desencadeada pelo escoamento superficial das águas pluviais. Foi dada atenção também ao mapeamento do modelado antrópico, ressaltando as intervenções que atuam como mecanismos de controle da morfodinâmica da área em estudo e que desencadearam alterações nos elementos do sistema físico-ambiental, sobretudo na morfologia original e na hidrografia e que contribuem na evolução do relevo antropogênico.

Dessa forma, a simbologia utilizada pautou-se em uma adaptação das propostas de Tricart (1965) e Verstappen; Zuidan (1975), por meio da seleção de símbolos adequados à representação das feições geomorfológicas da área, em uma única legenda. Esse procedimento

encontrou respaldo nas análises sobre o mapeamento geomorfológico realizadas por Cunha (2001).

A Figura 1 apresenta a simbologia adotada para o mapeamento geomorfológico na baixa bacia do Rio Piracicaba e nas bacias hidrográficas dos ribeirões Samambaia e Bonito a partir da adaptação das metodologias de Tricart (1965) e Verstappen; Zuidan (1975).

Tricart (1965) evidencia que o mapa geomorfológico nada mais é do que a tradução gráfica dos resultados e das concepções obtidas por meio de materiais cartográficos e trabalhos de campo. O autor explica que esse documento é complexo em sua essência pelo fato de ser constituído por várias informações que fornecem subsídios à análise do relevo. A interpretação de tal documento cartográfico pode, em alguns casos, ser limitada justamente pela gama de símbolos e cores nele representados.

Para o autor citado, os mapas geomorfológicos devem abranger quatro tipos de informação, a saber:

(1) *A Morfometria*, que pode ser representada por um fundo topográfico contendo as curvas de nível e a rede de drenagem. De acordo com Tricart (1965), outras características da morfometria podem ser inseridas no mapa geomorfológico, porém possuem maior interesse para outras especialidades e objetivos que vão além deste mapeamento. Além disso, demais informações morfométricas podem contribuir para a poluição cartográfica, dificultando a análise e a interpretação do documento. Na presente investigação optou-se por apresentar a malha hidrográfica, as curvas de nível e os pontos cotados da base cartográfica como símbolos principais da morfometria. A elaboração de mapas de declividade vem a complementar as informações sobre a geometria do relevo.

(2) *A Morfografia* caracteriza-se pela representação espacial e areal das formas do relevo. Tricart (1965) explica que os aspectos morfográficos estão estritamente ligados às características morfogenéticas, sendo que as formas devem ser identificadas também por sua gênese.

(3) *A Morfogênese* é explicitada por meio do agrupamento das formas do relevo de acordo com os processos que deram origem a elas. Dos grandes grupos assinalados por Tricart (1965) utilizou-se na área de pesquisa, de acordo com os objetivos: as Formas de vertentes e interflúvios, as Formas originadas pela ação das águas correntes e o Modelado antrópico.

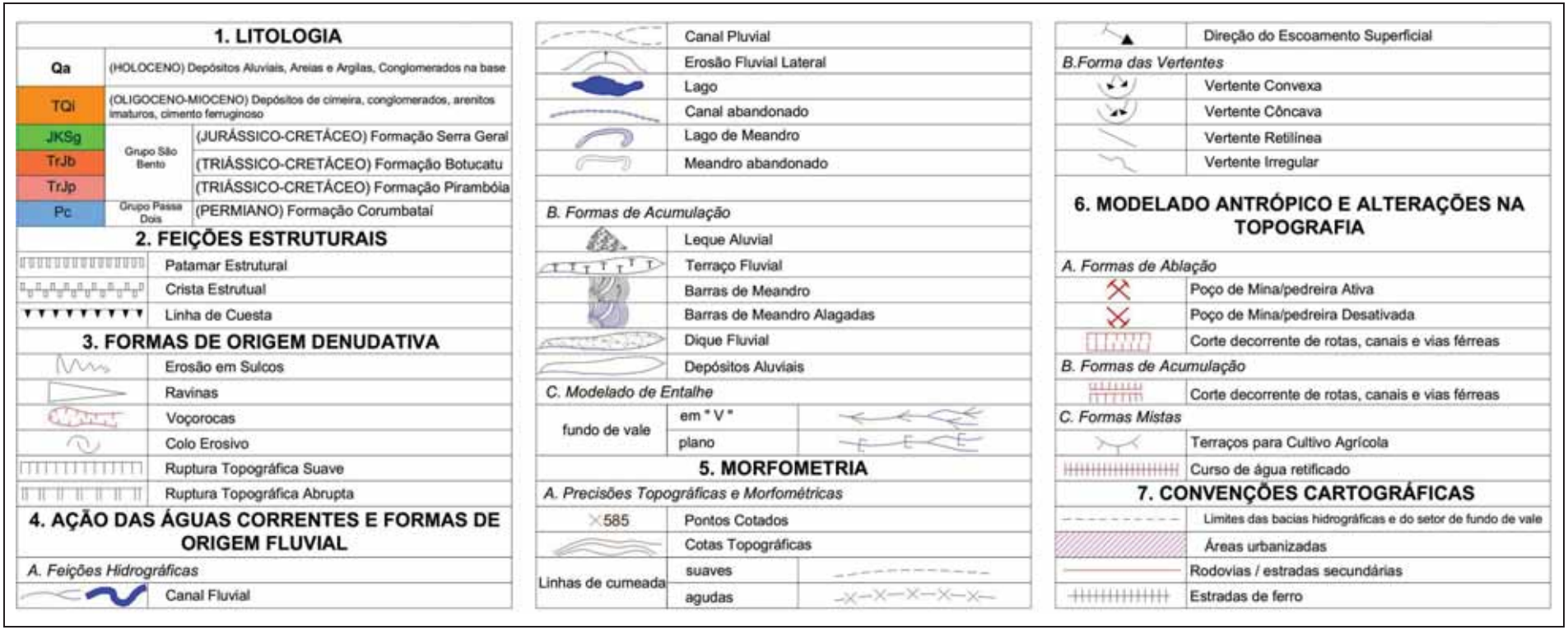


Figura 1: Adaptação das simbologias de Tricart (1965) e Verstappen; Zuidan (1975) aplicadas ao mapeamento geomorfológico na área em estudo.
Fonte: Organizado por Adriano L. H. Simon.

(3) *A Morfogênese* é explicitada por meio do agrupamento das formas do relevo de acordo com os processos que deram origem a elas. Dos grandes grupos assinalados por Tricart (1965) utilizou-se na área de pesquisa, de acordo com os objetivos: as Formas de vertentes e interflúvios, as Formas originadas pela ação das águas correntes e o Modelado antrópico.

(4) Por fim, *a Cronologia* dos fatos geomorfológicos, a qual evidencia o momento da história geológica em que as formas e o conjunto dessas se desenvolveram. Tricart (1965) indica a utilização de tramas de cores para a representação dos períodos da história morfogenética. O autor citado explica também que esses dados são de difícil aquisição e muitas vezes acabam sendo suprimidos devido à falta de informações. Por esse motivo, os dados sobre a cronologia das formas do relevo da área em estudo não foram representados.

Tricart (1965) recomenda ainda que os dados condizentes ao arcabouço estrutural devam ser mapeados, indicando sua divisão em dois níveis: as Feições Estruturais, identificadas por falhas, linhas de *cuesta*, entre outras; e os Dados Litológicos, representados por meio de tramas de fundo na carta, que indicam a existência de rochas com maior grau de compactação, bem como litologias menos compactadas, sendo que a espessura das tramas alterna gradativamente de menos espessas para mais espessas e sólidas.

No que tange à identificação das litologias da área, em virtude de melhores resultados na apresentação dos mapas geomorfológicos, optou-se pela representação a partir de cores sólidas distintas, ao fundo das feições geomorfológicas mapeadas, seguindo o esquema de cores e denominações proposto no Mapeamento Geológico do Estado de São Paulo (IPT, 1981a).

Verstappen; Zuidan (1975), por sua vez, afirmam que a finalidade de um mapeamento geomorfológico é a de "oferecer uma imagem concisa e sistemática do relevo e dos fenômenos que estão ligados a ele" (p. 15). Explicam ainda que esses documentos constituem-se em ferramentas de grande valor na avaliação dos recursos naturais devido às relações existentes entre as características geomorfológicas e os demais fatores do meio ambiente.

Os autores citados propõem um sistema de elaboração de mapas geomorfológicos que identifique, além das unidades principais, as feições menores do relevo, que devem ser delimitadas de acordo com sua morfogênese, haja vista que as formas são inerentes aos processos nelas estabelecidos. A elaboração desses documentos deve procurar ressaltar também a litologia da área, com ênfase nas propriedades e nos tipos de rochas, pelo fato de que nela se desenvolvem os processos geomorfológicos e os padrões de maior ou menor resistência estrutural que acarretarão na característica do modelado.

Para Verstappen; Zuidan (1975) a elaboração de mapas que representam com fidelidade os fenômenos geomorfológicos deve pautar-se na utilização de fotografias aéreas e na realização de trabalhos de campo. As fotografias aéreas, de acordo com os autores citados, são registros detalhados da superfície da Terra, visto que os fenômenos aparecem em sua forma e desenho exatos. Os aerofotogramas constituem-se como base para a realização do mapeamento geomorfológico e ponto de partida para a articulação dos trabalhos de campo que, por sua vez, permitem avaliar e reconhecer dados que ficaram pendentes durante a fotointerpretação.

O método proposto pelos autores citados compreende os aspectos morfométricos, morfográficos e morfogenéticos, buscando também a representação da litologia e dos processos morfológicos por meio de legendas que são flexíveis à adaptação para diferentes cenários e propostas de trabalho.

> Com as legendas, guarda-se certa flexibilidade para poder adaptá-las às necessidades dos geomorfólogos que trabalham em diversos tipos de terreno. Nunca se deverá forçar o geomorfólogo a 'normas' demasiadamente rígidas para as condições que prevalecem na região de trabalho (VERSTAPPEN; ZUIDAN, 1975, p. 16).

Em sua proposta, os autores citados explicitam três tipos de mapas geomorfológicos:

Os *Mapas Preliminares* são aqueles onde se identifica toda a informação possível de se obter por meio das fotografias aéreas. Eles devem incluir os dados topográficos para localizar com maior precisão em campo os fenômenos geomorfológicos. Podem ainda constar de informações provisórias sobre a litologia, provindas de observações nas fotografias aéreas ou da compilação de outros documentos cartográficos relativos à área em estudo.

Os *Mapas com Fins Gerais* são resultados das investigações geomorfológicas puras, sem fins específicos. Nesses documentos, identificam-se as unidades genéticas do relevo por meio de cores uniformes agrupadas em símbolos correspondentes à origem das feições do relevo. Os autores citados trazem separadamente a morfometria e a topografia. Para a presente pesquisa foi utilizada a simbologia correspondente às formas de origem denudativa, às formas de origem fluvial, à morfometria e topografia, além dos dados sobre a litologia local.

E finalmente, os *Mapas com Fins Especiais* representam uma complementação das informações dos mapas com fins gerais, incluindo sempre a litologia e a topografia. Na metodologia proposta por Verstappen; Zuidan (1975), os mapas com fins especiais dividem-se em dois tipos: os de *morfoconservação* e os *hidromorfológicos*, "que visam orientar ou resolver problemas específicos" (CUNHA, 2001, p. 68). Torna-se importante ressaltar que

alguns símbolos dos mapas com fins específicos estão presentes nos mapas com fins gerais, ao mesmo tempo em que se torna imprescindível, a fim de atingir aos objetivos propostos, inserir em mapas com fins gerais alguns símbolos de mapas com fins específicos.

Com base nessas duas contribuições ao mapeamento geomorfológico foi elaborada a legenda que serviu como orientação ao mapeamento geomorfológico da área em estudo. Sua esquematização comporta: as *Feições Estruturais*, as *Feições Litológicas*, as *Formas de Origem Denudativa*, a *Ação das Águas Correntes e as Formas de Origem Fluvial*, a *Morfometria* e o *Modelado Antrópico e as Alterações na Topografia* (Figura 1).

Cunha (2001), explicando as principais diferenças nos mapeamentos propostos por Tricart (1965) e Verstappen; Zuidan (1975) aponta para a distinção no agrupamento dos símbolos utilizados na representação das feições do relevo. Tricart (1965) agrupa a maioria de seus símbolos em consonância aos tipos de formas, sendo os grandes grupos de sua classificação: as *formas de vertentes e interflúvios*, *ação das águas correntes* e o *modelado antrópico*, além das *feições litológicas*.

Para Verstappen; Zuidan (1975) as feições são agrupadas de acordo com sua origem destacando as *formas de origem denudativa* e as *formas de origem fluvial*. Os autores citados também incluem em sua classificação a *morfometria* e a *topografia*.

Torna-se importante ressaltar que muitas das formas que na proposta de Tricart (1965) são pertencentes ao modelado antrópico, na proposta de Verstappen; Zuidan (1975) encontram-se inseridas no grupo topografia. Por esse motivo, tendo em vista a contribuição das duas metodologias na identificação das formas de origem antrópica, que representam os pontos de controle na morfodinâmica do sistema em estudo, foram agrupadas em uma classe denominada *Modelado Antrópico e Alterações na Topografia*.

Os tipos de vertentes, na simbologia de Verstappen; Zuidan (1975) figuram como símbolos para mapas de morfoconservação. Para Tricart (1965) as formas das vertentes não devem ser representadas em mapas geomorfológicos. De acordo com Tricart (1965), esses dados, por mais interessantes que sejam, têm maior identificação com os mapas morfométricos do que com os mapas geomorfológicos.

Assim, o grupo Morfometria, existente na classificação de Verstappen; Zuidan (1975) foi adotado no mapeamento da presente pesquisa para caracterizar as curvas de nível, os topos cotados, as linhas de cumeada suaves e agudas e as formas de vertentes. A identificação da forma das vertentes possui grande importância, pois tal caracterização possibilita a análise do escoamento superficial, bem como as alterações impostas pela ação antrópica sobre a morfologia original ao longo do tempo histórico. Em virtude da escala de

trabalho adotada, optou-se pela não representação de linhas de cumeada agudas e arredondadas maiores e menores, como indicam Verstappen; Zuidan (1975), preferindo-se a orientação de Tricart (1965) em utilizar apenas linhas de cumeada suaves e agudas.

A *Ação das Águas Correntes* (TRICART, 1965) e as *Formas de Origem Fluvial* (VERSTAPPEN; ZUIDAN, 1975) foram agrupadas em um único grupo: *Ação das Águas Correntes e Formas de Origem Fluvial*, abrangendo as feições hidrográficas atuais e pretéritas, as formas de acumulação e a natureza dos depósitos, além do modelado de entalhe. Essa opção ocorreu pela proximidade das propostas em estabelecer o agrupamento de feições provenientes do processo de acumulação e de trabalho da drenagem sobre as formas do relevo.

As *Formas de Origem Denudativa* incluem as feições erosivas localizadas, representadas por símbolos que evidenciam a ocorrência de erosão em sulcos, ravinas e voçorocas, além das rupturas topográficas e colos. A representação das rupturas topográficas na proposta de Tricart (1965) proporciona uma gama muito maior de símbolos para mapeamento em escalas de maior detalhe, porém, na escala de trabalho adotada para a presente pesquisa (1:50.000), as rupturas foram agrupadas em dois tipos: abruptas e suaves.

As *Feições Litológicas* foram agrupadas de forma que pudessem ser representadas por cores sólidas, ao fundo, destacando o tipo de rocha predominante.

As *Feições Estruturais* por sua vez, apresentam significativa ocorrência na área em estudo, sendo representadas, sobretudo pelo alinhamento de escarpas e cortes abruptos relativos ao *front* cuestiforme, bem como patamares e cristas estruturais que demarcam a transição entre as Cuestas Basálticas e a Depressão Periférica Paulista.

4.1.2.2 Mapeamento geomorfológico das bacias dos ribeirões Samambaia e Bonito

O mapeamento das bacias hidrográficas dos ribeirões Samambaia e Bonito ocorreu a partir da utilização de imagens aerofotogramétricas distintas. Nos cenários correspondentes aos anos de 1962 e 1972 foram utilizadas fotografias aéreas pancromáticas em escala aproximada de 1:25.000: 15 fotografias no cenário de 1962 e 17 fotografias no cenário de 1972, para a bacia do ribeirão Samambaia; 18 fotografias no cenário de 1962 e 17 fotografias no cenário de 1972, para a bacia do ribeirão Bonito. A operacionalização destes mapeamentos consistiu na fotointerpretação dos pares estereoscópicos para a identificação das feições morfohidrográficas que foram demarcadas em *overlays* de poliéster.

Após a finalização da fotointerpretação, os *overlays* foram scaneados e registrados junto à base cartográfica a partir de pontos específicos, no ambiente do AutoCadMAP 2004™. A etapa final consistiu na vetorização das feições lineares (canais fluviais, canais pluviais, rupturas topográficas suaves e abruptas, entre outras) e na inserção de blocos correspondentes às feições de caráter espacial mais complexo (tipos de vertentes, colos, direção do escoamento superficial, entre outras).

O mapeamento geomorfológico das bacias hidrográficas para o cenário de 2007 foi realizado a partir da utilização da imagem PRSIM (*Panchromatic Remote-sensing Instrument for Stereo Mapping*), componente do sistema ALOS (Advanced *Land Observing System*). A imagem adquirida pelo sensor PRISM é pancromática (faixa espectral 0,52 a 0,77 μm), apresentando resolução espacial de 2,5 metros. O PRISM é composto por 3 sistemas ópticos independentes, um com visada Nadir e dois com visadas inclinadas para frente (*Forward*) e para trás (*Backward*) em relação a sua órbita, tornando possível o imageamento estereoscópico ao longo da trajetória do satélite.

As técnicas que possibilitaram a visualização estereoscópica da imagem PRISM foram operacionalizadas pelo Japan Aerospace Exploration Agency. Após a finalização do modelo estereoscópico, foi iniciada a interpretação das informações morfohidrográficas da área em estudo, que ocorreu no módulo ArcGlobe do pacote ArcGis. As feições geomorfológicas e hidrográficas interpretadas foram vetorizadas no ambiente do AutoCadMAP 2004™, onde já havia sido estruturado o banco de dados referente a simbologia aplicada.

Na Figura 2 (A, B e C) verifica-se a potencialidade da imagem PRISM na identificação de feições elementares do relevo (tipos de vertentes, fundo de vale e topos), bem como feições mais complexas, derivadas da dinamização dos processos erosivos (voçorocas, ravinamentos e sulcos erosivos), além de feições estruturais características da zona de transição de litologias onde se localiza a área em estudo.

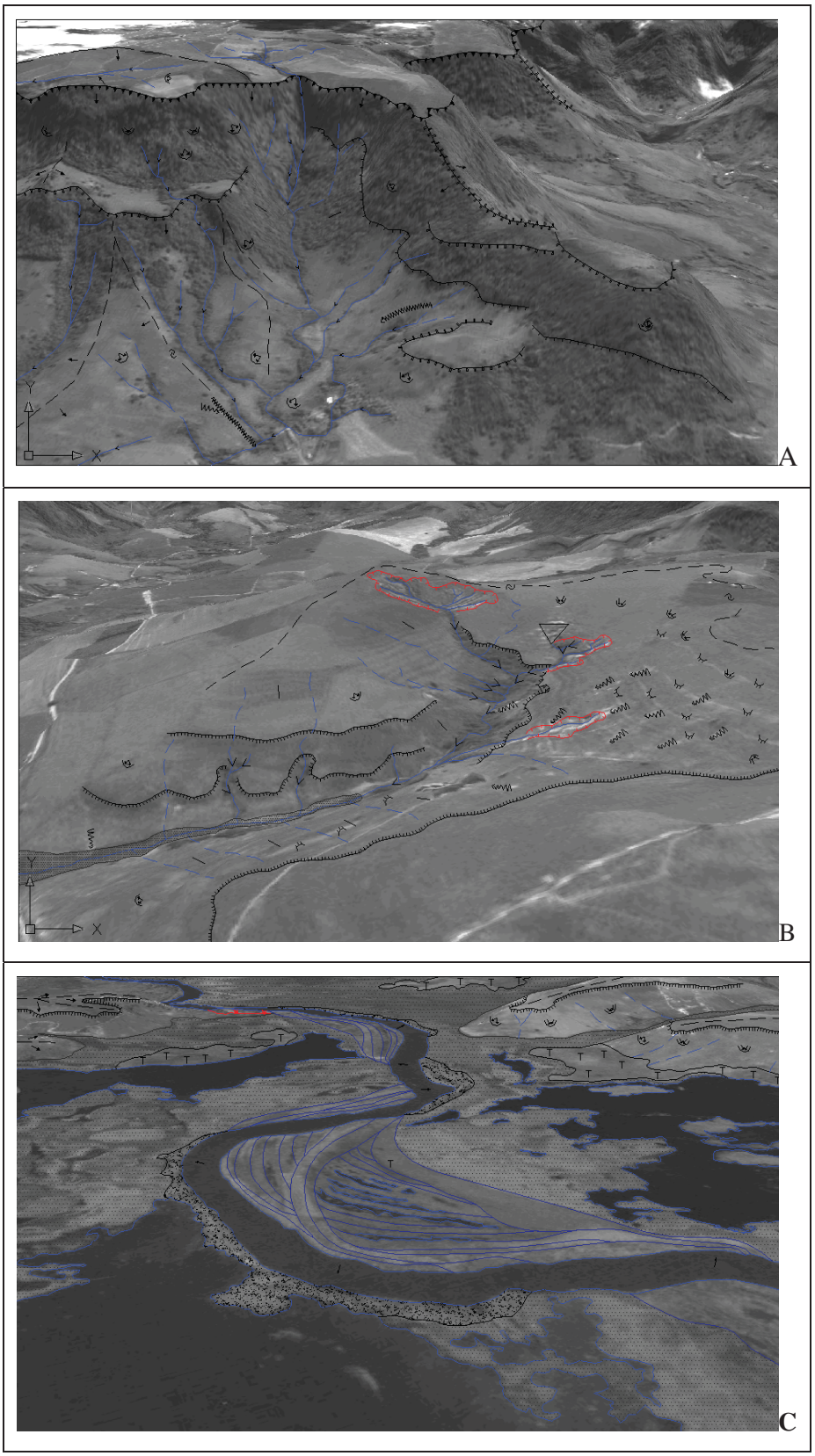


Figura 2: Mapeamento das feições geomorfológicas no setor das cuestas basálticas (A); na média bacia do ribeirão Bonito (B) e no setor de fundo de vale do Rio Piracicaba (C), a partir da utilização de imagens do sistema ALOS/PRISM.

4.1.2.3 Mapeamento geomorfológico do setor de fundo de vale do baixo curso do Rio Piracicaba.

O mapeamento geomorfológico do setor de fundo de vale do baixo curso do Rio Piracicaba nos cenários de 1962, 1972 e 1995 foi realizado a partir da interpretação de fotografias aéreas e seguiu os mesmos procedimentos operacionais aplicados ao mapeamento das feições do relevo nas bacias dos ribeirões Samambaia e Bonito nos cenários de 1962, 1972. Foram utilizadas 34 aerofotografias no cenário de 1962, 32 aerofotografias no cenário de 1972 e 14 aerofotografias no cenário de 1995.

A elaboração do mapa geomorfológico do fundo de vale do baixo Rio Piracicaba, no período mais recente (2007), ocorreu a partir da utilização da imagem do sensor PRISM. Cabe ressaltar que a interpretação das feições morfohidrográficas foi realizada integralmente em meio digital, sem o auxílio do componente estereoscópico. A disposição das feições lineares e não lineares ocorreu a partir da utilização do mesmo banco de dados de símbolos estruturado no ambiente do software AutoCad MAP 2004™.

A organização do mapa geomorfológico em meio digital, para o cenário de 2007, foi possível em decorrência de três fatores: (1) baixas amplitudes altimétricas – ocorrência de feições geomorfológicas com características tridimensionais pouco significativas e que podem ser reconhecidas sem o auxílio da estereoscopia; (2) resolução espacial da imagem de 2,5 metros, com nitidez dos elementos interpretativos como rugosidade, sombras, geometria dos alvos, textura e níveis de cinza, suficientes para a distinção de feições morfohidrográficas e (3) possibilidade de reconhecimento dos dados em campo por se tratar do cenário mais recente e, portanto, de fenômenos ainda identificáveis na paisagem.

4.1.3 Mapas de ocupação e uso das terras dos anos de 1962, 1972, 1995 e 2007[1]

4.1.3.1 Organização da legenda dos mapas de ocupação e uso das terras

Os mapeamentos de ocupação e uso das terras devem respeitar as particularidades locais, a partir da estruturação de uma chave de classificação que abranja os usos que fazem

[1] O termo “Ocupação e Uso das Terras”, foi utilizado a partir da compreensão de que a ocupação ocorre para o uso, ou seja, a utilização e modificação dos elementos do sistema físico-ambiental é efetivada a partir do momento em que a ocupação é processada para a organização espacial dos diferentes tipos de uso das terras (SIMON, 2007).

parte do contexto regional e atuam no processo de intervenção sobre o sistema físico-ambiental. Dessa forma, os mapas de ocupação e uso das terras da área em estudo foram elaborados a partir das orientações estabelecidas pelo sistema de classificação proposto pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2006).

Trata-se de um sistema de classificação de cobertura e uso das terras brasileiro, derivado da análise, aperfeiçoamento e compilação de sistemas de classificação já existentes. A classificação do IBGE oportuniza ainda a compatibilização e padronização dos levantamentos de ocupação e uso das terras, realizados em território nacional, preenchendo a lacuna decorrente da utilização de sistemas de classificação distintos e, portanto, não passíveis de harmonização cartográfica.

A utilização deste sistema decorre ainda das possibilidades de ajustamento e flexibilidade de determinadas classes de uso e ocupação das terras que, no contexto da proposta original da classificação possuem significados fixos, mas que na conjuntura da área em estudo podem possuir significados que denotam maior importância devido à sua atuação na alteração das feições e processos geomorfológicos.

O sistema de classificação proposto pelo IBGE (2006) possibilita que os mapas de ocupação e uso das terras sejam detalhados em três níveis principais a depender das características da organização espacial em estudo. Assim, se o enfoque maior for dado a dinâmica de área urbanas, é possível seu detalhamento em distintas classes que compõe a complexidade destes adensamentos populacionais.

Se a área em estudo possui características socioeconômicas vinculadas às atividades agropastoris é possível que o detalhamento das classes de uso da terra ocorra no sentido de representar os tipos de uso atrelados às práticas rurais. Este é o caso da área em estudo que, embora abranja os aglomerados urbanos de São Pedro e Santa Maria da Serra, ainda possui predominância de usos atrelados às práticas agropastoris.

A partir destas considerações foi elaborado o sistema de classificação de ocupação e uso das terras da área em estudo composto por treze classes distintas (Anexo 5). O Nível I apresenta as principais classes de uso do planeta, identificáveis a partir da interpretação direta dos dados dos sensores remotos (IBGE, 2006). O Nível II abarca dez classes de uso distintas, distribuídas a partir das 4 classes de uso iniciais – Nível I (Anexo 5), abrangendo escalas regionais de análise do uso e ocupação da terra. Cabe ressaltar que todas as classes de uso da terra foram identificadas a partir do nível II de detalhamento. O Nível III, por sua vez, foi organizado de acordo com as especificidades da ocupação e uso das terras da área em estudo e que podem ter relevância no processo de evolução da morfohidrodinâmica em escala local.

4.1.3.2 Mapeamento da ocupação e uso das terras das bacias dos ribeirões Samambaia e Bonito e do setor de fundo de vale do baixo curso do Rio Piracicaba

A identificação e a delimitação das classes de ocupação e uso das terras na área em estudo foram realizadas em meio digital, sem auxílio da estereoscopia. Nos cenários de 1962 e 1972 (bacias hidrográficas) e nos cenários de 1962, 1972 e 1995 (fundo de vale do Rio Piracicaba), foram utilizadas fotografias aéreas pancromáticas em escala aproximada de 1:25.000 (mesmo número de fotografias aéreas utilizadas para os mapeamentos geomorfológicos). Estas fotografias foram inicialmente georreferenciadas no módulo ArcMap do pacote ArcGis 9.3, onde existe a possibilidade de inserção de mais pontos de controle para o georreferenciamento.

No cenário de 2007 (bacias hidrográficas e fundo de vale) a identificação e delimitação das classes de ocupação e uso das terras foram realizadas a partir da imagem do sensor PRISM. As características da imagem descritas anteriormente possibilitaram bons resultados na identificação das classes de ocupação e uso das terras e permitiram ainda o controle em campo por se tratar de uma imagem atual.

Após georreferenciadas, as fotografias aéreas foram importadas para o ambiente do software AutoCad MAP 2004™, onde ocorreu seu registro junto à base cartográfica a fim de consolidar um mosaico. O mesmo procedimento ocorreu com a imagem do sensor PRISM, entretanto sem a geração de um mosaico em função de tratar de uma única imagem. A fase posterior constou da segmentação manual das classes de uso da terra a partir da vetorização dos perímetros das classes, respeitando limites de *zoom* e primando pela homogeneidade entre os mapeamentos.

Após a segmentação das classes ocorreu a individualização das mesmas em polígonos, sendo que cada polígono foi inserido dentro de um layer correspondente a sua classe para que pudessem ser calculados os valores de área e analisada a conjuntura espacial de cada uma das classes nos cenários mapeados.

4.1.4 Mapas das classes de declividade das bacias dos ribeirões Samambaia e Bonito

O mapa de classes de declividade tem como objetivo quantificar a inclinação do terreno. Trata-se de uma representação morfométrica importante para o manejo das áreas rurais e o gerenciamento do uso da terra urbano. Tais dados são imprescindíveis ainda para a

avaliação das possibilidades de ocorrência de processos de remobilização das formações superficiais ou de corpos rochosos, tais como escorregamentos, erosão, desmoronamentos, *creeping*, entre outros (CUNHA, 2001).

De acordo com De Biasi (1992) a declividade de uma área constitui-se em um fenômeno contínuo. Contudo, é impossível representar cartograficamente tal continuidade. Assim, a representação da declividade apresenta como problemática central a escolha de classes adequadas tanto ao objetivo do trabalho como ao local estudado.

O estabelecimento de classes de declividade conduz à construção do ábaco graduado com as medidas apresentadas pelo espaçamento das curvas de nível (DE BIASI, 1970). A etapa seguinte compreende o deslocamento manual deste ábaco através das diferentes cotas topográficas, estabelecendo-se limites toda vez que o segmento referente a cada classe se encaixe perfeitamente, estabelecendo um angulo de 90^o entre as curvas em questão, tomando-se o cuidado de manter a sequência de classes estabelecidas.

Neste sentido, os mapas das classes de declividade das bacias hidrográficas dos ribeirões Samambaia e Bonito foram elaborados a partir da proposta de De Biase (1970) e das adaptações sugeridas por Sanchez (1993).

O procedimento inicial baseou-se no cálculo da maior e da menor distância entre as curvas de nível, a partir da base topográfica na escala 1:50.000. Estas distâncias foram utilizadas como parâmetros na elaboração das classes de declividade.

Optou-se pela classe expressa em porcentagem, aplicando-se a regra, de acordo com De Biasi (1970):

$$Dc = (Dn/Dh) * 100$$

Onde:

Dc = declividade

Dh = distância horizontal entre duas curvas de nível consecutivas

Dn = equidistância das curvas de nível.

Observação: os valores de Dh e de Dn devem estar na mesma unidade de medida, padronizadas de acordo com a escala adotada.

As classes de declividade foram definidas a partir da proposta de Lepsch et al. (1991) com adaptações pertinentes à área em estudo (Quadro 1).

Classe	Declividade (%)	Descrição. (LEPSCH et al. 1991; BRIGUENTI, 2005; RODRIGUES, 2006).
1	≤3%	Áreas planas ou quase planas, escoamento superficial muito lento, sem dificuldades de uso de máquinas agrícolas e sem problemas com erosões hídricas, exceto em vertentes cujas rampas são muito longas.
2	3 ├ 6%	Áreas com declives suaves, escoamento superficial lento ou médio na maior parte dos solos. Não oferece restrições ao uso de máquinas agrícolas. Em alguns solos, esta classe não representa riscos de erosão hídrica e, quando ela ocorre, práticas simples de conservação são suficientes.
3	6 ├ 12 %	Áreas com superfícies inclinadas, relevo ondulado, nas quais o escoamento superficial, para a maior parte dos solos, é médio ou rápido. O declive não restringe o uso de máquinas agrícolas. Nestas classes a erosão oferece poucos problemas ou então pode ser controlada com práticas simples, na maior parte das vezes, no entanto, práticas complexas de conservação do solo são necessárias, para que terras com este declive possam ser cultivadas;
4	12 ├ 20 %	Áreas muito inclinadas ou colinosas, onde o escoamento superficial é rápido na maior parte dos solos. Pode ocorrer uso de máquinas agrícolas, com dificuldades. Normalmente áreas com este tipo de declive devem ser utilizadas para cultivos perenes, pastagens ou reflorestamento;
5	20 ├ 30 %	Relevo fortemente inclinado, onde o escoamento superficial é muito rápido na maior parte dos solos. Somente máquinas agrícolas especiais ou mais leves podem ser usadas, e, assim mesmo, com dificuldades. Lepsch et al. (1991) insere as declividades de 20% a 45% em uma única classe. No entanto, em virtude da existência de áreas urbanas na área em estudo, e de sua consequente evolução espacial ao longo do período de análise desta pesquisa, foi considerado o limite de 30% de declividade, estabelecido para o parcelamento do solo para ocupação urbana sem restrições de acordo com a Lei Lehmann (6766/79).
6	30 ├ 45 %	
7	≥ 45 %	Superfícies constituídas por áreas íngremes, de regiões montanhosas e/ou escarpadas, onde praticamente nenhum tipo de máquina agrícola pode trafegar. O escoamento é muito rápido, e os solos extremamente suscetíveis à erosão hídrica.

Quadro 1: Características das classes adotadas para o mapeamento das declividades nas bacias dos ribeirões Samambaia e Bonito.

Nos fundos de vale (espaços entre curvas de nível e o curso fluvial), e em áreas envolvidas por uma mesma curva de nível (topos de interflúvio, alvéolos, anfiteatros) foi necessária a utilização de um ábaco suplementar, proposto por Sanchez (1993), considerando a metade da equidistância das curvas de nível relativas ao documento utilizado (Figura 3).

De acordo com o autor citado, essa proposta baseia-se na analogia com a altura máxima dos perfis topográficos e com a representação dos fundos de vale, sendo o primeiro resultante do valor da curva de nível de maior valor mais a metade da equidistância das curvas de nível; e no caso do fundo do vale, sua altitude é dada pelo valor da curva de nível que a

envolve menos a metade do valor da equidistância das curvas de nível, Sanchez (1993, p.312) explica que:

> Neste ábaco, suplementar, considera-se o desnível na fórmula para o cálculo de declividade, como tendo um valor igual à metade do valor da equidistância das curvas de nível. Se para a construção do ábaco normal considerou-se o desnível para uma equidistância de 10 m, para o ábaco complementar considera-se 10/2 = 5 m.

Deste modo, para a elaboração dos mapas de classes de declividade utilizou-se os dois ábacos mencionados (Figura 3). Para cada classe estabelecida foi atribuída uma cor de acordo com a rosa cromática, utilizando-se o princípio cartográfico da intensidade do fenômeno, isto é, quanto mais intensa a declividade, mais escura a cor utilizada.

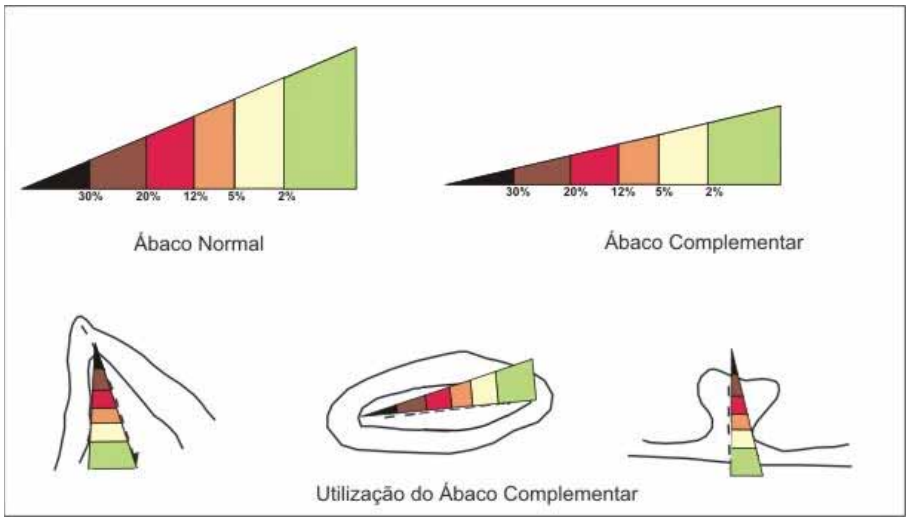


Figura 3: Ábacos para a elaboração de cartas de declividade e utilização do ábaco complementar.
Fonte: Adaptado de Sanchez (1993).

Em virtude das características do relevo das bacias hidrográficas: formas influenciadas pelo controle estrutural, como no caso das escarpas e patamares do *front* cuestiforme, Simon; Cunha (2009) desenvolveram um novo procedimento de aplicação dos ábacos principal e suplementar em meio digital, no ambiente do software AutoCadMAP™.

No ábaco convencional (Figura 4), as classes de declividade são estruturadas de forma graduada em um segmento de reta onde, a partir da definição da maior classe de declividade (A) é obtido um ângulo que define a organização das demais classes clinográficas (B e C). Depois de criado, esse ábaco é posicionado entre as curvas de nível e assim são delimitadas as classes de declividade, de acordo com a distância entre estas curvas (D).

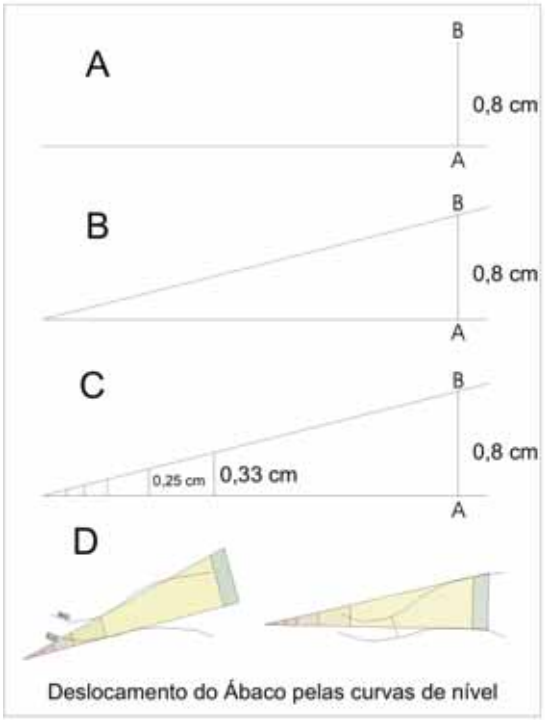


Figura 4: Elaboração e utilização do ábaco analógico.
Fonte: Adaptado de Cunha (2001).

O ábaco convencional apresentado é mais adaptável em meio analógico. Entretanto, a utilização do mesmo em meio digital para a elaboração de cartas clinográficas de forma semi-automática enfrenta uma série de dificuldades no que tange o deslocamento e o posicionamento entre as curvas de nível, na delimitação precisa das classes de declividade.

Como forma de agilizar o processo de identificação das classes de declividade a partir do processo semi-automatizado, no ambiente do software AutoCadMAP™, Simon; Cunha (2009) desenvolveram um ábaco que apresenta maior maleabilidade no deslocamento entre as curvas de nível da base cartográfica. Esse ábaco possui forma arredondada, onde a circunferência maior representa o limite das menores declividades de vertente e, inseridos dentro desta circunferência maior, a partir de seu centróide, estão os demais círculos correspondentes às declividades mais acentuadas (Figura 5).

Figura 5: Etapas da estrutura organizacional do ábaco digital.

No AutoCadMAP™ é possível criar – a partir das ferramentas do comando *Draw* – as linhas referentes à delimitação de cada uma das classes de declividade, bem como os círculos que correspondem à área de abrangência de cada uma destas classes nos limites das curvas topográficas. O georreferenciamento é uma etapa fundamental para que o comprimento das linhas referentes ao limite entre as classes de declividade seja preciso. É importante levar em consideração a unidade de medida utilizada no processo de georreferenciamento da base cartográfica, pois, a partir da unidade de medida estabelecida serão convertidos os valores aplicados na estruturação do ábaco digital, por exemplo: se o georreferenciamento da base topográfica ocorrer em milímetros (indicado), deve haver a conversão dos valores do ábaco para centímetros.

A Figura 6 apresenta os primeiros passos de elaboração do ábaco digital. A linha que atravessa o primeiro círculo refere-se ao limite das menores declividades. No segundo círculo ocorre o mesmo processo, entretanto, o limite corresponde à classe de declividade imediatamente inferior. Ressalta-se que no caso do presente trabalho, as classes de declividade utilizadas respeitam a média dos padrões morfométricos calculados previamente para a área em estudo, considerando a escala de 1:50.000 e a distância de 20 metros entre as curvas de nível.

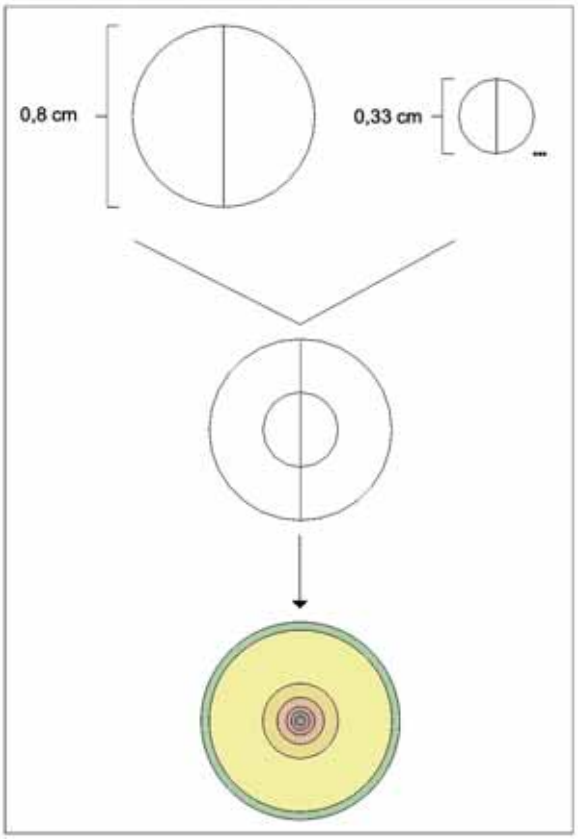


Figura 6: Etapas da estrutura organizacional do ábaco digital.

O ábaco digital suplementar foi estruturado a partir dos mesmos procedimentos do ábaco digital principal. Entretanto, no ábaco suplementar os valores dos raios que deram origem as circunferências definidoras das classes de declividade equivalem a metade dos valores originais de acordo com a proposta de Sanchez (1993).

Ainda na Figura 6 verifica-se a inserção de uma classe de declividade em outra, a partir do centróide. O ábaco digital resulta da continuidade do processo de introdução dos círculos delimitados a partir do cálculo das classes de declividade. Após a finalização do objeto é possível inserir cores, respeitando os critérios da rosa cromática, onde as cores mais brandas (verde e amarelo) correspondem às declividades menos acentuadas enquanto as cores fortes e mais escuras (amarelo forte, laranja, vermelho, marrom e preto), correspondem às médias e altas declividades.

4.2 Análise areal das bacias hidrográficas

De acordo com Christofoletti (1980), a análise areal das bacias hidrográficas envolve o conjunto de parâmetros quantitativos que procura entender o desenvolvimento dos rios e de suas bacias. Para atender aos objetivos da pesquisa, foram avaliados dois índices compreendidos como fundamentais para a análise das alterações espaço-temporais em áreas sob forte influência de mecanismos controladores da morfodinâmica: a densidade de rios e a densidade de drenagem.

A densidade de rios "é a relação existente entre o número de cursos de água e a área da bacia hidrográfica" (CHRISTOFOLETTI, 1980, p. 115). Este índice foi calculado a partir da fórmula **Dr = N/A**, onde *Dr* é a densidade de rios, *N* é o número total de canais de primeira ordem e *A* é a área total da bacia hidrográfica. Para esta pesquisa os valores de *N* corresponderam ao número total de canais de primeira ordem nas bacias hidrográficas, de acordo com Strahler (1957, citado por CHRISTOFOLETTI, 1980).

Já a densidade de drenagem "correlaciona o comprimento total dos canais de escoamento com a área da bacia hidrográfica" (CHRISTOFOLETTI, 1980, p. 116). A fórmula utilizada para o cálculo deste parâmetro é $\mathbf{Dd = L_t/A}$, onde *Dd* é a densidade de drenagem, L_t corresponde ao comprimento total dos canais e *A* designa a área total da bacia.

A avaliação da densidade de rios e da densidade de drenagem foi efetuada nas bacias hidrográficas dos ribeirões Samambaia e Bonito, a partir da seleção das redes de drenagem identificadas nos mapeamentos geomorfológicos dos anos de 1962 (período pré-barramento), 1972 e 2007 (posteriores à construção do reservatório). A obtenção dos dados referentes ao

número de canais de primeira ordem e do comprimento total dos canais fluviais das duas bacias, nos três cenários, foi realizado no software AutoCadMAP™ (versões 2004 e 2009).

Os canais de primeira ordem foram contabilizados manualmente enquanto o comprimento total dos canais de drenagem foi obtido a partir da aplicação do comando *List,* no programa AutoCadMAP™ (versão 2009).

5.2.1 Análise temporal com base em amostras circulares

A fim de avaliar a complexidade das alterações temporais nos índices de densidade de rios e de drenagem, as bacias hidrográficas foram compartimentadas em função das características topográficas e da rede de drenagem. Nestes setores foram distribuídas amostras circulares de 2,5 km², de acordo com a lógica estruturada por Nunes et al. (1995) no que se refere a área da amostra, sua relação com a escala de trabalho e a abrangência de 30% da área analisada (caso das bacias).

As amostras foram organizadas primeiramente no cenário de morfologia original (1962), compreendido como ponto de partida para a análise das alterações ocorridas em função das mudanças no nível de base e na dinâmica de ocupação e uso das terras. A disposição das amostras procurou abarcar o maior número de canais de primeira ordem nos setores delimitados. Nas áreas de nascentes, entretanto, os espaços vazios referentes aos limites das bacias foram compensados a partir da inserção de uma amostra circular extra, para que fosse atingido o percentual de 30% de amostragem.

Depois de organizadas, as amostras foram extraídas do cenário de 1962 e posicionadas nas coordenadas originais dos cenários de 1972 e 2007, nas duas bacias. Em seguida, as informações espaciais sobre a rede de drenagem foram selecionadas apenas para a área das amostras circulares para proceder a contagem do número de canais de primeira ordem e do comprimento total dos canais existentes. Uma vez obtidos estes valores foram realizados os cálculos das densidades de rios e de drenagem de acordo com Christofoletti (1980).

A aplicação das amostras circulares também ocorreu sobre os mapeamentos de ocupação e uso das terras nas bacias hidrográficas, em três cenários (1962, 1972 e 2007), bem como sobre os mapas de declividades elaborados para as bacias. Esta operação considerou os mesmos procedimentos de organização das amostras realizados para a avaliação dos índices de densidade de rios e de drenagem. As classes de uso da terra e de declividade abrangidas

pelas amostras foram extraídas e avaliadas a fim de relacionar as alterações na ocupação e uso das terras e as declividades predominantes com as modificações na rede de drenagem.

Por fim, foram selecionadas as formas de origem denudativa inseridas dentro das amostras circulares dispostas nos mapas geomorfológicos, nos três cenários avaliados. Os sulcos erosivos, ravinas, voçorocas e colos foram contabilizados individualmente. As rupturas topográficas foram consideradas de acordo com a extensão ocupada e densidade no interior das amostras circulares. A avaliação destas feições que indicam maior dinâmica erosiva pode ter relação direta com as alterações na rede de drenagem, na dinâmica de uso da terra e com as declividades predominantes.

Os dados referentes à rede de drenagem, à dinâmica de ocupação e uso das terras e de declividade foram organizados em uma figura para cada bacia hidrográfica, de forma a possibilitar uma análise conjunta das alterações ocorridas. Os índices de densidade de rios e de drenagem foram posicionados abaixo das amostras circulares referentes às redes de drenagem extraídas para os três cenários.

Abaixo dos índices de densidade foram posicionadas as amostras representando as características do uso das terras. Optou-se pela apresentação das cinco classes de uso da terra que indicam as maiores alterações espaciais entre o primeiro e o último cenário da série analisada. Ainda inseridas na figura elaborada, encontra-se a amostra circular que discrimina as declividades predominantes.

4.3 Trabalhos de campo

Os trabalhos de campo realizados compreenderam o reconhecimento da área, a reambulação e atualização dos materiais cartográficos. Os trabalhos de campo com o objetivo de reconhecimento da área foram oportunos para a constatação das feições geomorfológicas e das características da rede de drenagem identificados durante as atividades de fotointerpretação e que geraram dúvidas no que tange a: inserção da simbologia, localização precisa do fenômeno, vinculação do processo geomorfológico a determinado tipo de ocupação e uso das terras ou a característica espacial da rede de drenagem em locais de difícil identificação nas fotografias aéreas em virtude da categoria de uso da terra.

Já os trabalhos de campo voltados para a reambulação e atualização dos dados enfatizaram o cenário de 2007, mas também foram necessários para o reconhecimento de alguns setores da área em estudo, em função de sua extensão espacial.

Somente em campo foi possível identificar as características de algumas feições geomorfológicas verificadas no compartimento de fundo de vale no cenário de 2007 (mapeamento a partir da imagem do sensor PRISM/ALOS). Nas porções de fundo de vale onde havia impossibilidade de locomoção, foram escolhidos pontos estratégicos para observação dos questionamentos levantados durante os mapeamentos. Em áreas de fácil acesso, estas situações foram verificadas sem maiores problemas. Os trabalhos de campo possibilitaram maior controle no detalhamento das feições mapeadas sem a propriedade estereoscópica da imagem PRISM no cenário de 2007.

Além das feições morfohidrográficas, os trabalhos de campo também procuraram validar as informações sobre a ocupação e uso das terras, mapeadas no cenário de 2007.

5. ANÁLISE DOS RESULTADOS

A análise dos resultados foi organizada em duas partes. Primeiramente foram avaliadas as principais alterações na morfohidrografia e na dinâmica de ocupação e uso das terras desencadeadas no setor de fundo de vale do baixo curso do Rio Piracicaba em quatro cenários (1962, 1972, 1995 e 2007). A avaliação das características da morfologia original ocorreu com base no mapeamento geomorfológico do ano de 1962 e as áreas-chave de alteração na morfohidrodinâmica foram analisadas especificamente a partir das constatações realizadas a partir dos mapeamentos dos cenários pós-barramento.

Em seguida ocorreu a análise das bacias hidrográficas dos ribeirões Samambaia e Bonito. Nestas duas unidades foram avaliadas as características gerais das alterações morfohidrográficas e na dinâmica de ocupação e uso das terras. Em seguida foram examinadas as amostras circulares distribuídas em setores de análise a fim de constatar a complexidade das alterações na rede de drenagem e na geomorfologia decorrentes das transformações no nível de base local e da dinâmica de ocupação e uso das terras.

5.1 Alterações morfohidrográficas e dinâmica de ocupação e uso das terras no setor de fundo de vale do baixo curso do Rio Piracicaba

A análise das alterações morfohidrográficas e da dinâmica de ocupação e uso das terras no setor de fundo de vale do baixo curso do Rio Piracicaba revelou dois momentos distintos no que tange o quadro das alterações desencadeadas: (1) num primeiro momento, compreendido entre os anos de 1962 e 1972 ocorreram alterações diretas e de efeito imediato sobre as características espaciais da ampla planície aluvial. A nova configuração dos elementos teve caráter mais imediato à medida que a elevação do lago afogou as feições morfohidrográficas típicas de ambientes fluviais meandrantes; (2) o segundo momento abrange os cenários de 1972, 1995 e 2007 e corresponde ao período de reorganização do sistema diante do mecanismo de controle imposto e das alterações na dinâmica de ocupação e uso das terras. Trata-se de mudanças na configuração espacial dos elementos do sistema morfohidrográfico que ocorreram de forma paulatina, em função da dinamização e retardamento de alguns processos naturais que passaram a responder a lógica de uma escala de tempo histórica ou humana.

5.1.1 Aspectos da morfologia original no ano de 1962

O cenário de 1962 (Anexos 6 e 7), embora palco de um longo processo de ocupação e uso das terras, foi considerado como referência para a análise das transformações espaciais na morfohidrografia decorrentes da ação antrópica vinculada ao barramento. A conjuntura verificada neste ano aproximava-se da situação de morfologia original, ou seja, apesar de alterações decorrentes do processo histórico de ocupação, ainda conservava elementos naturais característicos se comparada às transformações que ocorreram em períodos posteriores, após a construção do reservatório de Barra Bonita.

Cabe ressaltar também que o cenário de 1962 representa um resgate histórico das condições geomorfológicas e da dinâmica fluvial que foram extintas após o barramento. A principal característica verificada durante as atividades de fotointerpretação que conduziram ao mapeamento geomorfológico do cenário de 1962 (Anexo 6) foi a existência de uma complexa dinâmica fluvial atrelada ao setor de fundo de vale do baixo curso do Rio Piracicaba, entre a foz do ribeirão Araquá e a confluência com o Rio Tietê (Anexo 1). Esta área abrange um conjunto de feições morfohidrográficas características de planícies aluviais

bem desenvolvidas, sucessivamente retrabalhadas pela ação erosiva e deposicional de canais fluviais meandrantes.

As feições morfohidrográficas que caracterizavam a morfologia original do compartimento de fundo de vale localizado no baixo curso do Rio Piracicaba em 1962, se estendiam por uma área de 108,36 km² - considerando o limite dos terraços fluviais e planícies aluviais onde se organizavam as feições típicas de sistemas fluviais meandrantes – e se encontravam, em geral, delimitadas pela cota topográfica de 460 metros.

O segmento final do canal principal, considerado nesta pesquisa a partir de Ártemis até sua foz, possuía comprimento total de 117,5 km e desenvolvia seu curso meandrante em uma extensão de 46,5 km (razão de 2,52), no sentido geral SE – NW (Anexo 6). A largura média do canal principal era de 90 metros chegando a aproximadamente 160 metros na confluência com o Rio Tietê. A lâmina de água do segmento final do Rio Piracicaba ocupava uma área de 11,40 km² do fundo de vale em questão – situação de baixa vazão relativa ao mês de agosto de 1962 (Tabela 1).

Tabela 1: Extensão espacial das principais feições geomorfológicas de fundo de vale (segmento final do Rio Piracicaba - SP – (1962)

Morfohidrografia	Área (km²)
Planície Aluvial	58,63
Barra de Meandro	19,68
Rio Piracicaba*	11,40
Terraço Fluvial	10,65
Meandro Abandonado*	4,45
Dique Fluvial	1,41
Lagos	0,95
Lagos de Meandro	0,65
Leques Aluviais	0,37
Alterações morfológicas por mineração	0,17
Total	**108,36**

* feições de origem fluvial geralmente são expressas de acordo com o seu comprimento. No presente trabalho optou-se pela avaliação da área ocupada por estas feições no contexto geral do fundo de vale do segmento final do Rio Piracicaba.

Os meandros do baixo curso do Rio Piracicaba alternavam características encaixadas e divagantes. Os primeiros, com amplitudes maiores e presença de segmentos retilíneos, foram verificados junto às porções mais estreitas do setor de fundo de vale e geralmente encontravam-se sob influência de patamares estruturais ou rupturas de declive abruptas que demarcavam o contato com as vertentes (Anexo 6).

Os segmentos divagantes de meandros localizavam-se em porções mais largas do fundo de vale, delimitados por amplas planícies aluviais e margeados por meandros abandonados, lagos de meandro e pela maior concentração de barras de meandro (*point-bars*).

As planícies aluviais constituíam feição geomorfológica marcante do segmento final do Rio Piracicaba, com 58,63 km² de área (Tabela 1), estando geralmente delimitadas pela cota topográfica dos 460 metros, que assinalava o contato com as vertentes.

Os tributários das margens direita e esquerda conectavam-se ao Rio Piracicaba através destas planícies aluviais bem desenvolvidas, por meio de canais fluviais com perfil transversal predominantemente plano (Anexo 6). A morfologia original apresentava ainda feições morfohidrográficas atreladas à dinâmica evolutiva do segmento final do Rio Piracicaba, como: faixas de barras de meandro, meandros abandonados e lagos de meandro. A área ocupada pelas barras de meandro em 1962 era de 19,68 km² (57% deste total situados na margem esquerda do Rio Piracicaba).

As faixas formadas pelas barras de meandro indicavam a complexa dinâmica deposicional nas margens convexas do canal principal, bem como dos paleo-traçados do Rio Piracicaba (Anexo 6). Durante as atividades de fotointerpretação foi possível constatar uma maior elevação das faixas de barras de meandro localizadas próximas ao canal principal (faixas de deposição recente) e a progressiva diminuição da elevação das mesmas nas áreas de contato com as planícies aluviais (faixas de deposição mais antigas). Este fato pressupõe a ação dos processos de erosão sobre as barras de meandro, efetivando o arrasamento das mesmas nas áreas de deposição mais antigas.

Meandros abandonados e lagos de meandros foram identificados em agrupamento com barras de meandro ou individualizados (Anexo 6). Os meandros abandonados ocupavam uma área total de 4,45 km² (Tabela 1), com 54% destas feições localizadas na margem esquerda do canal principal. Possuíam forma depressionada e apresentam-se geralmente entulhados e cobertos por vegetação campestre homogênea, suscetível às variações pluviométricas.

Algumas áreas depressionadas dos meandros abandonados, suscetíveis às variações do nível do lençol freático, davam origem a lagos de meandro. Tais feições também foram encontradas em agrupamento com barras de meandro ou isoladas nas planícies aluviais (Anexo 6). Os lagos de meandro ocupavam uma área de 0,65 km² (Tabela 1) e localizavam-se predominantemente na margem esquerda do canal principal (64%).

A constatação acerca da localização destas feições atreladas ao meandramento do canal principal sugere, de forma geral, a existência de uma dinâmica fluvial mais complexa na

margem esquerda do Rio Piracicaba antes das alterações efetivadas pelo barramento. Tal situação pode estar vinculada às características topográficas das zonas de contato entre o fundo de vale e as vertentes, pois, enquanto na margem direita o meandramento dos rios ocorria em contato com patamares estruturais e rupturas de declive abruptas que demarcavam o contato com as vertentes e sugeriam maior resistência litológica, na margem esquerda, a dinâmica dos meandros se processava em zonas de contato suave entre fundo de vale e vertente, com predominância de baixos declives e vertentes convexas suavizadas (Anexo 6).

Terraços fluviais foram verificados nas zonas de contato com as vertentes e, em algumas situações, cercados pelas planícies aluviais (Anexo 6). Eventualmente estas feições foram identificadas próximas às margens do canal principal, fato que evidencia a ação erosiva do Rio Piracicaba atuando no rebaixamento do nível altimétrico do relevo. Esta feição geomorfológica ocupava uma área de 10,65 km², 56% na margem esquerda do canal principal.

Formas de erosão linear acelerada também foram constatadas no arranjo dos elementos que compõe a morfologia original da área (Anexo 6). Havia um predomínio de sulcos erosivos (482 casos) e ravinamentos (70 casos), com casos isolados de ocorrência de voçorocamentos em estágio inicial (13 casos).

Estas feições, que indicam a dinamização dos processos erosivos e podem estar atreladas a ação antrópica a partir do uso da terra, foram verificadas nas zonas de contato vertente/fundo de vale, bem como nas médias e altas vertentes, onde se encontram as nascentes dos canais fluviais que deságuam no Rio Piracicaba.

De forma geral, no ano de 1962, a ampla planície aluvial marginal ao Rio Piracicaba era coberta por vegetação de campo úmido, adaptada às condições de variação do nível da lâmina de água, em períodos de cheia e estiagem. No Anexo 7 é possível verificar que as faixas de campo úmido seguiam o traçado dos meandros abandonados, ocorrendo ainda nas margens dos principais afluentes do canal principal. Áreas florestais também foram verificadas em zona de planície aluvial, mas eram mais comuns sobre as vertentes que se conectavam ao fundo de vale e ocorriam em associação com faixas de pasto sujo nas margens dos principais afluentes do Rio Piracicaba.

O pasto limpo também ocupava significativas extensões do setor de fundo de vale, sobretudo na porção central da margem direita (Anexo 7, Gráfico 1) do Rio Piracicaba. Na margem esquerda, a segmentação das áreas de pasto limpo por áreas de culturas alimentares sugere uma expansão da segunda sobre a primeira, a partir da abertura de zonas de cultivo. As

culturas alimentares também ocorriam na margem direita do Rio Piracicaba, porém se apresentavam de forma fragmentada e com extensões menores.

Na porção leste, à margem direita do Rio Piracicaba é possível verificar áreas de cana-de-açúcar em processo de expansão inicial. No ano de 1962, esta cultura ocupava predominantemente, os compartimentos de topo, altas e médias vertentes, sendo limitada pelas áreas de planície aluvial da área em questão (Anexo 7).

De forma geral, verifica-se um quadro de baixa intervenção na morfohidrografia no cenário de 1962, se comparado aos demais cenários pós-barramento. Os usos da terra que aparecem com predominância vinculam-se às coberturas vegetais que atuam na preservação das feições do relevo das vertentes e, sobretudo no fundo de vale (Gráfico 1; Tabela 2).

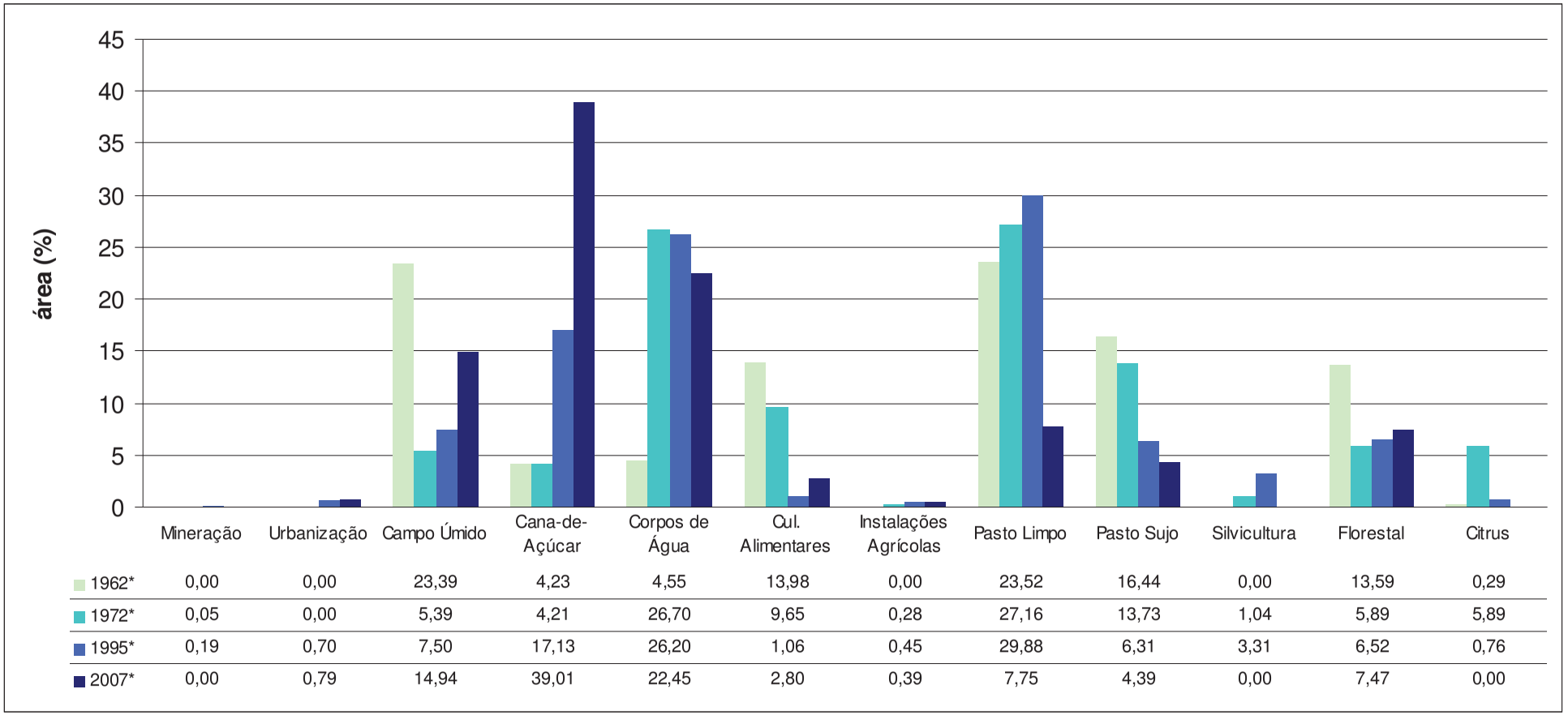


Gráfico 1: Evolução da ocupação e uso das terras no setor de fundo de vale do curso final do Rio Piracicaba. *áreas consideradas: 1962 (358,3 km²); 1972 (383,3 km²); 1995 (287,8 km²); 2007 (254,0 km²).

Tabela 2: Extensão (em km²) das classes de ocupação e uso das terras no setor de fundo de vale do curso final do Rio Piracicaba

Uso	1962	1972	1995	2007
	----------km²----------			
Área Urbanizada	0,0	0,0	2,80	0,0
Área de Mineração	0,0	0,20	0,53	2,01
Culturas Alimentares	53,78	32,01	3,04	7,12
Cana-de-açúcar	16,28	16,16	51,48	99,06
Citrus	1,13	0,60	2,19	0,02
Café	0,0	0,0	0,0	0,0
Pasto sujo	62,32	54,68	18,17	11,13
Pasto Limpo	91,75	104,19	82,98	19,68
Silvicultura	0,0	3,98	9,53	0,0
Instalações agrícolas	0,0	1,05	1,29	1,00
Florestal	52,37	23,59	18,76	18,97
Campo úmido	90,13	21,69	21,58	38,00
Corpos de água continentais	17,54	125,15	75,45	57,01
Total	**886,4**	**383,3**	**287,8**	**254,0**

5.1.2 Alterações desencadeadas após o barramento: cenários de 1972, 1995 e 2007

O curso final do Rio Piracicaba passou por significativas transformações espaciais a partir do ano de 1963, quando o reservatório de Barra Bonita entrou em operação. A extensão da lâmina de água provocou a elevação no nível de base e afogou grande parte das feições morfohidrográficas características do segmento meandrante. A comparação dos cenários de 1962 (Anexos 6 e 7) com os cenários de 1972, 1995 e 2007 (Anexos 8, 9, 10, 11, 12, 13), indica que a área inundada seguiu os limites da antiga planície aluvial, não ultrapassando a cota dos 460 metro de altitude, inundando, consequentemente, as áreas de campo úmido e florestais que ocorriam no setor de fundo de vale.

De acordo com as cotas altimétricas da área estudada, os terrenos situados no fundo de vale não atingiam altitudes menores do que 450 metros em 1962. Assim, diante da inexistência de medições sobre a profundidade do reservatório, supõe-se que este não ultrapassa os dez metros de profundidade – situação que exclui o antigo leito do Rio Piracicaba. Nos trabalhos de campo realizados em áreas totalmente alagadas pelo reservatório foi possível verificar a existência de troncos de árvores com altura considerável à mostra, representando resquícios das áreas florestais inundadas. Este fato também presume profundidades pouco significativas.

No que tange a dinâmica de ocupação e uso das terras, verifica-se um aumento gradual das áreas de cana-de-açúcar ao longo dos três cenários posteriores ao barramento

(Anexos 9, 11 e 13 e Gráfico 1; Tabela 2). As lavouras de cana expandiram-se a partir da porção leste da área de estudo, localizada nas proximidades do município de Piracicaba – importante centro canavieiro brasileiro. Entre os anos de 1972 e 1995 houve uma evolução das lavouras de cana, sobretudo na margem direita do Rio Piracicaba, onde este gênero agrícola ocupou áreas de pasto limpo e de culturas alimentares (Anexos 9 e 11).

No cenário mais atual (2007) as lavouras de cana-de-açúcar ocupavam quase 40% da área considerada para o fundo de vale. Sua expansão se deu nas duas margens do Rio Piracicaba, sobre áreas de pasto limpo que por sua vez tiveram uma redução de mais de 20% em sua área (Anexo 13; Gráfico 1; Tabela 2). Esta situação evidencia uma mudança no padrão agrícola da área uma vez que as zonas de pastagem e as áreas de culturas alimentares (destinadas a atividades agropastoris) foram substituídas pela monocultura da cana-de-açúcar (Figura 7).

As áreas ocupadas pela vegetação de campo úmido no cenário de 1962 tiveram significativa redução após o barramento, conforme constatado no cenário de 1972 (Anexos 7 e 9, Gráfico 1; Tabela 2). Entretanto, a análise dos mapas de uso da terra dos anos de 1995 e 2007 (Anexos 11 e 13, Gráfico 1; Tabela 2) indica um gradual aumento deste uso nas proximidades da área onde o Rio Piracicaba deságua no reservatório de Barra Bonita. Tal expansão tem relação direta com o aumento dos depósitos aluviais que ocorreu nesta mesma área de deságue do Rio Piracicaba (Anexos 8, 10 e 12).

Os mapas geomorfológicos elaborados nos cenários pós-barramento também evidenciam a evolução de depósitos aluviais cobertos por vegetação de campo úmido na foz dos principais canais fluviais que deságuam no reservatório. Esta situação indica um processo de reorganização da rede de drenagem em face da elevação do nível de base, com aumento das taxas de deposição em função da diminuição tanto do comprimento dos canais fluviais (Anexos 8, 10 e 12), como da amplitude altimétrica destes, que podem ter provocado um aumento da área de acumulação de sedimentos em sua foz.

As áreas de pasto limpo apresentaram pouca variação, pois este uso predominava em áreas não alagadas como os compartimentos de topo, as altas e médias vertentes. Entre os cenários de 1962 e 1972 (Anexos 7 e 9; Gráfico 1; Tabela 2) verifica-se um sensível aumento nas áreas de pasto limpo, desencadeado pela sua expansão sobre áreas de mata nativa e, sobretudo pelo abandono de áreas destinadas às culturas alimentares. A partir do ano de 1995 (Anexo 11) verifica-se o processo de expansão da cultura da cana, que ocorre tanto sobre áreas de pasto limpo como sobre faixas de pasto sujo. Em 2007 (Anexo 13) a expansão das

lavouras de cana-de-açúcar se consolida tendo relação direta com a redução muito significativa das pastagens limpas.

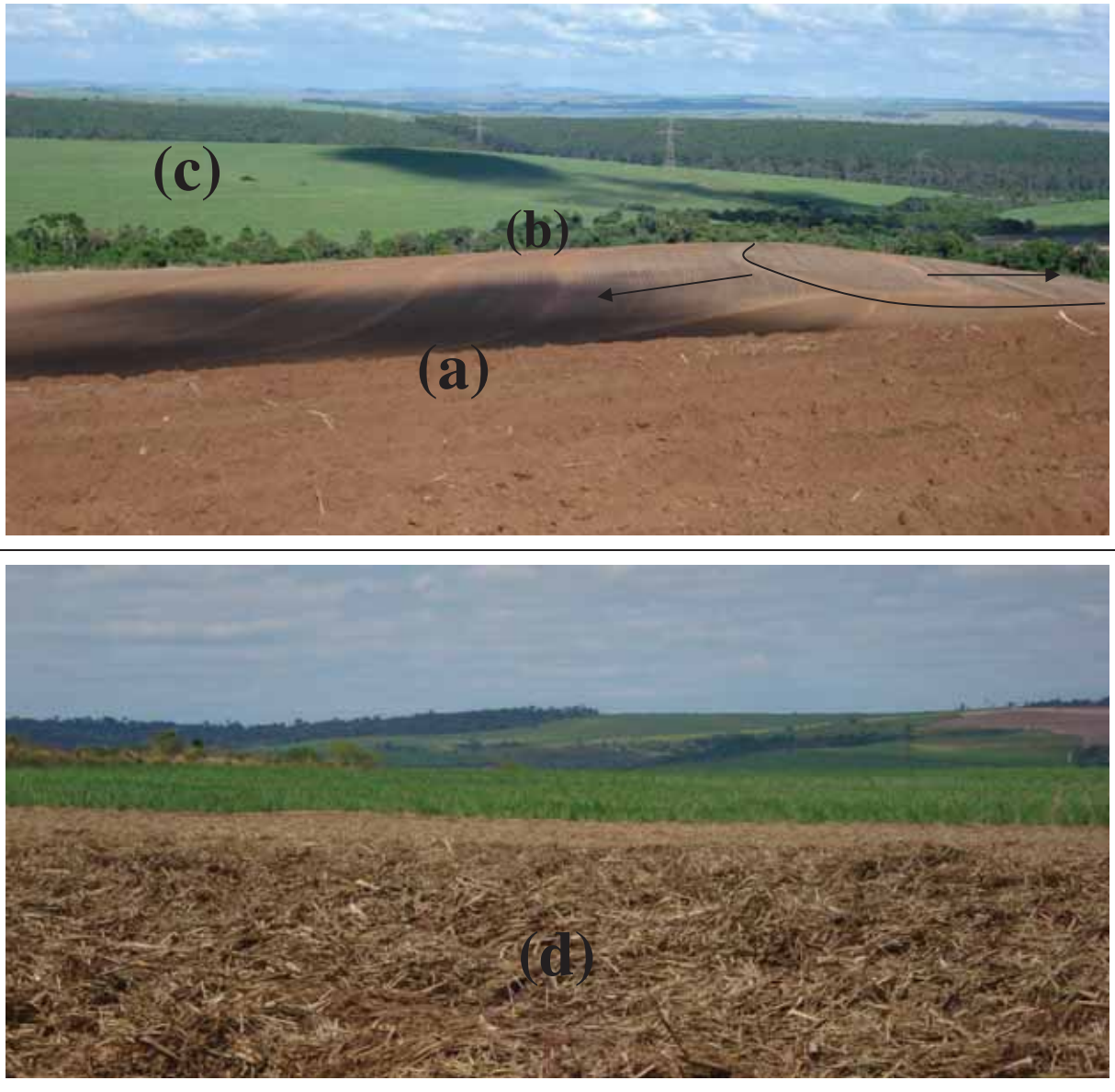


Figura 7: Aspecto do uso da terra nas vertentes marginais ao setor de fundo de vale do baixo Rio Piracicaba:
(a) característica das áreas de cultivo de cana-de-açúcar em período de preparo para plantio, destaque para a linha de cumeada suave e para o direcionamento do escoamento superficial indicados; **(b)** mata ciliar ocupando os compartimentos de fundo de vale em área de predomínio da cana-de-açúcar; **(c)** área ocupada pela cana-de-açúcar em estágio inicial de crescimento; **(d)** a mecanização da colheita da cana-de-açúcar condiciona a permanência da palha liberada pelas colheitadeiras nas superfícies, entre os períodos de colheita e plantio, atuando na proteção das vertentes e incremento de matéria orgânica no solo. **Fonte:** Rubens Hardt (A); Arquivo pessoal (B).

Usos florestais e pastagens sujas apresentaram redução areal após a inundação do fundo de vale do curso final do Rio Piracicaba. Em 1972 estes usos ocupavam áreas situadas ao longo dos compartimentos de fundo de vale dos principais canais marginais ao

reservatório, bem como áreas isoladas em setores de topo, ou em porções de relevo mais acidentado, com vertentes escalonadas por rupturas de declive e patamares estruturais (Anexos 8 e 9).

No cenário de 1995 (Anexo 11) a diminuição das áreas florestadas e de pasto sujo ocorreu principalmente em função do início da expansão canavieira. As áreas florestadas e de pasto sujo apresentam características arbóreo/arbustivas que atuam diretamente no equilíbrio da morfohidrografia. A redução gradual destas coberturas ao longo do período analisado e o crescente aumento de áreas de cultivo de cana-de-açúcar podem ter atuado, em conjunto com os processos atrelados à elevação do nível de base, no aumento dos depósitos aluviais verificados na foz dos canais de drenagem que deságuam no reservatório.

As considerações realizadas até o momento possibilitam uma visão geral das alterações na dinâmica de ocupação e uso das terras ocorridas no setor de fundo de vale. Contudo, em função da extensão da área, do universo de dados espaciais obtidos e a fim de especificar as alterações morfohidrográficas verificadas a partir dos mapeamentos realizados, foram selecionadas áreas-chave onde ocorreram significativas alterações na dinâmica fluvial e geomorfológica bem como no uso das terras.

Estas áreas-chave foram denominadas de "setores de análise" e situam-se em compartimentos do fundo de vale do Rio Piracicaba que respondem as indagações da tese proposta. A seleção de formas geométricas heterogêneas em detrimento às amostras circulares ocorreu em função das diferenças na área do setor de fundo de vale nos quatro cenários analisados, bem como das características dos fenômenos avaliados, que possuem expressão espacial de maior grandeza.

Os setores selecionados foram delimitados nos mapas geomorfológicos e de ocupação e uso das terras dos quatro cenários elaborados (Anexos 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12 e 13) e identificados numericamente.

O **Setor 1** localiza-se em zona de oscilação da lâmina de água do reservatório de Barra Bonita, na foz do Rio Piracicaba. A situação de morfologia original verificada para esta área evidencia feições morfohidrográficas características de ambientes fluviais meandrantes. O Rio Piracicaba apresentava uma conjunção de meandros divagantes organizados em uma ampla planície aluvial, com feições geomorfológicas atreladas à complexa morfodinâmica da área (Anexo 6).

Barras de meandro ocupavam extensões significativas das margens esquerda e direita do canal, com direções variadas, indicando os possíveis paleo-traçados do Rio Piracicaba, decorrentes da evolução das margens erosivas e do consequente processo de desenvolvimento

das margens deposicionais. Canais abandonados também foram identificados e são evidências de leitos antigos do canal principal e que foram desconectados da dinâmica fluvial em função da evolução das margens erosivas, dando origem, em alguns casos, a lagos de meandro (Anexo 6).

O contato do setor de fundo de vale com as vertentes ocorria, predominantemente, a partir de rupturas suaves. Á oeste do setor 1, entretanto, havia um predomínio de rupturas abruptas e existência de patamares estruturais na margem direita do canal (Anexo 6). Os principais afluentes da margem direita do Rio Piracicaba apresentavam fundos de vale com seção transversal plana em área de contato com a planície aluvial. Na margem esquerda ocorriam também canais com fundo de vale em "V" indicando maior energia de entalhamento e um processo de incisão dos talvegues. O contato destes canais da margem esquerda com o fundo de vale do Rio Piracicaba ocorria a partir de leques aluviais, bem delimitados, verificados no Anexo 6.

Predominavam coberturas vegetais compostas por campos úmidos (Anexo 7). Nas vertentes, usos voltados às culturas agrícolas, citrus e cana-de-açúcar eram frequentes na margem direita enquanto na margem esquerda predominavam áreas de culturas alimentares e pasto sujo.

A partir de 1963, ano do início do funcionamento do reservatório de Barra Bonita, a área do setor 1 passou por significativas mudanças (Anexo 8, 10 e 12). Em 1972, ainda é possível identificar o traçado do leito do Rio Piracicaba e a manutenção de algumas das faixas de barras de meandro identificadas no cenário de morfologia original (Anexo 8).

Contudo, as principais alterações decorrentes da elevação do nível de base da área encontram-se vinculadas ao desenvolvimento de grandes lagos nas porções mais rebaixadas da planície aluvial (Anexo 8). Antigos meandros abandonados também tiveram sua morfologia alterada em função do barramento, pois foram alagados e se transformaram em lagos de meandro, conectados, em alguns casos, ao canal principal.

As faixas de barras de meandro também passaram por alterações, pois, nas áreas deprimidas situadas entre os cordões deposicionais formaram-se pequenos filetes de água em função da elevação do nível do lençol freático. Dessa forma, a partir do cenário de 1972, as faixas de barra de meandro com esta característica foram denominadas de barras de meandro alagadas (Anexo 8).

Houve uma diminuição muito significativa dos campos úmidos, apesar destes ocorrerem como cobertura vegetal predominante no setor de fundo de vale alagado (Anexo 9). Na margem direita do reservatório verifica-se um imbricado uso da terra envolvendo áreas de

cana-de-açúcar, citrus e culturas alimentares. Já na margem esquerda, as culturas alimentares verificadas no cenário de 1962 apresentaram diminuição com consequente evolução das áreas de pasto limpo em 1972.

Nos cenários de 1995 e 2007 (Anexos 10, 11, 12 e 13; Figuras 8 e 9) houve uma ampliação dos depósitos aluviais na foz do Rio Piracicaba, no reservatório de Barra Bonita. Esta situação pode estar atrelada às transformações em nível regional, que envolvem toda a extensão da bacia do Rio Piracicaba, mas também possuem relação com a dinâmica de ocupação e uso das terras e com a reorganização da rede de drenagem em função do barramento.

A comparação das lagoas formadas a partir da elevação do nível da lâmina de água vinculada ao barramento verificadas no cenário de 1972 (Anexo 8), com aquelas identificadas nos dois cenários mais atuais (1995 e 2007), indica uma gradual fragmentação e diminuição na área das mesmas. Considerando que a maior parte dos canais afluentes do curso final do Rio Piracicaba deságuam neste sistema de lagoas é possível que a dinâmica de uso das terras, caracterizada pela diminuição das coberturas vegetais e pelo avanço de áreas agrícolas (com destaque para a cana-de-açúcar), tenha contribuído para a dinamização dos processos que ocorrem nas vertentes, desencadeando maior aporte de materiais nos canais fluviais e consequente deposição nas lagoas situadas na área do setor 1.

Na margem direita da área de confluência do Rio Piracicaba com o reservatório de Barra Bonita o aumento nas áreas de deposição marginais aos canais fluviais afluentes também foi verificado, sendo que a análise dos mapas geomorfológicos dos anos de 1995 e 2007 (Anexos 10 e 12) aponta para a conexão de algumas destas áreas deposicionais. Na margem esquerda o mesmo processo foi verificado.

No cenário de 2007 (Anexo 12) o canal principal em área de oscilação da lâmina de água do reservatório de Barra Bonita apresenta-se significativamente descaracterizado pelos processos de erosão e deposição, que não seguem mais exclusivamente os contornos do antigo leito. Na porção norte do setor 1, foi realizada a dragagem de um canal com características mais retilíneas, para ser utilizado como linha de navegação. Na porção sul do setor de fundo de vale inserido na amostra 1, o alagamento das porções mais rebaixadas da antiga planície de inundação, bem como de meandros abandonados, desencadeou a reativação destas feições próprias de ambientes fluviais meandrantes, dando origem a uma área onde o escoamento de água e sedimentos também é realizado em direção ao reservatório.

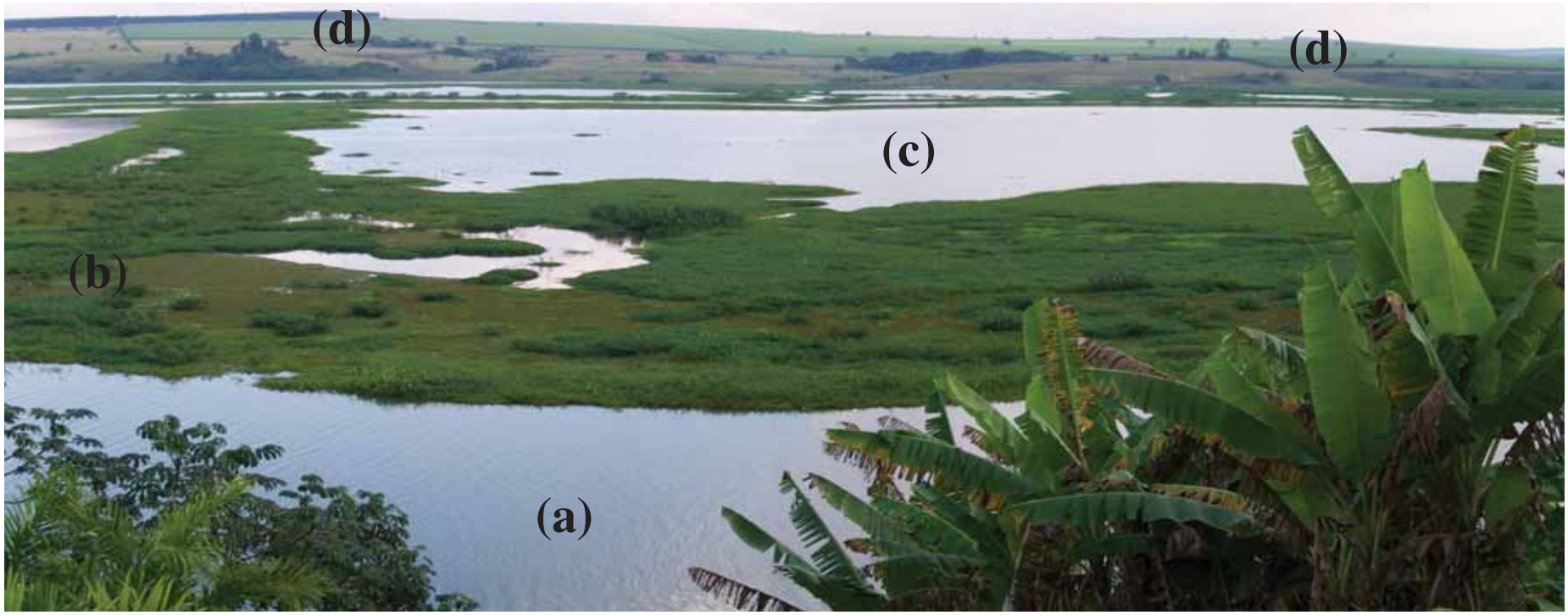
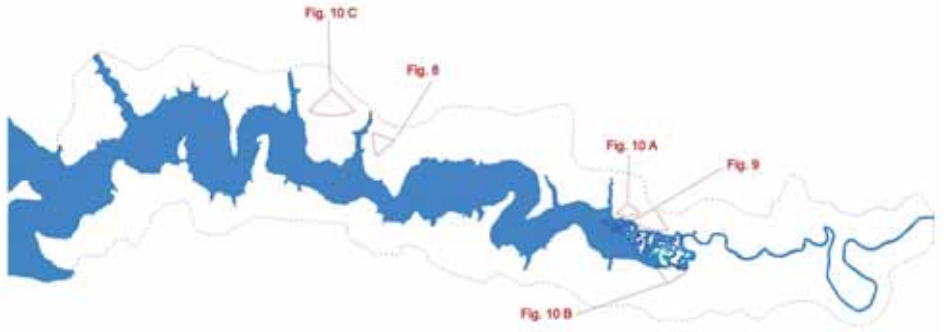


Figura 8: Características da foz do Rio Piracicaba em área de oscilação da lâmina de água do reservatório de Barra Bonita:
(a) canal dragado em área mais rebaixada da planície aluvial existente em cenário de morfologia original; **(b)** depósitos aluviais e faixas de barras de meandros descaracterizados pela elevação do nível de base local, cobertos por vegetação de campo úmido; **(c)** lagos formados em superfícies mais rebaixadas da planície aluvial existente em cenário de morfologia original a partir do barramento realizado; **(d)** características das vertentes na margem esquerda do Rio Piracicaba: predomínio de áreas de cana-de-açúcar até as margens da área alagada. Atenta-se para a altura entre o local de captura da fotografia e o canal fluvial em primeiro plano, pois nesta área, o contato do compartimento de fundo de vale com as vertentes ocorre a partir de rupturas topográficas abruptas e patamares estruturais. **Fonte:** Rubens Hardt.



Localização das capturas localizadas no setor de fundo de vale do Rio Piracicaba

Figura 9: Aspectos da área sob oscilação do nível da lâmina de água do reservatório de Barra Bonita:
(a) em período de estiagem, retração da lâmina de água e exposição de antigas áreas de planície aluvial alagadas pelo reservatório; **(b)** grandes extensões de cana-de-açúcar ocorrem ao longo das duas margens do setor de fundo de vale do segmento final do Rio Piracicaba, as áreas de mata nativa e pasto sujo ocupam estreitas faixas junto aos compartimentos de fundo de vale dos principais afluentes do Rio Piracicaba; **(c)** características da margem deposicional do Rio Piracicaba, em área de abrangência do setor 1, durante período de estiagem e baixa no nível do reservatório, **c1** refere-se a área de faixas de barras de meandro identificadas no cenário de morfologia original em 1962 e descaracterizadas a partir da intervenção efetivada pelo reservatório de Barra Bonita. **Fonte:** Arquivo pessoal (B e C); Rubens Hardt (A).

No **Setor 2** a principal alteração das características geomorfológicas diz respeito à gradual ampliação das áreas de planície aluvial na margem esquerda do Rio Piracicaba (Anexos 6, 8, 10 e 12). A evolução destas áreas deposicionais foi marcada pela diminuição dos terraços fluviais que eram expressivos no cenário de morfologia original em 1962 (Anexo 6). Esta situação evidencia a reorganização da dinâmica fluvial a partir da elevação do nível de base, pois, em condições de morfologia original a existência de terraços fluviais assinala uma dinâmica fluvial ativa, na qual processos de entalhamento dos talvegues estão em andamento.

A interceptação da dinâmica fluvial pelo reservatório de Barra Bonita diminuiu o comprimento do canal principal, levando a organização de sua rede de drenagem no sentido do aumento da deposição de material e consequente descaracterização dos terraços fluviais existentes, sendo que permaneceram somente fragmentos mais elevados destas formas de acumulação.

Contudo, no cenário de 2007 (Anexo 12) é possível verificar o surgimento de novas áreas de terraços fluviais no setor 2. Estes terraços aparecem justamente em uma área na qual, já no cenário de 1995 (Anexo 10), constatou-se um aumento na densidade de drenagem. Assim é muito provável que processos de reativação fluvial tenham ocorrido com intensidade na área em questão, contribuindo para o entalhamento dos talvegues e reorganização de terraços fluviais no cenário de 2007.

A elevação do nível de base também pode ter contribuído para as mudanças na forma dos sistemas de lagoas e para as alterações dos canais de drenagem ao longo dos cenários analisados, uma vez que distúrbios na organização dos canais fluviais e na localização dos lagos de fundo, em área de deposição recente, podem ocorrer em função dos diferentes níveis do lençol freático ao longo do ano e ao longo do período de análise.

Na porção norte do setor 2 também são verificadas mudanças espaciais nas formas de acumulação. O desaparecimento de uma faixa de dique fluvial, na margem direita do Rio Piracicaba e o soterramento de áreas de terraço fluvial com organização de planícies aluviais, indicam uma alteração do sistema deposicional a partir da dinamização dos processos denudativos sobre formas antigas (caso do dique fluvial).

Cabe destacar também, que as alterações no nível de base contribuíram para a alteração das características das barras de meandro que foram alagadas e tiveram sensível diminuição ao longo do período analisado. Nesta área do setor 2, as superfícies mais rebaixadas das planícies aluviais também foram inundadas, dando origem a sistemas de lagoas.

No que diz respeito à dinâmica de uso das terras, verifica-se o aumento das áreas de campo úmido, diretamente vinculado à ampliação dos depósitos aluviais (Anexos 7, 9, 11 e 13). As áreas de campo úmido expandiram-se, predominantemente, sobre faixas de pasto limpo e pasto sujo.

No cenário de 1962 (Anexo 7) constata-se a presença de culturas alimentares na porção leste da amostra 2. O mapa geomorfológico do mesmo ano (Anexo 6) evidencia a ocorrência de inúmeras linhas de sulcos erosivos sobre estas áreas destinadas às culturas alimentares sendo que a diminuição deste uso da terra nos cenários posteriores (Anexos 9, 11 e 13) é marcado pela retração destas formas de origem denudativa (Anexos 8, 10 e 12).

Este processo pode estar atrelado às práticas agrícolas utilizadas e ao tipo de cultura alimentar existente no cenário de 1962, que não levavam em consideração as características geomorfológicas da área, contribuindo para o desenvolvimento destes processos. A evolução de pastos limpos em 1995 (Anexo 11) e pastos sujos em 2007 (Anexo 13) contribuiu para a manutenção de um equilíbrio dos processos erosivos nas vertentes e consequente diminuição das feições de origem denudativa na área.

O **Setor 3** também é caracterizado pelo aumento das áreas de planície aluvial e por transformações na dinâmica fluvial desencadeadas pela elevação do nível de base. No cenário de morfologia original, em 1962 (Anexo 6) a área em questão era assinalada pela ocorrência de canais abandonados e de barras de meandro na margem deposicional do Rio Piracicaba.

A construção do reservatório de Barra Bonita e a consequente elevação dos níveis de base e do lençol freático ocasionaram a formação de um sistema de lagoas na planície aluvial existente tanto na área de abrangência do setor 3 como nas suas imediações sul e leste (Anexos 8, 10 e 12). A característica das faixas de barras de meandro também foi alterada em decorrência da elevação no nível do lençol freático. Os canais abandonados, verificados no cenário de 1962 (Anexo 6) foram inundados e passaram a integrar a dinâmica fluvial da área, demonstrando o nível de interferência que os barramentos possuem sobre a morfodinâmica.

A partir do cenário de 1995 foram verificadas alterações no sistema de lagos existentes na área de abrangência do setor 3. Houve uma fragmentação e diminuição das áreas alagadas tanto na margem esquerda quanto na margem direita do Rio Piracicaba. Esta situação possui vínculo estreito com a dinâmica de uso das terras ocorrida na área em estudo e também com a reorganização dos canais de drenagem após o barramento.

Nas porções à montante do setor 3, bem como, em geral, na totalidade da área do setor de fundo de vale, houve um aumento no plantio das áreas de cana-de-açúcar. Esta expansão ocorreu nos compartimentos de topo, e nas vertentes suaves que predominam no

contato com o fundo de vale nas vizinhanças deste setor, por vezes ocupando extensões dos depósitos aluviais. As alterações na dinâmica morfohidrográfica desencadeadas pela expansão das lavouras de cana contribuem para que a remoção de material das vertentes sofra acréscimos, com consequente deposição nas porções mais baixas: sistemas de lagoas e na própria foz do Rio Piracicaba, no reservatório de Barra Bonita.

A análise dos mapas geomorfológicos voltada para o **Setor 4** (Anexos 6, 8, 10 e 12) indica a ampliação das áreas de depósito aluvial nas margens do Rio Piracicaba, que neste setor possui caráter mais retilíneo. O cenário de morfologia original em 1962 (Anexo 6) evidencia a existência de áreas relativamente planas às margens do Rio Piracicaba, conectadas às vertentes predominantemente convexas a partir de rupturas topográficas suaves. Barras de meandro foram identificadas na porção central do setor 4, nas duas margens do canal principal, sugerindo uma fase inicial de aumento na amplitude dos meandros da área.

No cenário de 1972 (Anexo 8) é possível verificar a existência de uma área mais ampla ocupada pelos depósitos aluviais. Houve diminuição das barras de meandro, possivelmente retrabalhadas a partir da elevação do nível de base e pela mudança da dinâmica deposicional na área. O aumento na extensão dos diques fluviais, verificado na margem esquerda do Rio Piracicaba, indica um acréscimo de material depositado e pode estar vinculado com a ampliação das áreas de planície aluvial.

No cenário de 2007, a organização de um sistema de lagoas na planície aluvial localizada na margem esquerda do Rio Piracicaba demonstra a complexidade no ajuste dos elementos morfohidrográficos influenciados pelo controle antrópico. Enquanto que na maior parte da extensão de depósitos aluviais que permaneceram após o barramento houve uma diminuição areal dos lagos, no setor 4 ocorreu o desenvolvimento destes corpos de água.

A localização destas feições hidrográficas se deu em porções rebaixadas da planície aluvial, delimitadas pelos diques fluviais e pelo contato com as vertentes. Verifica-se que estas lagoas são alimentadas por canais fluviais e conectam-se com o Rio Piracicaba a partir de pequenos afluentes que se desenvolvem na planície aluvial (Anexo 12).

Assim, as lagoas possivelmente tenham se organizado em função da imposição que os diques fluviais efetivaram ao escoamento superficial num primeiro momento. A consolidação do material de origem dos diques fluviais, aliado à evolução de coberturas florestais sobre estas feições (Anexos 11 e 13), fizeram com que os canais fluviais conseguissem romper a barreira dos diques somente em níveis mais elevados, possibilitando a conexão das lagoas com o Rio Piracicaba, mas não a sua vazão completa, configurando as morfologias verificadas no cenário mais recente (Anexo 13).

A dinâmica de ocupação e uso das terras indica um predomínio das áreas de cana-de-açúcar nas porções mais elevadas do setor 4 e de suas adjacências. Nas planícies aluviais situadas nas margens do Rio Piracicaba houve, em geral, a evolução de áreas florestadas sobre campos úmidos, fato que indica a consolidação dos depósitos aluviais permitindo a organização de formações vegetais de maior porte.

Na porção oeste do setor 4, a dinâmica das áreas de pasto limpo e cana-de-açúcar contribuiu para a descaracterização dos terraços fluviais verificados em 1962, 1972 e 1995 (Anexos 6, 8 e 10). No cenário de 2007 apenas uma faixa estreita de terraços fluviais foi mapeada, pois as áreas com predomínio das lavouras de cana foram transformadas em virtude da construção de curvas de nível e de estradas para o transporte de insumos e da colheita de cana.

A análise da morfologia original em 1962 (Anexo 6) para a área de abrangência do **Setor 5** revela a sua localização em uma zona de transição entre a ampla planície aluvial existente ao longo do Rio Piracicaba e das vertentes marginais. A conexão entre estes dois compartimentos ocorria a partir de rupturas suaves, localizadas nas proximidades da cota topográfica de 460 metros, que margeavam os principais canais fluviais da área, assinalando quebras no declive desencadeadas pela incisão dos talvegues. No fundo de vale, faixas de barras de meandro se organizavam nas margens deposicionais do Rio Piracicaba e canais abandonados indicavam possíveis traçados antigos, abandonados em função da dinâmica meandrante na área.

A dinâmica de ocupação e uso das terras na área de abrangência da amostra 5 ocorreu no sentido da total redução das áreas de pasto limpo e da expansão gradual de lavouras de cana-de-açúcar, conforme constatado a partir do cenário de 1995 (Anexo 11). Usos florestais e pastos sujos mantiveram-se nas faixas de contato com o reservatório de Barra Bonita e às margens dos principais canais fluviais. Entretanto, não tiveram contribuição efetiva na contenção de processos de voçorocamento verificados às margens do reservatório a partir do ano de 1995 (Anexo 10) e identificados em maior número no cenário de 2007 (Anexo 12).

Cabe ressaltar que as alterações morfohidrográficas verificadas no setor de fundo de vale do baixo curso do Rio Piracicaba, apesar de estarem diretamente vinculadas à imposição de um novo nível de base local, também são decorrentes de transformações espaço-temporais desencadeadas por todo o sistema caracterizado pela bacia hidrográfica do Rio Piracicaba. A área em estudo é receptora dos *outputs* derivados das relações entre os elementos físico-ambientais e socioeconômicos em toda a extensão de uma das principais bacias hidrográficas

paulistas, que concentra atividades agrícolas intensas e áreas urbano-industriais de médio a grande porte. Estas características resultam de processos históricos de ocupação que promoveram a alteração das coberturas vegetais originais e a dinamização dos processos erosivos que se manifestam com maior ou menor intensidade a depender das características dos elementos que compõe o sistema físico-ambiental.

Como exemplo das repercussões desencadeadas à montante do setor de fundo de vale e a fim de compreender as possíveis transformações derivadas da alteração do nível de base nestas áreas e sua conjugação com a dinâmica de ocupação e uso das terras, foram analisadas as bacias dos ribeirões Samambaia e Bonito.

5.2 Alterações morfohidrográficas e dinâmica de ocupação e uso das terras nas bacias dos ribeirões Samambaia e Bonito.

As bacias hidrográficas dos ribeirões Samambaia e Bonito foram selecionadas para a avaliação das alterações temporais nos índices de densidade de rios (Dr) e de densidade de drenagem (Dd) em decorrência da mudança no nível de base local ocasionada pela construção do reservatório de Barra Bonita. Nestas duas unidades experimentais, a dinâmica de uso da terra ocorrida ao longo de 45 anos também foi analisada, a fim de compreender sua relação com as alterações morfohidrográficas desencadeadas.

5.2.1 A bacia hidrográfica do ribeirão Samambaia

A bacia do ribeirão Samambaia comporta a área urbana do município de São Pedro. Ao longo dos 45 anos que abrangem os cenários mapeados, a evolução espacial desta cidade extrapolou os limites da bacia, tendo sido a mais significativa dentre todas as classes de ocupação e uso das terras (Tabela 3; Anexo 14). A expansão da estrutura urbana alterou as características morfohidrográficas a partir da impermeabilização do terreno e de mudanças na morfologia das vertentes, com consequente alteração do escoamento superficial (Anexo 15).

A evolução das lavouras de cana-de-açúcar (Tabela 3) na bacia do ribeirão Samambaia seguiu uma tendência característica das áreas localizadas próximas ao município de Piracicaba. A dinâmica das áreas de cana-de-açúcar ocorreu a partir da baixa bacia do ribeirão Samambaia (sobre vertentes convexas medianamente alongadas) vindo a ocupar também áreas do reverso cuestiforme no cenário mais atual – ano de 2007 (Anexo 14).

A diminuição das áreas de pasto limpo na bacia do ribeirão Samambaia pode ser compreendida como resultado da expansão urbana e da ampliação das áreas de cultivo de cana-de-açúcar (Tabela 3; Anexo 14). Por outro lado, a diminuição pouco significativa das áreas de pasto sujo do primeiro para o último cenário (Tabela 3) possui relação com sua localização predominante em setores da bacia onde a expansão das atividades agrícolas e urbano-industriais é legalmente proibida (fundos de vale às margens de canais fluviais), ou então dificultada em decorrência dos aspectos geomorfológicos como a declividade dos terrenos (rupturas topográficas no contato vertente-fundo de vale e no setor cuestiforme).

Tabela 3: Ocupação e uso das terras na bacia do ribeirão Samambaia

Uso	1962		1972		2007	
	km²	(%)	**km²**	(%)	**km²**	(%)
Área urbanizada	**1,80**	2,56	**2,71**	3,85	**14,15**	20,07
Área de mineração	**0,01**	0.01	**0,02**	0,03	**0,03**	0,07
Culturas alimentares	**12,51**	17,8	**10,18**	14,44	**8,43**	12,0
Cana-de-açúcar	**6,32**	9,0	**7,60**	10,77	**13,57**	19,24
Citrus	**0,0**	0,0	**0,20**	0,28	**0,0**	0,0
Café	**0.0**	0,0	**0,0**	0,0	**0,0**	0,0
Pasto sujo	**11,06**	15,68	**8,27**	11,73	**10,60**	15,04
Pasto limpo	**30,94**	43,6	**30,80**	43,7	**10,00**	14,12
Silvicultura	**0,07**	0,1	**2,44**	3,46	**0,56**	0,79
Instalações agrícolas	**0,17**	0,25	**0,20**	0,29	**0,59**	0,84
Florestal	**6,28**	9,0	**6,53**	9,25	**11,23**	15,92
Campo úmido	**1,34**	2,0	**1,55**	2,2	**1,25**	1,78
Corpos de água continentais	**0,0**	0,0	**0,0**	0,0	**0,09**	0,13
Total	**70,5**	100	**70,5**	100	**70,5**	100

Área total da bacia do ribeirão Samambaia: 70,5 km².

A mesma situação pode ser descrita para os usos florestais. A avaliação da distribuição espacial desta classe de uso aponta para um aumento da sua área ao longo do período analisado de 45 anos (Tabela 3; Anexo 14). Existem dois fatores principais que podem estar relacionados a esta situação: (1) a adequação às leis de preservação da vegetação ciliar que, a partir de uma fiscalização mais efetiva, condicionou a menor exploração das áreas de proteção e consequente evolução das áreas de mata nativa; e (2) a evolução e manutenção do uso florestal na área do *front* cuestiforme em decorrência da dificuldade de ocupação, bem como a preocupação com os aspectos paisagísticos em um município com economia voltada também para a atividade turística.

O *front* cuestiforme é a feição estrutural marcante na área da bacia do ribeirão Samambaia que possui um relevo caracterizado por transições litológicas responsáveis por diferenças na topografia, formas das vertentes e nas características da rede de drenagem. As

nascentes dos principais canais fluviais da bacia do ribeirão Samambaia localizam-se no reverso cuestiforme (Anexo 15). Nesta área, a topografia apresenta um caráter muito suave, marcada por altimetrias que variam entre 900 metros a 970 metros.

Na área das nascentes, situadas no reverso cuestiforme, existe um predomínio de vertentes convexas medianamente alongadas, conectas a fundos de vale com seção transversal em "V". As linhas de cumeada são bem delineadas e margeadas por rupturas de declive suaves que escalonam as vertentes e formam patamares em áreas de topos. Predominam nesta área os Latossolos Vermelho-Amarelos.

O *front* cuestiforme (Anexo 15) abrange as maiores amplitudes topográficas da bacia do ribeirão Samambaia (600 metros a 900 metros de altitude), com predominância de declividades superiores a 30% correspondentes às morfologias desenvolvidas sobre os depósitos de tálus e à cornija - muitas vezes recoberta pelo manto intempérico. A rede de drenagem apresenta densidade significativa em função do contato litológico entre as Formações Botucatu e Serra Geral, com presença de nichos de canais de primeira ordem e segmentos de ribeirões com nascentes no setor do reverso cuestiforme.

Os canais fluviais apresentam, em sua maioria, seção transversal em "V", indicando o trabalho de incisão intensa sobre as superfícies. A pedogênese desencadeada sobre o material dos depósitos de tálus implica na predominância de Neossolos Litólicos e alguns trechos de Neossolos Quartzarênicos.

As porções da bacia do ribeirão Samambaia situadas na Depressão Periférica possuem características distintas desde o contato com o *front* cuestiforme até a foz do ribeirão, no rio Piracicaba (Anexo 15). Situadas entre as cotas altimétricas de 560 metros a 600 metros, estão morfologias suavemente dissecadas, com predomínio de vertentes convexas muito alongadas e declividades que se concentram entre 3-6% e 6-12%.

O contato das vertentes com os fundos de vale é marcado por rupturas topográficas suaves. Ocorrem concavidades de vertente com linhas de escoamento pluvial bem definidas junto aos limites leste e oeste do setor, enquanto os canais fluviais de primeira ordem passam a se organizar, em geral, nas porções mais à jusante destas concavidades, revelando uma baixa densidade de drenagem (Anexo 15).

Os principais canais fluviais desta área da bacia apresentam pequenos segmentos retilíneos interrompidos por 'cotovelos', indicando possível influência de falhamentos na organização da rede de drenagem. A Formação Pirambóia ocorre como litologia predominante, entretanto, existem rupturas abruptas no declive em alguns pontos do setor que sugerem transição com litologias mais resistentes da Formação Serra Geral ou com arenitos

silicificados (Anexo 15). Existe um predomínio dos Neossolos Quartzarênicos por toda e extensão desta área.

Na baixa bacia, em direção a foz do ribeirão Samambaia, predominam morfologias dissecadas, com ocorrência de vertentes convexas pouco e medianamente alongadas e linhas de cumeada bem delimitadas. A amplitude topográfica varia entre 460 metros e 560 metros de altitude. Os fundos de vale apresentam, em geral, seção transversal em "V" nos altos cursos e seção transversal plana nos baixos cursos dos canais fluviais com ordens superiores (3 ou 4), onde ocorrem planícies aluviais de pequena extensão que se conectam com outras mais bem desenvolvidas depositadas pelo ribeirão Samambaia.

A Formação Pirambóia ocorre como litologia predominante e existe diversidade de formações pedológicas, relacionadas às variações topográficas, com destaque para o Argissolo Vermelho-Amarelo.

Os mapeamentos geomorfológicos elaborados para a bacia do ribeirão Samambaia (Anexo 15) indicam uma diminuição no número de ravinas, voçorocas e colos ao longo do período analisado (Tabela 4). Também ocorre uma retração no comprimento total das linhas que demarcam as rupturas de declive. Considerando o aumento das áreas de cana-de-açúcar e a expansão da área urbana desencadeados na bacia do ribeirão Samambaia, admite-se que a dinâmica destes usos tenha relação direta com a diminuição das formas de origem denudativa citadas.

Tabela 4: Formas de origem denudativa identificadas na bacia do ribeirão Samambaia.

	1962	**2007**
Sulco erosivo	166	170
Ravina	4	0
Voçoroca	9	2
Colo	115	89
Rupturas Topográficas (km)	225,50	193,63
Rupturas Topográficas (km/km²)	3,20	2,75

Área total da bacia do ribeirão Samambaia: 70,5 km².

A evolução das lavouras de cana-de-açúcar demandou incremento de técnicas agrícolas que interferiram de forma muito significativa na morfologia das vertentes. O processo de preparação do solo, a construção de curvas de nível e terraços agrícolas e a contínua abertura de áreas de plantio na direção dos fundos de vale contribuíram para uma homogeneização do declive nas vertentes a partir da suavização ou descaracterização das rupturas topográficas e colos. Da mesma forma a expansão da área urbana, condicionada por aterramentos e cortes decorrentes da ampliação dos loteamentos e arruamentos, atuou na

alteração das morfologias, com tendência à modificação da geometria das vertentes e dos fundos de vale.

A Tabela 4 indica ainda um ligeiro aumento no número de sulcos erosivos pela extensão da bacia do ribeirão Samambaia. De acordo com os mapas geomorfológicos (Anexo 15), verifica-se que a localização espacial destas feições erosivas não é fixa, apesar de sua ocorrência predominante em concavidades de vertentes e setores de solo exposto, sobretudo em área de plantio de cana-de-açúcar.

Tal situação possui vinculo direto com o fato das técnicas empregadas no cultivo da cana-de-açúcar atuarem na camuflagem destas linhas de erosão, que reaparecem anualmente em períodos de colheita e preparo do solo para o plantio. O mesmo processo é verificado para os ravinamentos identificados ao longo do período analisado.

Entretanto é importante considerar que mesmo sendo descaracterizadas pelo plantio da cana, estas feições com localização espacial variável, mas constantes no tempo, atuam efetivamente na remoção do material das vertentes e na deposição deste material ao longo dos canais fluviais e no reservatório de Barra Bonita, enquanto nível de base local dos processos morfohidrográficos. Conjugado a estes fatores, eventos de erosão laminar, que não são identificados a partir dos mapeamentos geomorfológicos, são característicos em áreas agrícolas com ciclos de solo exposto, como no caso das áreas de cana-de-açúcar conforme constatações realizadas por Mendes (1993).

A diminuição dos voçorocamentos na área da bacia do ribeirão Samambaia é decorrente, sobretudo da contenção dos processos erosivos a partir da evolução de vegetação florestal ou do pasto sujo sobre estas feições, conforme verificado nos trabalhos de campo (Figura 10).

A análise temporal da morfohidrografia da bacia do ribeirão Samambaia também assinala um aumento nas densidades de rios e de drenagem (Tabelas 5 e 6). O número de canais de primeira ordem aumentou em mais de 150, indicando capacidade significativa da bacia na geração de novos cursos de água e, como consequência destas mudanças, a dinamização dos processos erosivos envolvidos na incisão e ampliação do comprimento dos canais nas cabeceiras de drenagem.

A densidade de drenagem também aumentou (Tabela 6). A ampliação do comprimento dos canais fluviais da bacia pode ser explicada pelo crescimento no número de canais de primeira ordem. Na maioria dos casos, os canais de primeira ordem recentes apresentam pequenos comprimentos, fato que incide sobre as características menos expressivas no aumento da densidade de drenagem.

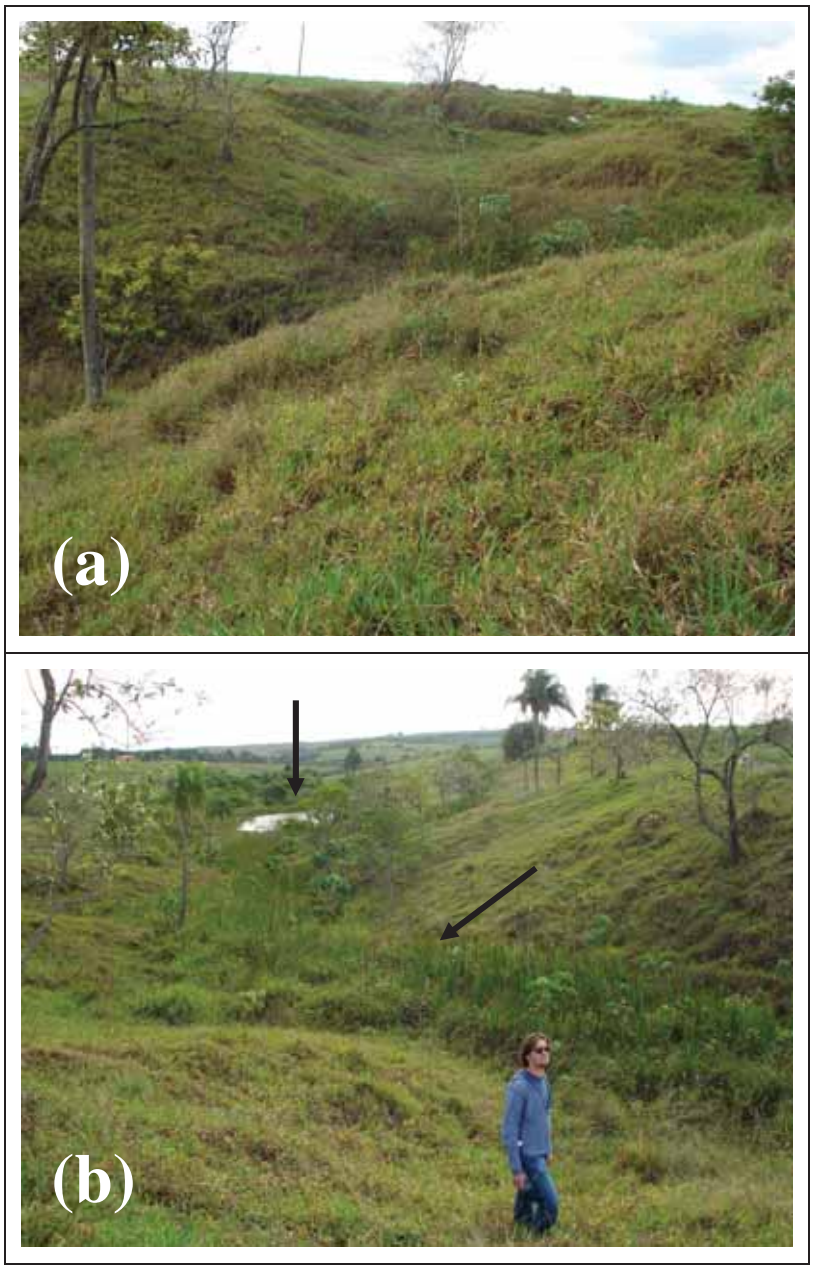


Figura 10: Características de cabeceiras de drenagem com evidências de dinamização de retomadas erosivas:
(a) área de voçorocamento na baixa bacia do Ribeirão Samambaia em área de Neossolos Quartzarênicos – evolução do pasto sujo sobre os taludes da voçoroca indicando a gradual contenção do processo erosivo acelerado; **(b)** depósito aluvial localizado à jusante do voçorocamento contido: detalhe para a o barramento do canal fluvial com formação de um açude e para o desenvolvimento de vegetação de campo úmido. **Fonte:** Arquivo Pessoal.

Tabela 5: Valores da densidade de rios (Dr) na bacia do ribeirão Samambaia em 1962, 1972 e 2007

	1962	1972	2007
N1	**705**	**737**	**872**
Dr	**10,0**	**10,4**	**12,36**

N1: número de canais de primeira ordem; Dr: densidade de rios ou hidrográfica (Dr= N1/A); área da bacia de 70, 5 km².

Tabela 6: Valores da densidade de drenagem (Dd) na bacia do ribeirão Samambaia em 1962, 1972 e 2007

	1962	1972	2007
Lt (km)	**252,38**	**241,09**	**299,56**
Dd (km/km²)	**3,58**	**3,42**	**4,25**

Lt: comprimento total dos canais de drenagem (km); Dd: densidade de drenagem (Dd= Lt/A); área da bacia de 70, 5 km².

Para compreender as complexas relações existentes nas alterações morfohidrográficas e na dinâmica de ocupação e uso das terras previamente diagnosticadas para a bacia do ribeirão Samambaia, a área foi dividida em quatro setores distintos, delimitados em função das características topográficas e hidrográficas: setor do reverso cuestiforme (SRC); setor do *front* cuestiforme (SFC); setor da média bacia (SMB); e setor da baixa bacia (SBB). Nestes setores foram distribuídas de forma equitativa (abrangência de 30% da área do setor) e estratégica (considerando o número máximo de canais de primeira ordem abrangidos), 10 amostras circulares de 2,5 km² (Figura 11).

Nas amostras foram avaliadas as densidades de rios e de drenagem (Dr e Dd) e a dinâmica de ocupação e uso das terras em três cenários: 1962, 1972 e 2007. As declividades predominantes também foram discriminadas nas amostras circulares, possibilitando a compreensão de sua relação com os demais dados avaliados (Anexo 16). Atenta-se para o fato de que as amostras inseridas nos setores de análise foram avaliadas da jusante para a montante, pois se compreende que as maiores alterações na dinâmica de ocupação e uso das terras seguiram esta direção de irradiação.

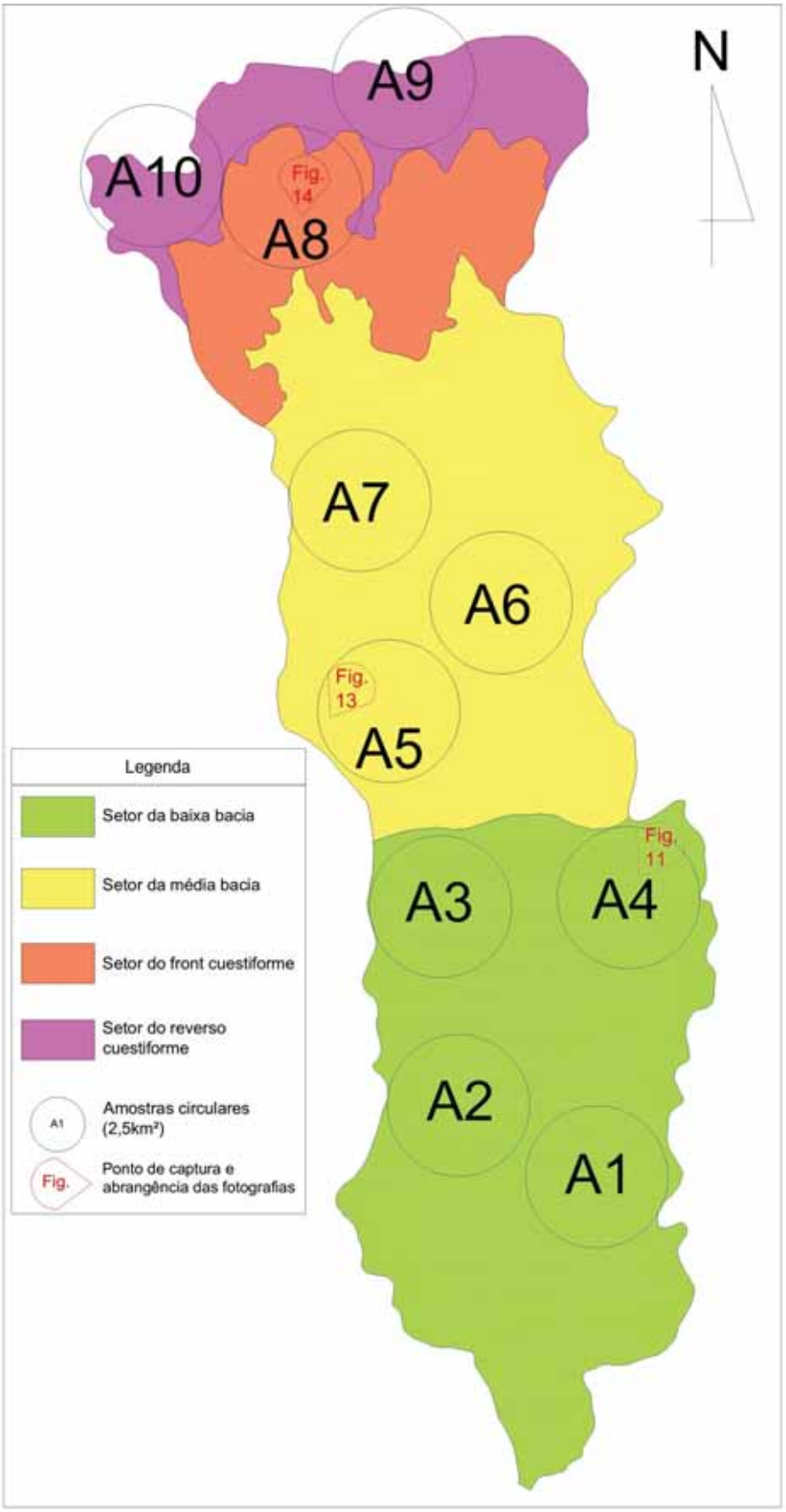


Figura 11: Setores de análise e localização das amostras circulares na bacia do ribeirão Samambaia.

5.2.1.1 Setor da baixa bacia

O setor da baixa bacia abrange uma área de 28 km². Nele foram distribuídas quatro amostras circulares (A1, A2, A3 e A4) representadas na Figura 11 e Anexo 16.

A **amostra circular 1** (A1 – Anexo 16) é a única no setor da baixa bacia que apresentou diminuição nas densidades de rios (Dr) e de drenagem (Dd) ao longo do período analisado. A redução dos canais de primeira ordem tem relação direta com a ocupação prolongada das lavouras de cana-de-açúcar, apesar da retração espacial desta classe de uso da terra (Anexo 16).

Esta situação resulta da modernização das técnicas de preparação dos terrenos para o plantio das lavouras de cana ao longo do tempo, que ocorre no sentido de ampliar as áreas produtivas a partir do soterramento dos fundos de vale, promovendo a anulação da dinâmica fluvial dos canais de primeira ordem e mantendo apenas as concavidades por onde se organizam os canais pluviais. Tal processo também pode ser assinalado pela retração das áreas de pasto sujo, que acompanha a diminuição dos canais de primeira ordem (Anexo 14 e 16).

A expansão de áreas urbanas, sobre terrenos inicialmente florestados e posteriormente ocupadas por usos agrícolas, no extremo norte da amostra 1, coincide com a diminuição de canais de primeira ordem (Anexo 16). O aumento de áreas de pasto limpo, a evolução de manchas de uso florestal e a manutenção de áreas de pasto sujo na porção central da amostra 1 contribuíram para a preservação dos canais de primeira ordem de maior comprimento.

Na **amostra circular 2** (A2 – Anexo 16) ocorre a maior evolução das áreas de cana-de-açúcar do setor da baixa bacia (34,07% de aumento da área plantada). Contudo é possível verificar a manutenção na densidade de rios ao longo do período analisado, com pequena retração deste índice no cenário de 1972.

A densidade de drenagem apresentou aumento pouco significativo ao longo dos três cenários. A situação verificada pode ser compreendida pelos seguintes fatores: (1) manutenção das áreas de pasto sujo ao longo dos fundos de vale dos canais principais e dos canais de primeira ordem existentes nos três cenários; (2) evolução de usos florestais sobre áreas de pasto sujo nas porções supracitadas da amostra 2 e (3) evolução das áreas de campo úmido nas margens dos canais de primeira ordem ou sobre áreas de pasto sujo (Anexos 14 e 16).

As lavouras de cana-de-açúcar diagnosticadas na amostra 2 se expandiram com maior intensidade sobre áreas de pasto limpo e terras destinadas às culturas alimentares – localizadas predominantemente em setores de topo ou então nas altas e médias vertentes (Anexo 16). Esta característica contribuiu para intervenções menos pronunciadas nos fundos de vale, com manutenção da dinâmica dos canais de primeira ordem.

Outra característica vinculada à evolução da cana nas porções da amostra 2 é a diminuição no número dos sulcos erosivos, de 11 para 8 (Anexo 15), bem como das linhas que demarcam as rupturas de declive (de 18,82 km para 8,04 km). As duas situações possuem vínculo estrito com as práticas envolvidas no cultivo da cana-de-açúcar anteriormente identificadas para a compreensão dos processos análogos ocorridos em toda a extensão da bacia do ribeirão Samambaia.

A **amostra circular 3** (A3 – Anexo 16) apresenta três classes de declividade predominantes: 6-12%, 12-20% e 20-30% (Anexos 16 e 17). Contudo, todas as declividades consideradas para esta pesquisa (Anexo 16) ocorrem na área da amostra em questão, causando, por vezes, o contato entre declives muitos distintos, situação que dá origem a rupturas suaves e abruptas nas vertentes (Anexo 15).

Esta característica da declividade pode apresentar estreita relação com o aumento superior a 40% na densidade de rios ocorrida na amostra 3 (Anexo 16), pois a elevação no número de canais de primeira ordem ocorre sobretudo na zona de contato entre declividades que não apresentam sequência (por exemplo: graus de declive de 6-12% em contato com graus situados entre 20-30%). Tais rupturas abruptas no declive atuam na interrupção da continuidade do lençol freático e contribuem para o afloramento de algumas nascentes de canais fluviais.

Na amostra 3 (Anexo 16), a dinâmica de ocupação e uso das terras aponta para a preservação de áreas florestais e de pasto sujo nas superfícies com maior declive, e nas margens dos canais fluviais principais e de primeira ordem. Os usos agrícolas apresentaram maior evolução espacial sobre as declividades menos acentuadas (Anexo 16). Assim, a interferência da dinâmica de uso da terra nos compartimentos de fundo de vale pode ser considerada pouco significativa.

O incremento no valor do índice de densidade de rios pode ter vínculo estreito com o aumento na extensão das linhas de ruptura de declive na amostra 3, de 10,95 km para 20,01 km. Considera-se que o aumento no número de canais de primeira ordem desencadeou processos de retomada erosiva que contribuíram para a dinamização do entalhamento dos talvegues e progressão das rupturas nos declives. Outra evidência que pode estar relacionada

ao aumento do número de canais de primeira ordem é a evolução da quantidade de colos erosivos na área da amostra 3, de 5 para 7 (Anexo 15) indicando o seccionamento das linhas de cumeada efetivadas pelos canais de primeira ordem.

A **amostra circular 4** (A4 – Anexo 16) é caracterizada por ligeiro aumento na densidade de rios e de drenagem. Na porção central da amostra verifica-se uma ampliação no comprimento dos canais de primeira ordem, fato este que pode explicar o acréscimo no número de colos identificados, de 2 para 4 (Anexo 15). Os colos representam seções deprimidas do segmento da linha de cumeada, desencadeados pelo processo erosivo promovido pelos canais fluviais e pluviais em porções menos resistentes da litologia.

A análise dos mapas geomorfológicos para a área da amostra 3 (Anexo 15) evidencia ainda uma concomitante alteração das linhas de cumeada suaves para linhas de cumeada com caráter mais agudo. Este seria outro indício da aproximação entre os canais de primeira ordem em áreas de topo. A continuidade deste processo pode conduzir ao desenvolvimento dos colos e de capturas fluviais.

Existe uma predominância de Neossolos Litólicos na área abrangida pela amostra 4, sendo que esta classe de solo apresenta restrições à ocupação antrópica em virtude de sua localização quase sempre vinculada a relevos com maior declividade como os que ocorrem na referida amostra. Os usos da terra com maior dinâmica evolutiva nesta área são aqueles responsáveis pela manutenção das características morfohidrográficas originais: florestal e pasto sujo, localizados principalmente nos compartimentos de fundo de vale.

Nos cenários de 1962 e 1972 houve uma expansão das superfícies destinadas às culturas alimentares, especialmente nos compartimentos de topo e nas médias vertentes da amostra 4 (Anexos 15 e 16). No cenário de 2007, as culturas agrícolas se restringiam a fragmentos esparsos pela área da amostra. É importante destacar que a segmentação das linhas de cumeada, com formação de colos, pode ter tido início com as práticas agrícolas vinculadas às culturas alimentares estabelecidas em 1962 e 1972. Assim, o abandono destas áreas e a crescente evolução do pasto sujo, de usos florestais e de parcelas de pasto limpo desaceleraram a intensidade dos processos morfohidrográficos, mas não os interromperam.

Considerações sobre o setor da baixa bacia: de acordo com os resultados obtidos a partir da aplicação das amostras circulares, foi possível verificar uma diminuição no número de canais de primeira ordem no setor da baixa bacia ao longo do período analisado. A densidade de drenagem, ao contrário, teve um acréscimo ao longo do mesmo período com ligeira diminuição no cenário de 1972.

Tal situação demonstra uma baixa capacidade na geração de novas nascentes, mas revela um aumento no comprimento dos canais existentes vinculado à retomadas erosivas em decorrência das alterações no nível de base. As médias de densidade de rios e de drenagem das amostras referentes ao setor de baixa bacia são superiores aos mesmos índices verificados para a bacia do ribeirão Samambaia em todos os cenários.

A densidade média das linhas que demarcam as rupturas topográficas nas amostras 1, 2, 3 e 4 aumentou durante o período analisado (de 4,27 km/km² para 4,48 km/km²) situando-se sempre acima do valor médio verificado para a extensão da bacia do ribeirão Samambaia (3,20 km/km²).

A expansão das áreas de cana-de-açúcar pode vir a ocorrer sobre as superfícies situadas ao norte do setor da baixa bacia. Este processo deve ser acompanhado da manutenção das áreas florestais e de pasto sujo nos compartimentos de fundo de vale, levando em consideração também a necessidade de menor atuação antrópica nas concavidades de vertentes a fim de diminuir as intervenções na dinâmica morfohidrográfica e evitar a evolução de feições erosivas localizadas.

5.2.1.2 Setor da média bacia

O setor da média bacia abrange uma área de 25,75 km². Nele foram distribuídas três amostras circulares (A5, A6 e A7) representadas nos Anexos 15 e 16.

A **amostra circular 5** (A5 – Anexo 16) apresenta características peculiares no que corresponde à evolução temporal das densidade de rios e de drenagem. Ao longo de todo o período analisado houve um aumento nestes dois índices. Contudo, entre os cenários de 1962 e 1972 o crescimento de canais de primeira ordem foi mais expressivo.

Salienta-se que entre estes dois primeiros cenários não houve mudanças significativas no padrão de ocupação e uso das terras, porém nos compartimentos de fundo de vale ocorreu uma evolução dos usos florestais e pasto sujo.

O fato que pode justificar a elevação dos índices de densidade de rios e de drenagem, reside nas características da geometria do relevo da amostra 5 (Anexos 15, 16 e 17), que apresenta contatos entre graus de declive diferenciados, responsáveis por transições bem demarcadas entre os compartimentos de topo, vertentes e fundo de vale.

Nos mapas geomorfológicos da bacia do ribeirão Samambaia esta transição é assinalada por rupturas topográficas suaves e abruptas (Anexo 15). Assim, interferências no

ritmo e continuidade do lençol freático ocorrem em virtude de quebras na topografia, efetivando o aumento no número de nascentes.

No cenário de 2007 a estrutura urbana ocupava mais da metade da área da amostra 5 (Anexo 16; Figura 12), tendo ocorrido com maior intensidade sobre as áreas de pasto limpo e pasto sujo situadas em declividades menos pronunciadas (3-6% e 6-12%). Trata-se de uma urbanização de baixa densidade, com arruamentos de terra batida e lotes grandes que preservam áreas com coberturas de gramíneas. Conforme constatado nos trabalhos de campo, existem áreas não urbanizadas onde ocorrem vestígios de sulcos erosivos, contidos a partir da evolução e manutenção de pastos limpos a sujos (Figura 12).

Nas baixas vertentes e nos compartimentos de fundo de vale – onde têm origem a maior parte dos canais de primeira ordem – os usos florestais foram mantidos e apresentaram ampliação ao longo do período avaliado (Anexo 16). Contudo, os reflexos da expansão urbana ocorreram na dinâmica fluvial da área ocasionando a diminuição dos índices de densidade de rios e de drenagem (Figura 12). Os arruamentos, aterros, cortes e superfícies impermeabilizadas contribuíram para a alteração na rede de drenagem, ocasionando a diminuição expressiva no número de canais de primeira ordem e no comprimento total dos canais fluviais da amostra 5. A diminuição das linhas de ruptura topográfica (de 9,14 km para 5,01 km) também pode estar vinculada ao processo de expansão urbana.

A **amostra circular 6** (A6 – Anexo 16) apresentou diminuição nas densidades de rios e de drenagem ao longo do período analisado. Houve uma significativa expansão da área urbana de São Pedro, primeiramente na porção norte e atingindo, no cenário de 2007, as porções leste e sul da amostra. A fração oeste da amostra 6 apresenta uma dinâmica mais complexa, que envolve a diminuição de áreas agrícolas e de mineração em prol da evolução de áreas florestadas e de pasto sujo.

A análise dos mapas geomorfológicos da bacia do ribeirão Samambaia (Anexo 15) voltada para a amostra circular 6, evidencia uma zona de transição entre áreas de topo margeadas por amplos patamares que se alongam até a média vertente com compartimentos de fundo de vale vinculados aos principais canais fluviais da bacia.

Nas áreas de topo, bem como nas altas e médias vertentes ocorreu a expansão da área urbana de São Pedro. Este processo foi acompanhado pela descaracterização das linhas de cumeada e dos colos (extinção de 4 colos), com consequente soterramento de canais de primeira ordem e diminuição de áreas de campo úmido onde se localizavam as nascentes destes canais (Anexo 16). Houve uma ligeira redução das linhas que demarcam as rupturas de

declive (de 6,50 km para 5,50 km) vinculada à expansão da estrutura urbana que condicionou a transformação da morfologia dos terrenos.

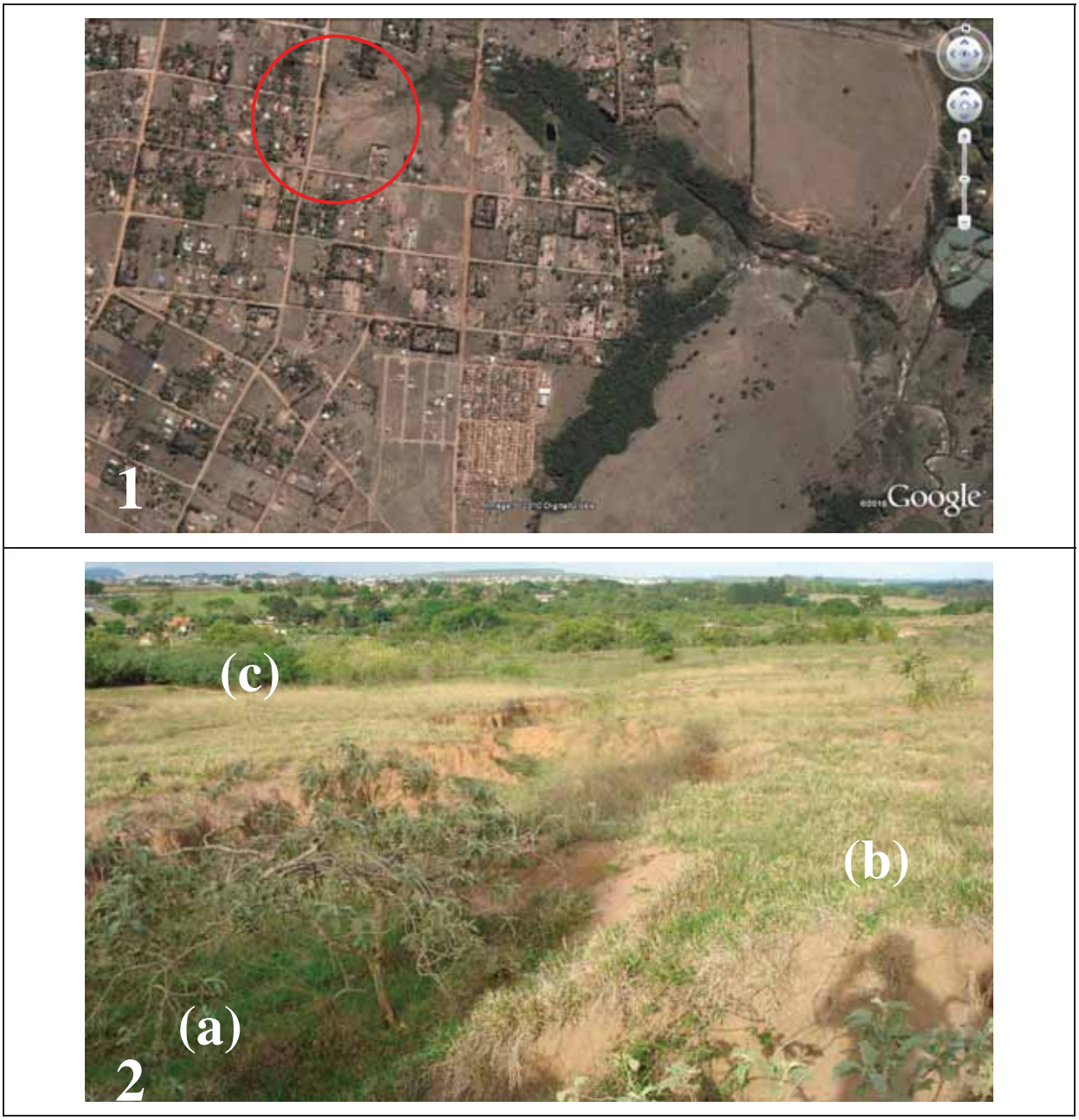


Figura 12: Característica das áreas de expansão da estrutura urbana de baixa densidade na bacia do ribeirão Samambaia:
(1) visualização a partir de imagens do Google Earth; (2) **a-** evolução de pastos limpos e sujos nas linhas de sulco e ravinamento e **b-** nas margens destas feições erosivas, **c-** contato com os usos florestais preservados. **Fonte:** Google Earth (1); Arquivo pessoal (2).

Na parte leste, bem como em porções situadas a sudeste na amostra 6 (Anexo 16), situam-se compartimentos de fundo de vale que podem ter contribuído para barrar a expansão

urbana em função das características do relevo: vales com seção transversal plana suscetíveis a inundações e terrenos inconsolidados recobertos por vegetação de campo úmido.

Nestas áreas, de forma geral houve uma evolução do uso florestal sobre terras agrícolas abandonadas a partir do cenário de 1972. Como consequência da evolução destas coberturas vegetais, esta parte da amostra 6 é a que mais preserva as características morfohidrográficas verificadas no cenário de 1962 (Anexo 16).

Na **amostra circular 7** (A7 – Anexo 16) as características da declividade apontam para a predominância de duas classes (3-6% e 12-20%). A morfohidrografia da área é marcada pela ocorrência de ressaltos na topografia condicionados por patamares estruturais e rupturas abruptas do relevo (Anexo 15). Esta situação leva a organização de graus de declividade com conexões íngremes que tornam mais fácil o afloramento de nascentes de canais de primeira ordem e podem auxiliar na compreensão do aumento nas densidades de rios e de drenagem na amostra em questão (Anexo 16).

Nestas áreas, demarcadas pela ocorrência de patamares estruturais e rupturas abruptas, houve uma expansão da área urbana de São Pedro. Este processo atuou na descaracterização de patamares estruturais mapeados em 1962 (Anexo 15). Contudo, a expansão da área urbana sobre áreas de quebra abrupta no declive e organização de nascentes não determinou a diminuição dos canais de primeira ordem nesta porção da amostra.

Mesmo com o avanço da estrutura urbana de São Pedro sobre os canais fluviais, as áreas com rupturas acentuadas no declive verificadas na amostra 7 mantiveram uma continuidade na geração de nichos de nascentes e canais de primeira ordem, mesmo quando os processos são afetados por alterações intensas na ocupação e uso das terras.

Considerações sobre o setor da média bacia: De acordo com os resultados obtidos a partir da aplicação das amostras circulares, foi possível verificar um aumento no número de canais de primeira ordem e na densidade de drenagem no setor da média bacia ao longo do período analisado. Ambos os índices apresentaram um aumento expressivo no cenário de 1972 com redução no cenário de 2007. Contudo, as médias das densidades de rios e de drenagem das amostras distribuídas no setor da média bacia evidenciam que os referidos índices encontram-se abaixo dos índices verificados na bacia do ribeirão Samambaia, com exceção do cenário de 1972.

Houve uma diminuição no comprimento das linhas que demarcam as rupturas de declive no setor da média bacia, sendo que a média das amostras 5, 6 e 7 permaneceu sempre abaixo do valor médio identificado para a bacia do ribeirão Samambaia. Os colos também

diminuíram (de 7 para 1) bem como as linhas de sulco erosivo (de 38 para 28). Estas situações são evidencia direta da evolução da área urbana de São Pedro durante o período analisado.

Existe uma tendência de expansão do núcleo urbano no setor da média bacia. Conforme verificado, as estruturas urbanas corrompem as características morfohidrográficas originais, mas não conseguem atuar efetivamente na dinâmica subsuperficial, que se manifesta em áreas onde ocorrem rupturas topográficas a partir da ocorrência de nascentes. Assim, deve haver um planejamento da ocupação urbana, baseada na legislação ambiental, em áreas de rupturas topográficas e patamares estruturais, com conservação da cobertura vegetal, a fim de possibilitar a manutenção das características de rede de drenagem e da dinâmica fluvial neste setor.

5.2.1.3 Setor do *front* cuestiforme

O setor do *front* cuestiforme abrange uma área de 9,34 km². Nele foi posicionada, de forma estratégica, uma amostra (A8) que possui representatividade de 30% para a área em questão (Figura 11).

A **amostra circular 8** (A8 – Anexo 16) evidencia um aumento significativo nas densidades de rios e de drenagem, com uma oscilação negativa no cenário de 1972. Nesta amostra, bem como no setor do *front* cuestiforme da bacia do ribeirão Samambaia houve sempre um predomínio de usos da terra florestais e de pasto sujo (Anexo 14).

A evolução de áreas de pasto limpo, no cenário de 1972, pode estar atrelada a uma frente de expansão de atividades pecuárias que, em função de possíveis estagnações e retrocessos econômicos, foram abandonadas possibilitando a organização de conjuntos arbustivos e arbóreos, conforme é possível verificar no cenário de 2007 (Anexos 14 e 16).

Existem algumas considerações que podem ser realizadas a respeito do aumento nos índices de densidade de rios e de drenagem na amostra 8 e também para o setor do *front* cuestiforme:

(1) a evolução de usos florestais e arbustivos (pasto sujo) pode ter contribuído para preservação de nichos de nascentes já existentes, bem como para o desenvolvimento de novos canais de primeira ordem a partir de condições propícias de surgimento de olhos de água, sobretudo em situações de topografia acidentada como no caso da área em questão (Figura 23);

(2) a ocorrência de declividades elevadas (predominância de declividades superiores a 30% - Anexos 16 e 17) e a localização da amostra em uma área de ruptura topográfica

influenciada por feições estruturais e contatos litológicos (Figura 13), determinam uma quebra brusca na continuidade do lençol freático com tendência ao desenvolvimento de nichos de nascentes. Esta situação, articulada com a primeira consideração descrita, pode ter atuado de forma expressiva na organização e desenvolvimento de canais de primeira ordem;

(3) o aumento na densidade de rios e de drenagem na amostra 8, pode ter sido determinado em função da localização desta área em uma zona de transição litológica, marcada por feição estrutural (f*ront* cuestiforme), que constitui uma barreira ao avanço da erosão regressiva à montante da área. Assim o desenvolvimento das nascentes e o aumento no comprimento dos canais fluviais tende a se concentrar no *front* cuestiforme em decorrência da imposição estrutural estabelecida pela cornija (onde ocorrem declividades superiores a 45%). Esta feição estrutural é rompida apenas por canais de ordens superiores, com nascentes situadas no setor do reverso cuestiforme.

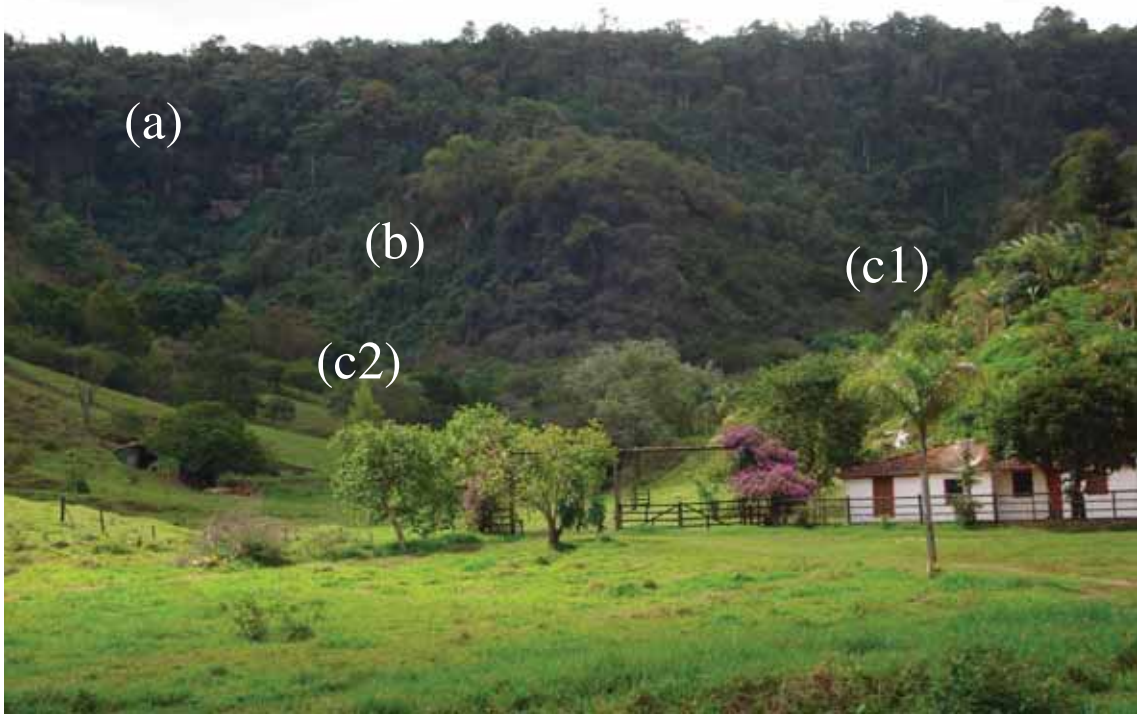


Figura 13: Características do setor do *front* cuestiforme na área de abrangência da amostra circular 8:
(a) *front* cuestiforme com alguns segmentos da cornija aparentes; **(b)** declives acentuados recobertos por vegetação florestal densa; **(c1 e c2)** compartimentos de fundo de vale dos canais principais, com seção transversal em "V". **Fonte:** Arquivo pessoal.

5.2.1.4 Setor do reverso cuestiforme

O setor do reverso cuestiforme abrange uma área de 7,41 km². Nele foram distribuídas duas amostras circulares (A9 e A10) representadas na Figura 11.

A análise da **amostra circular 9** (A9 – Anexo 16) evidencia o aumento das densidades de rios e de drenagem com rápida diminuição destes índices no cenário de 1972. De forma geral, as três linhas de drenagem principais – que transpassam o *front* cuestiforme – mantêm seu traçado e comprimento original sendo a variação nos índices morfométricos desencadeada com maior expressão nos seus tributários.

Na porção oeste da amostra 9 (Anexo 16) a manutenção e evolução dos usos florestais nas partes à montante da rede fluvial pode ter contribuído para a preservação e organização de novos canais de primeira ordem. No cenário de 2007 o canal principal da porção oeste da amostra 9 encontra-se interceptado por um açude, fato que não havia sido verificado em 1972.

Assim, é possível que reajustes da rede de drenagem tenham ocorrido em virtude da interceptação do canal fluvial principal. Entretanto, a inexistência de dados sobre a data de instalação do barramento compromete constatações mais precisas a respeito da dinamização dos processos.

A rede de drenagem localizada na área central da amostra 9 apresentou o maior incremento de canais de primeira ordem (Anexo 16). Nesta porção, alterações no uso da terra relativas à subtração de áreas de pasto sujo e aumento das glebas de silvicultura podem ter contribuído para a alteração da dinâmica fluvial.

A retirada dos usos florestais e de pasto sujo à montante desta rede de drenagem condicionou processos de erosão remontante e aprofundamento dos talvegues. Outro fator que permite inferir considerações a respeito desta conjuntura é o aumento da extensão das linhas de ruptura topográfica pela extensão da amostra 9 (de 4,60 km para 6,03 km) indicando o aumento nas quebras de declive das vertentes, sobretudo nas áreas situadas no contato com os fundos de vale.

Na porção leste da amostra 9, a evolução e permanência de áreas de pasto sujo no setor de fundo de vale contribuiu para a manutenção das características do canal principal identificado nos três períodos analisados, mesmo tendo ocorrido um aumento da cana-de-açúcar em seu entorno.

Na **amostra circular 10** (A10 – Anexo 16) a dinâmica de ocupação e uso das terras foi marcada pela diminuição das áreas de pasto limpo e pelo aumento das lavouras de cana-

de-açúcar. Este gênero agrícola, no entanto, se expandiu pelos compartimentos de alta e média vertente (Anexos 14 e 16), sendo que, mesmo em locais isolados onde a ampliação destas áreas ocorreu de encontro aos canais fluviais, não foram verificadas transformações significativas sobre a rede hidrográfica, que apresentou um aumento das densidades de rios e de drenagem.

Nesta amostra, a principal rede de drenagem também foi interceptada pela construção de um açude (verificado no cenário de 2007 – Anexo 16). A inexistência de dados sobre a construção do barramento não permite inferir considerações a respeito de possíveis alterações hidrográficas decorrentes desta imposição no nível de base local. Contudo, houve um aumento no número de canais de primeira ordem da referida rede de drenagem.

O inexpressivo aumento das linhas de ruptura de declive sugere que alterações pouco significativas tenham se desencadeado em função da evolução das lavouras de cana-de-açúcar e em virtude do barramento. Trata-se, provavelmente, de alterações fluviais e na dinâmica de uso da terra recentes, às quais a morfohidrografia encontra-se em processo inicial de reajustamento.

Considerações sobre o setor do reverso cuestiforme: Os resultados obtidos a partir da aplicação das amostras circulares no setor do reverso cuestiforme indicam que os valores médios das densidades de rios e de drenagem foram menores do que aqueles verificados para toda a bacia. A densidade média das linhas que demarcam as rupturas de declive nas amostras aumentou de 2,54 km/km² para 2,91 km/km², sendo que no cenário atual este valor é superior a densidade média verificada para a bacia do ribeirão Samambaia (2,75 km/km²).

Nas duas amostras a incidência de feições de origem denudativa foi muito baixa em 1962 (nenhuma feição erosiva linear e 7 colos). No cenário atual, todavia, foi identificada uma linha de sulco erosivo enquanto os colos foram reduzidos a apenas 2. Esta última situação verificada pode estar vinculada a expansão das áreas de cana-de-açúcar, em decorrência das técnicas utilizadas para a preparação e manutenção das lavouras.

Deve haver uma preocupação com a expansão das áreas de cana-de-açúcar neste setor onde se situam as nascentes da bacia do ribeirão Samambaia, sobretudo com a expansão deste cultivo sobre os compartimentos de fundo de vale onde se situam as nascentes. A manutenção dos usos florestais é necessária para que a dinâmica fluvial seja preservada e para que não haja diminuição na geração de canais de primeira ordem, fato que teria repercussões negativas na bacia em questão.

5.2.2 A bacia hidrográfica do ribeirão Bonito

As características da dinâmica de ocupação e uso das terras na bacia do ribeirão Bonito seguem um padrão predominantemente agropastoril, com uma evolução pouco considerável dos adensamentos populacionais (Tabela 7, Anexo 18).

Tabela 7: Ocupação e uso das terras na bacia do ribeirão Bonito

Uso	1962		1972		2007	
	km²	(%)	**km²**	(%)	**km²**	(%)
Área urbanizada	**0,44**	0,53	**0,54**	0,59	**1,4**	1,51
Área de mineração	**0,02**	0,02	**0,0**	0,0	**0,0**	0,0
Culturas alimentares	**13,28**	14,37	**17,56**	19,01	**0,73**	0,79
Cana-de-açúcar	**0,03**	0,04	**0,06**	0,07	**42,2**	45,8
Citrus	**0,0**	0,0	**0,0**	0,0	**0,0**	0,0
Café	**0,0**	0,0	**0,0**	0,0	**0,0**	0,0
Pasto sujo	**20,86**	22,57	**14,7**	15,97	**11,09**	11,99
Pasto limpo	**41,51**	44,91	**37,90**	41,01	**8,80**	9,52
Silvicultura	**0,82**	0,88	**6,3**	6,86	**8,75**	9,47
Instalações agrícolas	**0,26**	0,29	**0,22**	0,24	**1,34**	1,45
Florestal	**12,62**	13,65	**12,07**	13,07	**15,15**	16,39
Campo úmido	**2,42**	2,7	**2,0**	2,14	**2,83**	3,06
Corpos de água continentais	**0,04**	0,04	**0,95**	1,04	**0,01**	0,02
Total	**92,3**	100	**92,3**	100	**92,3**	100

Área total da bacia do ribeirão Bonito 92,3 km².

O cenário de 1962 (Tabela 7, Anexo 18) aponta para usos da terra vinculados ao plantio de culturas alimentares e para a existência de grandes áreas de pasto limpo e pasto sujo, por vezes em associação.

A evolução das lavouras de cana-de-açúcar foi mais expressiva na bacia do ribeirão Bonito, sobretudo nos setores da baixa e média bacia e zonas do reverso cuestiforme, em áreas de relevo suave, que propiciaram a evolução deste gênero agrícola com alto grau de mecanização (Anexo 18).

O aumento das áreas de cana-de-açúcar desencadeou a diminuição das áreas de pasto limpo, indicando uma alteração significativa das atividades agropastoris que possivelmente teve interferências na economia da área em questão. Da mesma forma, as áreas destinadas ao plantio de culturas alimentares passaram por grande retração, assinalando a intensificação das atividades voltadas à monocultura canavieira e à obtenção de renda em detrimento de gêneros agrícolas designados à subsistência e comercialização local.

Áreas de silvicultura também tiveram acréscimo na bacia do ribeirão Bonito, especialmente no setor leste da média bacia, em zona de relevo suave, com vertentes

alongadas (Anexos 18 e 19). As glebas de reflorestamento ocupam também, no cenário mais atual (2007), porções do reverso cuestiforme que apresentam relevo mais íngreme (Anexo 18).

O aumento das áreas florestais na bacia do ribeirão Bonito expõe a mesma situação verificada na bacia do ribeirão Samambaia, no que tange a não-viabilidade de ocupação espacial dos terrenos localizados no setor cuestiforme e a manutenção da vegetação ciliar nas áreas de fundo de vale. Já a diminuição das áreas de pasto sujo está relacionada, sobretudo à evolução das lavouras de cana-de-açúcar (Tabela 7; Anexo 18).

O relevo da bacia também possui relações intrínsecas à sua localização em área de transição entre a Depressão Periférica Paulista e as Cuestas Basálticas (Anexo 19).

As nascentes ocupam uma extensão espacial expressiva no reverso cuestiforme. Situam-se entre as cotas altimétricas de 800 metros e 880 metros e apresentam morfologias variadas, desde feições mais suavizadas nas porções próximas ao limite da bacia, até morfologias dissecadas - superfícies que ocorrem nas proximidades com a linha do *front* cuestiforme.

A rede de drenagem é organizada em um padrão predominantemente dendrítico, e os compartimentos de fundo de vale apresentam em sua maioria seção transversal em "V". Rupturas topográficas são constantes nas médias vertentes e demarcam o limite entre declividades mais acentuadas, que ocorrem no contato com os fundos de vale, e declives mais suaves, nas altas vertentes (Anexo 19).

As linhas de cumeada são bem delineadas e bastante seccionadas por colos, geralmente vinculados à proximidade de concavidades de vertentes ou canais fluviais de primeira ordem. Os Depósitos de Cimeira e a Formação Serra Geral ocorrem como litologias predominantes na área e os Latossolos Vermelho-amarelos prevalecem sobre estas litologias.

Entre os 800 metros e 600 metros de altitude localizam-se os terrenos íngremes e as formas de relevo muito dissecadas correspondentes ao *front* cuestiforme da bacia do ribeirão Bonito (Anexos 19 e 20). Nesta área se organiza uma densa rede de drenagem composta por canais fluviais com seção transversal predominante em "V". A maior parte destes canais possui suas nascentes no *front* cuestiforme, em zona de contato entre as Formações Botucatu e Serra Geral. Os demais canais fluviais possuem nascentes no reverso cuestiforme e ultrapassam o *front* por meio de quedas de água.

A área do *front* cuestiforme na bacia do ribeirão Bonito é bastante festonada e a linha de cuesta apresenta distintas direções ao longo de seu percurso entre os limites leste e oeste da bacia (Anexo 18). Os festões e reentrâncias são geralmente escalonados por patamares

estruturais que interrompem abruptamente o declive. Alguns divisores de água são demarcados por cristas estruturais que geralmente iniciam em contatos perpendiculares com a linha de cuesta e perdem altitude à medida que se distanciam desta. Os Neossolos Litólicos ocorrem como formação pedológica predominante.

As superfícies da bacia do ribeirão Bonito situadas ao sul do *front* cuestiforme inserem-se na área de abrangência da Depressão Periférica Paulista. Predomina um relevo suavizado, com vertentes convexas amplas, por vezes retilíneas (Anexo 18). O canal principal é margeado por uma área de planície aluvial bem desenvolvida ao passo que os canais de primeira ordem se organizam, geralmente, a partir dos segmentos localizados nas seções intermediárias das concavidades de vertentes.

As linhas de cumeada são bem demarcadas e segmentadas por colos nas áreas situadas perto do *front* cuestiforme. Rupturas de declive são frequentes nas altas vertentes, atuando no desenvolvimento de patamares em áreas de topo. Por vezes estas rupturas no declive demarcam o contato vertente/fundo de vale, sobretudo naqueles que apresentam seção transversal plana.

Ocorre uma mescla de formações pedológicas com predomínio do Argissolos Vermelho-amarelos na porção central da área em descrição. No compartimento de fundo de vale do médio e baixo ribeirão Bonito, predominam os Gleissolos. Áreas de Latossolos Vermelho-amarelo ocorrem nos limites leste e oeste da média e baixa bacia, em cotas altimétricas mais elevadas, e Neossolos Quartzarênicos ocupam extensões ao longo do prolongamento de alguns fundos de vale em direção ao limite leste da bacia.

Os mapeamentos geomorfológicos realizados na bacia do ribeirão Bonito apontam para um aumento no número de formas de origem denudativa ao longo do período analisado, principalmente dos ravinamentos, colos e linhas de ruptura de declive (Tabela 8; Anexo 18). Entretanto, a diminuição das linhas de sulco erosivo foi muito significativa, enquanto que foi registrada diferença de uma ocorrência de voçorocamentos no período.

Tabela 8: Formas de origem denudativa identificadas na bacia do ribeirão Bonito

	1962	**2007**
Sulco erosivo	136	43
Ravina	2	43
Voçoroca	7	6
Colo	106	110
Rupturas Topográficas (km)	265,73	296,44
Rupturas Topográficas (km/km²)	2,88	3,21

Área total da bacia do ribeirão Bonito 92,3 km².

A diminuição do número de sulcos erosivos na bacia do ribeirão Bonito possui vínculo direto com o expressivo aumento das áreas de cana-de-açúcar e com as técnicas de alteração morfohidrográficas envolvidas no preparo dos terrenos para o plantio deste tipo de cultura.

A evolução no número de ravinamentos, de modo geral, aconteceu em áreas de baixa vertente (Anexo 18). Nestas superfícies predominam faixas de pasto sujo e pasto limpo, onde áreas agrícolas foram abandonadas ou não se expandiram. Assim, o desenvolvimento de linhas de sulco erosivo pode ter resultado na organização de ravinas, pois as técnicas agrícolas envolvidas na contenção periódica dos sulcos que se desenvolvem em áreas de cultivo de cana não ocorrem em faixas de pastagem suja e limpa, possibilitando o aumento da dimensão destas feições erosivas.

As voçorocas prevalecem em áreas de cabeceiras de drenagem onde ocorrem pastos limpos (Anexos 18 e 19). Apesar da contenção de uma das áreas de ocorrência de voçorocamento na bacia do ribeirão Bonito, seis permanecem ativas (Tabela 8).

Os mapas geomorfológicos dos anos de 1962, 1972 e 2007 (Anexo 18) indicam que os taludes destas feições são quase sempre margeadas por sulcos erosivos, que constituem linhas ativas para a continuidade deste processo erosivo. A preservação da vegetação de pasto sujo e a diminuição do avanço da cana foram determinantes na contenção do processo de voçorocamento constatado nas imediações da foz do ribeirão Bonito, conforme verificado nos Anexos 18 e 19.

Mesmo com a considerável expansão das lavouras de cana-de-açúcar, houve um aumento de mais de 30 km na extensão das linhas que demarcam as rupturas suaves e abruptas na bacia do ribeirão Bonito (Tabela 7). Em geral, esse aumento se deu nos setores de baixa vertente, e foi mais significativo na média e baixa bacia, bem como no reverso cuestiforme (Anexo 18).

A avaliação temporal da morfohidrografia da bacia do ribeirão Bonito indica ainda uma diminuição nas densidades de rios e de drenagem ao longo do período analisado, com ligeiro aumento do cenário de 1962 para 1972 (Tabelas 9 e 10).

Tabela 9: Valores da densidade de rios (Dr) na bacia do ribeirão Bonito em 1962, 1972 e 2007

	1962	**1972**	**2007**
N1	753	770	719
Dr	8,15	8,32	7,8

N1: número de canais de 1ª ordem. Dr: densidade de rios ou hidrográfica (Dr= N1/A). Área total da bacia do ribeirão Bonito 92,3 km².

Tabela 10: Valores da densidade de drenagem (Dr) na bacia do ribeirão Bonito em 1962, 1972 e 2007

	1962	**1972**	**2007**
Lt (km)	305,83	336,52	272,01
Dd (km/km²)	3,31	3,65	2,95

Lt: comprimento total dos canais de drenagem. Dd: densidade de drenagem (Dd= Lt/A). Área total da bacia do ribeirão Bonito 92,3 km².

A diminuição da densidade de drenagem resulta da redução no número de canais de primeira ordem e da consequente diminuição do comprimento total dos canais fluviais da bacia. Cabe salientar que a bacia do ribeirão Bonito teve sua foz e trecho do curso final alagados pelo reservatório de Barra Bonita e que a redução dos índices de densidade de rios e de drenagem pode estar vinculada ao reajustamento da dinâmica fluvial diante das alterações positivas no nível de base.

A compreensão da complexidade das alterações morfohidrográficas e da dinâmica de uso da terra, que condicionaram as alterações descritas, pode ser melhor avaliada a partir da análise dos setores na bacia do ribeirão Bonito. Esta divisão encontra respaldo na diversidade topográfica e hidrográfica verificada na área e ocorre na seguinte ordem: setor do reverso cuestiforme (SRC), setor do *front* cuestiforme e patamares estruturais (SFCPE) e setor da média e baixa bacia (SMBB) (Figura 14).

Foram realizados os mesmos procedimentos de análise efetuados para a bacia do ribeirão Samambaia no que se refere à distribuição de amostras circulares de 2,5 km² (total de 12 amostras), abrangendo 30% da área de cada setor e procurando englobar o número máximo de canais de primeira ordem para avaliar as alterações nas densidades de rios (Dr) e de drenagem (Dd). Em cada amostra foram avaliadas ainda a dinâmica de uso e ocupação das terras ao longo de 45 anos (1962, 1972 e 2007) bem como as relações entre as alterações ocorridas com a geometria do relevo assinalada pela declividade (Anexo 21). Novamente, atenta-se para o fato de que as amostras inseridas nos setores de análise foram avaliadas da jusante para a montante, pois compreende-se que as maiores alterações na dinâmica de ocupação e uso das terras seguiram esta direção de irradiação.

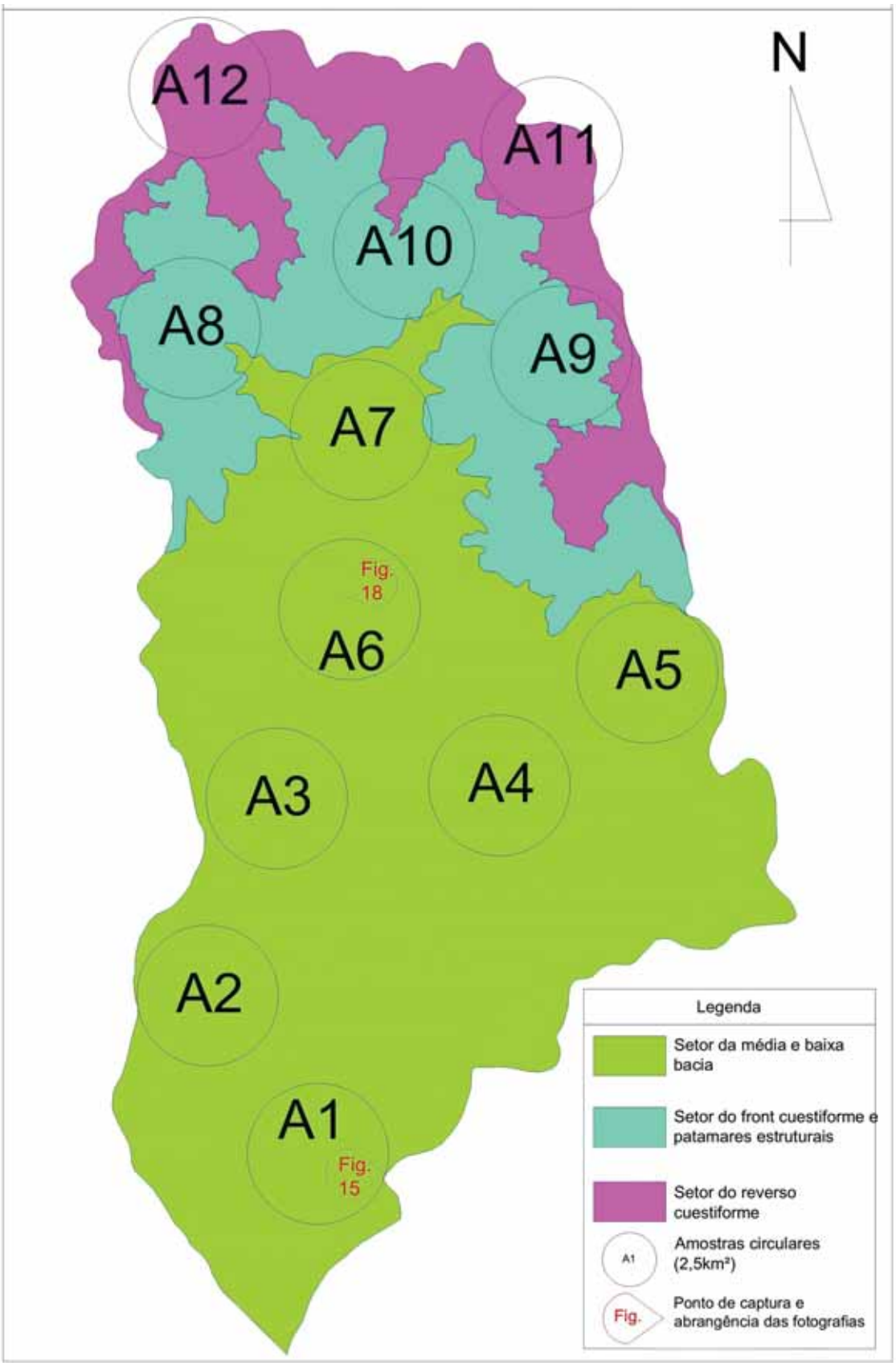


Figura 14: Setores de análise e localização das amostras circulares na bacia do ribeirão Bonito.

5.2.2.1 Setor da média e baixa bacia

O setor da média e baixa bacia abrange uma área de 59,18 km². Neste setor foram distribuídas sete amostras circulares (A1, A2, A3, A4, A5, A6 e A7) conforme representadas na Figura 14.

A **amostra circular 1** (A1 – Anexo 21) é representativa da área da bacia do ribeirão Bonito alagada pelo reservatório de Barra Bonita. A lâmina de água encobriu as áreas mais baixas e planas onde, no cenário de 1962 predominavam os campos úmidos.

A análise da dinâmica de ocupação e uso das terras indica a evolução da cana-de-açúcar sobre terrenos com declividades mais suaves, especialmente sobre zonas de pasto limpo (Anexo 21). O avanço da cana foi limitado, entretanto, pela existência de rupturas suaves e abruptas no declive, em zona de baixa vertente, conforme verificado nos mapeamentos geomorfológicos para a área de abrangência da amostra 1 (Anexo 19).

Usos florestais também apresentaram reduções localizadas em função do aumento das lavouras de cana, mas em geral houve uma evolução das áreas de mata sobre pastagens sujas, bem como a manutenção de vegetação nativa junto aos anfiteatros que concentram os nichos de nascentes (Figura 15). Nestas últimas ocorreu um aumento no número de canais de primeira ordem com consequente elevação da densidade de drenagem.

A localização da amostra junto a um dos locais de maior alteração no nível do lençol freático revela características importantes sobre a elevação do nível de base: do ano de 1962 para o ano de 1972 houve uma redução no número de canais de primeira ordem e na densidade de drenagem. Esta situação condiz com a hipótese de que a elevação no nível de base causa uma diminuição das atividades erosivas desencadeadas pelos canais fluviais, com consequente aumento da deposição realizada pelos mesmos. Do cenário de 1972 para 2007, entretanto, os índices de densidade de rios e de drenagem aumentaram de forma significativa, sendo que esta situação indica um estágio no qual os canais fluviais da baixa bacia, alagados pelo reservatório de Barra Bonita, estão sofrendo retomadas erosivas em busca do equilíbrio em relação ao novo nível de base imposto.

Aliado a este fator, a evolução das áreas de mata ciliar contribuiu para a manutenção da dinâmica fluvial dos canais de primeira ordem. Houve ainda um aumento de 4 colos, que atuam no seccionamento das linhas de cumeada. Esta feição geomorfológica indica a dinamização nos processos denudativos desencadeados pelo aumento no número e extensão dos canais fluviais bem como pelos canais pluviais.

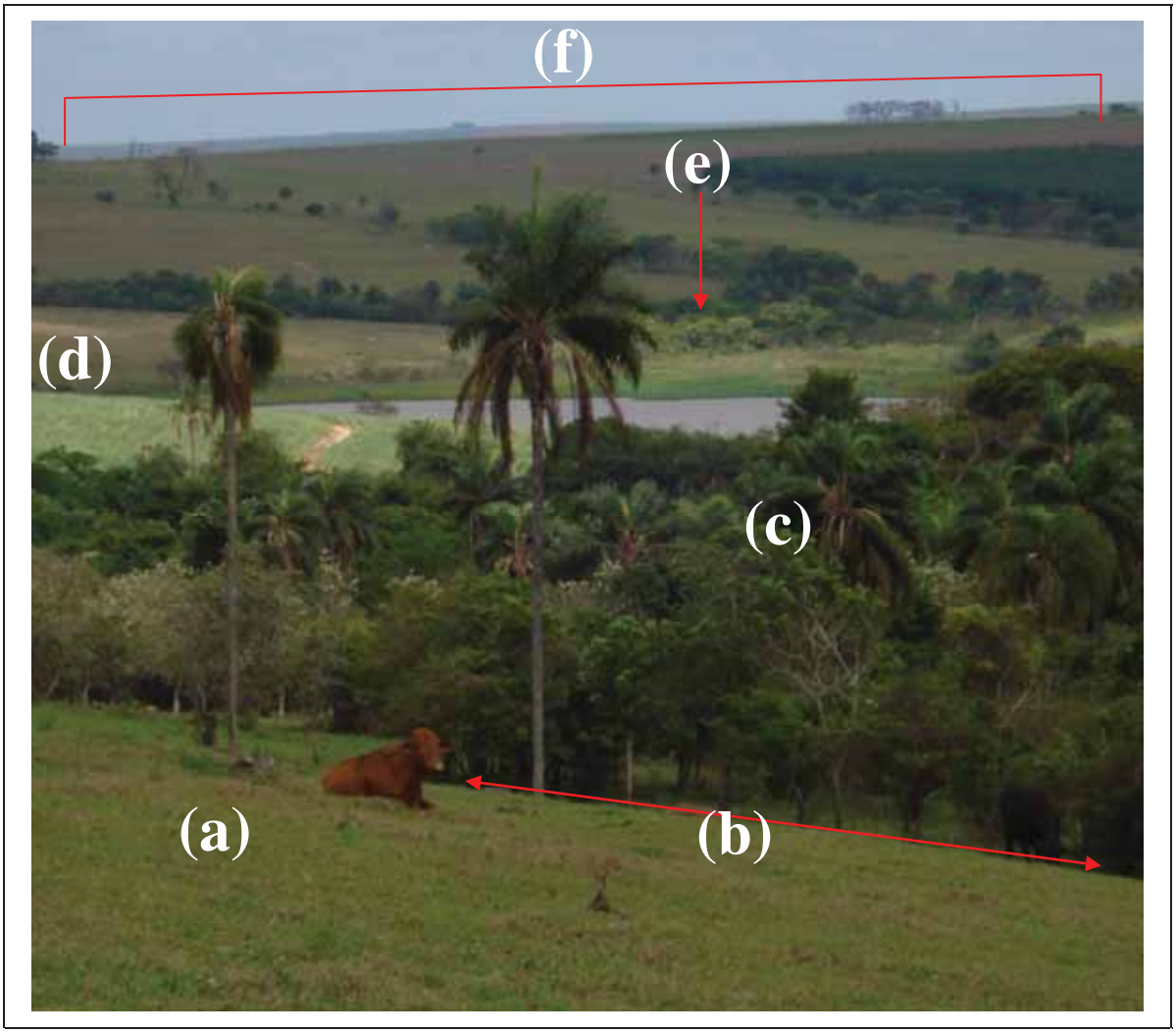


Figura 15: Características morfohidrográficas e do uso da terra em área de abrangência da amostra 1 na bacia do ribeirão Bonito:
(a) área de pastagem situada em superfície com declividade de 3-6%; **(b)** ruptura de declive que demarca o contato entre diferentes declividades; **(c)** usos florestais em área de aumento da densidade de rios; **(d)** cana-de-açúcar cultivada às margens do reservatório de Barra Bonita; **(e)** foz do ribeirão Bonito afogada pela lâmina de água do reservatório de Barra Bonita, com destaque para a vegetação de campo úmido no entorno da área inundada e **(f)** características da margem direita, no baixo curso da bacia do ribeirão Bonito. **Fonte:** Arquivo pessoal.

Na **amostra circular 2** (A2 – Anexo 21) a diminuição das densidades de rios e de drenagem foi acompanhada de um importante processo de retração de feições de origem denudativa e de alterações expressivas na dinâmica de ocupação e uso das terras que viabilizaram estas transformações.

No cenário de 1962 foram identificadas três ocorrências de voçorocamento na área de abrangência da amostra 3 (Anexo 19). Neste mesmo ano a existência de faixas de pasto sujo e mata nos taludes e no fundo destas feições sinalizavam uma possível contenção do processo de perda de material (Anexo 18). Nas margens das voçorocas foram identificadas 10

das 12 linhas de sulco erosivo existentes na amostra 2, localizadas sobre áreas de pasto limpo. Tal situação indica, por outro lado, uma dinâmica intensa nas bordas do voçorocamento com tendência à sua evolução.

Em 1972, a expansão de culturas alimentares sobre áreas de pasto limpo e florestal, contribuiu para a diminuição do comprimento dos canais principais e na redução do número de canais de primeira ordem. Os processos de voçorocamento se encontravam contidos e ocupados por fundos de vale com seção transversal extremamente encaixada. Extensões de uso florestal ocupavam a porção leste da amostra 2, na conexão dos dois principais canais fluviais da área (Anexo 18).

No cenário mais atual (2007) verifica-se o crescimento de áreas de cana-de-açúcar e silvicultura, bem como a evolução do pasto sujo em áreas agrícolas abandonadas. Mesmo sob situação geral de diminuição das densidades de rios e de drenagem na amostra 2, de 1972 para 2007 houve um aumento nestes índices, sugerindo um processo de reajuste da rede de drenagem as mudanças no uso da terra, bem como ao nível de base local.

Todos os canais são margeados por vegetação ciliar e o contato destas com as lavouras de cana-de-açúcar ocorre a partir de rupturas no declive. Estas últimas formas de origem denudativa citadas tiveram um crescimento de 1,78 km para 7,8 km ao longo do período avaliado e abrangem, no cenário atual, as linhas de quebra de declive referentes às bordas dos antigos voçorocamentos.

A **amostra circular 3** (A3 – Anexo 21) indica as reduções expressivas nas densidades de rios e de drenagem, vinculadas à evolução das lavouras de cana-de-açúcar. Em 1962 predominavam usos florestais, pasto sujo e campo úmido – este último ocupando a extensão da planície aluvial do ribeirão Bonito na transição da baixa com a média bacia. Em 1972 as transformações na rede de drenagem ocorreram à medida que áreas de pastagem foram abertas sobre áreas de mata nativa que concentravam nichos de nascentes (Anexo 21).

Em 2007, as lavouras de cana provocaram uma mudança generalizada nas características de uso da terra (Figura 16). A inexistência de dados sobre o início do plantio desta monocultura não permitem inferir a respeito do tempo de permanência deste uso na área de abrangência da amostra. Entretanto, o reconhecimento das técnicas empregadas atualmente no manejo deste cultivo agrícola ocasionou uma maior alteração na morfohidrografia da área a partir do soterramento de canais fluviais e mudanças nas características das concavidades das vertentes.

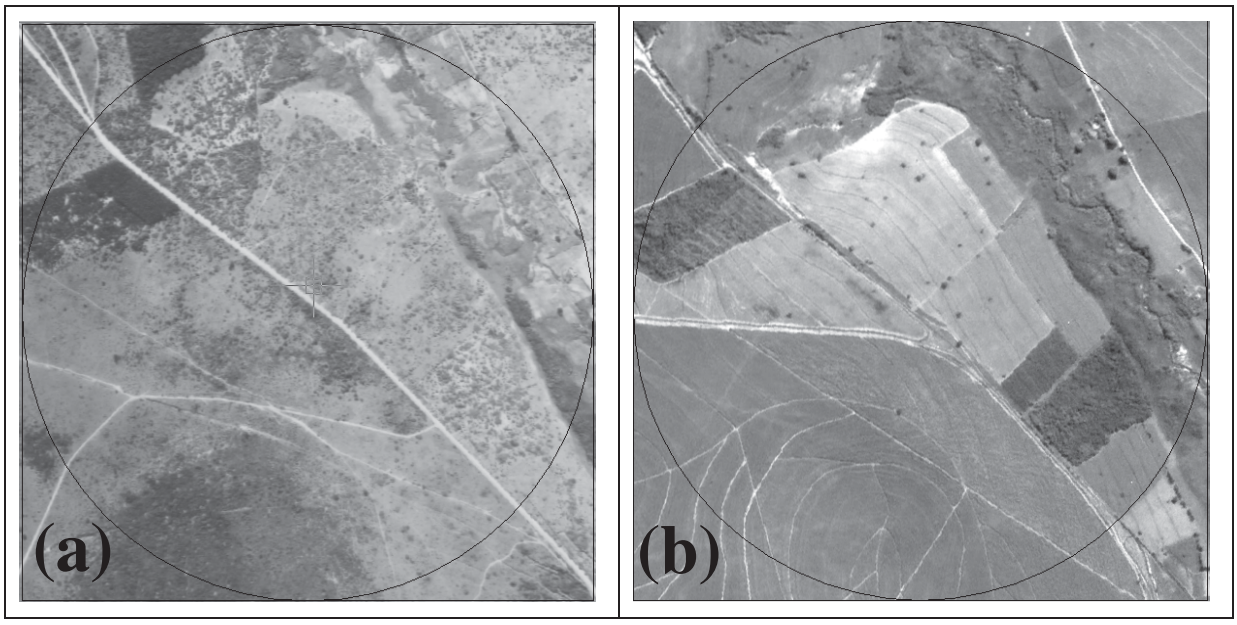


Figura 16: Aspectos da evolução das lavouras de cana-de-açúcar em área de abrangência da amostra 3: **(a)** no ano de 1962 e **(b)** no ano de 2007.

Houve um aumento nas linhas que demarcam rupturas de declive, sobretudo no contato entre as áreas de cultivo de cana com a planície aluvial coberta por campos úmidos (Anexo 19). As rupturas topográficas também predominam nas margens do único canal fluvial de primeira ordem evidente na amostra 3 em 2007. Dois ravinamentos também foram identificados nas margens deste canal fluvial (Anexo 19).

A área de abrangência da **amostra circular 4** (A4 – Anexo 21) apresentou um ligeiro aumento das densidades de rios e de drenagem. Contudo, houve uma alteração maior no comprimento dos canais fluviais. De forma geral, os rios situados nos principais compartimentos de fundo de vale mantiveram-se margeados por usos florestais ou então pastos sujos (Anexo 21).

Em 2007, a dinâmica de uso da terra aponta para a expansão significativa das áreas de silvicultura e cana-de-açúcar nas vertentes e compartimentos de topo. Os canais fluviais da porção sul da amostra 4, que apresentaram aumento de comprimento no ano de 1972 diminuíram de extensão (Anexo 21). As características das concavidades das vertentes foram alteradas pelas áreas de cultivo de cana e pelas glebas de silvicultura, que também lançaram mão de alterações na morfologia para a expansão das áreas de cultivo.

Estas transformações no uso da terra contribuíram para as alterações na dimensão dos canais fluviais, em conjunto com as mudanças temporais ocorridas no nível de base da bacia do ribeirão Bonito. Este segundo argumento encontra respaldo na análise do mapa geomorfológico da bacia no ano de 2007, para a área de abrangência da amostra 4 (Anexo

19). À jusante do canal principal, verificado na amostra 4, ocorreu a ampliação de uma área de aluviões que se conecta com os depósitos de origem fluvial no baixo curso do ribeirão. Este aumento indica a dinamização dos processos de deposição desencadeados pela elevação do nível de base.

Na **amostra circular 5** (A5 – Anexo 21) houve uma redução de 100% nas densidades de rios e de drenagem conforme verificado nos mapas geomorfológicos para a área de abrangência da referida amostra (Anexo 19). Os canais fluviais identificados em 1962 consistiam em pequenos filetes de água organizados em compartimentos de fundo de vale margeados por uma faixa restrita de pasto sujo. No entorno, práticas agrícolas voltadas às culturas alimentares eram desenvolvidas. A conversão destas áreas agrícolas em zonas de pastagem, no cenário de 1972, ocasionou uma transformação nas características de rede de drenagem da área com a ampliação de alguns segmentos fluviais e extinção de outros menores de primeira ordem.

Em 2007 existem dois usos que predominam na área de abrangência da amostra 5: cana-de-açúcar e silvicultura. A análise da Figura 17 evidencia as alterações morfohidrográficas significativas desencadeadas pela evolução das lavouras de cana nesta porção da bacia.

Houve o seccionamento das vertentes a partir da construção de terraços agrícolas. As estradas no interior das lavouras de cana-de-açúcar seguem o sentido dos terraços e também foram construídas nos compartimentos de fundo de vale, causando o aterramento dos canais fluviais principais.

Nas encostas a ampliação da área destinada ao cultivo de cana causou o soterramento dos canais fluviais. A análise do mapa geomorfológico do ano de 2007 voltada para a área da amostra 5 revela que as linhas de canais fluviais foram transformadas em canais pluviais, mantendo, no entanto, as características gerais das concavidades de vertente (Anexo 19).

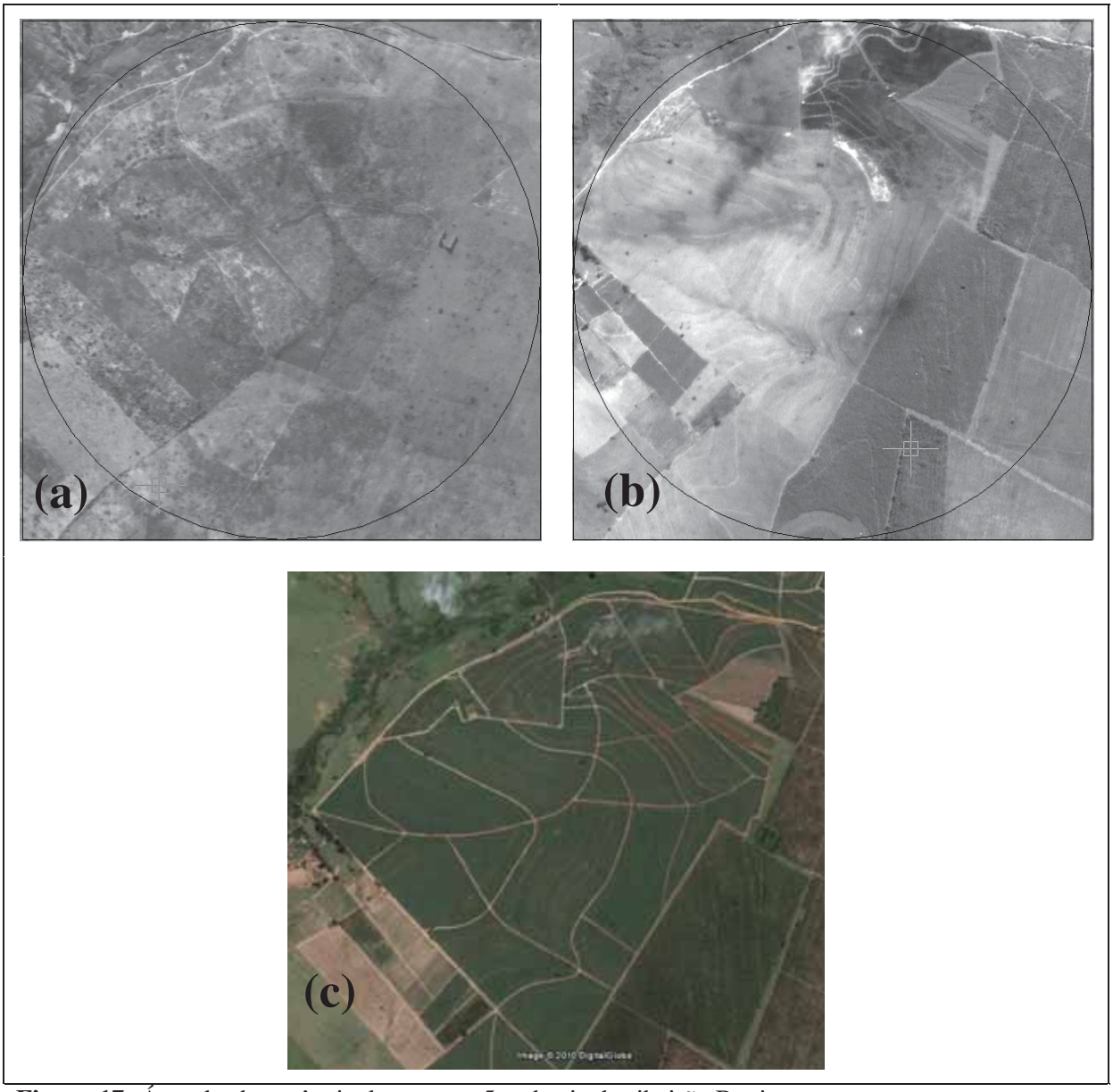


Figura 17: Área de abrangência da amostra 5 na bacia do ribeirão Bonito:
(a) cenário de 1962, existência de canais fluviais margeados por faixa estreita de pasto sujo; **(b)** cenário de 2007 com predomínio das lavouras de cana-de-açúcar e de silvicultura com alteração das concavidades de vertente e organização de canais pluviais com soterramento dos canais fluviais; **(c)** imagem do Google Earth com aspectos do uso da terra na área para o ano de 2010.

A **amostra circular 6** (A6 – Anexo 21) apresentou um aumento nas densidades de rios e de drenagem derivadas, sobretudo, da evolução dos voçorocamentos. Estas feições foram verificadas nos três mapeamentos geomorfológicos realizados (Anexo 19). Entretanto, de 1972 para 2007, houve um alargamento das linhas de voçorocamento existentes, assim como a incisão de novas linhas que deram origem a um nicho de canais de primeira ordem (Figura 18).

Figura 18: Aspectos da área de intenso voçorocamento na amostra 6:

(a) características da incisão das frentes de voçorocamento sobre áreas ocupadas por pastos sujos em associação com pastos limpos; **(b)** sulcos erosivos e ravinamentos nas margens do voçorocamento indicando possíveis tendências a evolução do processo erosivo acelerado; **(c)** área de acumulação de sedimentos derivados do intenso voçorocamento e características do duto que intercepta o canal fluvial, contribuindo para a deposição do material. **Fonte:** Arquivo pessoal.

Atualmente, os antigos trechos de voçorocamento (Anexo 19) encontram-se contidos pela manutenção de usos florestais e pastos sujos (Figura 18(A)). Houve a evolução deste processo à montante, onde as superfícies são cobertas por mescla de pasto sujo e pasto limpo. Nos prolongamentos das incisões formadas pela voçoroca, sulcos erosivos se organizam e se ampliam com tendência ao desenvolvimento de ravinas (Figura 18(B)).

A dinamização dos processos de remoção e transporte do material desencadeados pelo voçorocamento teve repercussão direta à jusante, onde o canal principal foi interceptado por um duto que condiciona o escoamento. Uma extensa área de depósitos aluviais se formou em virtude da diminuição na velocidade do escoamento provocada pela construção do duto. Sobre estes depósitos passaram a evoluir coberturas vegetais caracterizadas por campos úmidos (Figuras 18(C); Anexo 21).

Nesta amostra a evolução das áreas de cana-de-açúcar ocorreu sobre superfícies com declividades suaves e teve pouca relação com as alterações morfohidrográficas ocorridas.

Na **amostra circular 7** (A7 – Anexo 21) as densidades de rios e de drenagem diminuíram durante o período analisado tendo ocorrido um aumento destes índices no cenário de 1972. A dinâmica de uso da terra na área de abrangência desta amostra indica a preservação dos usos florestal, pasto sujo e campo úmido nos compartimentos de fundo de vale. Muito embora a evolução de um em detrimento do outro tenha ocorrido, os canais fluviais principais e de primeira ordem sempre estiveram margeados por coberturas vegetais.

O fato que pode estar atrelado ao aumento das densidades de rios e de drenagem na amostra 7, para o cenário de 1972, é a diminuição das áreas de culturas alimentares – que efetivavam maior interferência nas superfícies – e a ampliação de áreas de pasto limpo – seja pelo abandono das áreas agrícolas ou para serem utilizadas na criação de gado. Estas últimas, apesar de serem intensamente utilizadas no pastoreio, promoveram menores transformações vinculadas a colheitas e preparo do solo para plantio, além de manterem uma camada permanente no solo.

Em 2007, as áreas de cana-de-açúcar ocupavam significativas extensões da área de abrangência da amostra 7 (Anexo 21). A evolução deste tipo de cultura ocorreu predominantemente sobre morfologias mais suaves, com declividades menores, sendo interrompida por rupturas de declive que demarcam a conexão das vertentes com os compartimentos de fundo de vale. Esta conjuntura explica a manutenção das coberturas vegetais florestais, pasto sujo e campos úmidos junto aos canais fluviais da área.

As principais mudanças na rede de drenagem ocorreram onde houve expansão das áreas de cana-de-açúcar e este processo encontra-se atrelado às já mencionadas intervenções

que as técnicas de cultivo deste gênero agrícola lançam mão. Além do mais, não existem dados que possibilitem a compreensão do tempo de existência destas áreas de cana, uma vez que a atividade prolongada também surte alterações significativas na morfodinâmica local.

Considerações sobre o setor da média e baixa bacia: os resultados obtidos a partir da aplicação das amostras circulares indicam uma frequência maior de amostras com diminuição na densidade de rios no setor da média e baixa bacia do ribeirão Bonito, ao longo do período analisado. A média das amostras inseridas na baixa bacia também indica que a densidade de drenagem apresentou uma diminuição neste setor. As médias das densidades de rios e de drenagem nas amostras circulares para o setor em questão estiveram sempre abaixo do índice verificado para a área da bacia.

A evolução das lavouras de cana-de-açúcar possui relação direta com alterações morfohidrográficas verificadas, sobretudo na completa transformação de canais de primeira ordem, por meio do soterramento dos fundos de vale e na redução dos sulcos erosivos. Em geral a expansão da cana na área das amostras ultrapassou 50%, considerando-se o primeiro e o último cenário.

As mudanças na paisagem efetivadas pela expansão das lavouras de cana-de-açúcar foram muito significativas e precisam ser especificamente estudadas a fim de que sejam compreendidos os processos de soterramento dos compartimentos de fundo de vale e das nascentes. Esta compreensão deve ocorrer como forma de auxiliar no planejamento do uso da terra na baixa bacia, visando o mínimo impacto à dinâmica fluvial que já foi significativamente alterada pelas transformações no nível de base.

5.2.2.2 Setor do *front* cuestiforme e dos patamares estruturais

Este setor abrange uma área de 20,49 km². Nele foram distribuídas três amostras circulares (A8, A9 e A10), representadas na Figura 14.

A **amostra circular 8** (A8 – Anexo 21), apresenta uma redução nas densidades de rios e de drenagem. No entanto, a dinâmica de ocupação e uso das terras nesta amostra é caracterizada pela evolução e manutenção de áreas florestais especialmente nas superfícies com maior inclinação, relativas às partes mais altas dos depósitos de tálus, em contato com a cornija.

No cenário de 1972 houve um aumento na densidade de drenagem da amostra 8. Como não ocorreu aumento no número de canais de primeira ordem, esta alteração possivelmente encontra-se atrelada a situações de erosão regressiva condicionadas pela busca

no restabelecimento do equilíbrio da rede fluvial após as alterações efetivadas no nível de base da bacia.

Outra evidência de eventos de erosão regressiva que podem ter se manifestado na área de abrangência da amostra 8 diz respeito ao aumento nas linhas que demarcam as rupturas topográficas (de 4,53 km para 13,24 km) e sua localização predominante na área de baixa vertente, indicando que situações de incisão de talvegue estão em curso. Verificou-se também um maior escalonamento das vertentes em função do aumento destas linhas de ruptura de declive.

No cenário de 1972 foi constatada a ocorrência de uma voçoroca na área da amostra 8, sendo que esta feição erosiva mantêm-se no cenário atual (Anexo 19). O aumento dos colos, embora pouco expressivo, indica a aproximação de canais de primeira ordem em área de topo com seccionamento das linhas de cumeada e gradual rebaixamento das superfícies.

A **amostra circular 9** (A9 – Anexo 21) é a única referente ao setor do *front* cuestiforme e dos patamares estruturais que apresentou aumento nas densidades de rios e de drenagem ao longo da série analisada. O crescimento do número de canais de primeira ordem se deu principalmente nas superfícies de maior declive dos depósitos de tálus. Nestas áreas predominou a evolução de usos florestais que atuam na preservação dos nichos de nascentes.

Cabe destacar que a amostra 8 localiza-se muito próxima do divisor de águas leste da bacia do ribeirão Bonito (Anexos 19 e 21). Assim, a permanência de usos florestais, associada à localização da amostra em área de contato de litologias das Formações Botucatu e Serra Geral, bem como sua proximidade com os limites da bacia de drenagem podem ter relações com o aumento dos índices de densidade de rios e de drenagem, pois, todos estes fatores colaboram na capacidade da bacia em gerar novos canais fluviais.

A proximidade da linha de cuesta com o divisor de águas da bacia limita o espaço de organização dos canais fluviais na estreita faixa de reverso cuestiforme. As diferenciações litológicas originam ressaltos topográficos caracterizados por elevadas declividades onde ocorre a ruptura na continuidade do lençol freático, efetivando sua exposição à superfície. Assim, apesar de algumas nascentes localizarem-se acima da linha de cuesta, a maior parte dos canais fluviais tem início na área do *front* cuestiforme.

A **amostra circular 10** (A10 – Anexo 21) abrange o divisor de águas de duas sub-bacias localizadas nas áreas festonadas do *front* cuestifome (Anexo 21). Nesta área houve uma sensível diminuição na densidade de rios e um aumento na densidade de drenagem. Na porção central da amostra é possível verificar uma aproximação dos canais fluviais de primeira ordem junto às áreas mais elevadas do esporão que caracteriza o divisor de águas.

Apesar de pertencerem à mesma bacia hidrográfica, verifica-se uma diferença na organização hidrográfica das redes de drenagem das duas sub-bacias: à oeste uma rede de canais com mais ramificações (onde predominam declividades mais acentuados) e à leste um paralelismo dos canais fluviais - declives mais suaves (Anexo 21).

A extensão do front cuestiforme e dos patamares estruturais na área da amostra 10 apresentou uma dinâmica de ocupação e uso das terras vinculada à associação entre faixas de mata e pasto sujo. Os compartimentos de fundo de vale dos canais principais também mantiveram, em geral, os usos florestais. Esta condição contribui para a manutenção do equilíbrio da dinâmica fluvial e pode estar vinculada à baixa redução no número de canais de primeira ordem bem como no aumento da densidade de drenagem.

Na porção sul da amostra 10 ocorreu a retração de alguns canais fluviais. Na área em questão houve o avanço de áreas de cana-de-açúcar, que podem ter alguma interferência neste processo. No entanto, no cenário de 1972, esta área já era ocupada por práticas agrícolas, que também interferem nas condições morfohidrográficas e podem ter conduzido à situação verificada no cenário atual (2007).

Considerações para o setor do front cuestiforme e dos patamares estruturais: Embora a dinâmica de ocupação e uso das terras aponte para a preservação das coberturas vegetais e avanço pouco pronunciado de usos agrícolas, as amostras circulares distribuídas pelo SFCPE diagnosticam diferentes conjunturas, pois evidenciam as alterações ocorridas na rede de drenagem de três sub-bacias com características distintas.

À montante da amostra 8 a dinâmica de uso das terras mostra uma predominância de áreas de pasto limpo e silvicultura. Os terrenos à montante da amostra 9 são muito estreitos, dada a proximidade com o divisor de águas da bacia do ribeirão Bonito, e comportam pequenas extensões de cana-de-açúcar. Já à montante da amostra 10, ocorreu uma evolução significativa das áreas de cana-de-açúcar (Anexo 18).

Estas diferenças na dinâmica de ocupação e uso das terras tem relação com as conjunturas verificadas para cada uma das amostras, uma vez que mudanças na dinâmica de escoamento superficial e subsuperficial nas nascentes da bacia, localizadas no reverso cuestiforme, interferem na dinâmica dos canais fluviais localizados à jusante.

De forma geral, os resultados obtidos a partir da aplicação das amostras circulares evidenciaram uma manutenção na densidade de rios no setor do *front* cuestiforme e patamares estruturais, bem como uma pequena diminuição na densidade de drenagem. Entretanto, estes dois índices mantiveram-se muito acima dos mesmos valores verificados para toda a área da bacia do ribeirão Bonito. Tal situação de equilíbrio deve ser mantida a partir da preservação

rigorosa das áreas de mata nativa e de políticas que restrinjam a expansão de lavouras de cana-de-açúcar na área a fim de evitar interferências na dinâmica fluvial.

5.2.2.3 Setor do reverso cuestiforme

O setor do reverso cuestiforme abrange uma área de 12,71 km². No setor em questão foram distribuídas 2 amostras circulares (A11 e A12), representadas na Figura 33.

Na **amostra circular 11** (A11 – Anexo 21), houve uma diminuição no número de canais de primeira ordem, bem como redução no índice de densidade de drenagem. A expansão da cana-de-açúcar nesta amostra ultrapassa os 85% (Anexo 21) e contribuiu de forma efetiva para as transformações ocorridas na rede de drenagem.

Os compartimentos de fundo de vale que apresentaram as menores alterações no comprimento dos cursos de água e no número de canais de primeira ordem estiveram, em todos os cenários, margeados por usos florestais ou pasto sujo (Anexo 21).

A predominância de declividades suaves, situadas entre 6-12% contribuiu para o avanço das lavouras de cana. As transformações morfohidrográficas decorrentes do plantio desta monocultura envolveram o soterramento de nascentes e construção de curvas de nível passando pelas concavidades de vertente com consequente transformação das linhas de escoamento pluvial (Anexos 18, 19 e 21).

O aumento na extensão das linhas de ruptura topográfica (de 7,11 km para 8,07 km) foi verificado, sobretudo nas baixas vertentes (Anexo 19). Esta quebra na inclinação das rampas pode ter sido efetivada pela abertura de áreas de cultivo de cana, pois as técnicas de preparo das lavouras lançam mão de aterramentos para a abertura de novas superfícies de plantio, causando rupturas significativas na conexão das vertentes com os fundos de vale.

Na amostra em questão houve ainda um aumento no número de corpos de água artificiais que interceptaram os principais canais fluviais. Estes açudes, em associação com as áreas de cana-de-açúcar, podem ter contribuído para as alterações na dinâmica fluvial verificadas na área.

Na **amostra circular 12** (A12 – Anexo 21) houve uma diminuição das densidades de rios e de drenagem com pequeno aumento do último índice no cenário de 1972. A área da amostra, bem como em toda porção oeste do setor do reverso cuestiforme, foi palco de uma dinâmica de uso das terras onde as superfícies de pasto limpo e de culturas alimentares foram substituídas pela silvicultura.

Contudo, as transformações mais significativas na rede de drenagem ocorreram na porção norte da amostra, em área de expansão da cana-de-açúcar, onde houve uma diminuição dos canais de primeira ordem.

A expansão das áreas de silvicultura pode estar atrelada, entretanto, à diminuição ou descaracterização das linhas de ruptura topográfica, que diminuíram de 11,82 km para 8,75 km. As técnicas vinculadas ao plantio de árvores para a silvicultura também promovem a alteração das propriedades das vertentes, a partir do escalonamento das rampas por curvas de nível e homogeneização das superfícies a partir de aramentos realizados em períodos de colheita e plantio.

Considerações sobre o setor do reverso cuestiforme: o avanço significativo de dois usos da terra: cana-de-açúcar e silvicultura, que envolvem técnicas de cultivo com expressiva intervenção na morfohidrografia podem comprometer as características da morfohidrodinâmica das nascentes da bacia do ribeirão Bonito.

A média das amostras indica uma diminuição nas densidades de rios e de drenagem do setor, ou seja, existe uma diminuição na capacidade de geração de canais de primeira ordem em uma área que deveria concentrar nichos de nascentes. De forma geral, a média dos índices descritos manteve-se abaixo dos valores verificados para a bacia do ribeirão Bonito em todos os cenários analisados.

As alterações morfohidrográficas no setor do reverso cuestiforme podem ter vínculo com as transformações no nível de base da bacia do ribeirão Bonito. Entretanto, a existência do *front* cuestiforme, atuando como quebra na continuidade do lençol freático e dos mecanismos de retroalimentação promovidos pelo afogamento do nível de base na bacia, permite inferir que as retrações nos índices de densidade de rios e de drenagem estejam mais atreladas à dinâmica de ocupação e uso das terras ocorrida no setor do reverso e que, portanto, práticas de conservação de concavidades de vertentes, bem como dos canais fluviais existentes devem ser assumidas para a preservação das características morfohidrográficas da bacia.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise dos resultados obtidos a partir dos procedimentos metodológicos adotados permitiu o estabelecimento de algumas considerações finais, inerentes à tese e aos objetivos propostos, bem como para as hipóteses lançadas para essa pesquisa.

O objetivo geral da pesquisa pôde ser atingido: o setor de fundo de vale do baixo curso do Rio Piracicaba e as bacias hidrográficas dos ribeirões Samambaia e Bonito foram submetidas a alterações nas feições morfohidrograficas ao longo dos 45 anos que compreendem o período de análise desta pesquisa, conforme constatado a partir da avaliação dos dados obtidos e mapeamentos onde foram identificadas alterações diretas e indiretas sobre os elementos morfohidrográficos.

No setor de fundo de vale, as alterações na morfohidrografia possuem relação direta com a construção do reservatório de Barra Bonita, que transformou a paisagem da área, a partir do alagamento de uma ampla planície aluvial localizada às margens do curso final do Rio Piracicaba. Ao longo destes aluviões, feições típicas de ambientes fluviais meandrantes, que revelavam um histórico de processos geomorfológicos foram submersos a partir da elevação do nível de base regional. Esta situação desencadeou a organização de uma morfohidrodinâmica antropogênica, controlada por mecanismos de intervenção antrópica. Feições antropogênicas também se originaram a partir das transformações ocorridas após o barramento.

Nas bacias hidrográficas dos ribeirões Samambaia e Bonito, as alterações morfohidrográficas verificadas possuem caráter mais complexo em função da relação de diferentes fatores que atuaram de forma direta e indireta na transformação das morfologias originais e na evolução do relevo antropogênico.

No que tange as hipóteses lançadas a fim de orientar a pesquisa e legitimar a tese proposta, também cabem algumas considerações, que serão realizadas a partir da análise de cada uma das hipóteses, apresentadas em destaque a seguir.

- Bacias Hidrográficas sob influência de níveis de base artificiais, como no caso do reservatório de Barra Bonita, tendem a reativação do entalhamento fluvial, ocasionando a aceleração dos processos erosivos e de sedimentação, assim como o consequente reajustamento das vertentes às novas condições estabelecidas;

- A alteração no nível de base local conduz a reajustes fluviais que desencadeiam o aumento da densidade de drenagem e da densidade de rios, como fruto do processo de reativação fluvial;

Hipóteses parcialmente comprovadas: A situação verificada para as bacias experimentais selecionadas indica níveis de complexidade maiores do que aqueles propostos nas duas primeiras hipóteses levantadas. Isso porque as relações entre os elementos físico-ambientais e socioeconômicos tornaram imbricado o reajuste e funcionamento dos sistemas fluviais em questão, diante das alterações desencadeadas. Assim, as hipóteses levantadas só podem ser admitidas diante das seguintes considerações:

O aumento na densidade de rios e de drenagem foi verificado na bacia do ribeirão Samambaia, que não teve a foz e baixo curso alagados, mas possui morfodinâmica influenciada pela oscilação sazonal no nível da lâmina de água do reservatório de Barra Bonita.

Nesta bacia hidrográfica, a dinâmica de ocupação e uso das terras foi marcada pelo aumento das áreas de cana-de-açúcar e da estrutura urbana de São Pedro. Assim, a expansão destes usos pode ter um maior vínculo com as alterações verificadas nas feições do relevo do que os processos decorrentes da reativação fluvial, atrelados ao aumento no número de canais de primeira ordem e na densidade de drenagem.

As vertentes da bacia do ribeirão Samambaia não se reajustaram exclusivamente em função das novas condições da dinâmica fluvial, mas passaram por alterações no que tange a suavização de rupturas topográficas, a camuflagem de feições erosivas lineares localizadas (sulcos e ravinas), bem como transformações significativas no escoamento superficial e

subsuperficial a partir da impermeabilização das superfícies, que causaram distúrbios nos processos erosivos com possíveis reflexos nas taxas de sedimentação.

Conjugado a todos estes mecanismos de controle antropogênicos encontram-se as características morfotectônicas da bacia do ribeirão Samambaia, que também precisam ser consideradas diante das hipóteses em questão. Facincani (2000) em análise realizada nas regiões de Rio Claro, São Carlos e Piracicaba, diagnosticou a ocorrência de descontinuidades e conjuntos de falhas que controlam a rede de drenagem e as formas do relevo da região.

Estas feições, identificadas na área da bacia do ribeirão Samambaia a partir de lineamentos, cotovelos de drenagem e segmentos retilíneos de canais fluviais, podem ter atuado de forma efetiva para a ocorrência de reajustes da dinâmica fluvial, desencadeando alterações nos índices de densidade de rios e de drenagem que desempenham importante papel nas retomadas erosivas envolvidas na organização de feições de origem denudativa e no desenvolvimento do relevo da área.

Na bacia do ribeirão Bonito, que teve sua foz e baixo curso afogados pelo reservatório de Barra Bonita, houve uma diminuição nos índices de densidade de rios e de drenagem. Esta característica estaria teoricamente de acordo com as considerações realizadas por Makkaveyev (1972) e Cunha (2001) no que se refere ao aumento nos processos de sedimentação em sistemas afetados pela elevação do nível de base, com consequente redução da capacidade de geração de canais de primeira ordem.

Entretanto, a dinâmica de ocupação e uso das terras nesta bacia foi caracterizada pela expansão significativa das lavouras de cana-de-açúcar que atuou fortemente na descaracterização dos elementos morfohidrográficos, contribuindo para a diminuição dos canais de primeira ordem a partir do aterramento das concavidades de vertentes e da redução gradual das áreas florestais para a ampliação do plantio de cana.

Tem-se assim uma situação na qual a elevação do nível de base da bacia do ribeirão Bonito pode ter exercido papel na redução das densidades de rios e de drenagem. Contudo, as drásticas alterações ocorridas na dinâmica de ocupação e uso das terras conduziram à transformação deste processo, fazendo com que sua ocorrência ao longo de tempo histórico fosse acelerada.

- A significativa ação dos mecanismos antrópicos sobre a dinâmica geomorfológica faz com que terrenos teoricamente não suscetíveis à erosão intensa, devido a aspectos da geometria do relevo como a declividade e as densidades de drenagem e de rios, venham a sofrer tais processos;

Hipótese comprovada: Conforme constatado nas duas bacias hidrográficas, a dinâmica de ocupação e uso das terras atuou na descaracterização dos atributos morfohidrográficos interferindo nos processos geomorfológicos inclusive em áreas teoricamente sem predisposição à ocorrência destes fenômenos.

A evolução das lavouras de cana-de-açúcar sobre áreas de pasto limpo e pasto sujo, por exemplo, ocorreu predominantemente sobre vertentes com inclinação situadas entre >3% e 20%. Nestas áreas, as práticas agrícolas envolvidas no preparo do solo, cultivo e colheita da cana, viabilizaram o desenvolvimento de formas de origem denudativa que comprometem o equilíbrio dos processos erosivos e das taxas de sedimentação.

No que tange as características de densidade de rios e de drenagem levantadas pela hipótese, a análise das amostras inseridas nas bacias hidrográficas sugere maior complexidade, pois se constatou a ocorrência de áreas com aumento no número de canais de primeira ordem acompanhado da evolução de linhas de rupturas de declive nas margens destes canais, indicando possíveis retomadas erosivas e dinamização dos processos denudativos.

Em outros casos, o aumento dos canais de primeira ordem não foi acompanhado do desenvolvimento de feições de origem denudativa, principalmente em função das características do uso da terra, como no caso de áreas de cana-de-açúcar ou das estruturas urbanas. Isto porque estes usos alteram as formas existentes e atuam ainda como barreira à evolução de feições vinculadas à denudação intensa, como por exemplo: suavização e anulamento das linhas de rupturas de declive e a camuflagem de sulcos erosivos e ravinamentos.

Isso significa que, apesar de em alguns casos os mecanismos antrópicos atuarem efetivamente no desencadeamento de feições de origem denudativa, em outros, a ocorrência de eventos de retomadas erosivas e dinamização da morfogênese derivadas das alterações no nível de base são contidos a partir das técnicas agrícolas utilizadas ou então pela efetiva transformação e impermeabilização das superfícies causada pelas estruturas urbanas.

Existe ainda o caso dos setores de *front* cuestiforme das bacias, altamente suscetíveis à ocorrência de processos de denudação intensa em decorrência do predomínio de declividades acentuadas. Entretanto, estas mesmas características da declividade acabam impedindo o avanço das áreas agropastoris e urbanas com consequente manutenção da vegetação original e conservação do equilíbrio da morfodinâmica.

- As características da dinâmica de ocupação e uso das terras em áreas onde predominam atividades agropastoris atuam de forma decisiva na imposição de mecanismos de controle diretos e indiretos sobre as formas do relevo e sobre a rede hidrográfica, conduzindo a alterações que se irradiam a partir de mecanismos de retroalimentação, provocando a aceleração dos processos erosivos;

Hipótese parcialmente comprovada: Nas duas bacias hidrográficas a dinâmica de ocupação e uso das terras agropastoris atuou na imposição de mecanismos de alteração diretos e indiretos sobre as formas do relevo e sobre a rede hidrográfica. A cana-de-açúcar foi o uso da terra com maior destaque e apresentou evolução espacial sobre compartimentos de topo, vertentes e fundos de vale.

Cabe ressaltar que na bacia do ribeirão Samambaia a evolução da área urbanizada superou as expectativas da pesquisa e as transformações atreladas à expansão do aglomerado populacional atuaram de forma direta sobre a morfohidrografia. Estas alterações se manifestaram com maior intensidade nos processos que se desencadeiam nas vertentes, a partir de mudanças no escoamento superficial, aterramentos, cortes e impermeabilização das superfícies. Esta última impede o avanço das linhas de rupturas de declive com comprometimento do equilíbrio da evolução do relevo.

As alterações diretas e indiretas provocadas pela dinâmica dos usos agropastoris podem ter atuado não somente na aceleração dos processos erosivos, mas também na descaracterização dos mesmos, pois: (a) nas vertentes originou-se uma condição de maior exposição do manto intempérico aos agentes denudativos, com consequente desenvolvimento de feições erosivas lineares e ocorrência de erosão laminar; (b) os ciclos das lavouras de cana, ao mesmo tempo em que criam condições de estabelecimento de feições erosivas lineares (período de solo exposto), também competem para a camuflagem e extinção de algumas formas de origem denudativa, a partir de técnicas de revolvimento do solo, manutenção das curvas de nível e aragem; (c) nos fundos de vale e nas concavidades de vertentes, os contínuos soterramentos para a abertura de novas áreas de plantio de cana-de-açúcar determinaram a extinção de canais fluviais de primeira ordem e de linhas de escoamento dos canais pluviais, interferindo de forma significativa no transporte de água e sedimentos com consequente transformação da dinâmica de sedimentação.

- Tanto a alteração do nível de base, ocasionada pelo barramento, como a evolução do uso da terra em áreas com predomínio de usos da terra voltados às

atividades agropastoris, contribuem diretamente para a criação de formas de relevo antropogênicas que dinamizam os processos geomorfológicos.

Hipótese comprovada: Quando os sistemas morfohidrográficos passam a evoluir sob orientação de mecanismos de interferência antrópica, os processos modeladores tendem a respeitar uma lógica temporo-espacial diferenciada. Diante desta conjuntura, feições do relevo antropogênicas podem se desenvolver em função da reorganização da morfodinâmica, acarretando na alteração dos processos erosivos.

No setor de fundo de vale as seguintes constatações podem exemplificar a situação descrita:

(1) a elevação do nível de base desencadeou a organização de um sistema de lagoas nas áreas mais rebaixadas da planície aluvial no período pós-barramento;

(2) a ampliação das áreas de planície aluvial soterrou superfícies de terraço fluvial, alterando a ordem dos processos geomorfológicos, uma vez que existe uma tendência à organização de diferentes níveis de terraço ao longo do desenvolvimento dos canais de drenagem. No cenário de 2007, entretanto, o reaparecimento dos terraços fluviais indica uma reorganização do sistema fluvial e o possível retorno às condições de reativação erosiva dos canais de drenagem, com formação de novos terraços;

(3) a elevação da lâmina de água do Rio Piracicaba descaracterizou as barras de meandro a partir do alagamento das faixas depressivas localizadas entre os cordões de deposição e;

(4) a ampliação dos depósitos aluviais na foz do Rio Piracicaba com o reservatório de Barra Bonita ocorreu após a reorganização da morfodinâmica às condições de controle impostas e, portanto podem ser considerados como feições antropogênicas, ou seja, desenvolvidas em um período de tempo no qual o sistema em questão encontra-se regulado pela imposição de um novo nível de base e por usos da terra que atuam na dinamização dos processos erosivos.

Já nas bacias hidrográficas, as seguintes constatações podem caracterizar situações de evolução de feições antropogênicas:

(1) a capacidade que a dinâmica de ocupação e uso das terras possui em interferir na localização e intensidade de feições de origem denudativa, como no caso dos sulcos erosivos, pois, ao mesmo tempo em que a ocupação e o uso das terras contribuem para a ocorrência dos mesmos (exposição do manto intempérico aos agentes erosivos), competem na camuflagem e descaracterização destas linhas de erosão acelerada a depender do estágio de desenvolvimento das lavouras;

(2) a alteração no escoamento superficial provocado pelas lavouras de cana-de-açúcar a partir da imposição de terraços agrícolas, secciona as vertentes e atua na contenção da água das chuvas com decorrente mudança do sentido do escoamento superficial. Nas áreas urbanizadas, o escalonamento das vertentes a partir de aterramentos e cortes para ampliação de loteamentos e construção de estradas também atua na transformação do escoamento superficial, possibilitando a ocorrência de processos erosivos acelerados em áreas de contato entre superfícies impermeabilizadas e não impermeabilizadas.

No Anexo 22 encontra-se um quadro síntese das imbricadas relações que compõe as alterações espaço-temporais desencadeadas pela elevação do nível de base e pala dinâmica de ocupação e uso das terras, tanto no setor de fundo de vale como nas bacias hidrográficas.

- O mapeamento geomorfológico, a partir da análise temporal das alterações nas formas do relevo, e por dedução, dos processos atrelados, possibilita o reconhecimento de transformações sobre as taxas de erosão, por meio da constatação de mudanças nas feições do relevo que caracterizam maior dinâmica erosiva.

Hipótese parcialmente comprovada: Admite-se que a hipótese elaborada mostrou-se simplista diante dos dados obtidos com o desenvolvimento da pesquisa. O mapeamento geomorfológico realizado para uma série evolutiva possibilita a análise temporal das formas do relevo, e, consequentemente, de feições que demonstram maior dinâmica erosiva, fornecendo subsídios para estudos mais específicos nas áreas onde se constata a possível aceleração dos processos erosivos.

A partir do reconhecimento destas áreas podem ser realizados estudos de caráter experimental, que forneçam informações sobre as taxas de erosão e das transformações vinculadas a estes processos em determinado período de tempo. Assim, a cartografia geomorfológica propicia a obtenção de dados preliminares que dão suporte à verificação de áreas suscetíveis à ocorrência de feições erosivas localizadas, estejam elas vinculadas a ambientes com baixa intervenção antrópica ou organizadas dentro do contexto de sistemas morfohidrográficos sob forte controle antropogênico.

Ressalta-se ainda que o estudo de séries temporais é fundamental para a compreensão da evolução dos sistemas morfohidrográficos e que os mapeamentos geomorfológicos devem abranger o maior número possível de cenários, a fim de que os fenômenos possam ser constatados em uma situação de caixa cinza, ou seja, onde não ocorram imprecisões nas inferências à respeito das alterações ocorridas de um cenário para o outro ou ao longo de toda a série temporal.

Neste sentido, embora o mapeamento geomorfológico do ano de 1995 não tenha sido realizado para as bacias hidrográficas em função da inexistência de material aerofotogramétrico, acredita-se que sua inclusão poderia fornecer dados que permitiriam maiores explicações sobre a evolução nos índices de densidade de rios e de drenagem nas bacias hidrográficas e para a compreensão do comportamento das feições de origem denudativa, sobretudo da evolução e contenção dos voçorocamentos.

Mesmo não tendo constado na hipótese em pauta, as mesmas considerações podem ser realizadas para os mapas que representam a dinâmica de ocupação e uso das terras para as bacias hidrográficas. A inserção de um cenário intermediário entre os anos de 1972 e 2007 poderia ter contribuído para a compreensão da evolução das áreas de cana-de-açúcar, auxiliando na explicação a respeito do aterramento e extinção de alguns canais de primeira ordem, conforme constatado na análise das amostras circulares.

Por fim, diante das considerações realizadas sobre os objetivos e as hipóteses lançadas para a presente pesquisa, é possível confirmar a tese de que **"as formas e processos geomorfológicos são ativamente controlados pela ação antrópica em regiões que possuem sua morfohidrodinâmica fortemente influenciada pela elevação do nível de base causada pela construção de reservatórios"**. Entretanto, algumas considerações, inerentes a complexidade das relações entre a morfodinâmica e o processo de ocupação e uso das terras precisam ser destacadas:

(1) alterações de caráter direto desencadeadas pela alteração no nível de base puderam ser constatadas apenas no setor de fundo de vale, nas áreas onde houve alagamento das feições geomorfológicas organizadas na área de planície aluvial;

(2) existe uma situação na qual é difícil precisar quais alterações morfohidrográficas ocorridas nas bacias hidrográficas foram provocadas pela alteração no nível de base e quais são fruto da dinâmica de ocupação e uso das terras. A repercussão da alteração no nível de base foi acompanhada por alterações na ocupação e uso das terras que contribuíram para as transformações verificadas nos índices de densidade de rios e de drenagem e, portanto, a conjugação temporo-espacial destes fatores, atuou na organização de processos e formas antropogênicas.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AB'SABER, A.N. Regiões de circundesnudação pós-cretácea, no Planalto Brasileiro. **Boletim Paulista de Geografia.** n. 1, p. 3-21*,* 1949.

_____ . A Depressão Periférica Paulista: um setor das áreas de circundesnudação pós-cretácica da Bacia do Paraná. **Geomorfologia.** N. 15. 1969, 26p.

ABLER, R.; ADAMS, J. S.; GOULD, P. **Spatial Organization:** the geographer view of the world**.** Englewood Cliffs: Prentice-hall, 1971. 587 p.

ALMEIDA, F. F. M. **Fundamentos Geológicos do Relevo Paulista.** São Paulo: IGEOG, 1974. (Série teses e monografias).

_____ . O Planalto Basáltico da bacia do Paraná. **Boletim Paulista de Geografia.** São Paulo, n. 24, p. 1-34, 1956.

_____ . Relevo de "cuestas" na Bacia Sedimentar do Paraná. **Boletim Paulista de Geografia.** São Paulo, n. 3, p. 21-33, 1949.

ALMEIDA, F. F. M.; BARBOSA, O. **A geologia das quadrículas de Piracicaba e Rio Claro, Estado de São Paulo.** Boletim da divisão de geologia e mineralogia. Rio de Janeiro, n. 143. p. 1-96. 1953.

AMORIM, M. C. C. T; NUNES, J. O. R. Geografia e ambiente: reflexões sobre o atual momento da geografia física. **Geografia***,* Rio Claro, v. 31, n. 2, 2006. 435p.

ANDREIS, R. R.; CARVALHO, I. S. A Formação Corumbataí (Permiano Superior-Triássico Inferior, Bacia do Paraná) na Pedreira Pau Preto, Município de Taguaí, São Paulo, Brasil:

Análise Paleoambiental e das Pegadas Fósseis. **Revista Brasileira de Paleontologia.** Rio de Janeiro. V. 2. p. 33 – 46, 2001.

ARAUJO FILHO, J. R. de. O café em São Paulo. p.57-82. *In:* **Boletim Paulista de Geografia**. v. 50, mar. 1976.

ARAÚJO JR. G. J. L. D. **Aplicação dos modelos EUPS e MEUPS na bacia do Ribeirão Bonito (SP) através de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento.** 1997. 124 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 1997.

BEXTER, R. M. Environmental Effects of Dams and Impoundments. **Annual Reviews of Ecological Systems.** N. 8, 1977. (p. 255-283).

BRASIL. Ministerio das Minas e Energia. Secretaria Geral. Programa de Integração Regional. RADAMBRASIL. **Levantamento de Recursos Naturais**. Folhas SF. 23/24. Rio de Janeiro e Vitória. Rio de Janeiro, 1983. v. 32.

BRAY, S. C. A expansão da cafeicultura e o desenvolvimento da agroindústria açucareira de São Paulo. p.45-56. *In:* **Sociedade & Natureza**. v.10, n.19, 1998.

BRIGUENTI, E. C. **O Uso de Geoindicadores na Avaliação da Qualidade Ambiental da Bacia do Ribeirão Anhumas, Campinas/SP**. 2005, 179 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - IG/UNICAMP, Campinas, 2005.

BROOKES, A. Channelised Rivers: Perspectives for Environmental Management. Wiley: Chichester, 1988.

BROWN, E. H. O homem modela a Terra. Boletim Geográfico. v. 30, n. 222, 1971. (p. 1 – 18).

CAETANO-CHANG, M. R.; WU, F. T. Diagênese da Formação Pirambóia no centro-leste paulista. **Geociências.** São Paulo: Unesp. V. esp. 2003. p. 33 – 39.

CAETANO-CHANG, M.R. **A Formação Pirambóia no centro-leste do Estado de São Paulo**. Rio Claro, 1997. 196 p. Tese (Livre Docência) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.

CASSETI, V. **Ambiente e apropriação do relevo.** São Paulo:Ed. Contexto. 1991. 147 p. (Coleção Caminhos da Geografia).

____ . **Elementos de Geomorfologia.** Goiania: Editora da UFG, 1994. 137 p.

CERON, A. O.; DINIZ, J. A. F. O uso das fotografias aéreas na identificação agrícola da terra. **Revista Brasileira de Geografia**, Rio de Janeiro, v. 28, n. 2, p. 161-173, abr./jun. 1966.

COTTAS, L. R.; BARCELOS, J. H. Novas considerações sobre a geologia da região de Itaqueri da Serra – SP. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 3., Curitiba, 1981, Anais...Curitiba, Sociedade Brasileira de Geologia, 1981, v. 2, p. 70-76.

CRUTZEN, P. J. Geology of Mandkind. **Nature.** v. 415, n. 3, 2002.

CUNHA, C. M. L. **A cartografia do relevo no contexto da gestão ambiental**. 2001. 128f. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2001.

CUNHA, S. B. Geomorfologia Fluvial. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001. (p. 211-252).

CHORLEY, R. J. A geomorfologia e a teoria dos sistemas gerais. **Notícia Geomorfológica,** Campinas, v. 11, n. 21, p. 3 – 22, jun. 1971.

CHORLEY, R. J.; KENNEDY, B. A. **Physical Geography:** A Systems Approach. Londres: Prentice Hall, 1971.

CHRISTOFOLETTI, A . **Modelagem de Sistemas Ambientais.** São Paulo: Edgard Bluncher, 1999. 236 p.

_____ . **Geomorfologia**. São Paulo: Edgard Blucher, 1980.

_____ . A Teoria dos Sistemas. **Boletim de Geografia Teorética,** Rio Claro, n. 2, p. 43-60, 1971.

_____ . **Análise de Sistemas em Geografia.** São Paulo: Hucitec, 1979. 106 p.

_____ . Aplicação da abordagem em sistemas na Geografia Física. **Revista Brasileira de Geografia,** Rio de Janeiro, v. 52, n. 2, p. 21 – 35, 1990.

_____ . Aspectos da análise sistêmica em Geografia. **Geografia,** Rio Claro, v. 3, n. 6, p.1-31, out.1978.

_____ . Definição e objeto da Geografia. **Geografia,** Rio Claro, v. 8, n. 15 /16, p. 1 – 28, 1983.

_____ . Significância da teoria de sistemas em Geografia Física. **Boletim de Geografia Teorética,** Rio Claro,. v. 16 /17, n. 31 /34, p. 119 – 128, 1986/ 1987.

_____ . Resenha de: THOMAS Jr. (Ed.). Man's role in changing the face of the earth. Chicago: The University of Chicago Press, 1966. 1194p. **Notícia Geomorfológica,** Campinas, v. 7, n. 13/14, p. 66-67, 1967.

DE BIASI, M. Cartas de declividade: confecção e utilização. **Geomorfologia**, São Paulo, n. 21, p 8-12, 1970.

____ . A Carta clinográfica: Os métodos de representação e sua confecção. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, n. 6, p. 45-60, 1992.

DEFFONTAINES, P. Regiões e paisagens do estado de São Paulo: primeiro esboço de divisão regional. p.1837-1850. *In:* **Boletim Geográfico**. v. 2, n.24, 1945.

DEMANGEON, Albert. O desenvolvimento econômico do estado de São Paulo. p.701-705. *In:* **Boletim Geográfico**. v.4, n.42, 1946.

DREW, D. **Processos interativos Homem-Meio Ambiente.** São Paulo: DIFEL, 1986. 206 p.

EMBRAPA SOLOS. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, DF: Embrapa-SPI; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412 p.

EOLORZA, M. G. El papel del hombre en la creación y destrucción del relieve. **Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.** Vol. 101, N. 1, 2007. p. 211-226.

FACINCANI, E. M. **Morfotectônica da Depressão Periférica Paulista e Cuesta Basáltica: Regiões de São Carlos, Rio Claro e Piracicaba, SP.** 2000. 222 p. Tese (doutorado em Geologia Regional) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP, Rio Claro, 2000.

FUJIMOTO, N. S. V. M. Considerações sobre o ambiente urbano: um estudo com ênfase na geomorfologia urbana. **Revista do Departamento de Geografia,** São Paulo: FFLCH/USP, n. 16, p. 76-80, 2005.

_____ . Implicações ambientais na área metropolitana de Porto Alegre – RS: um estudo geográfico com ênfase na geomorfologia urbana. **Geousp – Espaço e Tempo,** São Paulo: FFCLH/USP, n. 12, 2002.

GOUDIE, A. Environmental Change. New York : Clarendon Press, 1977. 244 p.

_____ . **The human impact in the natural environment.** Cambridge: The MIT Press, 1986. p 338.

_____. Human influence in geomorphology. **Geomorphology.** v. 53, n. 7, 1993. (p. 37-59).

GREGORY, K. J. **A Natureza da Geografia Física.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1992.367 p.

HAFF, P.K. Neogeomorphology, Prediction and the Anthropic Landscape. **Draft n.1.** Division of Earth and Ocean Sciences, Duke University, Durham, USA. 2001.

HATHAWAY, G. A. Observations on channel changes degradation and scour below dams. **Report of the 2nd Meeting of the Int. Association Hydraulic Research.** Stockholm: Sweden. 1948. (p. 267-307).

HOOKE, R. L. On the history of humans as geomorphic agents. **Geology**. September 2000, v. 28, n. 9. (p. 843–846).

HUMAN IMPACT ON THE LANDSCAPE (HILS). **Proposal for a new Working Group of the International Association of Geomorphologists (IAG/AIG).** Pécs (Hungary), 2005. Disponível em: < http://foldrajz.ttk.pte.hu/foldtan/HILS/HILS.htm>. Acesso em: 12/07/2008.

INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS. **Levantamento pedológico semi-detalhado do Estado de São Paulo**. Quadrícula Piracicaba. Campinas: IAC, 1981. 1 mapa, color. Escala 1:100.000.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍRTICA (IBGE). **Manual técnico de uso da terra**. 2 ed. Brasília: IBGE, 2006. 91p. (Manuais Técnicos em Geociências, n. 7).

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Cid@ades. Histórico de São Pedro – São Paulo. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>. Acesso em: 01 abril de 2010.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (IPT). **Mapa Geológico do Estado de São Paulo.** 1:500.000. São Paulo: 1981a, v. 1 e 2, p. 126. (Monografias 6).

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (IPT). **Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo.** 1:1.000.000. São Paulo: 1981b, v. 1 e 2, p. 99. (Monografias 5).

INSTITUTO FLORESTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (IFSP). **Inventário Florestal do Estado de São Paulo.** São Paulo: 2001. (disponível em: <http://www.iflorestal.sp.gov.br/sifesp/inventario.html>, acessado em: 23 de abril de 2010).

JAMES, L. A., MARCUS, W. A. The human role in changing fluvial systems: retrospect, inventorying and prospect. **Geomorphology.** v. 79, 2006. (p. 152 – 171).

LAMBIN, E.F. et al.. **Land-Use and Land-Cover Change (LUCC):** Implementation Strategy. A Core Project of the International Geosphere-Biosphere Program and the International Human Dimensions Program on Environmental Change: IGBP Report 48, IHDP Report 10: IGBP, Stockholm, 1999. 125 p. Disponível em: <http://www.ihdp.uni-bonn.de/html/publications/reports/report10/luccisindex.htm>. Acesso em: 07 ago. 2007.

LEOPOLD, L. B.; BULL, W. B. Base level, aggradation and grade. **Proceedings of the American Philosophical Society.** V. 123, n. 3, 1979. (p. 168-202).

LEPSCH, I. F.; BELLINAZZI JÚNIOR, R.; BEROLINI, D.; ESPINDOLA, C. R. **Manual para levantamento utilitário para o meio físico e classificação das terras no sistema de capacidade de uso**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1991. 175p.

MACHADO JUNIOR, D. M. et al. Considerações acerca de Trabalhos em Áreas de Divisa de Fusos UTM. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO TÉCNICO MULTINALITÁRIO, 2004. **Anais...** Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2004, v. 1, p. 1 -14.

MAGILLIGAN, F. J.; NISLOW, K. H. Changes in Hydrologic Regime by Damns. **Geomorphology.** N. 71, 2005. (p. 61-78).

MAKKAVEYEV, N. I. The impact of large water engineering projects on geomorphic processes in stream valleys. **Soviet Geography: review and transactions.** N. 13, 1972. (387-393).

MARCH, G. P. **Man and nature: physical geography as modified by human action.** New York: Charles Scribner, 1864. 580 p.

MATOS, O. N. de. O desenvolvimento da rede ferroviária e a expansão da cultura do café em São Paulo. p.371-381. *In:* **Boletim Geográfico**. v.14, n.133, 1956.

MENDES, I. A. **A dinâmica erosiva do escoamento pluvial na Bacia do Córrego Lafon - Araçatuba - SP**. 1993. Tese (Doutorado em Geografia Física) – FFCHL, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.

MONBEIG, P. **Pioneiros e Fazendeiros do Estado de São Paulo.** São Paulo: Hucitec/Polis, 1984. (Trad. Ary França e Raul Silva).

MONTEIRO, C.A.F. **O clima e a organização do espaço no estado de São Paulo: problemas e perspectivas.** São Paulo: IGEOG, 1976.

MORAES REGO, L. F. **Notas sobre a geomorfologia de São Paulo e sua gênesis.** São Paulo: IAG, 1932. 43 p.

NIR, D. **Man, a geomorphological agent**: an introduction to anthropic geomorphology. Jerusalém: Ketem Pub. House, 1983. 165p.

NUNES, B. A.; RIBEIRO, M. I. C.; ALMEIDA, V. J. et al. **Manual Técnico de Geomorfologia.** Rio de Janeiro: IBGE, 1995. 112p.

OKA FIORI, C. **Contribuição ao estudo das formações superficiais nas quadrículas de Piracicaba e São Pedro.** 1980. 121 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP, Rio Claro, 1980.

OLIVEIRA, A. M. S. **Depósitos Tecnogênicos e Assoreamento de Reservatórios, exemplo do Reservatório de Capivari, SP/PR.** 1994. 211 p. Tese (Doutorado em Geografia) – Faculdade de Filosofia Letras e Ciências Humanas/FFLCH/USP, São Paulo, 2000.

OLIVEIRA, J. B.; CAMARGO, M. N.; ROSSI, M. & CALDERANO FILHO, B. **Mapa pedológico do Estado de São Paulo: legenda expandida.** Campinas, Instituto Agronômico/EMBRAPA- Solos. Campinas. 1999. 64p. Inclui mapas.

PELOGGIA, A. U. G. A ação do Homem enquanto ponto fundamental da geologia do Tecnógeno: proposição teórica básica e discussão acerca do caso do município de São Paulo. **Revista Brasileira de Geociências**. Volume 27, n. 3, 1997. (p. 257 – 268).

_____ . A cidades, as vertentes e as várzeas: a transformação do relevo pela ação do homem no município de São Paulo. **Revista do Departamento de Geografia,** São Paulo, v.16, p. 24 – 31, 2005.

PENTEADO, A. F.; FUJIMOTO, N. S.V. Análise dos aspectos físicos e das intervenções antrópicas da bacia hidrográfica do Arroio Kruze – RS**. Revista Eletrônica Geografar.** Curitiba, v.1, n.1, 2006. (p. 01 – 19).

PENTEADO, M. M. **Geomorfologia do Setor Centro Ocidental da Depressão Periférica Paulista.** São Paulo: USP, 1976. (Série Teses e Monografias, nº 22).

PEREZ FILHO, A. **Geomorfologia antropogênica**: reativação da rede de drenagem e de processos erosivos relacionados a atividades impactantes derivadas da agropecuária e construção Civil. CNPQ – proc. 484960/2007-5 (Edital Universal CNPq/2007). Período: 2007.

PEREZ FILHO, A.; SOARES, P. R. B.; ESPÍNDOLA, C. R. Processos erosivos e reativação de canais de drenagem no planalto ocidental paulista. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 9, 2001, Recife. **Anais...** Recife: Universidade Federal de Pernambuco, 2001. v. 1. p. 84-85.

PETRI, S.; FÚLFARO, V. J. **Geologia do Brasil.** São Paulo: EDUSP, 1983. 631 p.

PETTS, G. E. Complex response of river channel morphology subsequent to reservoir construction. **Progress in Physical Geography.** N. 3, 1979. (p. 329-362).

_____. Morphological changes of river channels consequent upon headwater impoundment. **J. Inst. Water Eng. Sci.** n. 34, 1980. (p. 374-382).

PETTS, G. E.; GURNELL, A. M. Dams and geomorphology: Research progress and future directions. **Geomorphology.** v. 71, 2005. p. 27-47.

PHILLIPS, J. D. Humans as geological agents and the question of scale. **American Journal of Science.** v. 297, 1997. (p. 98 – 115).

RODRIGUES, C. Morfologia Original e Morfologia Antropogênica na definição de unidades espaciais de planejamento urbano: um exemplo na metrópole paulista. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, v. 17, p. 101-111, 2005.

_____ . Evolução da paisagem e problemas ambientais na cidade global: São Paulo. In: I ENCONTRO IALE-BRASIL, 1. 2007, Rio de Janeiro. **Anais...**Rio de Janeiro, 2007. p. 55 – 57.

RODRIGUES, T. R. I. **Influência de reservatórios hidrelétricos na gênese e evolução da rede de drenagem no baixo curso do Rio São José dos Dourados.** 2006. 244 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola/UNICAMP, Campinas, 2006.

ROSS, J. L. S. Análises e Sínteses na Abordagem Geográfica da Pesquisa para o Planejamento Ambiental. **Revista do Departamento de Geografia,** São Paulo, n. 9, p. 65 – 75, 1995.

_____ . Relevo Brasileiro: uma nova proposta de classificação. **Revista do Departamento de Geografia.** São Paulo: FFLCH. N.4, 1985.

ROSS, J.L.S.; MOROZ, I.C. **Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo.** São Paulo: IPT/FAPESP, 1997. v. 1.

ROSSATO, M. S.; SUERTEGARAY, D. M. A. Repensando o Tempo da Natureza em Transformação. Ágora (UNISC), Santa Cruz, v. 6, n. 2, p. 93-98, 2000.

SAMPAIO, S. S. **Geografia Industrial de Piracicaba: um exemplo de interação indústria-agricultura.** 1973. 253 p. Tese (Doutorado em Geografia). Faculdade de Filosofia Ciências e Letras de Rio Claro, Rio Claro, 1973.

SANCHEZ, M. C. **Os Municípios de São Pedro e Charqueada: aspectos de sua geografia agrária.** 1969. 135 p. Tese (Doutorado em Geografia). Faculdade de Filosofia Ciências e Letras de Rio Claro, Rio Claro, 1969.

SANCHEZ, M. C. A propósito das cartas de declividade. In: SIMPÓSIO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 5, 1993, São Paulo. **Anais...**. São Paulo: FFLCH, 1993.

SHALER, N. S. **Man and the Earth**. New York: Duffield & Co, 1905. 240 p.

SHERLOCK, R. L. Man as a geological agent: an account of his action on inanimate nature. London: High Holborn, 1922. 404 p.

_____. **Man's influence on the earth**. London: Butterworth, 1931. 256 p

SIGRG/SP (Sistema de Informações e Gerenciamento dos Recursos Hídricos do Estado de São Paulo). **Banco de dados pluviométricos do Estado de São Paulo.** Municípios de São Pedro (prefixo D4-060), Santa Maria da Serra (prefixo D5-062) e Distrito de Ibitiruna (prefixo D4-071). Disponível em: <http://www.sigrh.sp.gov.br/cgi-bin/bdhm.exe/plu?qwe=qwe>. Acesso em: 1 junho 2010.

SILVA, J. P. **Expansão urbana e evolução geomorfológica em remansos de reservatórios: análise comparativa de duas bacias hidrográficas em Guarapiranga – São Paulo.** 2005. 129 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – FFLCH/USP, São Paulo, 2005.

SIMON, A. L. H. **A dinâmica do uso da terra e sua interferência na morfohidrografia da bacia do Arroio Santa Bárbara – Pelotas (RS)**. 2007, 185f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – IGCE/UNESP, Rio Claro, 2007.

SIMON, A. L. H.; CUNHA, C. M. L. A ação antrópica sobre sistemas morfohidrográficos: análise da organização espacial da bacia do Arroio Santa Bárbara, Pelotas – RS. In: ORTIGOZA, S. G. A.; GERARDI, L. H. O. **Temas da Geografia Contemporânea.** Rio Claro: UNESP/IGCE/AGETEO, 2009. (p. 131-145).

SIMON, A. L. H; CUNHA, C. M. L. As obras de engenharia e as alterações morfo-hidrográficas na bacia do Arroio Santa Bárbara - Pelotas (RS). SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA / REGIONAL CONFERENCE ON GEOMORPHOLOGY "GEOMORFOLOGIA TROPICAL E SUBTROPICAL: PROCESSOS, MÉTODOS E TÉCNICAS", 6, 2006, Goiânia. **Anais...**Goiânia: IESA/UFG, 2006, p. 1-11.

SIMON, A. L. H.; CUNHA, C. M. L. Elaboração do Ábaco Digital Para a Identificação de Classes de Declividade: Aplicações na Baixa Bacia do Rio Piracicaba-SP. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 13, 2009, Viçosa. **Anais...** Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2009. v. 1. p. 1 – 10.

SLAYMAKER, O. The future of Geomorphology. **Geography Compass.** v.3, n. 1, 2009. (p. 329 – 349).

SUERTEGARAY, D. M. A; NUNES, J. O. R. A natureza da geografia física na geografia. **Terra Livre**, São Paulo, n. 17, 2 sem. 2001.

TRICART, J. La Geomorphologie et les hommes. Rev. **Geom. Dynamique.** v. 4, 1956, (p. 154 – 156).

_____. **Principles et méthodes de la géomorphologie**. Paris: Maisson, 1965. 496p.

_____. **Ecodinâmica.** Rio de Janeiro: IBGE, SUPREN. 1977. 97p.

TROPPMAIR, H. A cobertura vegetal primitiva do Estado de São Paulo. Biogeografia, n. 1, Instituto de Geografia/USP, 1969, p. 1-11.

_____ . Geossistemas e Geossistemas Paulistas. Rio Claro: Helmut Troppmair, 2000. 107p.

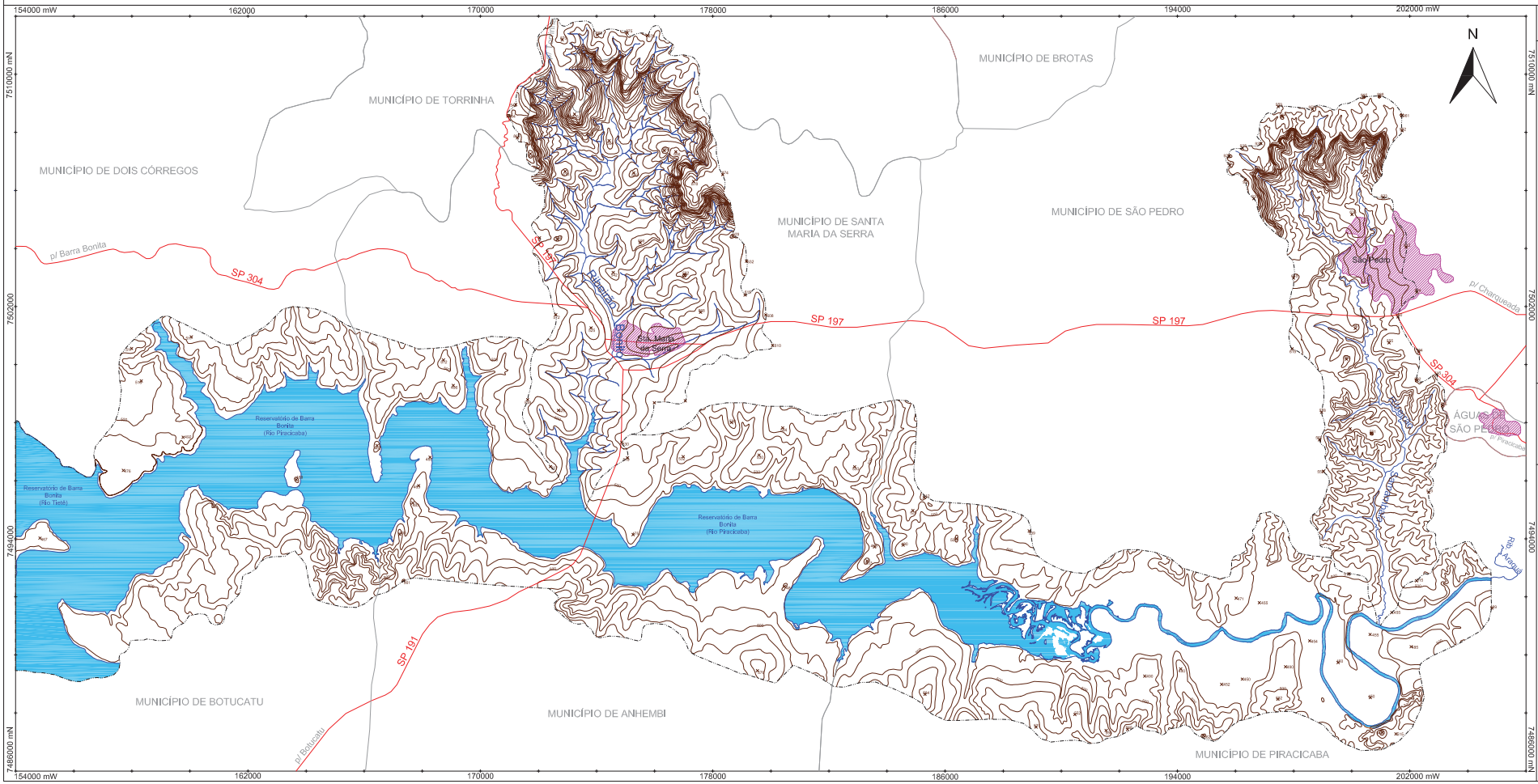
URBAN, M. A. Conceptualizing Anthropogenic Change in Fluvial Systems: Drainage Development on the Upper Embarras River, Illinois. The Professional Geographer. 54, n. 2, 2002.(p. 204 – 217).

VERSTAPPEN, H. T.; ZUIDAN, R. A. van**. ITC system of geomorphological survey**: manual ITC textbook. Enschede: editora?, 1975. v. 1.

ZALASIEWICZ, J. et al. Are we now living in the Anthropocene?. **GSA Today.** v. 18, no. 2, 2008. (p. 4 – 8).

ANEXOS

BASE CARTOGRÁFICA DA ÁREA EM ESTUDO



CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

- Limite das bacias hidrográficas e do setor de fundo de vale do baixo Rio Piracicaba
- Limites Municipais
- Rodovias
- Área Urbanizada
- Hidrografia Principal
- Rio Piracicaba
- Cotas Topográficas
- 502 Topos Cotados
- (Lâmida de água) Reservatório de Barra Bonita

2000 0 2000 4000metros

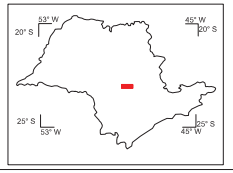
Equidistância das curvas de nível: 20 metros
Projeção Universal Transversa de Mercator - Fuso 23 S
Datum vertical: marégrafo Imbituba SC
Datum horizontal: Córrego Alegre MG

Fonte: IBGE (Superintendência de Cartografia). Cartas Topográficas 1: 50.000: Folha São Pedro (SF-23-M-III-1); Folha Itirapina (SF-23-M-I-3); Folha Santa Maria da Serra (SF-22-Z-B-VI-2); Folha Brotas (SF-22-Z-B-III-4), Folha Barra Bonita (SF-22-Z-B-VI-1).
Organização: SIMON, A.L.H.

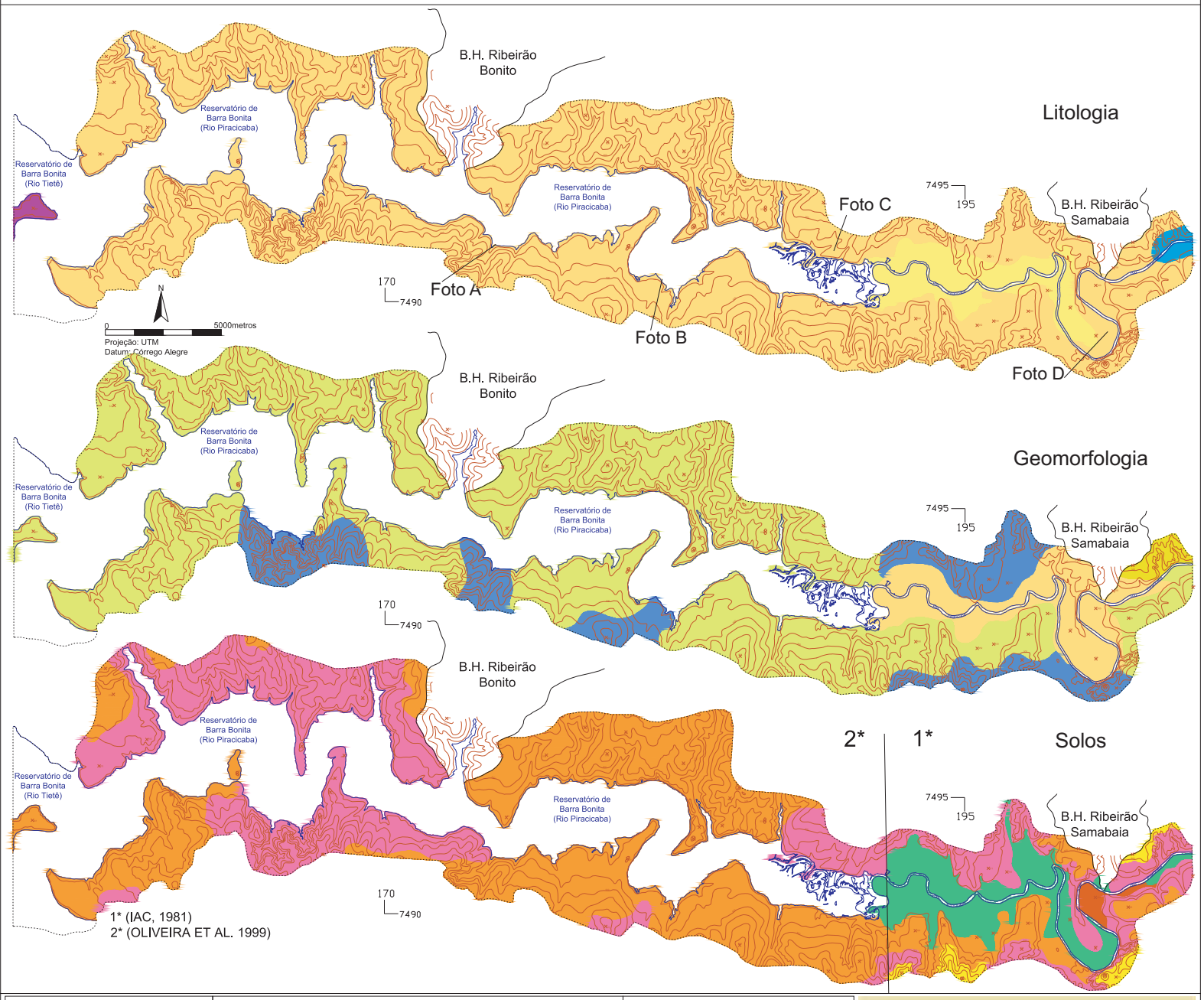
Articulação das folhas na base cartográfica

	SF-22-R-IV-H	SF-23-M-I-3
SF-22-Z-B-VI-1	SF-22-R-IV-2	SF-23-M-III-1

Localização da área no Estado de São Paulo - Brasil



Características físico-ambientais do segmento final do baixo curso do Rio Piracicaba - SP



LITOLOGIA

HOLOCENO

Depósitos aluviais, areias e argilas, conglomerados na base.

TRIÁSSICO-CRETÁCEO

GRUPO SÃO BENTO

Formação Botucatu

Formação Pirambóia

PERMIANO

GRUPO PASSA DOIS

Formação Corumbataí

GEOMORFOLOGIA

RELEVOS DE AGRADAÇÃO CONTINENTAIS

PLANÍCIES ALUVIAIS

RELEVOS DE DEGRADAÇÃO , EM PLANALTOS DISSECADOS

Relevo colinoso (predominam baixas declividades - até 15% - e amplitudes locais inferiores a 100 metros).

COLINAS AMPLAS

COLINAS MÉDIAS

Relevo de morrotes (predominan declividades médias a altas - acima de 15% - e amplitudes locais inferiores a 100 metros).

MORROTES ALONGADOS E ESPIGÕES

CLASSES DE SOLOS

- Latossolos Vermelho-Amarelos
- Argissolos Vermelho-Amarelos
- Gleissolos
- Cambissolos
- Neossolo Quartzarênico

IPT. Mapa Geológico do Estado de São Paulo. 1:500.000. São Paulo: 1981a, v. 2.

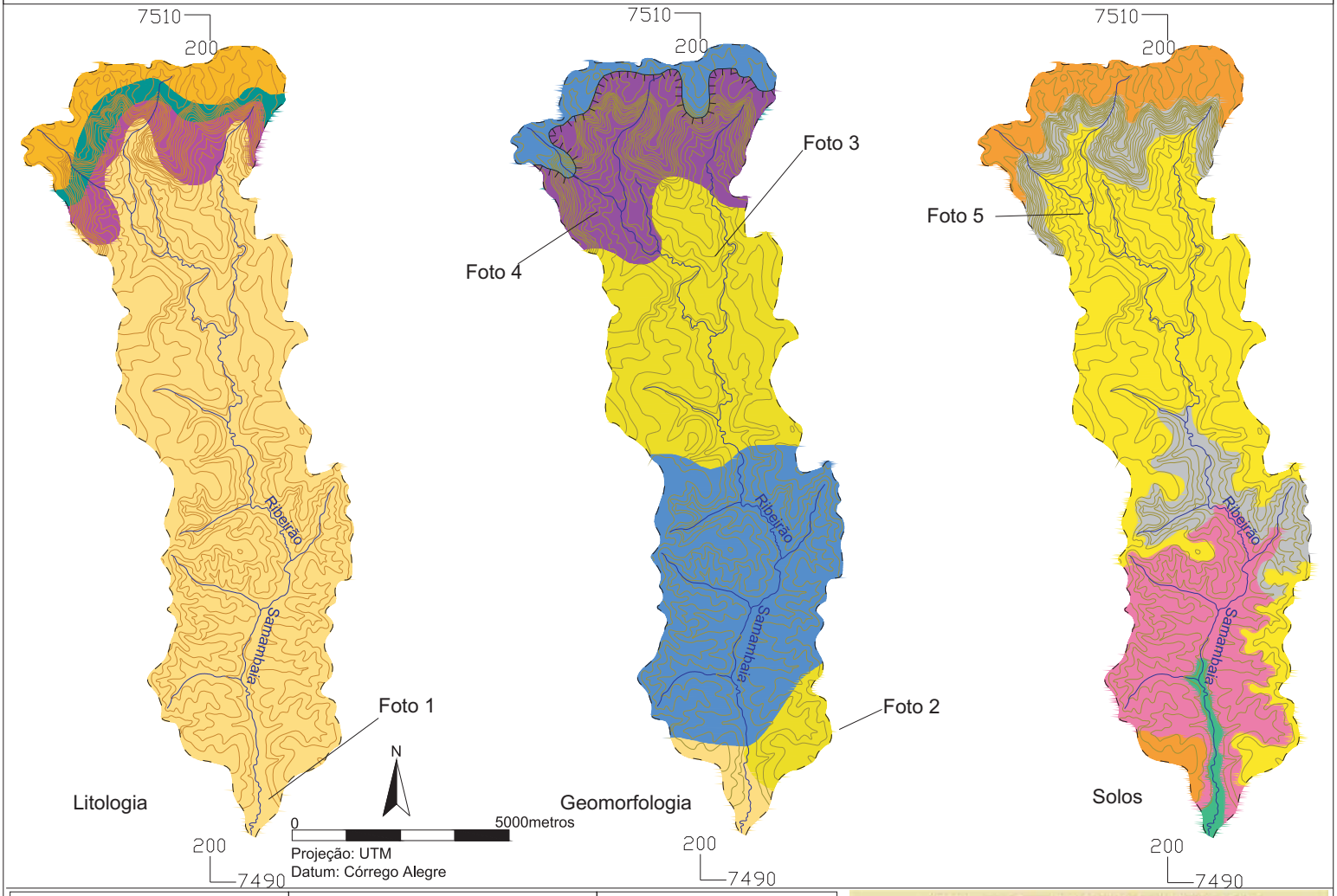
IPT. Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo. 1:1.000.000. São Paulo: 1981a, v. 2.

IAC. **Levantamento pedológico semi-detalhado do Estado de São Paulo**. Quadrícula Piracicaba. Campinas: IAC, 1981.. Escala 1:100.000.

SIGRH/SP. Banco de dados pluviométricos do Estado de São Paulo. Distrito de Ibitiruna, prefixo D4-075. Disponível em: <http://www.sigrh.sp.gov.br/cgi-bin/bdhm.exe/plu?qwe=qwe>. Acesso em: 1 junho 2010.

A) Panorâmica do reservatório de Barra Bonita junto à ponte da SP-191. Detalhe para o uso da terra no entorno do corpo de água, sem presença de vegetação arbustiva;
B) Solapamento das margens o reservatório ocupadas por pastagens. Este processo é provocado pelas ondas formadas no reservatório, bem como pelo escoamento superficial;
C) Caracterísitcas do setor do Rio Piracicaba sob influência das oscilações da lâmina de água do reservatório. Destaque para o uso da terra no entorno, caracterizado por pastagens, cana-de-açúcar e reflorestamento (ao fundo). Em primeiro plano, ruptura abrupta do declive na margem erosiva, com vegetação ciliar preservada;
D) Perfil do Rio Piracicaba na região da "volta grande do Samambaia".

Características físico-ambientais da bacia do Ribeirão Samambaia-SP



IPT. Mapa Geológico do Estado de São Paulo. 1:500.000. São Paulo: 1981a, v. 2.

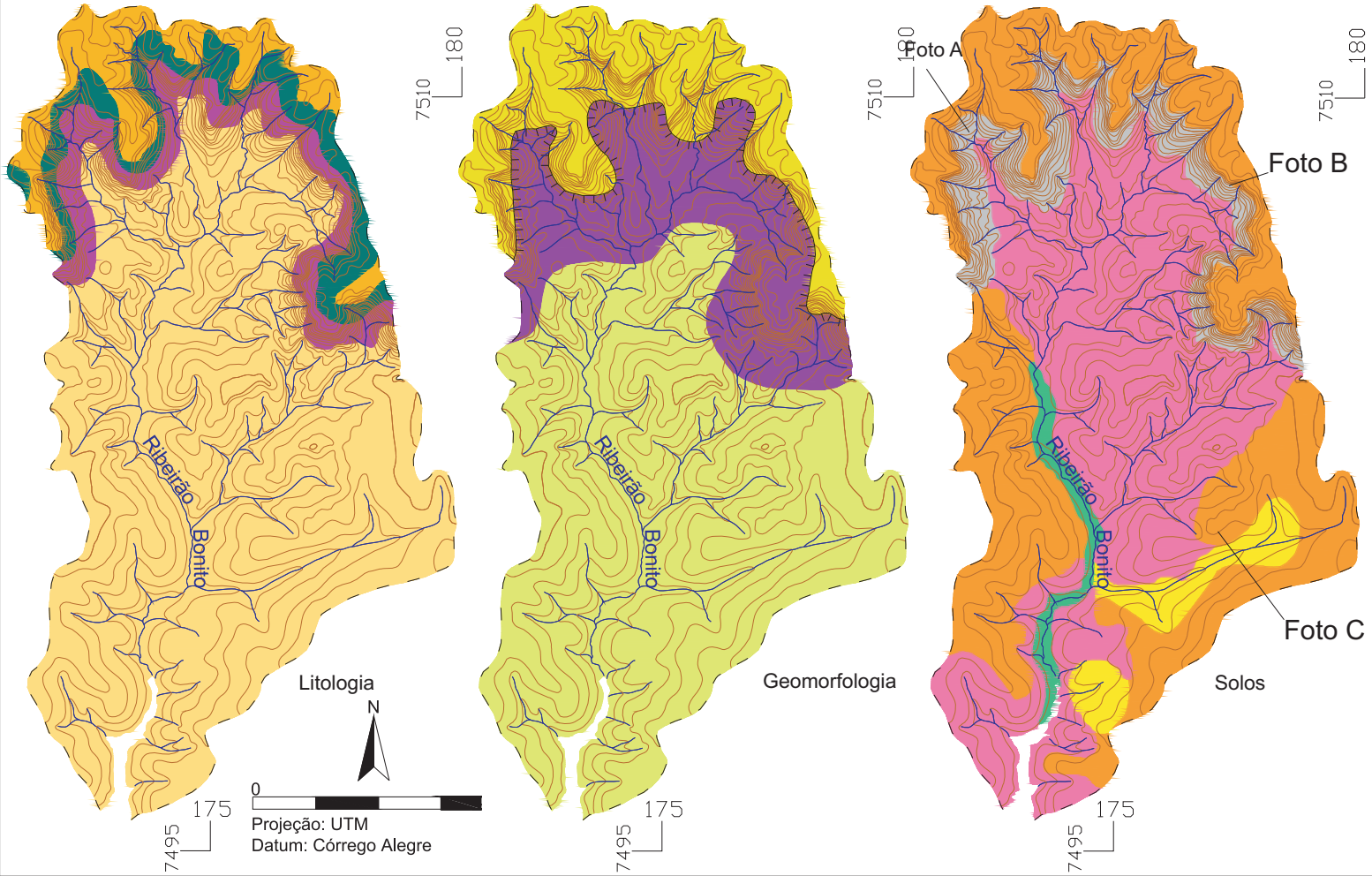
IPT. Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo. 1:1.000.000. São Paulo: 1981a, v. 2.

IAC. **Levantamento pedológico semi-detalhado do Estado de São Paulo**. Quadrícula Piracicaba. Campinas: IAC, 1981.. Escala 1:100.000.

SIGRH/SP. Banco de dados pluviométricos do Estado de São Paulo. Município de São Pedro, prefixo D4-060. Disponível em: <http://www.sigrh.sp.gov.br/cgi-bin/bdhm.exe/plu?qwe=qwe>. Acesso em: 1 junho 2010.

(1) Baixo curso do Ribeirão Samambaia (área de planície aluvial) cobertura de campos úmidos sujeitos a inundações periódicas;
(2) Médio curso do Rib. Samabaia (áreas de cana-de açúcar mescladas com cultivo de citrus). Vertentes alongadas e convexizadas com interflúvios extensos;
(3) Área de expansão urbana da cidade de São Pedro sobre amplos interflúvios na média bacia do Samambaia;
(4) Características do front cuestiforme em área de transição das litologias do Grupo São Bento: tálus ocupado até declividades intermediárias por zonas de pastagem e cornija preservada pela cobertura vegetal original. No primeiro plano, solapamento basal ao longo do canal fluvial em decorrência da falta de mata ciliar.
(5) Patamares estruturais no *front* de São Pedro. Estas feições são características em zonas de contato litológico.

Características físico-ambientais da bacia hidrográfica do Ribeirão Bonito-SP



LITOLOGIA

OLIGOCENO-MIOCENO

Depósitos de cimeira, conglomerados, arenitos imaturos, cimento ferruginoso.

TRIÁSSICO-CRETÁCEO

GRUPO SÃO BENTO

- Formação Serra Geral
- Formação Botucatu
- Formação Pirambóia

GEOMORFOLOGIA

RELEVOS DE DEGRADAÇÃO , EM PLANALTOS DISSECADOS
Relevo colinoso (predominam baixas declividades - até 15% - e amplitudes locais inferiores a 100 metros).

- COLINAS AMPLAS
- COLINAS MÉDIAS

RELEVOS DE TRANSIÇÃO
Escarpas (predominam declividades altas - acima de 30% - e amplitudes maiores que 100 metros).

- ESCARPAS FESTONADAS

FEIÇÕES DO RELEVO SUBORDINADAS

Limite superior de relevos de transição escarpados.

CLASSES DE SOLOS

- Latossolos Vermelho-Amarelos
- Argissolos Vermelho-Amarelos
- Neossolos Litólicos
- Gleissolos
- Neossolo Quartzarênico

IPT. Mapa Geológico do Estado de São Paulo. 1:500.000. São Paulo: 1981a, v. 2.

IPT. Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo. 1:1.000.000. São Paulo: 1981a, v. 2.

IAC. **Levantamento pedológico semi-detalhado do Estado de São Paulo**. Quadrícula Piracicaba. Campinas: IAC, 1981.. Escala 1:100.000.

SIGRH/SP. Banco de dados pluviométricos do Estado de São Paulo. Município de Santa Maria da Serra, prefixo D5-062. Disponível em: <http://www.sigrh.sp.gov.br/cgi-bin/bdhm.exe/plu?qwe=qwe>. Acesso em: 1 junho 2010.

Características do *front* cuestiforme no setor nordeste da bacia do Ribeirão Bonito. Ocorrência de vegetação preservada recobrindo a cornija e os depósitos de tálus. Após a linha de cuesta o uso da terra é demarcado pelas pastagens em relevo mais suavizado.

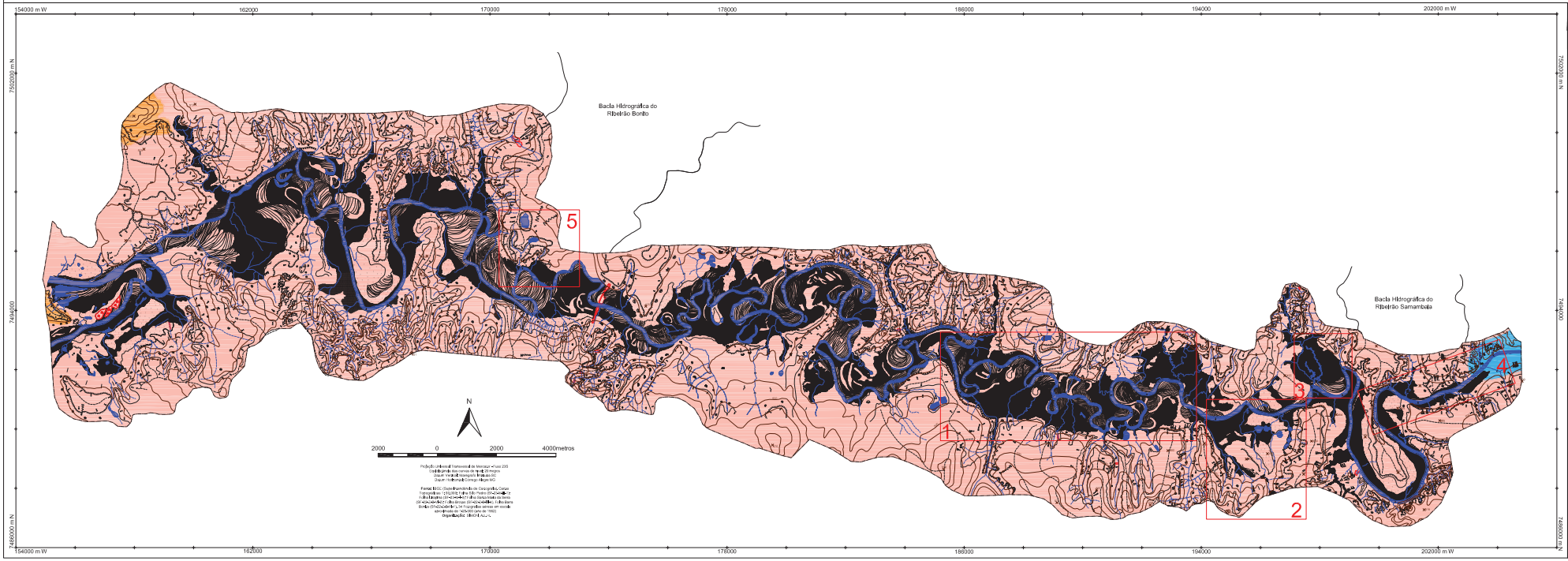
Setor central da bacia ocupado por pastagens e com vegetação de fundo de vale preservada.

Características do setor de nascentes na porção noroeste da bacia do Ribeirão Bonito. A cultura da cana-de-açúcar é cultivada sobre vertentes suavemente inclinadas e sobre os interflúvios com topos amplos, onde ocorrem os Latossolos Vermelho-amarelos. Verifica-se também a presença da mata de galeria nos fundos de vale dos canais de primeira ordem da bacia

SISTEMA DE CLASSIFICAÇÃO DA OCUPAÇÃO E USO DAS TERRAS NA ÁREA EM ESTUDO.				
NÍVEL I	NÍVEL II	NÍVEL III	COR (RGB)	CARACTERÍSTICAS (IBGE, 2006)
1. Áreas antrópicas não-agrícolas	1.1 Área Urbanizada		255, 168, 192	Compreende áreas de uso intensivo, estruturadas por edificações e sistema viário, onde predominam as superfícies artificiais não-agrícolas. Correspondem às aglomerações urbanas de São Pedro e Santa Maria da Serra e bairros organizados distantes destas aglomerações;
	1.2 Área de Mineração		173, 137, 205	Abrange áreas de extração mineral ou extração de materiais utilizados na construção civil (areia, cascalho, brita, saibro);
2. Áreas antrópicas agrícolas	2.1 Cutura temporária	2.1.1 Culturas alimentares	255, 63, 0	Sistemas produtivos que constituem a base alimentar e também a fonte de renda de pequenos e médios produtores. Os cultivos variam de acordo com as características regionais em função de suas potencialidades edafoclimáticas e sócio-culturais;
		2.1.2 Cana-de-açúcar	255, 255, 0	Cultura temporária voltada exclusivamente para a comercialização e obtenção de renda. A cana-de-açúcar destaca-se no contexto histórico e regional, possuindo um sistema socioeconômico e industrial voltado para a sua produção;
	2.2 Cultura permanente	2.2.1 Citurs	165, 0, 0	Culturas de ciclo longo que permitem sucessivas colheitas sem necessidade de novo plantio a cada ano;
		2.2.2 Café	165, 124, 0	
	2.3 Pastagem	2.3.1 Pasto sujo	76, 19, 0	Compreendem pastagens de composição heterogênea, situadas em fundos de vale ou superfícies acidentadas ou com afloramentos rochosos. Pode ocorrer em associação com áreas florestais.
		2.3.2 Pasto limpo	205, 173, 0	Áreas de pastagem natural ou implantada, de característica homogênea, que ocupam áreas de grande extensão e são utilizadas para prática agropecuária;
	2.4 Silvicultura		255, 191, 0	Áreas de vegetação implantada com intenso controle do trato, cultivo e colheita para geração de matéria-prima para a indústria madeireira;
	2.5 Instalações Agrícolas		179, 179, 179	Estabelecimentos agrícolas de dimensão espacial significativa, caracterizados por fazendas, granjas, pequenas comunidades de agricultores rurais que trabalham em associação. As dimensões espaciais possibilitam o mapeamento na escala de análise da pesquisa;
3. Áreas de vegetação natural	3.1 Florestal		115, 168, 0	Formações arbóreas em diferentes estágios de desenvolvimento, abrangendo também zonas de reflorestamento. Localizadas nos segmentos de fundo de vale (vegetação ripária), em encostas e preservadas em algumas propriedades rurais;
	3.2 Campo úmido		214, 255, 168	Conjunto de formações vegetais naturais não-arbóreas. Na área em estudo compreende o conjunto de formações campestres de influência fluvial (com níveis arbustivos e herbáceos) considerados como comunidades aluviais;
4. Água	4.1 Corpos de água continentais		0, 0, 255	Referem-se aos corpos de água naturais e artificiais que não são de origem marinha, tais como rios, canais, lagos e lagoas de água doce, represas e açudes;

* As composições RGB foram mantidas a fim de permitir a fiel reprodução das cores nos mapas.

MAPA GEOMORFOLÓGICO DO SETOR DE FUNDO DE VALE DA BAIXA BACIA DO RIO PIRACICABA - SP (1962)



1. LITOLOGIA

- (HOLOCENO) Depósitos Aluviais, Areias e Argilas, Conglomerados na base
- TrJb (TRIÁSSICO-CRETÁCEO) Formação Botucatu — Grupo São Bento
- TrJp (TRIÁSSICO-CRETÁCEO) Formação Piramboia — Grupo São Bento
- Pc (PERMIANO) Formação Corumbataí — Grupo Passa Dois

2. FEIÇÕES ESTRUTURAIS

- Palamar Estrutural
- Cristo Estrutual

3. FORMAS DE ORIGEM DENUDATIVA

- Erosão em Sulcos
- Ravinas
- Voçorocas
- Colo
- Ruptura Topográfica Suave
- Ruptura Topográfica Abrupta

4. AÇÃO DAS ÁGUAS CORRENTES E FORMAS DE ORIGEM FLUVIAL

A. Feições Hidrográficas

- Canal Fluvial
- Canal Fluvial
- Erosão Fluvial Lateral
- Lago
- Canal abandonado
- Lago de Meandro
- Meandro abandonado

B. Formas de Acumulação

- Leque Aluvial
- Terraço Fluvial
- Barras de Meandro
- Barras de Meandro Alagadas
- Dique Fluvial
- Depósitos Aluviais

C. Modelado de Entalhe

- fundo plano
- em "V"
- plano

5. MORFOMETRIA

A. Precisões Topográficas e Morfométricas

- 580 Pontos Cotados
- Curvas de Nível
- Linhas de cumeada: suaves
- Linhas de cumeada: agudas
- Direção do Escoamento Superficial

B.Forma das Vertentes

- Vertente Convexa
- Vertente Côncava
- Vertente Retilínea
- Vertente Irregular

6. MODELADO ANTRÓPICO E ALTERAÇÕES NA TOPOGRAFIA

A. Formas de Ablação

- Poço de Mina/pedreira Ativa
- Poço de Mina/pedreira Desativada
- Corte decorrente de rotas, canais e vias férreas

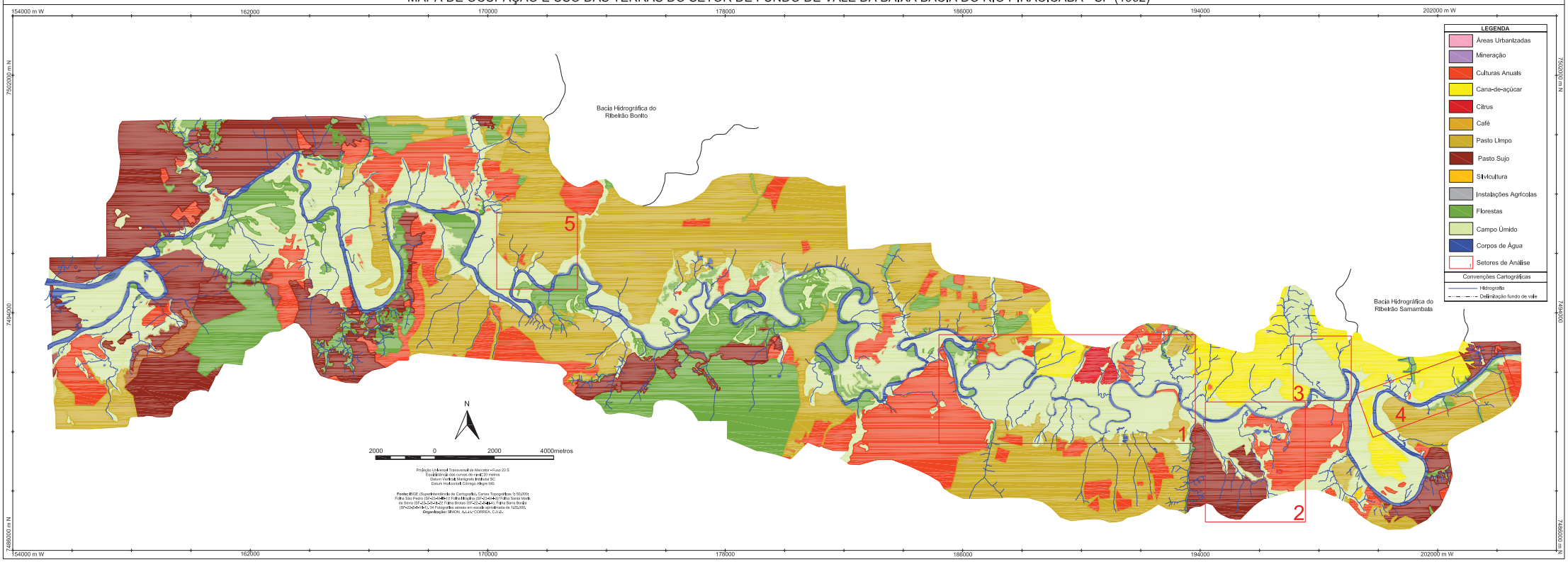
B. Formas de Acumulação

- Corte decorrente de rotas, canais e vias férreas

C. Formas Mistas

- Terraços para Cultivo Agrícola
- Curso de água retificado

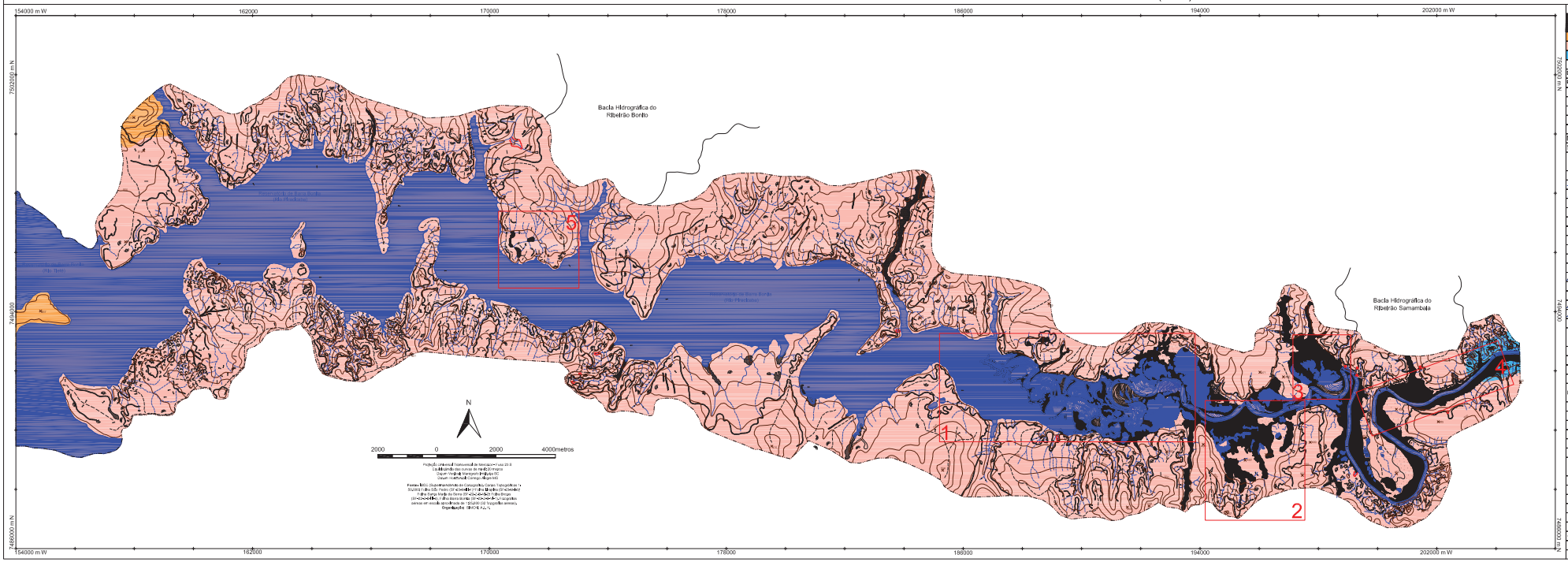
MAPA DE OCUPAÇÃO E USO DAS TERRAS DO SETOR DE FUNDO DE VALE DA BAIXA BACIA DO RIO PIRACICABA - SP (1962)



Projeção Universal Transversal de Mercator - Fuso 23 S
Equidistância das curvas de nível 20 metros
Datum Vertical: Marégrafo Imbituba SC
Datum Horizontal: Córrego Alegre MG

Fontes: IBGE (Superintendência Cartográfica), Cartas Topográficas 1: 50.000, Folha São Pedro (SF-23-Z-B-IV-1); Folha Mogi-Mirim (SF-23-Y-A-III-3); Folha Santa Maria da Serra (SF-23-Z-B-IV-4); Folha Brotas (SF-22-Y-B-III-4); Folha Barra Bonita (SF-22-X-D-VI-1), 34 Fotografias aéreas em escala aproximada de 1:25.000.
Organização: SIMON, A.L.H.; CORREA, C.J.G.

MAPA GEOMORFOLÓGICO DO SETOR DE FUNDO DE VALE DA BAIXA BACIA DO RIO PIRACICABA - SP (1972)



1. LITOLOGIA

	(HOLOCENO) Depósitos Aluviais, Areias e Argilas, Conglomerados na base	
TrJb	(TRIÁSSICO-CRETÁCEO) Formação Botucatu	Grupo São Bento
TrJp	(TRIÁSSICO-CRETÁCEO) Formação Piramboia	Grupo São Bento
Pc	(PERMIANO) Formação Corumbataí	Grupo Passa Dois

2. FEIÇÕES ESTRUTURAIS

- Paismar Estrutural
- Cristo Estrutual

3. FORMAS DE ORIGEM DENUDATIVA

- Erosão em Sulcos
- Ravinas
- Voçorocas
- Cals
- Ruptura Topográfica Suave
- Ruptura Topográfica Abrupta

4. AÇÃO DAS ÁGUAS CORRENTES E FORMAS DE ORIGEM FLUVIAL

A. Feições Hidrográficas

- Canal Fluvial
- Canal Fluvial
- Erosão Fluvial Lateral
- Lago
- Canal abandonado
- Lago de Meandro
- Meandro abandonado

B. Formas de Acumulação

- Leque Aluvial
- Terraço Fluvial
- Barras de Meandro
- Barras de Meandro Alagadas
- Dique Fluvial
- Depósitos Aluvial

C. Modelado de Entalhe

- fundo plano
- em "V"
- ploino

5. MORFOMETRIA

A. Precisões Topográficas e Morfométricas

- 585 Pontos Cotados
- Curvas de Nível
- Linhas de cumeada: suaves
- Linhas de cumeada: agudas
- Direção do Escoamento Superficial

B.Forma das Vertentes

- Vertente Convexa
- Vertente Côncava
- Vertente Retilínea
- Vertente Irregular

6. MODELADO ANTRÓPICO E ALTERAÇÕES NA TOPOGRAFIA

A. Formas de Ablação

- Poço de Mina/pedreira Ativa
- Poço de Mina/pedreira Desativada
- Corte decorrente de rotas, canais e vias férreas

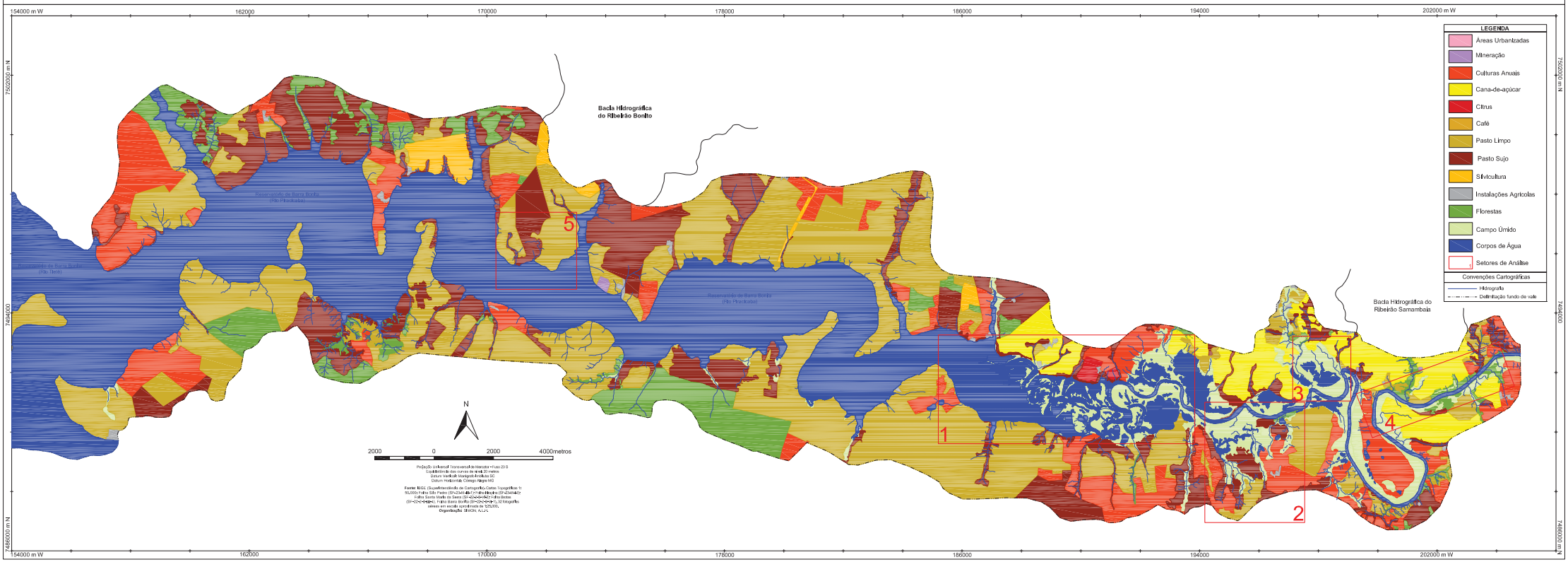
B. Formas de Acumulação

- Corte decorrente de rotas, canais e vias férreas

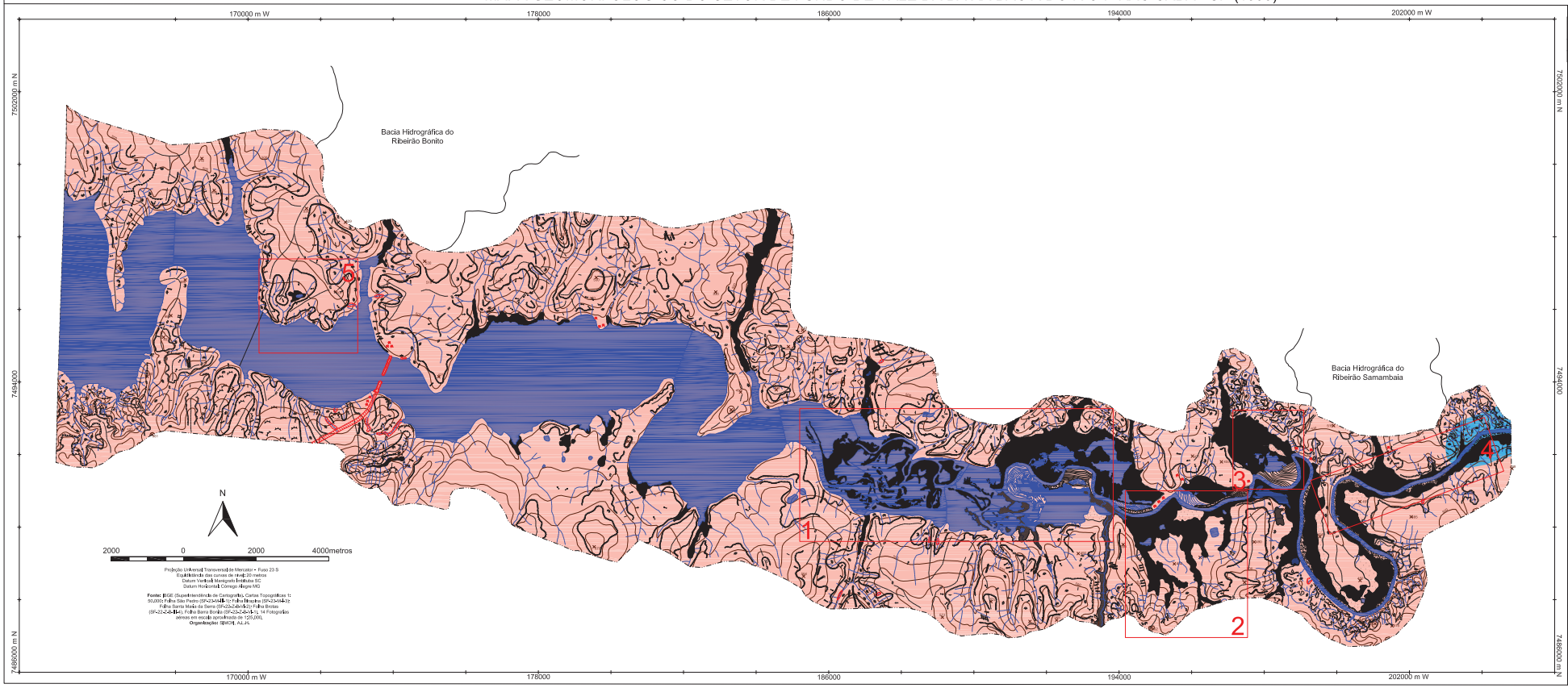
C. Formas Mistas

- Terraços para Cultivo Agrícola
- Curso de água retificado

MAPA DE OCUPAÇÃO E USO DAS TERRAS DO SETOR DE FUNDO DE VALE DA BAIXA BACIA DO RIO PIRACICABA - SP (1972)



MAPA GEOMORFOLÓGICO DO SETOR DE FUNDO DE VALE DA BAIXA BACIA DO RIO PIRACICABA - SP (1995)



1. LITOLOGIA

Qa	(HOLOCENO) Depósitos Aluviais, Areias e Argilas, Conglomerados na base	
TrJb	(TRIÁSSICO-CRETÁCEO) Formação Botucatu	Grupo São Bento
TrJp	(TRIÁSSICO-CRETÁCEO) Formação Pirambóia	
Pc	(PERMIANO) Formação Corumbataí	Grupo Passa Dois

2. FEIÇÕES ESTRUTURAIS

- Patamar Estrutural
- Crista Estrutual

3. FORMAS DE ORIGEM DENUDATIVA

- Erosão em Sulcos
- Ravinas
- Voçorocas
- Colo
- Ruptura Topográfica Suave
- Ruptura Topográfica Abrupta

4. AÇÃO DAS ÁGUAS CORRENTES E FORMAS DE ORIGEM FLUVIAL

A. Feições Hidrográficas

- Canal Fluvial
- Canal Fluvial
- Erosão Fluvial Lateral
- Lago
- Canal abandonado
- Lago de Meandro
- Meandro abandonado

B. Formas de Acumulação

- Leque Aluvial
- Terraço Fluvial
- Barras de Meandro
- Barras de Meandro Alagadas
- Dique Fluvial
- Depósitos Aluviais

C. Modelado de Entalhe

- fundo plano: em "V"
- fundo plano: plano

5. MORFOMETRIA

A. Precisões Topográficas e Morfométricas

- X585 Pontos Cotados
- Curvas de Nível
- Linhas de cumeada: suaves
- Linhas de cumeada: agudas
- Direção do Escoamento Superficial

B.Forma das Vertentes

- Vertente Convexa
- Vertente Côncava
- Vertente Retilínea
- Vertente Irregular

6. MODELADO ANTRÓPICO E ALTERAÇÕES NA TOPOGRAFIA

A. Formas de Ablação

- Poço de Mina/pedreira Ativa
- Poço de Mina/pedreira Desativada
- Corte decorrente de rotas, canais e vias férreas

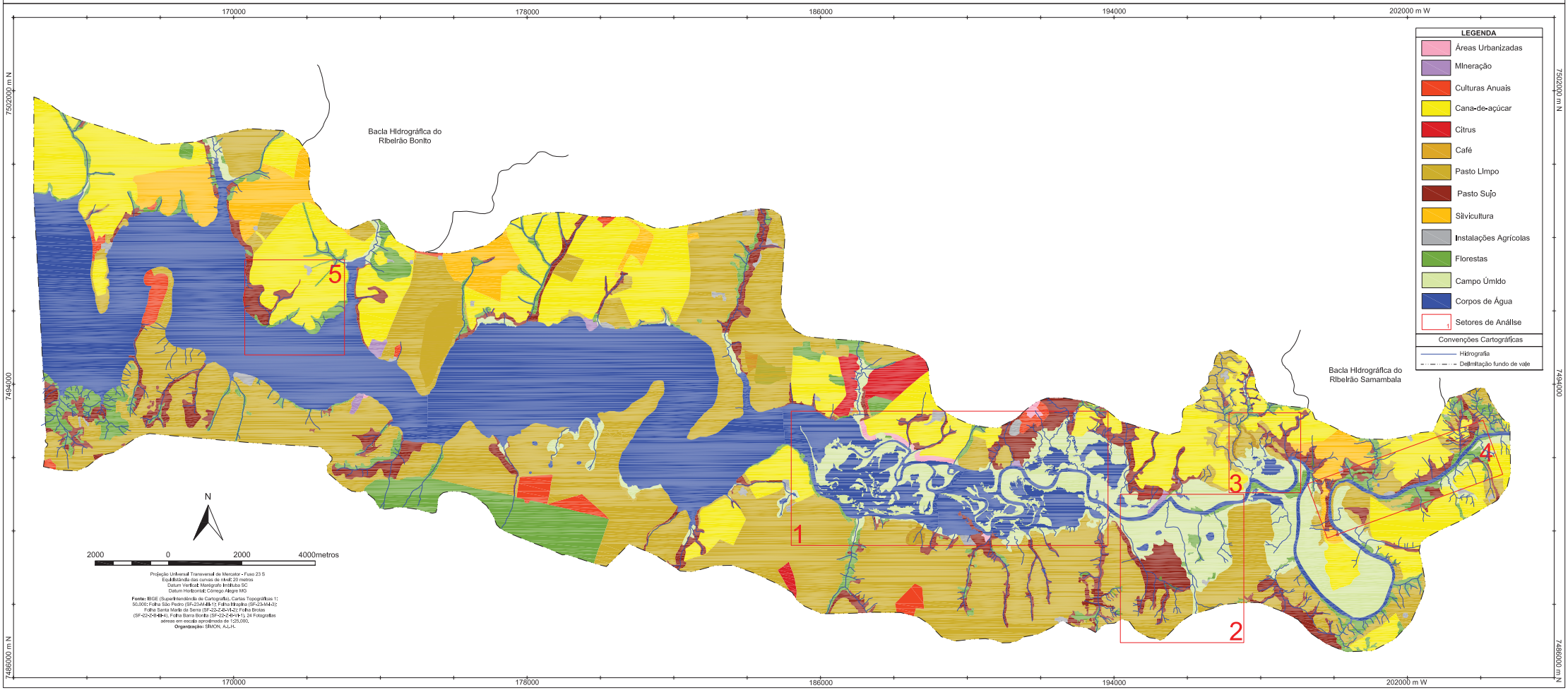
B. Formas de Acumulação

- Corte decorrente de rotas, canais e vias férreas

C. Formas Mistas

- Terraços para Cultivo Agrícola
- Curso de água retificado

MAPA DE OCUPAÇÃO E USO DAS TERRAS DO SETOR DE FUNDO DE VALE DA BAIXA BACIA DO RIO PIRACICABA - SP (1995)

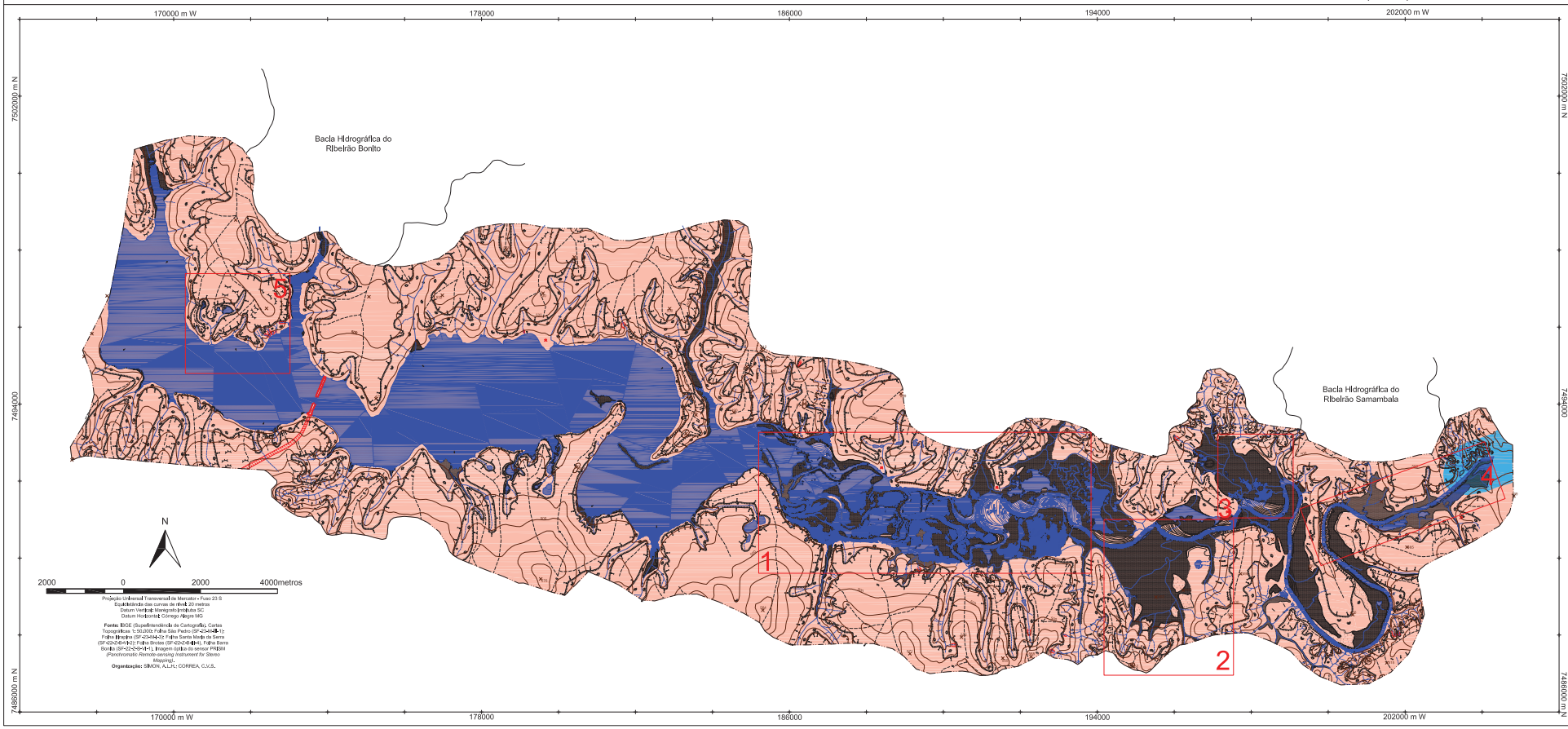


Projeção Universal Transversal de Mercator - Fuso 23 S
Equidistância das curvas de nível: 20 metros
Datum Vertical: Marégrafo Imbituba SC
Datum Horizontal: Córrego Alegre MG

Fonte: IBGE (Superintendência de Cartografia), Cartas Topográficas 1: 50.000: Folha São Pedro (SF-23-M-III-1); Folha Itirapina (SF-23-M-I-3); Folha Santa Maria da Serra (SF-23-Z-B-VI-2); Folha Brotas (SF-22-Z-B-III-4); Folha Barra Bonita (SF-22-Z-B-V-1). 24 Fotografias aéreas em escala aproximada de 1:25.000.

Organização: SIMON, A.L.H.

MAPA GEOMORFOLÓGICO DO SETOR DE FUNDO DE VALE DA BAIXA BACIA DO RIO PIRACICABA - SP (2007)



1. LITOLOGIA

Qa	(HOLOCENO) Depósitos Aluviais, Areias e Argilas, Conglomerados na base	
TrJb	(TRIÁSSICO-CRETÁCEO) Formação Botucatu	Grupo São Bento
TrJp	(TRIÁSSICO-CRETÁCEO) Formação Pirambóia	
Pc	(PERMIANO) Formação Corumbataí	Grupo Passa Dois

2. FEIÇÕES ESTRUTURAIS

- Patamar Estrutural
- Crista Estrutual

3. FORMAS DE ORIGEM DENUDATIVA

- Erosão em Sulcos
- Ravinas
- Voçorocas
- Colo
- Ruptura Topográfica Suave
- Ruptura Topográfica Abrupta

4. AÇÃO DAS ÁGUAS CORRENTES E FORMAS DE ORIGEM FLUVIAL

A. Feições Hidrográficas

- Canal Fluvial
- Canal Pluvial
- Erosão Fluvial Lateral
- Lago
- Canal abandonado
- Lago de Meandro
- Meandro abandonado

B. Formas de Acumulação

- Leque Aluvial
- Terraço Fluvial
- Barras de Meandro
- Barras de Meandro Alagadas
- Dique Fluvial
- Depósitos Aluviais

C. Modelado de Entalhe

- fundo plano: em " V "
- fundo plano: plano

5. MORFOMETRIA

A. Precisões Topográficas e Morfométricas

- X585 Pontos Cotados
- Curvas de Nível
- Linhas de cumeada: suaves
- Linhas de cumeada: agudas
- Direção do Escoamento Superficial

B.Forma das Vertentes

- Vertente Convexa
- Vertente Côncava
- Vertente Retilínea
- Vertente Irregular

6. MODELADO ANTRÓPICO E ALTERAÇÕES NA TOPOGRAFIA

A. Formas de Ablação

- Poço de Mina/pedreira Ativa
- Poço de Mina/pedreira Desativada
- Corte decorrente de rotas, canais e vias férreas

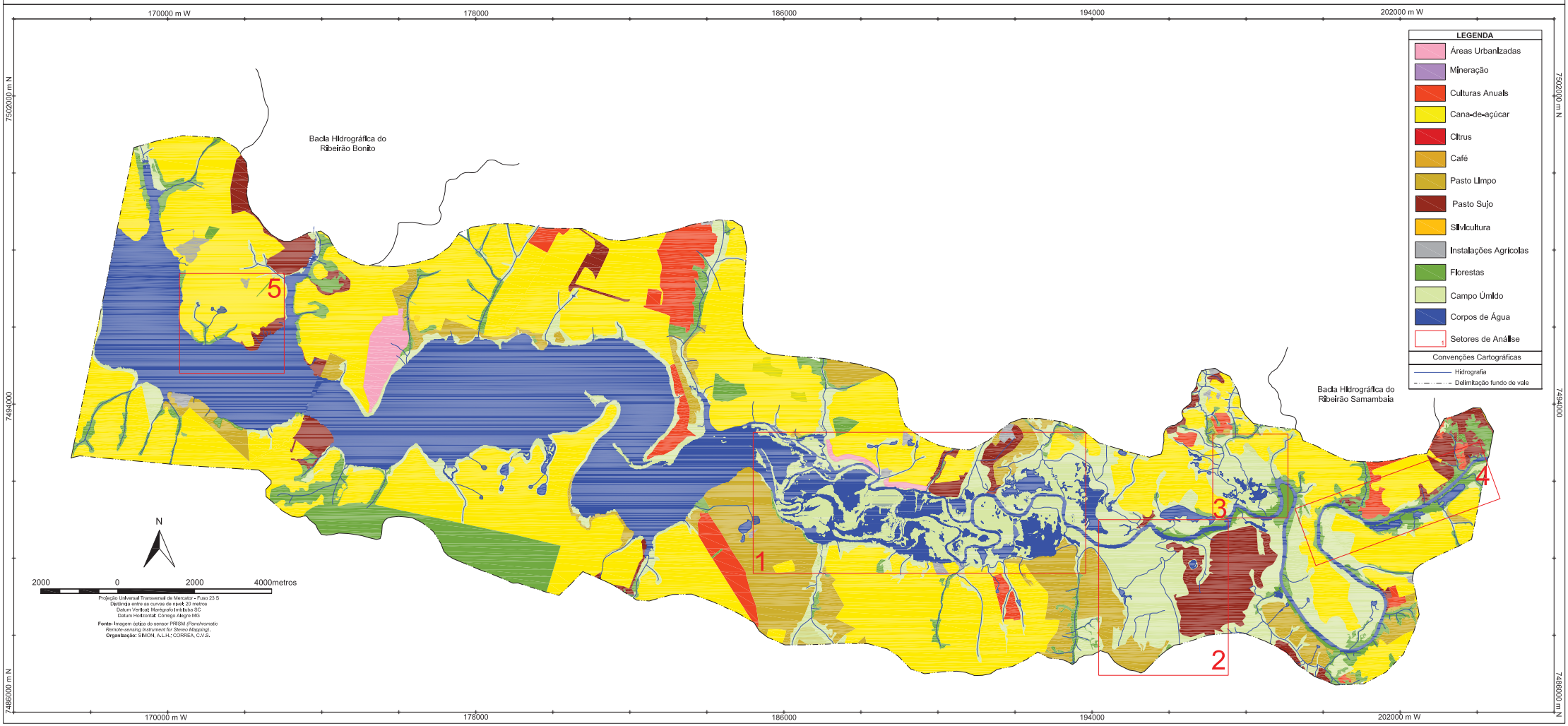
B. Formas de Acumulação

- Corte decorrente de rotas, canais e vias férreas

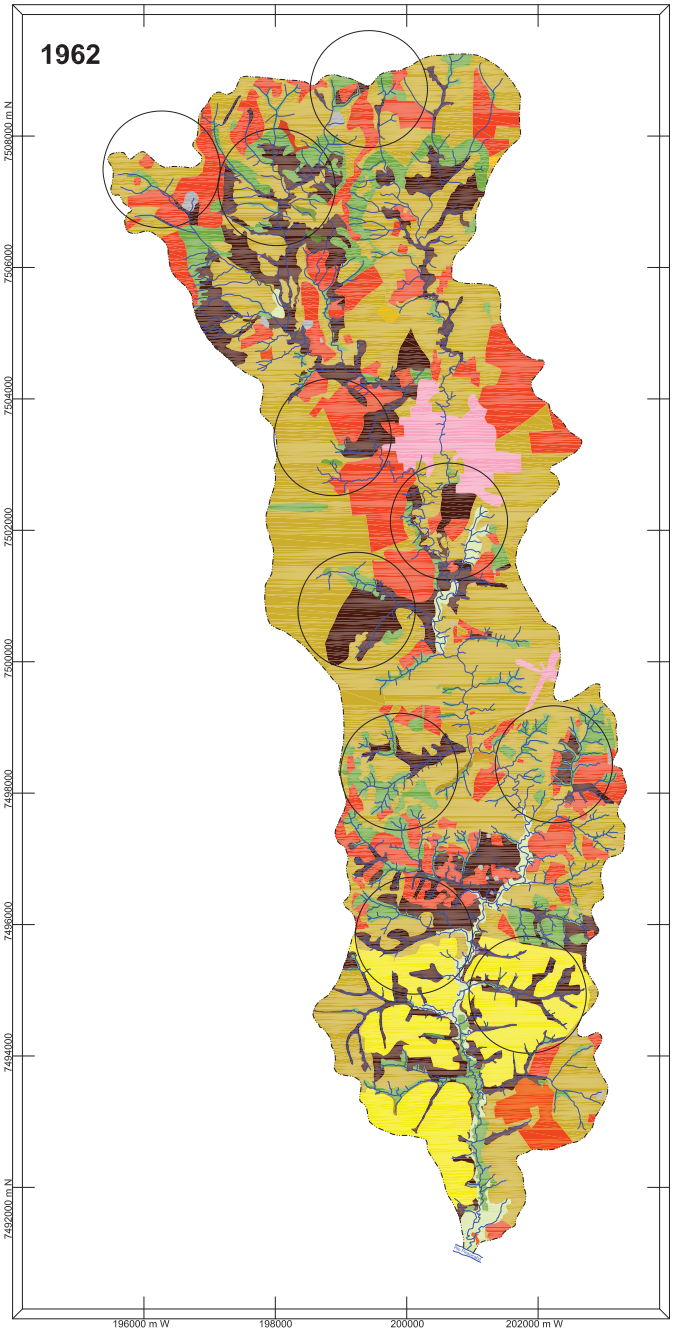
C. Formas Mistas

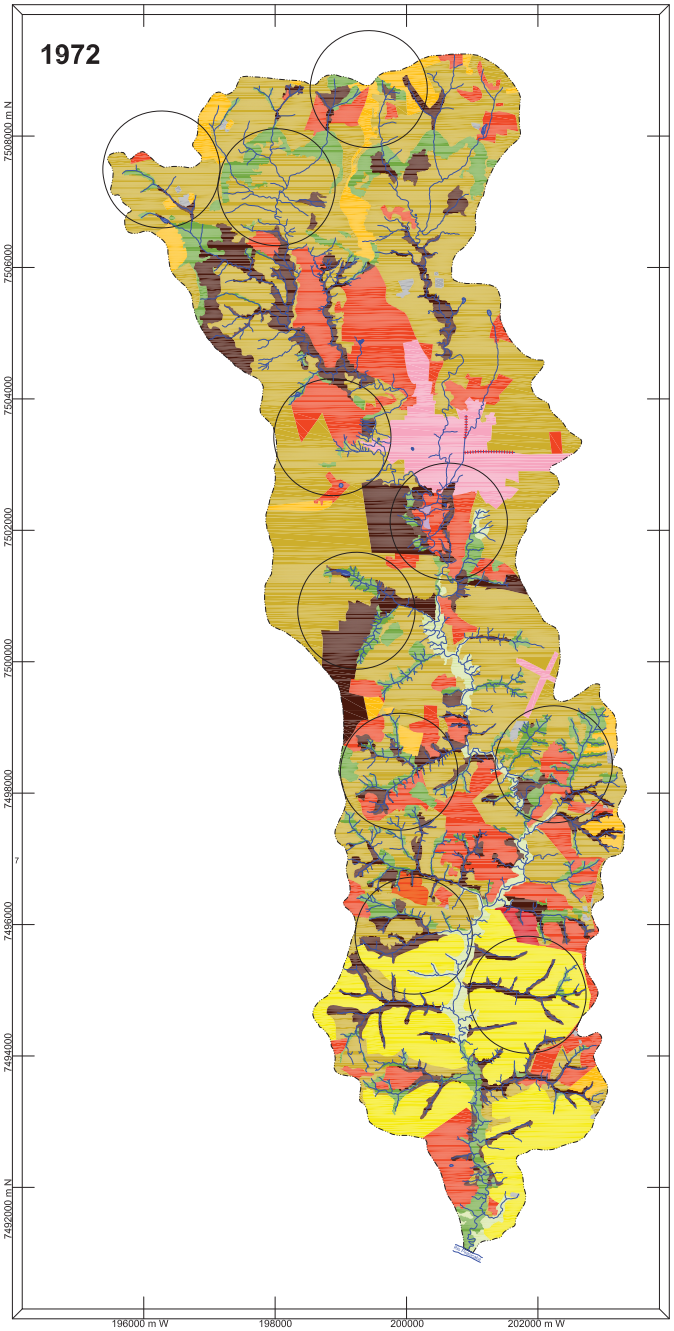
- Terraços para Cultivo Agrícola
- Curso de água retificado

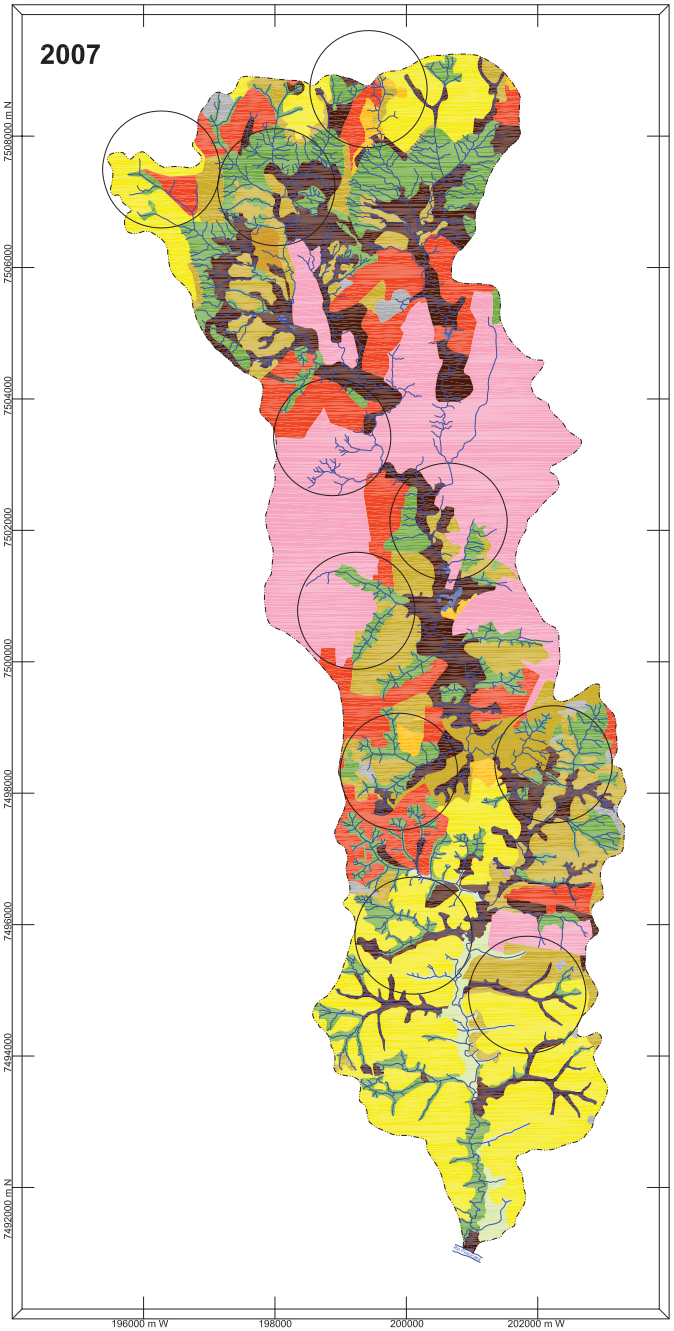
MAPA DE OCUPAÇÃO E USO DAS TERRAS DO SETOR DE FUNDO DE VALE DA BAIXA BACIA DO RIO PIRACICABA - SP (2007)



OCUPAÇÃO E USO DAS TERRAS NA BACIA DO RIBEIRÃO SAMAMBAIA - SP







LEGENDA

- Áreas Urbanizadas
- Mineração
- Culturas Alimentares
- Cana-de-açúcar
- Citrus
- Café
- Pasto Sujo
- Pasto Limpo
- Silvicultura
- Instalações Agrícolas
- Florestal
- Campo Úmido
- Corpos de Água Continentais
- Localização das amostras circulares de 2,5km²
- Hidrografia
- Delimitação B.H. Samambaia

N

Escala Original 1:50.000

0 2000 4000m

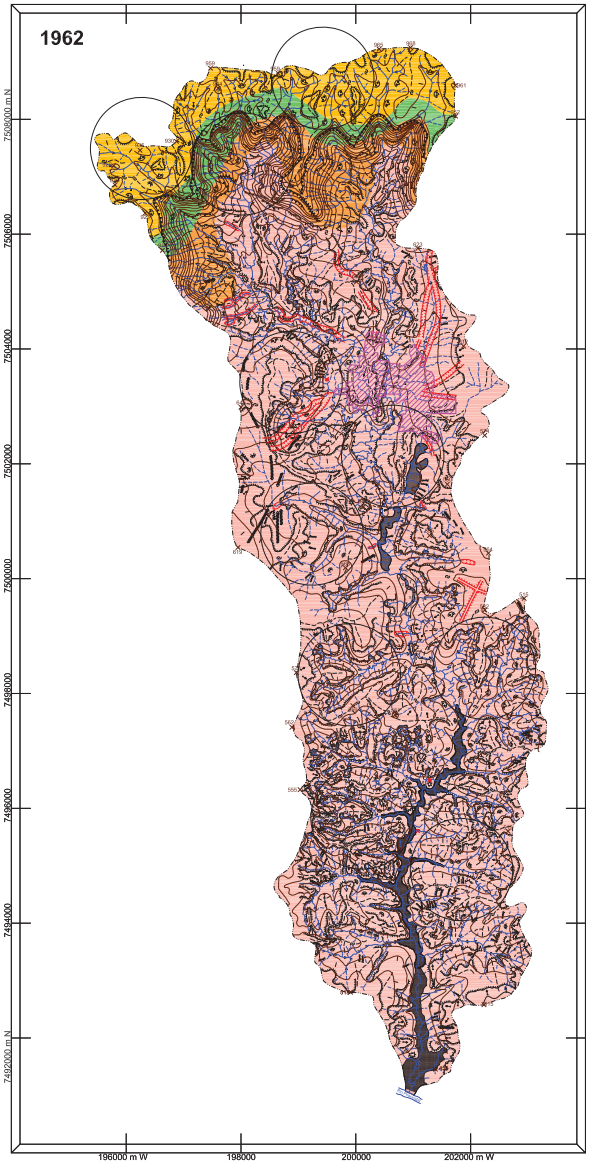
Projeção Universal Transversal de Mercator - Fuso 23 S
Equidistância das curvas de nível: 20 metros
Datum Vertical: Marégrafo Imbituba SC
Datum Horizontal: Córrego Alegre MG

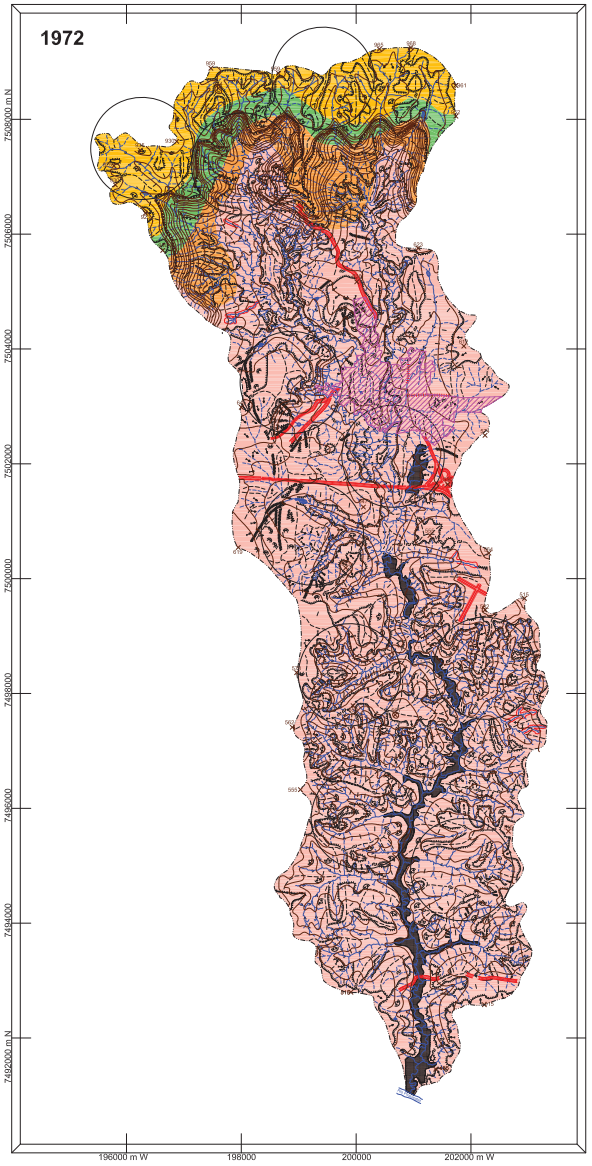
Mapa de ocupação e uso das terras em 1962
Fonte: Cartas Topográficas do IBGE, 1:50.000,1974, Folha São Pedro (SF-23-M-II-1) e Folha Itirapina (SF-23-M-I-3). Levantamento Aerofotogramétrico de 1962, escala aproximada 1:25.000, 15 fotografias aéreas.
Organização: SIMON, A.L.H.; SCHIAVINATO, L.C.F.

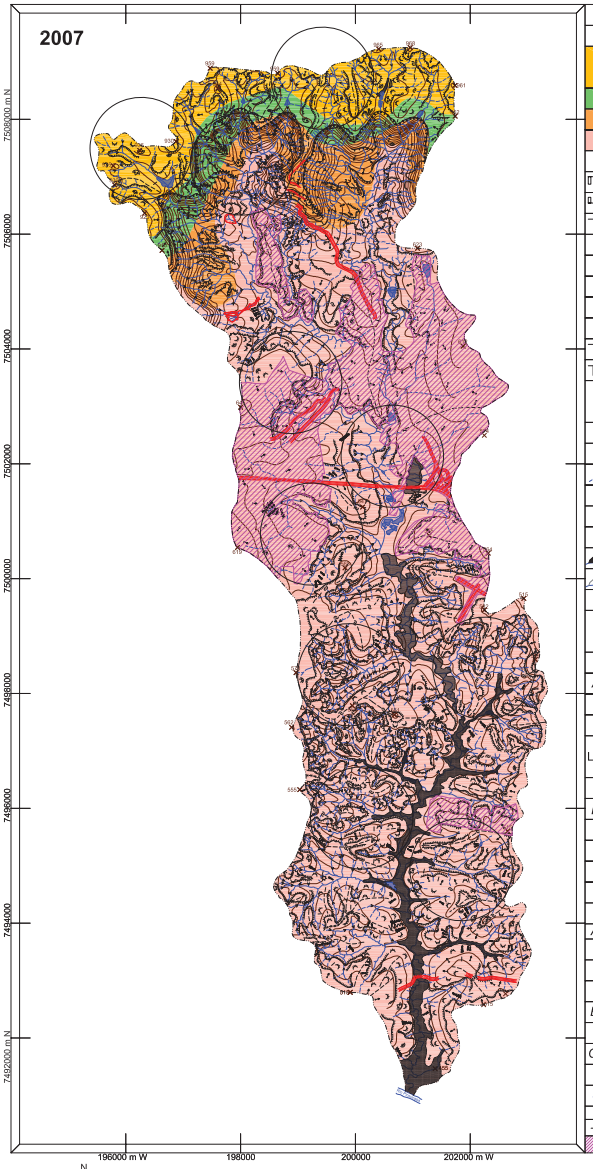
Mapa de ocupação e uso das terras em 1972
Fonte: Cartas Topográficas do IBGE, 1:50.000,1974, Folha São Pedro (SF-23-M-II-1) e Folha Itirapina (SF-23-M-I-3). Levantamento Aerofotogramétrico de 1972, escala aproximada 1:25.000, 16 fotografias aéreas.
Organização: SIMON, A.L.H.

Mapa de ocupação e uso das terras em 2007
Fonte: Imagem óptica do sensor PRISM *(Panchromatic Remote-sensing Instrument for Stereo Mapping)* do Sistema ALOS.
Organização: SIMON, A.L.H.; SCHIAVINATO, L.C.F.

GEOMORFOLOGIA DA BACIA DO RIBEIRÃO SAMAMBAIA - SP







LEGENDA

1. LITOLOGIA

TQl	(OLIGOCENO-MIOCENO) Depósitos de elmeira, conglomerados, arenitos imaturos, cimento ferruginoso	
JKsg	(JURÁSSICO-CRETÁCEO) Formação Serra Geral	Grupo São Bento
TrJb	(TRIÁSSICO-CRETÁCEO) Formação Botucatu	
TrJp	(TRIÁSSICO-CRETÁCEO) Formação Pirambóia	

2. FEIÇÕES ESTRUTURAIS

- Patamar Estrutural
- Crista Estrutual
- Cuesta

3. FORMAS DE ORIGEM DENUDATIVA

- Erosão em Sulcos
- Ravinas
- Voçorocas
- Colo
- Ruptura Topográfica Suave
- Ruptura Topográfica Abrupta

4. AÇÃO DAS ÁGUAS CORRENTES E FORMAS DE ORIGEM FLUVIAL

A. Feições Hidrográficas

- Canal Fluvial
- Canal Pluvial
- Lago

B. Formas de Acumulação

- Leque Aluvial
- Depósitos Aluviais
- Terraço Fluvial

C. Modelado de Entalhe

- Fundo de vale: em " V "
- Fundo de vale: plano

5. MORFOMETRIA

A. Precisões Topográficas e Morfométricas

- ×585 Pontos Cotados
- Curvas de nível
- Linhas de cumeada: suaves
- Linhas de cumeada: agudas
- Direção do Escoamento Superficial

B.Forma das Vertentes

- Vertente Convexa
- Vertente Côncava
- Vertente Retilínea
- Vertente Irregular

6. MODELADO ANTRÓPICO E ALTERAÇÕES NA TOPOGRAFIA

A. Formas de Ablação

- Poço de Mina/pedreira Ativa
- Poço de Mina/pedreira Desativada
- Corte decorrente de rotas, canais e vias férreas

B. Formas de Acumulação

- Aterro decorrente de rotas, canais e vias férreas

C. Formas Mistas

- Terraços para Cultivo Agrícola
- Curso de água retificado

7. CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

- Limites da bacia hidrográfica
- Áreas urbanizadas

Mapa geomorfológico do ano de1962
Fonte: Cartas Topográficas do IBGE, 1:50.000,1974, Folha São Pedro (SF-23-M-III-1) e Folha Itirapina (SF-23-M-I-3). Levantamento Aerofotogramétrico de 1962, escala aproximada 1:25.000, 15 fotografias aéreas.
Organização: SIMON, A.L.H.; SCHIAVINATO, L.C.F.

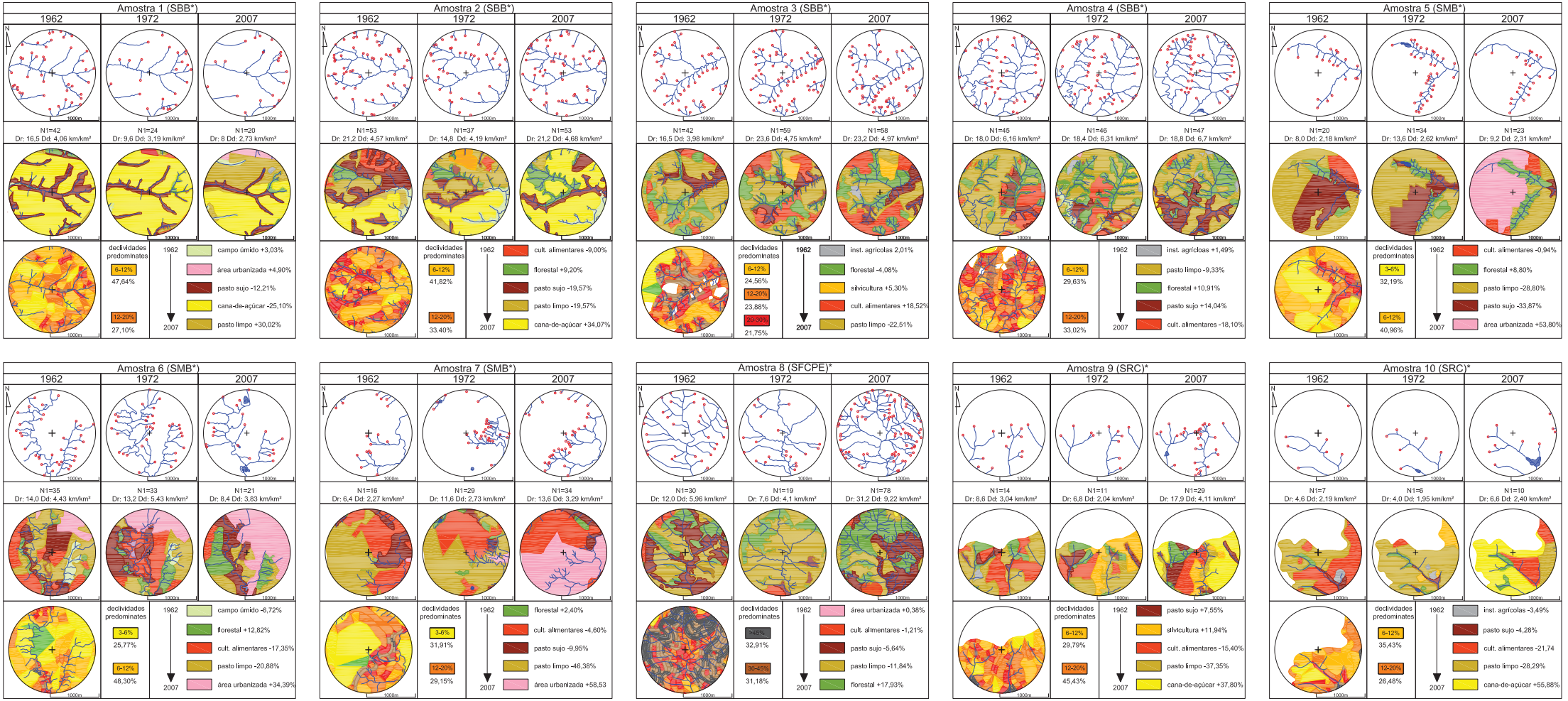
Mapa geomorfológico do ano de 1972
Fonte: Cartas Topográficas do IBGE, 1:50.000,1974, Folha São Pedro (SF-23-M-III-1) e Folha Itirapina (SF-23-M-I-3). Levantamento Aerofotogramétrico de 1972, escala aproximada 1:25.000, 17 fotografias aéreas.
Organização: SIMON, A.L.H.

N
Escala Original 1:50.000

Projeção Universal Transversal de Mercator - Fuso 23 S
Equidistância das curvas de nível: 20 metros
Datum Vertical: Maregrafo Imbituba SC
Datum Horizontal: Córrego Alegre MG
0 2000 4000m

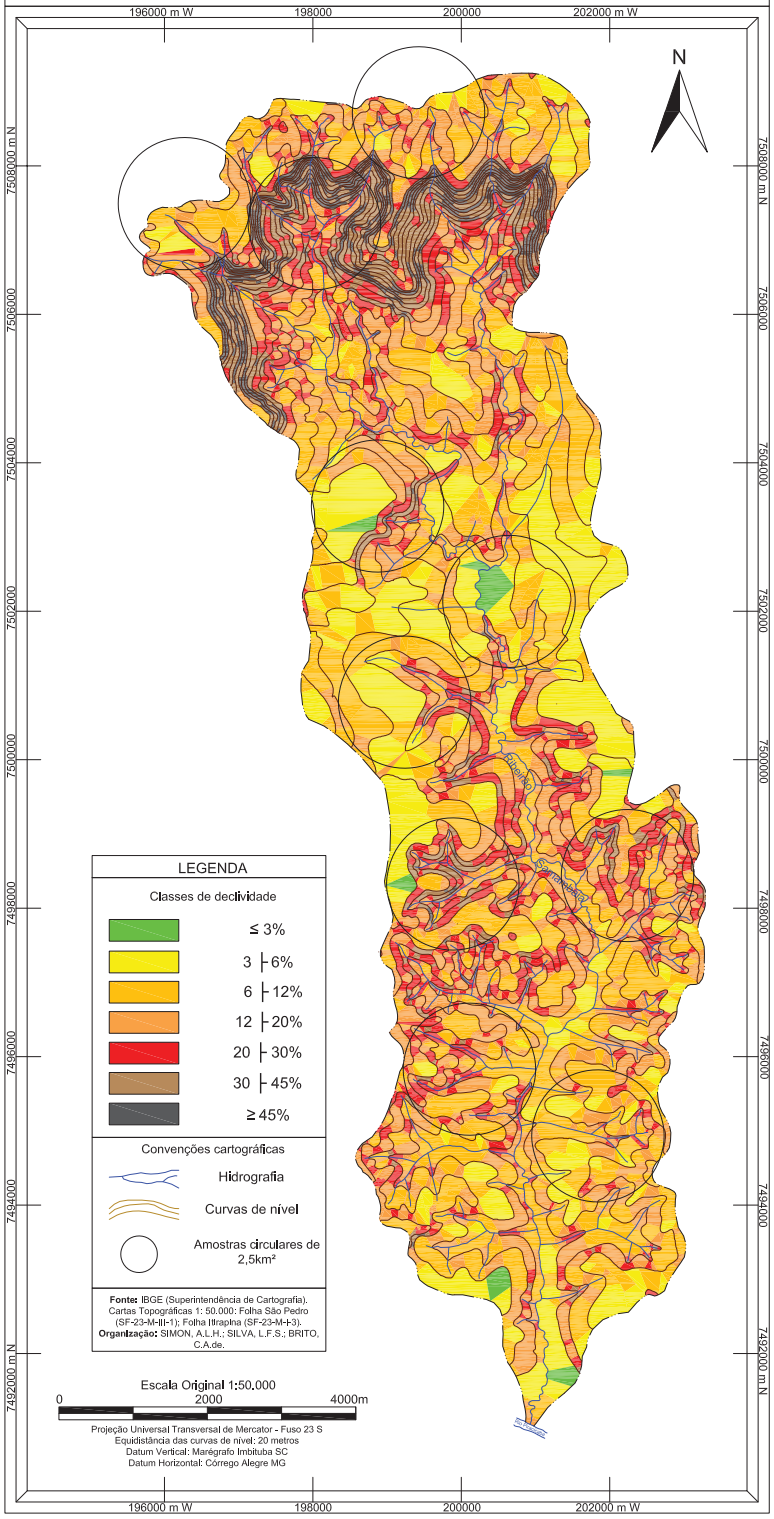
Mapa geomorfológico do ano de 2007
Fonte: Cartas Topográficas do IBGE, 1:50.000,1974, Folha São Pedro (SF-23-M-III-1) e Folha Itirapina (SF-23-M-I-3). Imagem óptica do sensor PRISM *(Panchromatic Remote-sensing Instrument for Stereo Mapping)* do sistema ALOS.
Organização: SIMON, A.L.H.; SCHIAVINATO, L.C.F.

AMOSTRAS CIRCULARES DA BACIA DO RIBEIRÃO SAMAMBAIA

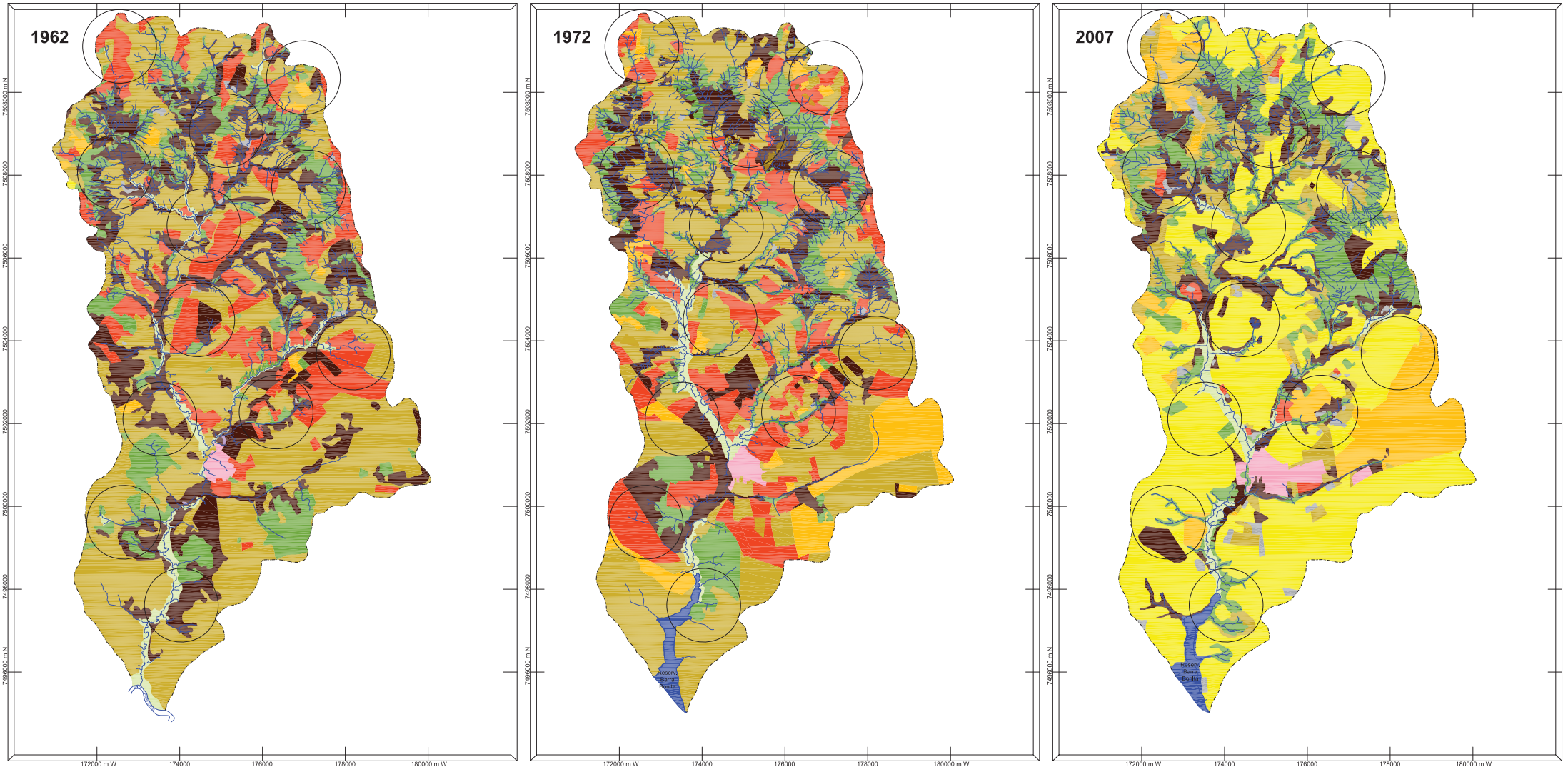


*SBB: setor da baixa bacia; *SMB: setor da média bacia; SFCPE: setor do front cuestiforme e patamares estruturais; SRC: setor do reverso cuestiforme; (Dr) Densidade de rios; (Dd) Densidade de drenagem; N1: Número de canais de primeira ordem em cada amostra . Área das amostras circulares: 2,5 km².

MAPA DE CLASSES DE DECLIVIDADE DA BACIA DO RIBEIRÃO SAMABAIA - SP



OCUPAÇÃO E USO DAS TERRAS NA BACIA DO RIBEIRÃO BONITO - SP



- Áreas Urbanizadas
- Mineração
- Culturas Alimentares
- Cana-de-açúcar
- Café
- Pasto Sujo
- Pasto Limpo
- Silvicultura
- Instalações Agrícolas
- Florestal
- Campo Úmido
- Corpos de Água Continentais
- Hidrografia
- Delimitação B.H. Bonito
- Localização das amostras circulares de 2,5km²

N

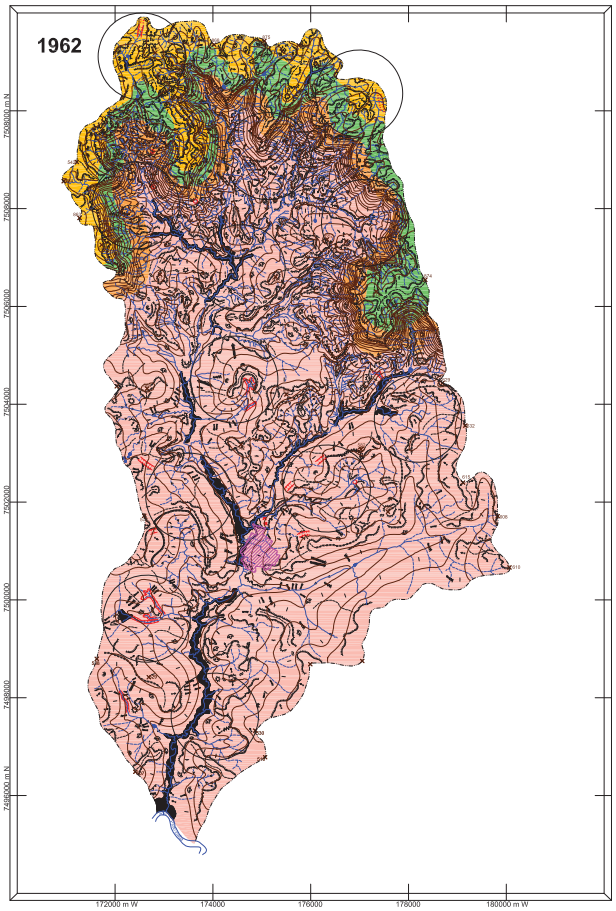
Escala Original 1:50.000

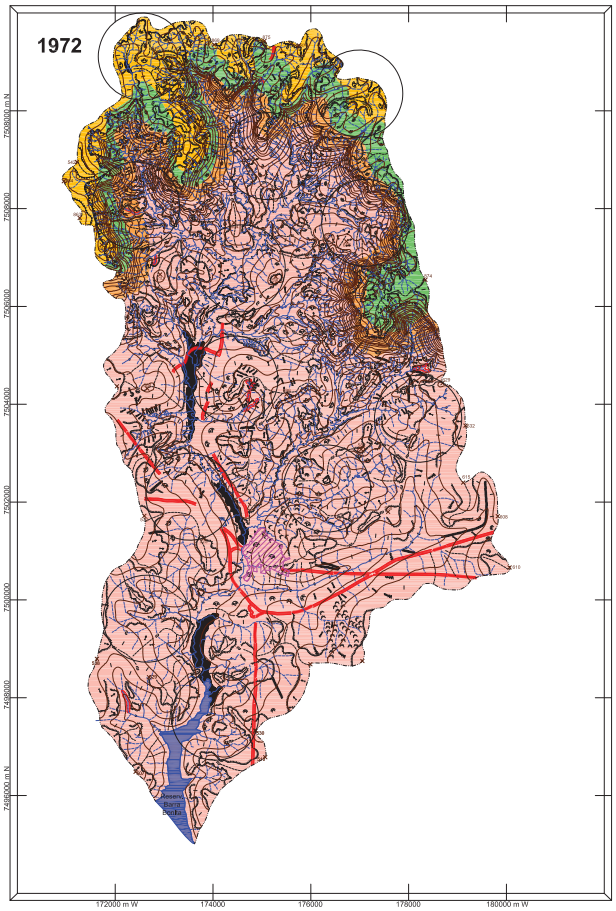
0 2000 4000m

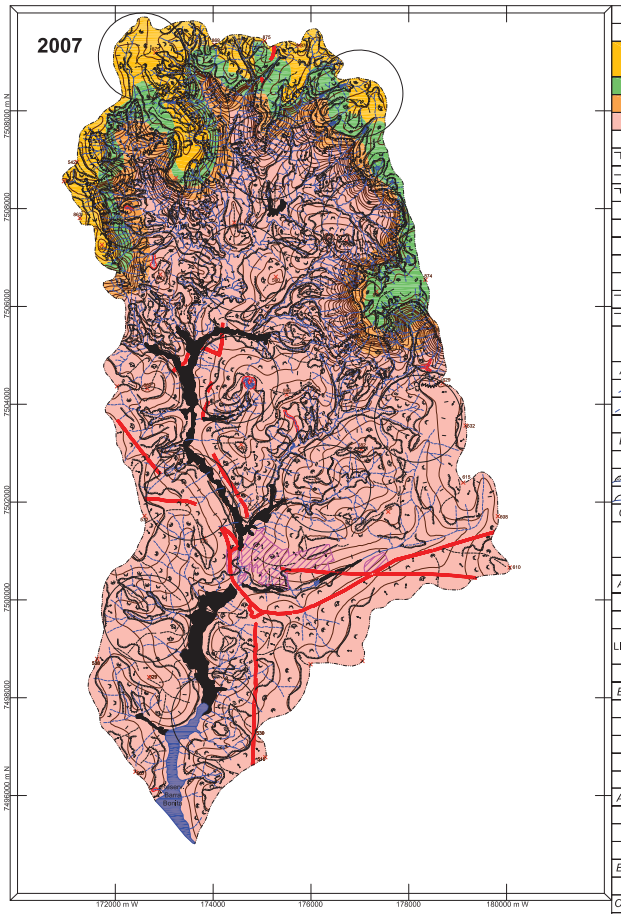
Projeção Universal Transversal de Mercator - Fuso 23 S
Equidistância das curvas de nível: 20 metros
Datum Vertical: Marégrafo Imbituba SC
Datum Horizontal: Córrego Alegre MG

Mapa de ocupação de uso das terras em 1962
Fonte: Cartas Topográficas do IBGE, 1:50.000,1974, Folha Santa Maria da Serra (SF-22-Z-B-VI-2); Folha Brotas (SF-22-Z-B-II-I). Levantamento Aerofotogramétrico de 1962, escala aproximada 1:25.000,18 fotografias aéreas.
Organização: SIMON, A.L.H.; AGUIRRE, F.
Mapa de ocupação e uso das terras em 1972
Fonte: Cartas Topográficas do IBGE, 1:50.000,1974, Folha Santa Maria da Serra (SF-22-Z-B-VI-2); Folha Brotas (SF-22-Z-B-II-I). Levantamento Aerofotogramétrico de 1972, escala aproximada 1:25.000,17 fotografias aéreas.
Organização: SIMON, A.L.H.
Mapa de ocupação e uso das terras em 2007
Fonte: Imagem óptica do sensor PRISM *(Panchromatic Remote-sensing Instrument for Stereo Mapping)* do sistema ALOS.
Organização: SIMON, A.L.H.; AGUIRRE,F.

GEOMORFOLOGIA DA BACIA DO RIBEIRÃO BONITO - SP







Mapa geomorfológico do ano de 1962

Fonte: Cartas Topográficas do IBGE, 1:50.000,1974, Folha Santa Maria da Serra (SF-22-Z-B-V-I-2); Folha Brotas (SF-22-Z-B-III-4). Levantamento Aerofotogramétrico de 1962, escala aproximada 1:25.000,18 fotografias aéreas.
Organização: SIMON, A.L.H.; AGUIRRE, F.

Mapa geomorfológico do ano de 1972

Fonte: Cartas Topográficas do IBGE, 1:50.000,1974, Folha Santa Maria da Serra (SF-22-Z-B-VI-2); Folha Brotas (SF-22-Z-B-III-4). Levantamento Aerofotogramétrico de 1972, escala aproximada 1:25.000, 17 fotografias aéreas.
Organização: SIMON, A.L.H.

0 2000 4000m

Projeção Universal Transversal de Mercator - Fuso 23 S
Equidistância das curvas de nível: 20 metros
Datum Vertical: Marégrafo Imbituba SC
Datum Horizontal: Córrego Alegre MG

N

Mapa geomorfológico do ano de 2007

Fonte: Cartas Topográficas do IBGE, 1:50.000,1974, Folha Santa Maria da Serra (SF-22-Z-B-VI-2); Folha Brotas (SF-22-Z-B-III-I),Imagem óptica do sensor PRISM *(Panchromatic Remote-sensing Instrument for Stereo Mapping)* do sistema ALOS.
Organização: SIMON, A.L.H.; SCHIAVINATO, L.C.F.

LEGENDA

1. LITOLOGIA

TQl	(OLIGOCENO-MIOCENO) Depósitos de elmeira, conglomerados, arenitos imaturos, cimento ferruginoso	
JKsg	(JURÁSSICO-CRETÁCEO) Formação Serra Geral	Grupo São Bento
TrJb	(TRIÁSSICO-CRETÁCEO) Formação Botucatu	
TrJp	(TRIÁSSICO-CRETÁCEO) Formação Pirambóia	

2. FEIÇÕES ESTRUTURAIS

- Patamar Estrutural
- Crista Estrutual
- Cuesta

3. FORMAS DE ORIGEM DENUDATIVA

- Erosão em Sulcos
- Ravinas
- Voçorocas
- Colo
- Ruptura Topográfica Suave
- Ruptura Topográfica Abrupta

4. AÇÃO DAS ÁGUAS CORRENTES E FORMAS DE ORIGEM FLUVIAL

A. Feições Hidrográficas

- Canal Fluvial
- Canal Fluvial
- Lago

B. Formas de Acumulação

- Leque Aluvial
- Depósitos Aluviais
- Terraço Fluvial

C. Modelado de Entalhe

- Fundo de vale: em " V "
- Fundo de vale: plano

5. MORFOMETRIA

A. Precisões Topográficas e Morfométricas

- 585 Pontos Cotados
- Curvas de nível
- Linhas de cumeada: suaves
- Linhas de cumeada: agudas
- Direção do Escoamento Superficial

B.Forma das Vertentes

- Vertente Convexa
- Vertente Côncava
- Vertente Retilínea
- Vertente Irregular

6. MODELADO ANTRÓPICO E ALTERAÇÕES NA TOPOGRAFIA

A. Formas de Ablação

- Poço de Mina/pedreira Ativa
- Poço de Mina/pedreira Desativada
- Corte decorrente de rotas, canais e vias férreas

B. Formas de Acumulação

- Aterro decorrente de rotas, canais e vias férreas

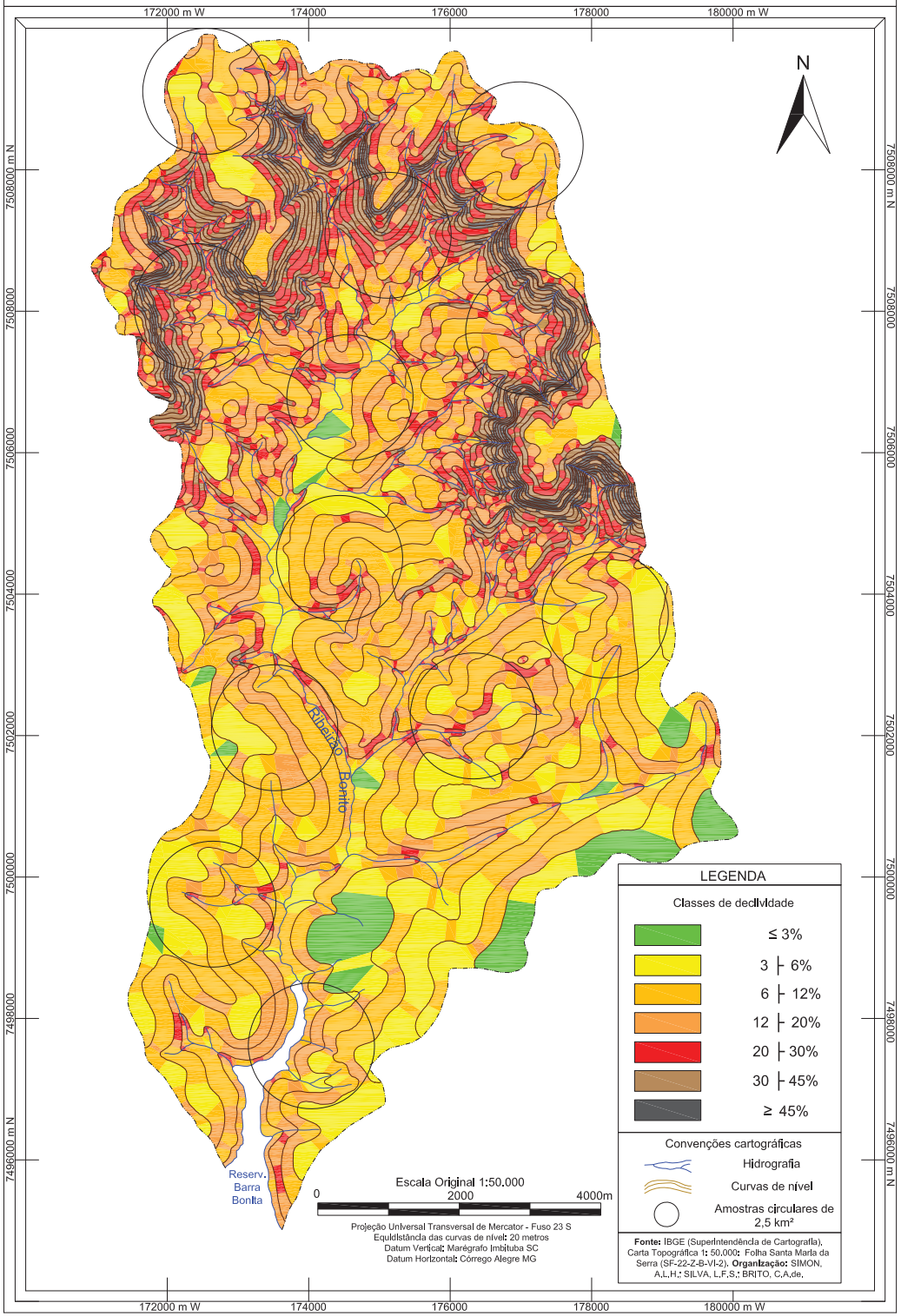
C. Formas Mistas

- Terraços para Cultivo Agrícola
- Curso de água retificado

7. CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

- Limites da bacia hidrográfica
- Áreas urbanizadas

MAPA DE CLASSES DE DECLIVIDADE DA BACIA DO RIBEIRÃO BONITO - SP



AMOSTRAS CIRCULARES DA BACIA DO RIBEIRÃO BONITO

Amostra 1 (SMBB*)

1962	1972	2007
N1=7	N1=5	N1=15
Dr: 2,8 Dd: 2,01 km/km²	Dr: 2,0 Dd: 0,93 km/km²	Dr: 6,0 Dd: 2,16 km/km²

declividades predominates: 6-12% 34,76%; 12-20% 41,93%

1962 → 2007

- campo úmido -10,10%
- florestal +17,36%
- pasto sujo -31,17%
- pasto limpo -38,82%
- cana-de-açúcar +55,60%

Amostra 2 (SMBB*)

1962	1972	2007
N1=10	N1=5	N1=7
Dr: 4,0 Dd: 2,02 km/km²	Dr: 2,0 Dd: 1,05 km/km²	Dr: 2,8 Dd: 1,28 km/km²

declividades predominates: 6-12% 42,80%; 3-6% 42,09%

1962 → 2007

- pasto sujo +3,10%
- silvicultura +13,60%
- florestal -17,26%
- pasto limpo -54,39%
- cana-de-açúcar +56,35%

Amostra 3 (SMBB*)

1962	1972	2007
N1=15	N1=9	N1=1
Dr: 6,0 Dd: 2,07 km/km²	Dr: 3,6 Dd: 1,4 km/km²	Dr: 0,4 Dd: 0,85 km/km²

declividades predominates: 6-12% 48,76%; 12-20% 27,11%

1962 → 2007

- florestal -5,38%
- campo úmido +7,23%
- pasto sujo -26,00%
- pasto limpo -43,00%
- cana-de-açúcar +74,77%

Amostra 4 (SMBB*)

1962	1972	2007
N1=8	N1=11	N1=11
Dr: 3,2 Dd: 1,31 km/km²	Dr: 4,4 Dd: 2,06 km/km²	Dr: 4,4 Dd: 1,52 km/km²

declividades predominates: 6-12% 48,85%; 12-20% 24,62%

1962 → 2007

- inst. agrícolas +4,29%
- cult. alimentares -17,13%
- silvicultura +24,56%
- pasto limpo -26,61%
- cana-de-açúcar 33,54%

Amostra 5 (SMBB*)

1962	1972	2007
N1=11	N1=6	N1=0
Dr: 4,4 Dd: 1,99 km/km²	Dr: 2,4 Dd: 1,57 km/km²	Dr: 0,0 Dd: 0,0 km/km²

declividades predominates: 3-6% 36,93%; 6-12% 47,78%

1962 → 2007

- pasto sujo -8,11%
- silvicultura +33,61%
- pasto limpo -37,25%
- cult. alimentares -50,67%
- cana-de-açúcar +63,97%

Amostra 6 (SMBB*)

1962	1972	2007
N1=20	N1=16	N1=39
Dr: 8,0 Dd: 2,33 km/km²	Dr: 6,4 Dd: 1,82 km/km²	Dr: 15,6 Dd: 2,12 km/km²

declividades predominates: 6-12% 58,73%; 12-20% 21,56%

1962 → 2007

- florestal -3,23%
- pasto sujo -3,27%
- pasto limpo -31,92%
- cult. alimentares -36,67%
- cana-de-açúcar +72,68

Amostra 7 (SMBB)*

1962	1972	2007
N1=21	N1=31	N1=14
Dr: 8,4 Dd: 3,53 km/km²	Dr: 12,4 Dd: 4,57 km/km²	Dr: 5,6 Dd: 3,21 km/km²

declividades predominates: 6-12% 32,91%; 12-20% 31,18%

1962 → 2007

- campo úmido -6,17%
- florestal +11,12%
- pasto limpo -31,85%
- cult. alimentares -35,55%
- cana-de-açúcar +61,10%

Amostra 8 (SFCPE)*

1962	1972	2007
N1=51	N1=46	N1=44
Dr: 20,4 Dd: 7,6 km/km²	Dr: 18,4 Dd: 7,75 km/km²	Dr: 17,6 Dd: 7,48 km/km²

declividades predominates: 20-30% 19,62%; 30-45% 30,12%; >45% 20,11%

1962 → 2007

- cana-de-açúcar +2,53%
- campo úmido -2,79%
- cult. alimentares +3,38%
- florestal +11,60%
- pasto sujo -13,75%

Amostra 9 (SFCPE)*

1962	1972	2007
N1=38	N1=44	N1=47
Dr: 15,2 Dd: 6,18 km/km²	Dr: 17,6 Dd: 6,58 km/km²	Dr: 18,8 Dd: 6,86 km/km²

declividades predominates: 12-20% 21,46%; 30-45% 29,50%; >45% 17,26%

1962 → 2007

- cult. alimentares -8,00%
- pasto sujo -12,77%
- florestal + 12,85%
- pasto limpo -13,35%
- cana-de-açúcar +20,44%

Amostra 10 (SFCPE*)

1962	1972	2007
N1=64	N1=64	N1=62
Dr: 25,6 Dd: 7,07 km/km²	Dr: 25,6 Dd: 8,39 km/km²	Dr: 24,8 Dd: 8,01 km/km²

declividades predominates: 12-20% 25,58%; 20-30% 27,08%; 30-45% 24,77%

1962 → 2007

- pasto limpo -4,03%
- pasto sujo -6,92%
- florestal +10,57%
- cult. alimentares -18,16%
- cana-de-açúcar +20,21%

Amostra 11 (SRC*)

1962	1972	2007
N1=16	N1=13	N1=12
Dr: 6,4 Dd: 1,98 km/km²	Dr: 5,2 Dd: 1,32 km/km²	Dr: 4,8 Dd: 1,04 km/km²

declividades predominates: 6-12% 59,75%; 12-20% 21,68%

1962 → 2007

- pasto sujo -7,07%
- silvicultura -12,85%
- cult. alimentares -20,10%
- pasto limpo -46,72%
- cana-de-açúcar +89,06%

Amostra 12 (SRC*)

1962	1972	2007
N1=16	N1=14	N1=10
Dr: 8,4 Dd: 1,96 km/km²	Dr: 7,4 Dd: 2,24 km/km²	Dr: 5,3 Dd: 1,80 km/km²

declividades predominates: 6-12% 44,14%; 12-20% 28,99%

1962 → 2007

- inst. agrícolas +4,09%
- cana-de-açúcar +11,03%
- pasto limpo -23,21%
- cult. alimentares -45,73%
- silvicultura +55,60%

*SMBB: setor da média e baixa bacia; *SFCPE: setor do front cuestiforme e patamares estruturais; SRC: setor do reverso cuestiforme; (Dr) Densidade de rios; (Dd) Densidade de drenagem; N1: Número de canais de primeira ordem em cada amostra. Área das amostras circulares: 2,5 km².

SÍNTESE DAS ALTERAÇÕES MORFOHIDROGRÁFICAS E NA DINÂMICA DE OCUPAÇÃO E USO DAS TERRAS NA ÁREA EM ESTUDO

Local	Ocupação e uso das terras (1962 – 2007)		Implicações Morfohidrográficas		Evidências da Antropogeomorfologia
Setor de Fundo de Vale	▲	Cana-de-açúcar	Alteração da morfologia das vertentes e dinamização dos processos erosivos com reflexos na dinâmica deposicional do reservatório de Barra Bonita;	Alagamento das feições morfohidrográficas vinculadas à dinâmica fluvial meandrante;	Alterações morfohidrográficas diretas vinculadas à elevação do nível de base e geração de morfologias antropogênicas características do desequilíbrio das taxas de deposição e erosão;
		Corpos de água continentais	Elevação do nível de base local e alagamento de feições morfohidrográficas típicas da dinâmica fluvial meandrante do segmento final do Rio Piracicaba;		
	▼	Campos úmidos	Cobertura vegetal primitiva das áreas de sedimentação recente em associação com áreas florestais – atua na consolidação dos depósitos aluviais. Também são indicadoras da expansão de depósitos aluviais junto a foz dos canais fluviais que deságuam no reservatório de Barra Bonita;		
		Pasto limpo	Formações que compreendem a cobertura vegetal original da área, atuando no equilíbrio da morfodinâmica;		
Bacia do Ribeirão Samambaia	▲	Área Urbanizada	Impermeabilização das superfícies com implicações no escoamento superficial e subsuperficial – descaracterização das rupturas de declive e feições erosivas lineares - interferência no perfil de equilíbrio das vertentes e dos canais fluviais – geração de formas do relevo antropogênicas (cortes, aterros, canais artificiais);	Sistema influenciado pelas oscilações no nível da lâmina de água do reservatório de Barra Bonita;	Alterações morfohidrográficas indiretas onde a morfohidrodinâmica se reorganiza em função do complexo processo de ocupação e uso das terras e das alterações na dinâmica fluvial determinadas pela elevação do nível de base – o uso da terra, neste caso, deve ser julgado como elemento determinante das alterações nas características espaciais dos canais de drenagem e das feições de origem denudativa;
		Cana-de-açúcar	Lavouras antigas que tiveram as técnicas agrícolas aperfeiçoadas levando a uma maior intervenção nos compartimentos de fundo de vale dos canais de primeira ordem – camuflagem e arrasamento de feições erosivas lineares – possível atuação de erosão laminar;		
	▼	Pasto limpo	Pastagens utilizadas para prática agropastoril. A depender do grau de utilização e das características de declividade tendem a dinamização dos processos erosivos lineares junto aos caminhos preferenciais do gado;		
		Culturas alimentares	Implicações são relativas ao conjunto de práticas agrícolas adotadas – dinamização dos processos erosivos em função da remoção da cobertura vegetal original;		
Bacia do Ribeirão Bonito	▲	Cana-de-açúcar	Expansão generalizada sobre os compartimentos de fundo de vale com soterramento dos canais de primeira ordem e alteração da dinâmica fluvial – camuflagem de feições erosivas lineares.	Sistema com foz e baixo curso alagados em decorrência da construção do reservatório de Barra Bonita;	
		Silvicultura	A intervenção na morfohidrografia é dependente do estágio de crescimento das glebas – estágios avançados possibilitam a evolução de vegetação secundária e períodos de recém-plantio expõe o manto intempérico aos agentes erosivos;		
	▼	Pasto limpo	Ocorrência de feições erosivas localizadas em áreas destinadas a prática agropastoril;		
		Pasto sujo	Em associação com usos florestais, atuam na proteção das vertentes e fundos de vale – contribuem para o retardamento do escoamento superficial;		
		Culturas alimentares	Sua diminuição esteve atrelada a inversão das características agrícolas da área (aumento das áreas de cana-de-açúcar);		

* As flechas indicam aumento ou diminuição das classes de ocupação e uso das terras mais significativas no período de 1962 e 2007.