

São Paulo

2006

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

**INDICADORES PARA MONITORAMENTO DE PROCESSOS
MORFODINÂMICOS: APLICAÇÃO NA BACIA DO RIBEIRÃO PIRAJUÇARA (SP)**

Kátia Canil

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

**INDICADORES PARA MONITORAMENTO DE PROCESSOS
MORFODINÂMICOS: APLICAÇÃO NA BACIA DO RIBEIRÃO PIRAJUÇARA (SP)**

Kátia Canil

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

Orientadora: Prof^a. Dra. Lylian Coltrinari

FICHA CATALOGRAFICA

Canil, Kátia.

Indicadores para monitoramento de processos morfodinâmicos : aplicação na Bacia do Ribeirão Pirajuçara (SP) / Kátia Canil ; orientadora Lylian Coltrinari. -- São Paulo, 2006.
152 f.

Tese (Doutorado - Programa de Pós-Graduação em Geografia Física. Área de concentração: Geografia Física) - Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo.

1. Geomorfologia – Região Metropolitana; São Paulo. 2. Uso do solo – Bacia do Ribeirão Pirajuçara (Impactos ambientais). 3. Bacia hidrográfica – Região Metropolitana; São Paulo (Indicadores). 4. Meio ambiente (Monitoramento). 5. Planejamento territorial urbano (Impactos). I. Título.

21^a. CDD 551.4
C223i

Katia Canil

**INDICADORES PARA MONITORAMENTO DE PROCESSOS
MORFODINÂMICOS: APLICAÇÃO NA BACIA DO RIBEIRÃO PIRAJUÇARA (SP)**

Local: _____

Data de Aprovação: _____

Banca Examinadora

Orientador: _____ **Instituição:** _____

_____ **Instituição:** _____

_____ **Instituição:** _____

_____ **Instituição:** _____

_____ **Instituição:** _____

AGRADECIMENTOS

Essa pesquisa foi motivada quando em 2002, ano de ingresso na pós-graduação, tive a oportunidade de coordenar o projeto Bases técnicas para prevenção e controle da erosão na bacia do ribeirão Pirajuçara, municípios de São Paulo, Taboão da Serra e Embu – Projeto Erosão Zero, no âmbito das atividades do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT), instituição que proporcionou o desenvolvimento de minha carreira, acima de tudo com ética, seriedade, responsabilidade e profissionalismo.

Agradeço portanto, primeiramente, ao IPT pelo apoio e infra-estrutura para a realização das várias etapas da minha pesquisa, por meio do Laboratório de Riscos Ambientais (LARA), do Centro de Tecnologias Ambientais e Energéticas (CETAE).

À Professora Dra. Lylian Coltrinari, por sua orientação dedicada e irrestrita, compreensão e apoio durante os momentos mais difíceis e por acreditar na minha capacidade de finalizar essa pesquisa. Por sua amizade e entusiasmo em viajar para Toronto, cidade em que vivi nos últimos quatro meses antes da entrega da tese, onde foram tecidas as últimas discussões para desse trabalho, além das deliciosas e longas conversas.

À Universidade de São Paulo (USP) por meio da Coordenadoria Executiva de Cooperação Universitária e de Atividades Especiais (CECAE), Programa de Ciências Ambientais (PROCAM) e a Escola Superior de Agricultura Luis de Queiroz (ESALQ) que proporcionaram minha participação no intercâmbio internacional, referente ao Projeto Bacias Irmãs: Construindo Capacidade na Sociedade Civil para a Gestão de Bacias Hidrográficas, na Faculdade de Estudos Ambientais, Universidade de York, Toronto, Canadá, no período de agosto a dezembro de 2006.

À Pontifícia Universidade Católica (PUC), por meio da Faculdade de Ciências Sociais e dos professores do Departamento de Geografia, que apoiaram minha licença no segundo semestre de 2006 para o término da tese, sobretudo aos professores Mauro, pelo incentivo e Bistrichi e Edson, que me substituíram no período em que estive no Canadá.

Ao Centro de Gerenciamento de Emergências da Prefeitura de São Paulo pela cessão dos dados pluviométricos da região do Butantã e Campo Limpo.

À Prefeitura de Taboão da Serra, nas pessoas de Bárbara Fetcher pelas informações verbais sobre o monitoramento dos piscinões neste município, e da Secretária da Habitação Ângela Arruda Camargo Amaral e da geógrafa Luciana Dias do Nascimento pelo empréstimo das fotografias aéreas.

Aos colegas Omar Yazbek Bitar e Professor Jurandyr Luciano Sanches Ross, pelas importantes e valiosas contribuições feitas durante o exame de qualificação. Certamente foram cuidadosamente refletidas e estão de alguma maneira explicitadas nesse trabalho final.

Aos amigos Eduardo Macedo e Agostinho Ogura que sempre apoiaram e incentivaram essa pesquisa, compreendendo os momentos mais difíceis, me “poupando” do trabalho institucional para que eu pudesse dedicar mais tempo ao término da tese.

Aos colegas Gerson, Marcelo e Nestor por assumirem parte de minhas funções no LARA, enquanto estive ausente.

Ao geógrafo Nabil Alameddine por sua colaboração e dedicação nas diversas fases da pesquisa e pelo cuidado e capricho na edição dos mapas.

Aos colegas, Aluizio, Marambaia, Zé da Estrada, Benedito Nachbal (Toca), Mauro e Sérgio, responsáveis pela coleta dos dados de campo.

Aos técnicos do Laboratório de Resíduos e Áreas Contaminadas, José Aparecido, Reginaldo, Vera e Sebastião pela realização dos ensaios laboratoriais.

Aos geólogos Carlos Geraldo e José Luiz Albuquerque e ao geógrafo Edson Cabral por suas críticas, contribuições e sugestões.

Aos geólogos, Zeno e Fabrício pela participação nas várias fases dos trabalhos de campo, apoio e incentivo.

Às estagiárias Luciana Cordeiro e Mariana Fagundes pela realização de pesquisas bibliográficas, coleta de dados e elaboração dos gráficos.

À Ana Maria pela revisão final das referências bibliográficas.

Aos colegas Luis Celso Coutinho pela edição e impressão do texto final e Aroldo pela impressão dos mapas e tabela.

Aos colegas, Alessandra, Cláudio (Aranha), Fabiana, Geraldo, Laps, Luiz Antonio e Maria que acompanharam o desenvolvimento desse trabalho.

As amigas Ros Mari e Vilma, e Marísia, companheiras de IPT e PUC, pela solidariedade e motivação em todas as fases da pesquisa.

As amigas Rita de Cássia, Célia e Maria Cristina pela amizade e incentivo durante todo o meu trabalho.

Ao geógrafo Dennys pela motivação e vibração ao longo de todo desenvolvimento da pesquisa.

Aos alunos da PUC, Cláudia, Ederaldo, Fabrizio, Kica, Luizão, Marlise, Natália, Ramon, Susanna, que sempre incentivaram, cada um a seu modo, não só minha pesquisa, mas minha experiência no Canadá.

Aos colegas Ignazio, Júlia e Laura, companheiros do intercâmbio em Toronto, que acompanharam meu stress no final da tese, mas que também compartilharam divertidos momentos na viagem às Montanhas Rochosas na região de Banff e Lake Louise.

À minha especial família:

Às minhas tias e primos, Alice, Luiza, Thereza, Alicinha, Cindel, Cintia, Cláudia, Dudu, Denise, Lais, Luizinho, Marcos, Morango, Nelson, Pedro, Rosely, Silvia, Sueli, Thiago, todos que, de alguma maneira, acompanharam a trajetória da elaboração da tese com muita vibração.

Ao meu irmão, Rogério pelo apoio e compreensão, principalmente nos momentos mais difíceis durante o desenvolvimento da tese.

Aos meus queridos pais Sidney e Eva, que sempre me apoiaram em todos os desafios, que souberam educar com muito amor para ser determinada e saber enfrentar com paciência e discernimento as dificuldades e turbulências da vida.

Ao Carlos Eduardo, meu amado companheiro, por seu apoio, incentivo, compreensão, participação entusiástica e sobretudo pela paciência, muita paciência durante esses últimos cinco anos, que transcorreram na elaboração da tese.

SUMÁRIO

ÍNDICE	II
LISTA DE TABELAS	IV
LISTA DE FIGURAS	V
RESUMO	VIII
ABSTRACT	IX
CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO 2 MATERIAIS E MÉTODOS	10
CAPÍTULO 3 INDICADORES DE SITUAÇÃO DE EQUILÍBRIO, INTERVENÇÕES ANTROPOGÊNICAS, DINÂMICA DE VERTENTE E DINÂMICA FLUVIAL, NA BACIA DO RIBEIRÃO PIRAJUÇARA.....	51
CAPÍTULO 4 PROPOSTA DE INDICADORES PARA O MONITORAMENTO DOS PROCESSOS MORFODINÂMICOS NA BACIA DO RIBEIRÃO PIRAJUÇARA	126
CONCLUSOES	137
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	141
ANEXO 1 – INDICADORES PARA MONITORAMENTO DOS PROCESSOS MORFODINAMICOS NA BACIA DO RIBEIRAO PIRAJUCARA.....	152

ÍNDICE

ÍNDICE	II
LISTA DE TABELAS	IV
LISTA DE FIGURAS	V
RESUMO	VIII
ABSTRACT	IX
CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Histórico do Problema	3
1.2 Hipóteses	7
1.3 Objetivos	8
1.4 Justificativa	8
CAPÍTULO 2 MATERIAIS E MÉTODOS	10
2.1 Área da Pesquisa: o contexto da bacia do rio Pirajuçara	10
2.1.1 Características dos Meios Físico e Antrópico	13
2.2 A Propósito do Método de Abordagem	23
2.2.1 Geomorfologia aplicada e transformação da paisagem	23
2.2.2 Geoindicadores Ambientais	27
2.3 Materiais e Técnicas Utilizadas	33
2.3.1 Documentação Cartográfica	34
2.3.2 Programas de Softwares	35
2.3.3 Uso e ocupação do solo	35
2.3.4 Dados pluviométricos	36
2.3.5 Medidas de transporte de sedimentos	36
2.3.5.1 Amostrador US-DH-48	38
2.3.5.2 Molinete Valeport	39
2.3.5.3 Determinação dos locais e frequência de amostragem	41
2.3.5.4 Amostragem por Integração Vertical	42
2.3.5.5 Ensaios laboratoriais para obtenção do teor de sedimentos e concentração de sedimentos por volume	46
2.3.5.5.1 Concentração em volume e peso do sedimento	46
2.3.5.5.2 Descarga sólida em suspensão	47

CAPÍTULO 3 INDICADORES DE SITUAÇÃO DE EQUILÍBRIO, INTERVENÇÕES ANTROPOGÊNICAS, DINÂMICA DE VERTENTE E DINÂMICA FLUVIAL, NA BACIA DO RIBEIRÃO PIRAJUÇARA.....	51
3.1 Escala de Análise: Primeiro Nível	58
3.1.1 Análise pluviométrica da bacia	64
3.1.2 Análise comparativa entre valores de precipitação, vazão, concentração e descarga sólida	74
3.2 Escala de Análise: Segundo Nível	88
3.2.1 Análise comparativa entre valores de precipitação, vazão, concentração e descarga sólida	96
3.3 Escala de Análise: Terceiro nível, Poá 2.....	104
3.3.1 Análise comparativa entre valores de precipitação, vazão, concentração e descarga sólida	107
3.4 Escala de Análise: Terceiro nível, Poá 3.....	115
3.4.1 Análise comparativa entre valores de precipitação, vazão, concentração e descarga sólida	119
CAPÍTULO 4 PROPOSTA DE INDICADORES PARA O MONITORAMENTO DOS PROCESSOS MORFODINÂMICOS NA BACIA DO RIBEIRÃO PIRAJUÇARA	126
4.1 A importância/efetividade dos indicadores no gerenciamento dos processos erosão-transporte-acumulação na bacia do Ribeirão Pirajuçara	129
4.2 Leitura dos Indicadores para o contexto das Bacias do Pirajuçara (São Paulo, Brasil) e <i>Black Creek</i> (Toronto, Canadá).....	133
CONCLUSOES	137
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	141
ANEXO 1 – INDICADORES PARA MONITORAMENTO DOS PROCESSOS MORFODINÂMICOS NA BACIA DO RIBEIRÃO PIRAJUÇARA.....	152

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Geoindicadores: influências naturais x influências humanas (modificado de BERGER, 1996).	29
Tabela 2: Categorias de uso e ocupação do solo/intervenções antropogênicas da bacia do ribeirão Pirajuçara	59
Tabela 3: Totais pluviométricos mensais e anuais, do período 2000 – 2005 - Posto Butantã. Fonte: Centro de Gerenciamento de Emergências (CGE), 2006.....	65
Tabela 4: Totais pluviométricos mensais e anuais do período 2000 – 2005 – Posto Campo Limpo. Fonte: Centro de Gerenciamento de Emergências – CGE, 2006.....	69
Tabela 5: Síntese da coleta de dados (chuva, vazão e sedimentos em suspensão) e os resultados obtidos em laboratório do Ponto Pira 1(Período 30/03/2005 a 30/03/2006).....	77
Tabela 6: Síntese da coleta de dados (chuva, vazão e sedimentos em suspensão) e os resultados obtidos em laboratório do Ponto Pira 2(Período 30/03/2005 a 30/03/2006).....	83
Tabela 7: Categorias de uso e ocupação do solo/intervenções antropogênicas da bacia do córrego Poá (período 1962-2003).....	90
Tabela 8: Síntese da coleta de dados (chuva, vazão e sedimentos em suspensão) e os resultados obtidos em laboratório do Ponto Poá 1(Período 30/03/2005 a 30/03/2006).	99
Tabela 9: Categorias de uso e ocupação do solo/intervenções antropogênicas da sub-bacia Poá 2.....	106
Tabela 10: Síntese da coleta de dados (chuva, vazão e sedimentos em suspensão) e os resultados obtidos em laboratório do Ponto Poá 2 (Período 30/03/2005 a 30/03/2006).	110
Tabela 11: Categorias de uso e ocupação do solo/intervenções antropogênicas da sub-bacia Poá 3.....	115
Tabela 12: Síntese da coleta de dados (chuva, vazão e sedimentos em suspensão) e os resultados obtidos em laboratório do Ponto Poá (Período 30/03/2005 a 30/03/2006).....	121

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização da bacia hidrográfica do Ribeirão Pirajuçara no contexto da Região Metropolitana de São Paulo	6
Figura 2: Localização da bacia hidrográfica do ribeirão Pirajuçara	11
Figura 3: Mapa geológico da bacia hidrográfica do ribeirão Pirajuçara.....	14
Figura 4: Esboço geológico de um perfil na área da bacia do ribeirão Pirajuçara.....	15
Figura 5: Mapa hipsométrico da bacia hidrográfica do ribeirão Pirajuçara.....	17
Figura 6: Mapa clinográfico da bacia hidrográfica do ribeirão Pirajuçara	19
Figura 7: Perfil de Cambissolo na bacia do ribeirão Pirajuçara.....	20
Figura 8: Mapa de áreas de produção de sedimentos da bacia hidrográfica do ribeirão Pirajuçara.....	22
Figura 9: Pontos de coleta e amostragem de sedimentos nas bacias hidrográficas do ribeirão Pirajuçara e córrego Poá.....	43
Figura 10: Gráfico utilizado para determinação do tempo de enchimento da garrafa, com volume de 400 cm ³ , durante o processo de amostragem de sedimentos em suspensão (IPT, 2005 apud CEMIG, 1965).....	45
Figura 11: Modelo de ficha de campo para medição de vazão e coleta de sedimentos.	49
Figura 12: Mapa de uso do solo da bacia hidrográfica do ribeirão Pirajuçara.....	60
Figura 13: Totais pluviométricos mensais do Posto Butantã – Comparativo 2000x2005 – 2000. Fonte CGE, 2006.....	66
Figura 14: Totais pluviométricos mensais do Posto Butantã – Comparativo 2000x2005 – 2001. Fonte CGE, 2006.....	66
Figura 15: Totais pluviométricos mensais do Posto Butantã – Comparativo 2000x2005 – 2002. Fonte CGE, 2006.....	67
Figura 16: Totais pluviométricos mensais do Posto Butantã – Comparativo 2000x2005 – 2003. Fonte CGE, 2006.....	67
Figura 17: Totais pluviométricos mensais do Posto Butantã – Comparativo 2000x2005 – 2004. Fonte CGE, 2006.....	68
Figura 18: Totais pluviométricos mensais do Posto Butantã – Comparativo 2000x2005 – 2005. Fonte CGE, 2006.....	68
Figura 19: Totais pluviométricos mensais do Posto Campo Limpo – Comparativo 2000x2005 – 2000. Fonte CGE, 2006.....	70
Figura 20: Totais pluviométricos mensais do Posto Campo Limpo – Comparativo 2000x2005 – 2001. Fonte CGE, 2006.....	70
Figura 21: Totais pluviométricos mensais do Posto Campo Limpo – Comparativo 2000x2005 – 2002. Fonte CGE, 2006.....	71
Figura 22: Totais pluviométricos mensais do Posto Campo Limpo – Comparativo 2000x2005 – 2003. Fonte CGE, 2006.....	71

Figura 23: Totais pluviométricos mensais do Posto Campo Limpo – Comparativo 2000x2005 – 2004. Fonte CGE, 2006.....	72
Figura 24: Totais pluviométricos mensais do Posto Campo Limpo – Comparativo 2000x2005 – 2005. Fonte CGE, 2006.....	72
Figura 25: Ficha de campo para medição de vazão e coleta de sedimentos do ribeirão Pirajuçara (Ponto Pira 1).	76
Figura 26: Correlação entre vazão e precipitação do ponto Pira 1 – Bacia do ribeirão Pirajuçara.....	78
Figura 27: Correlação entre vazão e concentração do ponto Pira 1 – Bacia do ribeirão Pirajuçara.....	79
Figura 29: Ficha de campo para medição de vazão e coleta de sedimentos do ribeirão Pirajuçara (Ponto Pira 2).	82
Figura 30: Correlação entre vazão e precipitação do ponto Pira 2 – Bacia do ribeirão Pirajuçara.....	84
Figura 31: Correlação entre vazão e concentração do ponto Pira 2 – Bacia do ribeirão Pirajuçara.....	85
Figura 32: Correlação entre vazão e descarga sólida do ponto Pira 2 – Bacia do ribeirão Pirajuçara.....	86
Figura 33: Mapa de uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do córrego Poá (1962).	91
Figura 34: Mapa de uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do córrego Poá (1972).	92
Figura 35: Mapa de uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do córrego Poá (1987).	93
Figura 36: Mapa de uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do córrego Poá (2003).	94
Figura 37: Ficha de campo para medição de vazão e coleta de sedimentos do córrego Poá (Ponto Poá 1).	98
Figura 38: Correlação entre vazão e precipitação do ponto Poá 1– Bacia do córrego Poá.	100
Figura 39: Correlação entre vazão e concentração do ponto Poá 1 – Bacia do córrego Poá.	101
Figura 40: Correlação entre vazão e descarga sólida do ponto Poá 1– Bacia do córrego Poá.	102
Figura 41: Mapa clinográfico e feições geomorfológicas da sub-bacia Poá 2.....	104
Figura 42: Mapa de uso e ocupação do solo da sub-bacia Poá 2.....	105
Figura 43: Ficha de campo para medição de vazão e coleta de sedimentos do afluente do córrego Poá (Ponto Poá 2).....	109
Figura 44: Correlação entre vazão e precipitação do ponto Poá 2– Bacia do córrego Poá.	111

Figura 45: Correlação entre vazão e concentração do ponto Poá 2 – Bacia do córrego Poá.	112
Figura 46: Correlação entre vazão e descarga sólida do ponto Poá 2– Bacia do córrego Poá.	113
Figura 47: Mapa clinográfico e feições geomorfológicas da sub-bacia Poá 3.	116
Figura 48: Mapa de uso e ocupação do solo da sub-bacia Poá 3.	117
Figura 49: Ficha de campo para medição de vazão e coleta de sedimentos do afluente do córrego Poá (Ponto Poá 3).	120
Figura 50: Correlação entre vazão e precipitação do ponto Poá 3– Bacia do córrego Poá.	122
Figura 51: Correlação entre vazão e concentração do ponto Poá 3 – Bacia do córrego Poá.	123
Figura 52: Correlação entre vazão e descarga sólida do ponto Poá 3– Bacia do córrego Poá.	124

RESUMO

Geoindicadores correspondem a medidas de magnitude e frequência de processos geomorfológicos superficiais que variam num período inferior a cem anos e se baseiam em análises, diagnósticos e procedimentos para monitoramento do meio ambiente. Assim, o conceito de geoindicador foi adotado nesta pesquisa para formulação e sistematização de indicadores de processos morfodinâmicos e intervenções antropogênicas (uso e ocupação do solo) na bacia do ribeirão Pirajuçara, com 73 km², que abrange os municípios de São Paulo, Taboão da Serra e Embu, na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP). Sua escolha considerou a existência de áreas significativas de produção de sedimentos e o histórico de ocorrências de inundações. Os indicadores foram aplicados em três escalas de análise: bacia do ribeirão Pirajuçara (1:50.000), bacia do ribeirão Poá (afluente principal do ribeirão Pirajuçara) (1:25.000), e sub-bacias de dois afluentes de primeira ordem do córrego Poá (1:5.000). A proposta apresentada reúne 21 (vinte e um) indicadores em quatro categorias: *situação de equilíbrio*, *intervenções antropogênicas*, *dinâmica das vertentes*, e *dinâmica fluvial*, para cada uma das quais foram descritos os parâmetros de registro de cada indicador. Esse modelo poderá subsidiar a elaboração de planos de monitoramento para prevenção e controle de processos morfodinâmicos em bacias hidrográficas em áreas urbanas e/ou rurais.

Palavras Chaves: (Geo) Indicadores, Processos Morfodinâmicos, Monitoramento, Bacia Hidrográfica, Pirajuçara.

ABSTRACT

Geoindicators are measures of magnitude and frequency of surface geomorphological processes that vary significantly over a period of less than 100 years and are used in environmental monitoring assessment. Geoindicators have been adopted in this research in order to select and systematize the morphodynamic processes and anthropogenic action (land use occupation) in the Pirajuçara Watershed which drains an area of 73 km², and includes parts of São Paulo, Taboão da Serra and Embu cities, in São Paulo Metropolitan Region (RMSP). The reason for selecting this watershed was the presence of significant erosion areas and the historical records of floods. The indicators have been applied in three scales of analysis: Pirajuçara watershed (1:50.000), Poá watershed - the main subwatershed of Pirajuçara - (1:25.000) and two subwatersheds of first order of Poá (1:5.000). This research presents 21 indicators in four classes: *equilibrium state*; *anthropogenic action*; *hillslope dynamic* and *fluvial dynamic*, and describes for each indicator its characteristics. This proposal may be used to support the elaboration of monitoring plans to prevent and control the morphodynamic processes for watersheds in urban and/or rural areas.

Key-Words: (Geo) Indicators, Morphodynamic Processes, Monitoring, Watershed, Pirajuçara.

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

O remodelamento da paisagem nos últimos 10.000 anos, e em particular depois da Revolução Industrial, resulta do modo de organização da sociedade, dos modos de produção e do uso de ferramentas e da necessidade de utilização dos recursos naturais (HART, 1986). Desde a pré-história as atividades humanas exercem, portanto intervenções na superfície da Terra, produzindo mudanças nos sistemas hidrológicos e terrestres.

No início das civilizações antigas, tais modificações ocorriam em menor escala, pois a população sedentária era escassa. No entanto, com a construção das primeiras cidades do mundo na Mesopotâmia (entre 4.000 e 3.000 A.C) essas modificações se multiplicam e aumentam no decorrer dos milênios até o presente. Os efeitos cumulativos, assim como a explosão demográfica, a urbanização acelerada e a progressiva exploração dos recursos naturais contribuem em larga escala ao aumento e magnitude dos impactos ambientais negativos (HART, 1986, ROSS, 1993).

Mais recentemente, o acelerado processo de urbanização e o crescimento das cidades atrelados às transformações sociais e econômicas da humanidade, vêm exercendo, entre outros efeitos, mudanças nas formas de relevo da superfície, decorrentes dos processos antropogênicos (processos desencadeados por intervenção humana que ocorrem em curto período de tempo) e que em geral estão associados a diversas formas de degradação do ambiente, especialmente em áreas recém urbanizadas (FORMAN & GODRON; 1986, HART; 1986, PANIZZA; 1987, DOUGLAS; 1983; HOOKE, 1988). Entre o final do século XX e início do século XXI, os grandes centros urbanos mundiais fazem parte desse cenário e os impactos observados, podem se apresentar em maior ou menor escala, conforme a gestão do território.

Dentro desse contexto, segundo MEYER *et.al* (2004) os efeitos do impulso do crescimento urbano podem ser identificados na Região Metropolitana de São Paulo entre os anos de 1960 e 1990, quando o processo de urbanização registrou um

crescimento de cerca de 40% da área urbana. Esses processos, somente no período entre as décadas de 70 e 90, respondem pela retirada de 31% da cobertura vegetal, substituída por avenidas de fundos de vale e assentamentos urbanos precários, entre outros usos. Nos últimos quinze anos a área urbanizada metropolitana aumentou 436 km², alcançando atualmente 2.139 km², onde vivem cerca de 20 milhões de habitantes. Essa expansão, verificada sobretudo nas áreas periféricas, não ocorreu em concordância com ações de planejamento e o resultado pode ser avaliado pelas centenas de aglomerados urbanos muito adensados e infraestrutura precária, o aumento do número de vias de acesso, bem como o aumento do número de condomínios de alto padrão, configurando “ilhas” dentro de exíguas superfícies com cobertura vegetal, além de outras intervenções.

Essas pressões antropogênicas afetam a cobertura vegetal e a estabilidade da superfície. A construção, degradação ou reconstrução de novos espaços físicos e sociais, a partir de recentes tecnologias podem alterar a dinâmica dos processos naturais, bem como ser atingidos pela magnitude, frequência e duração dos fluxos de escoamento (DOUGLAS, 1983, COLTRINARI, 1996, RIVAS, 1997, BERGER, 1998, COLTRINARI, 2001). Os processos morfodinâmicos influenciados pela irregularidade dos fenômenos naturais (eventos climáticos, por exemplo), episódios catastróficos, eventos esporádicos, bem como o ritmo e a variabilidade dessas ocorrências variam de acordo com as características regionais (naturais e antrópicas).

WOLMAN & MILLER (1974) já haviam observado que nas regiões úmidas, após o desmatamento, a maior parte do volume total de sedimentos produzidos nas bacias de drenagem era carregada por fluxos pequenos e moderados e não por enchentes catastróficas. E completam “(...) embora as enchentes extremamente grandes carreguem quantidades maiores de sedimentos, elas ocorrem menos frequentemente uma vez que, do ponto de vista do transporte, a sua efetividade é suplantada pela das cheias menores e mais frequentes” (WOLMAN & MILLER, *op.cit*). Mas como ocorrem esses fluxos de escoamento, após episódios de chuvas de grande magnitude e frequência nas aglomerações urbanas? A partir dos últimos trinta ou quarenta anos, as áreas urbanas têm se transformado em enormes espaços construídos, com asfaltamentos extensivos e oferecem entraves para o

escoamento das águas originadas em momentos de fortes chuvas (AB'SABER, 2004).

Esse cenário expõe uma situação comum aos grandes centros urbanos brasileiros. Conforme apontado, a ocupação do território começa pela retirada da cobertura vegetal, fator da ruptura do equilíbrio inicial. Num segundo momento, a superfície do relevo fica exposta e, então, vulnerável aos efeitos dos agentes naturais, como chuva e escoamento, e dos agentes antrópicos, representados pelas intervenções técnicas no uso e ocupação do solo. Como consequência, os processos morfogenéticos e morfodinâmicos que mobilizam os materiais superficiais inconsolidados transformam tais superfícies em áreas produtoras de sedimentos. Posteriormente, remobilizados e transportados até os cursos d'água causarão o assoreamento dos canais fluviais, uma vez que a deposição, no fundo do leito diminui a profundidade dos canais e reduz a capacidade de transporte e vazão dos rios (AB'SABER, 1957; SCHUMM & LICHTY, 1973; TOY & HADLEY, 1987; FOSTER, 1998; CANHOLI, 2005).

1.1 Histórico do Problema

No que se refere à área de pesquisa, estudos realizados na RMSP (CINTRA, 1981; EMPLASA, 1985; FCTH, 1992; IPT, 1992; CANHOLI, 1995; OSTROWSKY, 2000; CUSTÓDIO, 2001; IPT, 2004) revelam que, dentre os maiores problemas ambientais está a erosão acelerada (acima descrita). As alterações na morfologia dos terrenos expõem solos frágeis, mudanças nas características hidrológicas das bacias com o incremento do escoamento superficial, redução do tempo de concentração das águas pluviais, intensificação dos picos de cheias e outras modificações, resultam em processos de erosão e transporte dos solos muito mais intensos que em áreas de uso rural. No caso da bacia do Alto Tietê (Figura 1), que corresponde à área da RMSP, esses impactos podem ser identificados em diversos rios e córregos que compõem o referido sistema hidrográfico, tais como os rios Aricanduva, Tamanduateí, Cabuçu e Pirajuçara dentre outros.

A bacia do rio Pirajuçara foi estudada, entre outros, pelos autores acima citados, que discutem as numerosas ocorrências de inundações que há décadas atingem, os municípios da bacia hidrográfica (São Paulo, Taboão da Serra e Embu)

e abordam diversos aspectos do problema, tais como a expansão urbana e a ocupação desordenada, carência de obras hidráulicas, necessidade de medidas de prevenção e impactos ambientais sociais e econômicos.

Para avaliar os efeitos decorrentes das intervenções antrópicas nas formas do relevo requer-se a seleção e aplicação de indicadores que caracterizam as áreas de produção de sedimentos e/ou erosão, bem como o entendimento dos processos morfogenéticos que modelam a paisagem e os impactos deles decorrentes, tais como as inundações. Essa forma de abordagem do problema poderá contribuir para o desenvolvimento tecnológico e o planejamento de ações integradas e eficazes que atenuem os impactos decorrentes dos processos investigados e melhorem a qualidade ambiental. Para tanto, os indicadores devem orientar a realização do monitoramento das áreas afetadas. O pressuposto de adoção dessa terminologia está fundamentado no conceito de Geoindicadores, que corresponde aos os processos geológicos e fenômenos que ocorrem na superfície terrestre, e podem ser medidos e monitorados e indicar mudanças ambientais em períodos inferiores a cem anos (BERGER, 1996).

Os indicadores se bem identificados e monitorados constituem nos elementos/parâmetros de análise de degradação do meio ambiente e servem de ponto de partida para os trabalhos de planejamento e controle dos impactos ambientais.

A busca de alternativas e soluções na linha da prevenção é o caminho a ser percorrido; isto, porque os custos de recuperação de áreas atingidas por formas de entalhe originadas por escoamento superficial concentrado (sulcos, ravinas e boçorocas) e inundações são significativamente superiores aos investimentos que deveriam ser realizados no planejamento da ocupação (MORGAN, 1986). Tais ações deverão ser trabalhadas em conjunto com as instâncias governamentais (Estado e Prefeitura) e participação atuante da Comunidade.

Na bacia hidrográfica do ribeirão Pirajuçara, situada na zona oeste do município de São Paulo, foram registrados eventos pluviométricos que provocaram ocorrência de inundações/enchentes sucessivas durante muitos anos,

principalmente no período chuvoso, que se estende de dezembro a março, destacando-se os eventos que ocorreram mais recentemente em 03.02.04, 24.05.05 e 03.01.06. Muitas moradias, ruas e avenidas são ainda afetadas pelas inundações, apesar da adoção de alternativas de intervenção a partir de conceitos inovadores mais adotados para a readequação ou aumento da eficiência hidráulica dos sistemas de drenagem, como, por exemplo, a instalação de piscinões (reservatórios para controle de cheias, que permitem descarregar apenas vazões compatíveis com a capacidade do canal a jusante). No entanto, medidas corretivas não são suficientes para conter a ocorrência dos processos, pois é preciso detectar as causas e buscar soluções para minimização desses impactos (CUSTÓDIO, 2001, CANHOLI, 2005). Por isso, a proposição de um plano de ação para gestão da bacia e adoção de medidas para redução da produção de sedimentos pode significar uma mudança de paradigma na análise da ocorrência das inundações, sobretudo em ecossistemas antropizados.

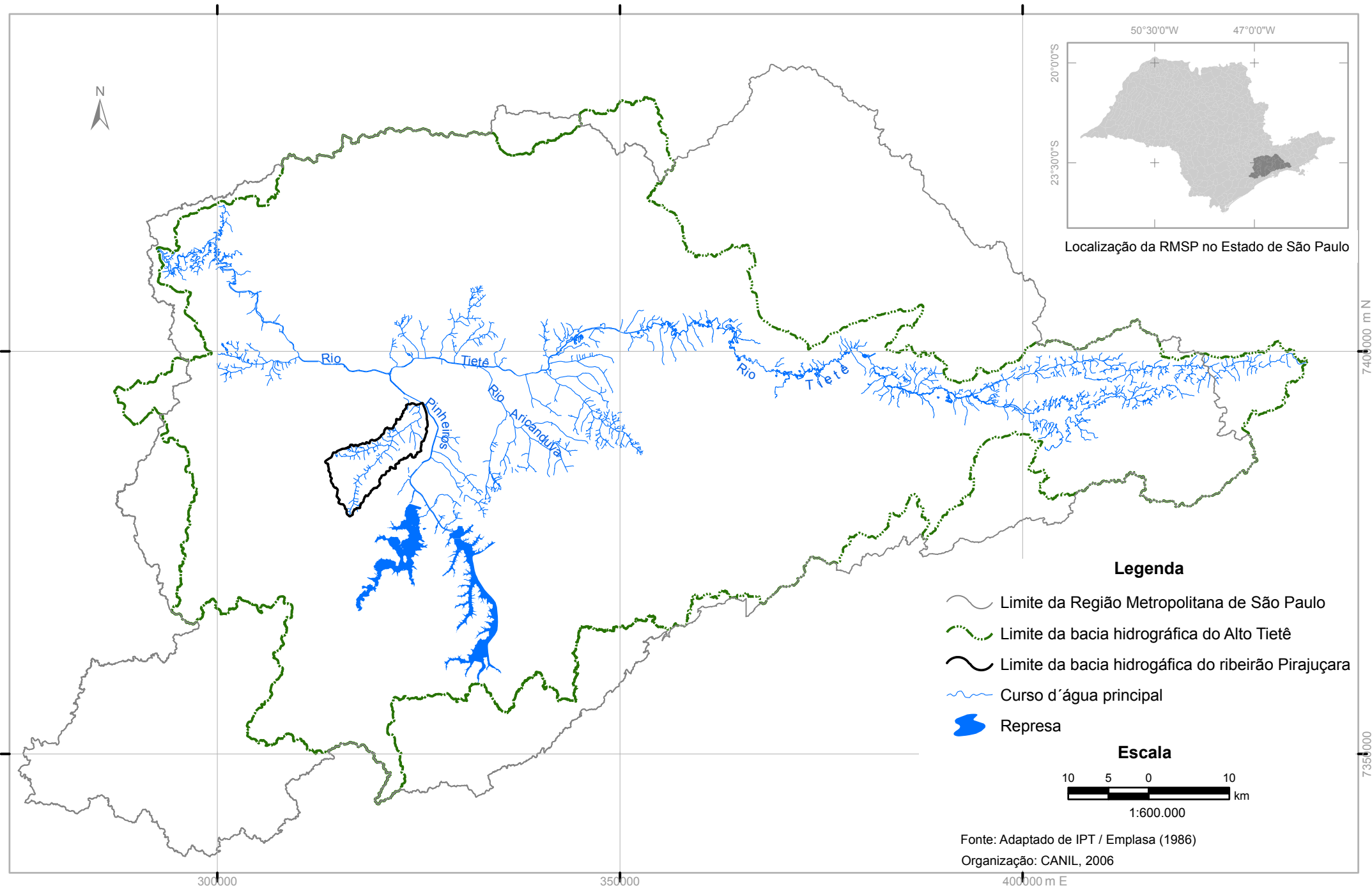


Figura 1 - Localização da bacia hidrográfica do ribeirão Pirajuçara no contexto da Região Metropolitana de São Paulo.

1.2 Hipóteses

Os registros de aumento da intensidade, frequência e magnitude das inundações têm se agravado nos últimos anos, especialmente em bacias hidrográficas com alta densidade de ocupação urbana, seja pela instalação de moradias ou infra-estrutura urbana ao longo das planícies fluviais ou pela quantidade de sedimentos que são carregados para o leito dos rios, diminuindo a capacidade das respectivas vazões.

Os eventos pluviométricos acima das médias mostram que as bacias de alguns afluentes do Alto Tietê sempre foram afetadas pelas inundações, mas a situação vem se agravando na medida em que, cada vez mais se verifica o aumento do adensamento da ocupação urbana em cabeceiras de drenagem e nas planícies fluviais. Nesse processo, as superfícies antes cobertas por vegetação ficaram expostas aos agentes morfogenéticos, e à ação do impacto das chuvas, que deflagra os processos de dinâmica superficial (erosão e escorregamentos) conforme mencionado anteriormente. Além disso, a própria ocupação promove intervenções e mudanças na superfície do relevo, descaracterizando o modelado e retirando os horizontes de solo orgânico desenvolvido sob a cobertura vegetal, para a construção de moradias e implementação da infra-estrutura urbana. Os materiais erodidos e deslocados por esses processos constituem os sedimentos carregados para o leito dos rios, diminuindo a capacidade de transporte dos cursos d'água.

Diante do exposto, esta pesquisa busca identificar, propor e selecionar os indicadores para o monitoramento de áreas com maior potencial de produção de sedimentos e seu transporte em direção aos cursos d'água como contribuição à prevenção do assoreamento que potencializa a ocorrência de inundações.

Uma vez apresentadas as hipóteses de trabalho, essa investigação científica propõe-se como tarefa submetê-las a uma crítica sistemática com o objetivo de avaliar a sua validade, ou seja, sua correspondência com os fatos observados. A procura por evidências se dará por meio de experimentos para demonstrar como os materiais provenientes de áreas em expansão podem ser produzidos e carregados para os cursos d'água, contribuindo para o assoreamento dos rios e, no caso do rio Pirajuçara, dos piscinões construídos na bacia.

1.3 Objetivos

O objetivo geral desta pesquisa é a seleção, formulação e sistematização de indicadores do meio físico e antrópico que caracterizem a existência de áreas de produção de sedimentos e a relação com os processos erosivos, de transporte, deposição e inundação.

Dos objetivos específicos complementares, destacam-se:

- a) aplicação dos indicadores selecionados em três escalas de análise: Bacia do ribeirão Pirajuçara (1:50.000), sub-bacia do córrego Poá (1:25.000), e duas sub-bacias de primeira ordem, afluentes do córrego Poá (1:5.000); e
- b) elaboração de tabela síntese com a proposta de indicadores para monitoramento de áreas de produção de sedimentos, escoamento fluvial, assoreamento e inundação.

1.4 Justificativa

Nos últimos anos, durante o período chuvoso, o aumento dos registros de inundações em grandes centros urbanos como, São Paulo, Rio de Janeiro, Campinas e cidades de médio porte - Ribeirão Preto, Franca, Mogi das Cruzes, entre outras, resultaram em significativos prejuízos econômicos e sociais por conta de danos ao sistema viário e destruição de propriedades (moradias e comércio), entre outros. Além disso, trazem consigo doenças decorrentes do contato da água contaminada com a população diretamente afetada, tais como a leptospirose, a febre tifóide, a hepatite e outras (CANHOLI, 1995).

O agravamento da situação é verificado pela maior frequência dessas inundações, decorrentes de eventos pluviométricos de grande magnitude, da impermeabilização do solo urbano, da instalação de malha viária em fundos de vale, como por exemplo, as avenidas Eliseu de Almeida, que corre ao longo do rio Pirajuçara, do Estado (rio Tamanduateí), Avenida Aricanduva (rio Aricanduva) e as marginais dos rios Pinheiros e Tietê, entre outros fatores, em particular, a grande quantidade de sedimentos que assoreiam os canais fluviais.

Esse quadro reflete o constante conflito entre a dinâmica dos sistemas naturais – várzeas e fundo de vales - e o processo de urbanização caótico que

domina as cidades, marcado por construções irregulares, terrenos baldios aguardando para serem grilados; excesso de áreas impermeabilizadas; processos erosivos instalados em terrenos ou vertentes desprovidos de cobertura vegetal, isto é, todo tipo de interferência que contribui para o remodelamento da paisagem, formando novas superfícies de degradação e agradação.

A percepção dessas modificações na paisagem, o destaque dos eventos que geram impactos negativos, comunicados pela mídia e atitudes ineficazes do poder público para encarar a questão parece por enquanto servir apenas para vender jornais e fazer campanha política. É preciso ser mais direto e ousado para chamar a atenção dos técnicos e da administração pública e contar com o apoio das instituições governamentais que desenvolvem pesquisa a serviço da sociedade para formular soluções integradas para o conjunto dos problemas, preferencialmente nas áreas mais críticas e conforme recursos disponíveis. SEWELL (1969) e CANHOLI (1995) destacam que a implementação de obras hidráulicas e o controle da ocupação de áreas próximas aos córregos não são suficientes para resolver o problema, e que, portanto, a prevenção e o controle da erosão e do assoreamento são prioritários e devem constar entre as medidas para reduzir o impacto das cheias.

Neste sentido, a pesquisa considera também o levantamento e discussão de outros aspectos importantes, especialmente de indicadores para subsidiar a concepção de um plano para prevenção e controle de áreas de produção de sedimentos que deve ser integrado a outros planos de gestão do uso e ocupação do solo e dos recursos hídricos.

CAPÍTULO 2

MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Área da Pesquisa: o contexto da bacia do rio Pirajuçara

Com base no referencial teórico e no conhecimento empírico de bacias hidrográficas em ambientes urbanos, que apresentam situações críticas em relação à presença de áreas de produção de sedimentos e ocorrência de enchentes, foi selecionada a bacia do ribeirão Pirajuçara, situada na região oeste do município de São Paulo.

A bacia do ribeirão Pirajuçara (Figura 2), afluente da margem esquerda do rio Pinheiros está localizada na região oeste da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), ocupando uma área de 73,1 km². De acordo com a divisão política-administrativa abrange os municípios de São Paulo com 40,6 km² (região da Subprefeitura do Butantã com 23,4 km² e da Subprefeitura do Campo Limpo com 17,2 km²), Embu, com 12,3 km² e Taboão da Serra com 20,2 km². Faz parte do Comitê da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê.

As nascentes do ribeirão Pirajuçara se localizam nos municípios de Embu (margem esquerda) e de São Paulo (área do Campo Limpo, pela margem direita). Sua extensão total é de aproximadamente 18,5 km, dos quais 6,3 km estão canalizados. Seu afluente principal é o ribeirão Poá, que tem 9 km de extensão e área da bacia de 16,32 km². Situa-se inteiramente no município de Taboão da Serra, desaguando no ribeirão Pirajuçara, onde faz divisa com São Paulo, que a partir desse trecho, corre apenas por esse município.

O problema das enchentes que atinge a bacia há mais de vinte anos tem se agravado diante das modificações no uso e ocupação do solo. Em linhas gerais, a expansão urbana, a partir do desmatamento, parcelamento de terra e adensamento das edificações atingiu terrenos que, devido suas características naturais, são menos favoráveis à ocupação, apresentando-se suscetíveis ao desenvolvimento de processos erosivos.

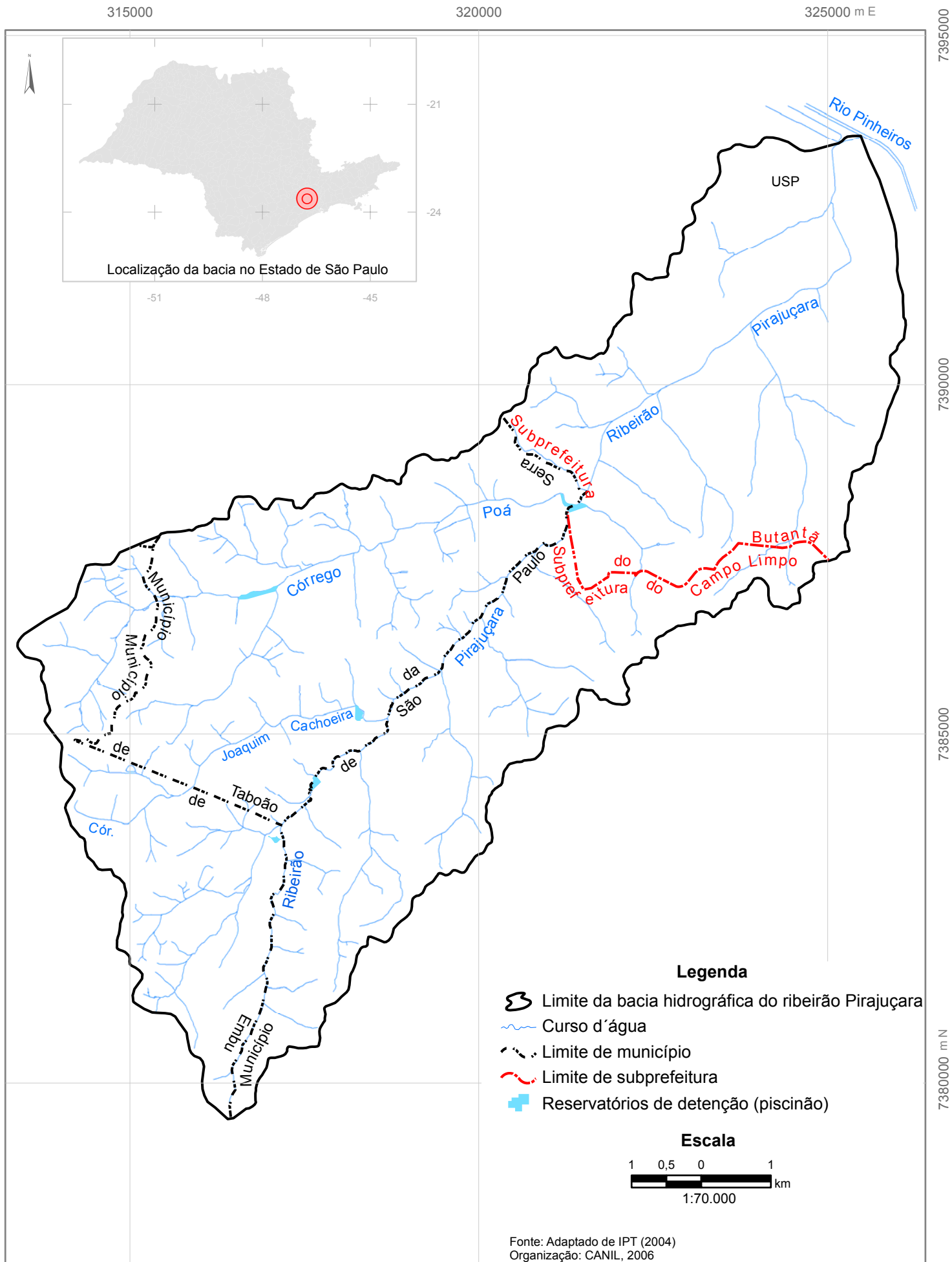


Figura 2 - Localização da bacia hidrográfica do ribeirão Pirajuçara.

No decorrer do tempo, a ausência do poder público na implementação de obras de infra-estrutura e planejamento no uso e ocupação do solo constitui uma das causas do aumento de áreas de produção de sedimento.

Os eventos pluviométricos na bacia deflagram os processos erosivos e comandam as enxurradas. Os materiais desagregados do solo são remobilizados e transportados até os cursos d'água. Com a redução da energia do transporte os sedimentos vão se depositando nos canais e planícies fluviais, caracterizando os depósitos de assoreamento.

Assim, ao ocorrer precipitação na bacia, há um acréscimo na vazão dos rios, com elevação do nível d'água, por um determinado período. As vazões podem chegar a valores que superam a capacidade de descarga do leito menor (calha) do curso d'água, extravasando as águas para as áreas marginais, denominadas leito maior, várzea ou planície de inundação. Esse extravasamento caracteriza uma inundação, fenômeno comum à bacia do Pirajuçara. O processo é intensificado porque as calhas dos rios estão muito assoreadas e obstruem ainda mais o escoamento das águas.

Para minimizar esse problema de inundações foi concebido um projeto para construção de três piscinões na área da bacia, (Jardim Mitsutani, Portuguesinha e Eliseu de Almeida), dentre outras medidas estruturais e não estruturais.

O piscinão Jardim Mitsutani situa-se próximo à divisa de São Paulo com Taboão da Serra (na altura da rua Dr. Jorge Arida -Jardim Prestes Maia), e tem capacidade para acumular um total de 113 milhões de litros de água das chuvas, contribuindo para controlar as vazões do Pirajuçara, reduzir as inundações nos bairros do Jardim Mitsutani, Jardim Prestes Maia e região próxima ao Largo de Campo Limpo (todos em São Paulo), e Jardim Iracema (Taboão da Serra). O piscinão Portuguesinha localiza-se no Jardim Três Marias, município de Taboão da Serra, junto à rodovia Régis Bittencourt. Com capacidade para 120 milhões de litros, este piscinão deverá regularizar as vazões do córrego Poá (afluente do Pirajuçara), e solucionar os problemas de alagamentos no quilômetro 273,5 da rodovia, beneficiando também os bairros de Jardim Três Marias, Intercap, Vila Santa Luzia, Parque Santos Dumont (São Paulo) e o Paço Municipal de Taboão da Serra.

O terceiro piscinão - Eliseu de Almeida, ainda em obras, está sendo construído no córrego Pirajuçara, próximo à foz do córrego Poá, em área cedida pelo município de São Paulo. Este piscinão terá capacidade para acumular até 113 milhões de litros de água, beneficiando o Jardim Vazami e galeria da Av. Eliseu de Almeida.

Ainda que considerando essas obras, é necessário reconhecer os indicadores que caracterizam a dinâmica desses processos e sistematizá-los de forma a garantir o monitoramento e gerenciamento da bacia, assim como também pode ser verificado em outros trabalhos aplicados ao monitoramento ambiental de áreas urbanas (DINIZ, 2000; SVMA, 2004; RIBEIRO, 2006).

2.1.1 Características dos Meios Físico e Antrópico

Segundo a Carta Geológica da Região Metropolitana de São Paulo (COUTINHO, 1980), a bacia do ribeirão Pirajuçara está inserida em contexto geológico onde predominam rochas do embasamento cristalino e secundariamente sedimentos do terciário-quadernário da Bacia Sedimentar de São Paulo e sedimentos aluvionares quadernários (ALMEIDA, 1964).

As rochas do embasamento cristalino são caracterizadas, por migmatitos e gnaisses graníticos. Ocorrem predominantemente desde as cabeceiras dos afluentes do ribeirão Pirajuçara, incluindo toda a área da sub-bacia do córrego Poá, seu principal afluente, até as proximidades de sua foz junto ao rio Pinheiros (Figura 3).

Micaxistos e/ou metarenitos, incluindo xistos miloníticos podem ser encontrados à margem esquerda do ribeirão Pirajuçara, ao longo dos interflúvios, cujos afluentes de primeira ordem drenam para o córrego Joaquim Cachoeira e também acompanhando todo o divisor de águas dos afluentes de sua margem direita, na altura de seu trecho médio para a jusante. Localmente ocorrem quartzitos e são pouco representativos na área da bacia. O perfil representativo dessas unidades litológicas acima descritas pode ser observado na Figura 4 e Fotos 1 e 2.

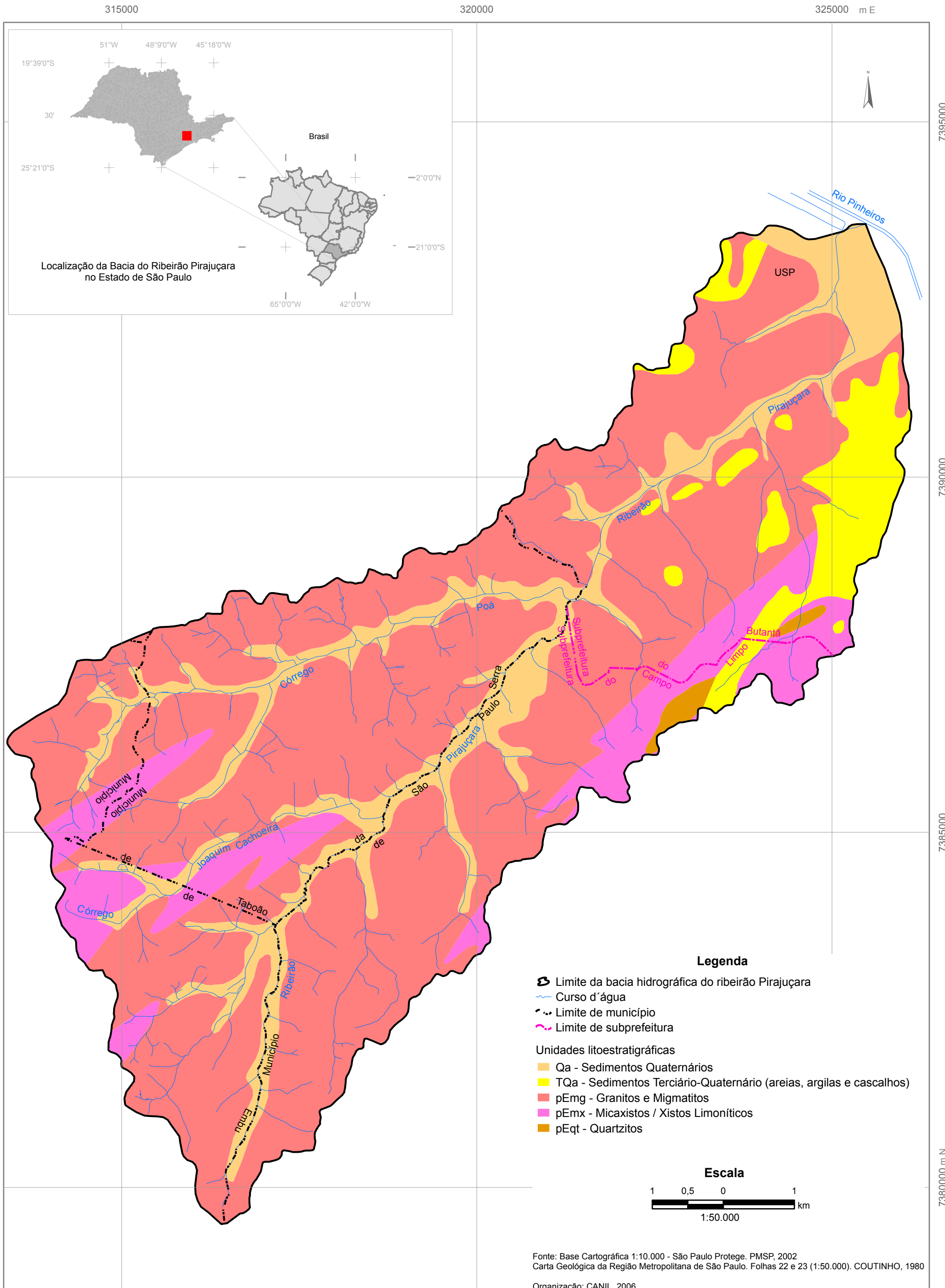


Figura 3 - Mapa geológico da bacia hidrográfica do ribeirão Pirajuçara.

Os sedimentos do Terciário-Quaternário, caracterizados por areias, argilas e cascalhos da Formação São Paulo e da Formação Caçapava (Grupo Taubaté), incluindo depósitos elúvio-coluviais correlatos (COUTINHO, 1980) podem ser encontrados nas cabeceiras dos afluentes de jusante da margem direita do ribeirão Pirajuçara e também localmente em alguns trechos de jusante.

Por fim, ao longo das planícies fluviais do ribeirão Pirajuçara, córrego Poá e alguns afluentes principais ocorrem sedimentos quaternários caracterizados por aluviões, argila, areia e cascalho. Os trechos mais amplos, das planícies, que são constituídas por esses sedimentos corresponde à foz do ribeirão Pirajuçara, junto ao rio Pinheiros.

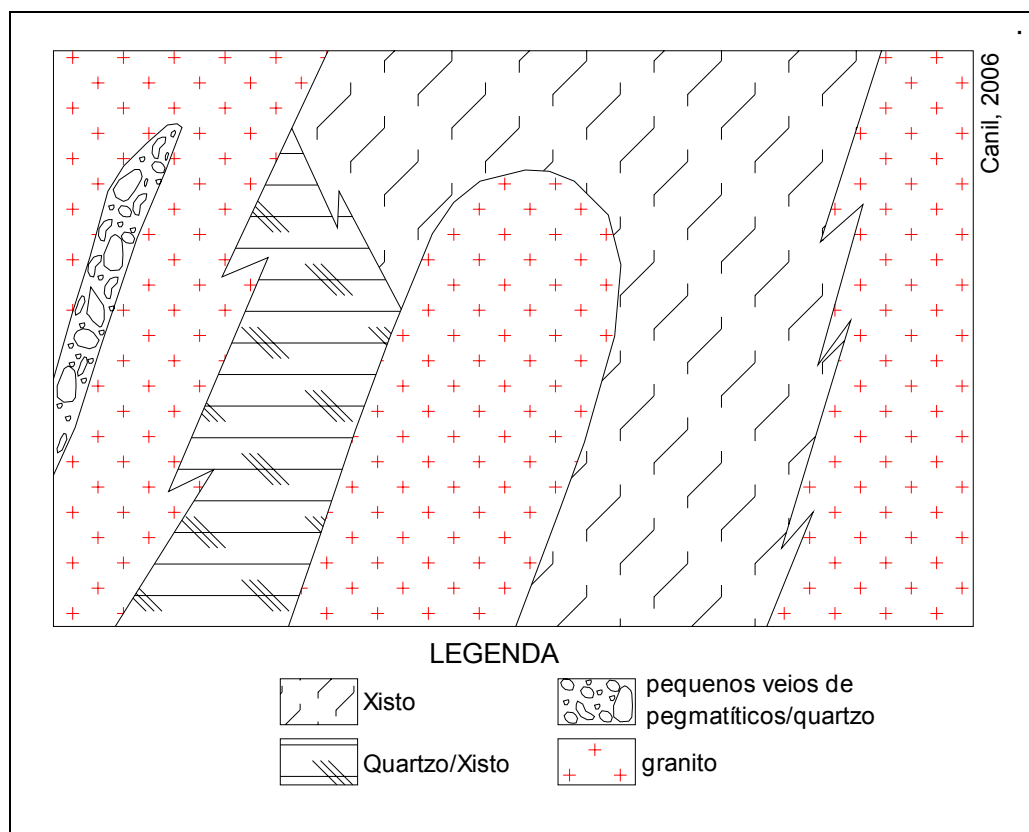
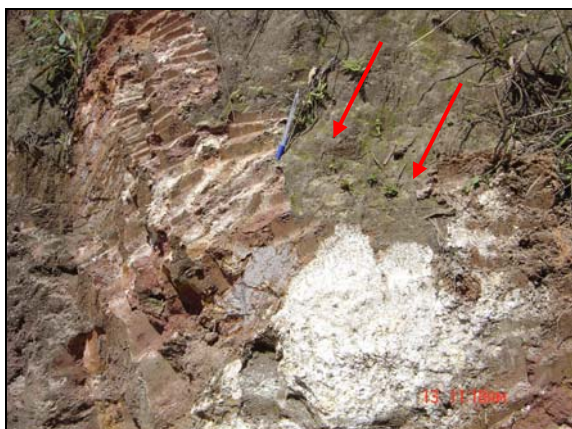


Figura 4: Esboço geológico de um perfil na área da bacia do ribeirão Pirajuçara.



Canil, 2006

Foto 1: Contato granito/gnaiss, localizado em talude de corte.



Canil, 2006

Foto 2: Presença de veios pegmatíticos observado no perfil de corte.

As formas de relevo da bacia do ribeirão Pirajuçara associadas às diferentes litologias, ora apresentadas e que sustentam a superfície da área da bacia são predominantemente dos tipos planícies, colinas e morrotes baixos (AB'SABER, 1990).

De acordo com o mapa hipsométrico (Figura 5), a variação altimétrica da foz do ribeirão Pirajuçara até o divisor de cabeceiras é de 175m, com a menor cota de altitude de 710m junto à foz do rio Pinheiros, e a maior, de 910m nas cabeceiras do ribeirão Poá. Porções mais elevadas da superfície, entre as cotas de 835 e 860m correspondem aos topos, principalmente das cabeceiras do córrego Poá e ao longo dos interflúvios que o separa da bacia do ribeirão Pirajuçara, são caracterizadas por morrotes baixos. No restante da bacia predominam variações altimétricas de 760 a 810m. Em direção à jusante ao longo do córrego Poá e ribeirão Pirajuçara as cotas variam entre 735 e 760m compreendendo predominantemente o relevo de colinas. A planície fluvial é restrita nos trechos de cabeceira, e médio curso; caracterizados por vales entalhados. Apenas após a confluência do córrego Poá e ribeirão Pirajuçara, no município de São Paulo a planície fluvial fica mais evidente, situando-se entre as cotas de 710 e 735m, tornando-se mais ampla e significativa na área da Cidade Universitária, junto à foz no rio Pinheiros.

A leitura do mapa clinográfico (Figura 6), elaborada com base nas classes de declividade de 0 a 6% (0 a 3⁰), 6 a 12% (3 a 7⁰), 12 a 20% (7 a 11⁰), 20 a 30% (11 a 17⁰), > 30% (> 17⁰), permite reconhecer que as vertentes do ribeirão Poá, principalmente de sua margem esquerda são caracterizadas predominantemente por declividades superiores a 30% (17⁰), coincidindo portanto, com o relevo de morrotes; e tornam-se mais suaves após a confluência com o ribeirão Pirajuçara. As vertentes que separam os interflúvios dos ribeirões Poá e Pirajuçara também apresentam altas declividades, superiores a 20% (11⁰). Contrastando com esse modelado, as vertentes da margem direita do ribeirão Pirajuçara são mais suaves e caracterizam-se por intervalos de declividade entre 6 e 20% (3 a 11⁰) e localmente entre 20 e 30% (11 a 17⁰). Esse parâmetro morfométrico evidencia que a região da bacia do ribeirão Poá é constituída por uma superfície mais dissecada e favorece maior concentração do escoamento superficial; fato importante a ser considerado na análise da produção e do transporte de sedimentos na dinâmica dos processos superficiais na bacia.

Nas poucas áreas que ainda não sofreram a pressão da ocupação urbana ocorrem predominantemente solos rasos do tipo Cambissolo. São constituídos por material mineral com horizonte B incipiente subjacente a qualquer tipo de horizonte superficial. Normalmente apresentam teores uniformes de argila (EMBRAPA, 1999). Um perfil típico de cambissolo foi observado em uma das sub-bacias afluentes do córrego Poá (Figura 7, Foto 3), em uma área de superfície de solo em exposição, revelando sinais de desgaste do solo, por meio de ocorrências de sulcos e ravinas (Foto 4).

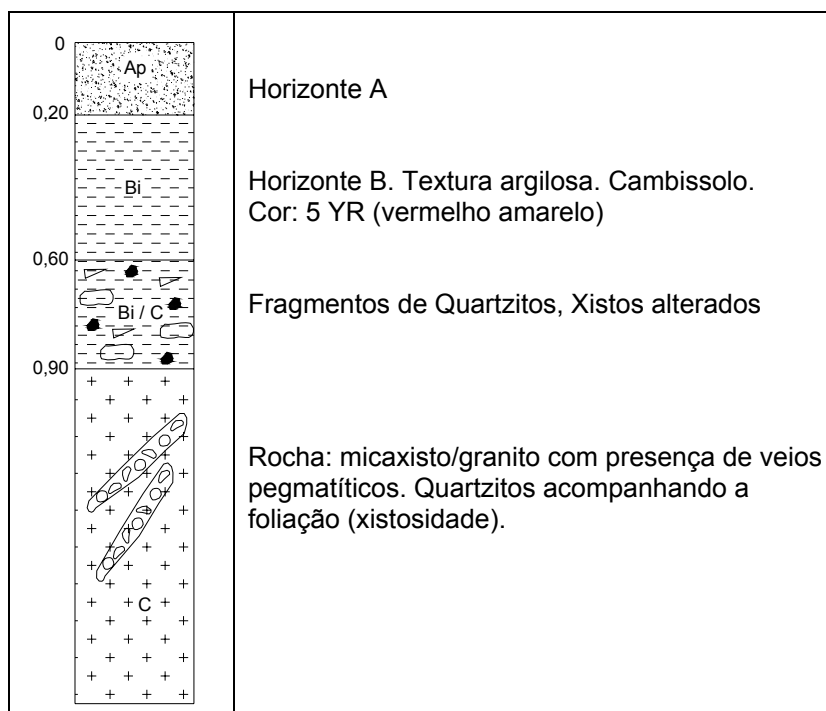


Figura 7: Perfil de Cambissolo na bacia do ribeirão Pirajuçara.

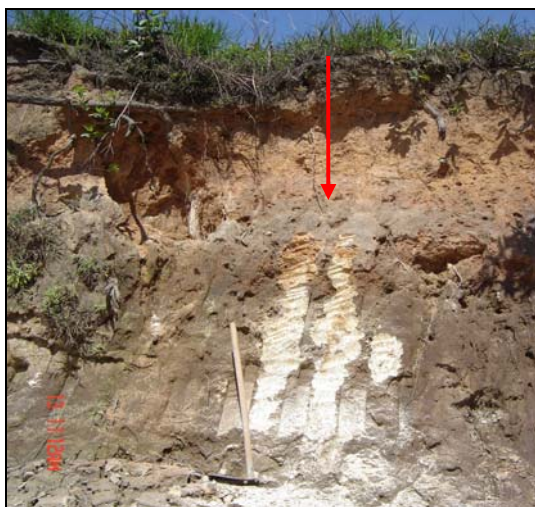


Foto 3: Perfil de Cambissolo na bacia do ribeirão Pirajuçara, corresponde à área de contato granito/ganisse (Foto 1).



Foto 4: Sulcos e ravinas em área de superfície em exposição, sub-bacia do córrego Poá.

O regime pluviométrico é outro aspecto importante a considerar na análise das relações entre áreas de produção de sedimentos/ processos erosivos, transporte, assoreamento e inundação dos canais e planícies fluviais na bacia do ribeirão Pirajuçara. A chuva é o agente desencadeador da morfogênese e conhecer seu

comportamento (intensidade, magnitude e frequência) é fundamental para avaliar sua ação na superfície proporcionando a desagregação do solo e/ou contribuindo para o aumento do escoamento superficial. O detalhamento da análise pluviométrica será discutido no Capítulo 3.

Em relação ao uso e ocupação do solo, a bacia do rio Pirajuçara apresenta diversas tipologias, que variam desde mata preservada (sub-bacia do córrego Poá, município de Taboão da Serra) até áreas em diversos graus de urbanização (muito adensadas, pouco adensadas, com infra-estrutura, sem infra-estrutura, etc.). De qualquer forma, pode-se dizer que mais de 90% da área da bacia é caracterizada pela ocupação urbana. Com a expansão urbana acelerada as superfícies expostas tornam-se mais vulneráveis aos processos morfogenéticos, que atuam de forma mais ou menos intensa dependendo dos materiais que compõem o substrato e da morfologia e da morfometria dos terrenos. Os indicadores das intervenções antropogênicas serão abordados nos Capítulos 3 e 4.

Os tipos de uso do solo, considerados como áreas críticas, quanto à produção de sedimentos podem ser verificados, segundo um estudo apresentado pelo IPT (2004). No mapa de áreas de produção de sedimentos da bacia do ribeirão Pirajussara (Figura 8) estão destacadas 502 áreas, das quais foram localizadas 374 áreas com superfície exposta, cerca de 25 áreas urbanas sem infra-estrutura, 6 áreas parceladas, 38 trechos de curso d'água com sinais de solapamento das margens fluviais, além de 50 áreas, que foram consideradas críticas, após as vistorias de campo e que requererem medidas prioritárias de intervenção.

Alguns dos critérios adotados para caracterização das áreas críticas foram: magnitude dos processos erosivos em evolução, tamanho das áreas com superfície em exposição, proximidade dos cursos d'água, ausência e deficiência de infra-estrutura. A partir desse trabalho, a pesquisa ora apresentada, buscou formular e sistematizar os indicadores de áreas de produção de sedimentos, com objetivo de monitorar e gerenciar as intervenções antropogênicas na bacia.

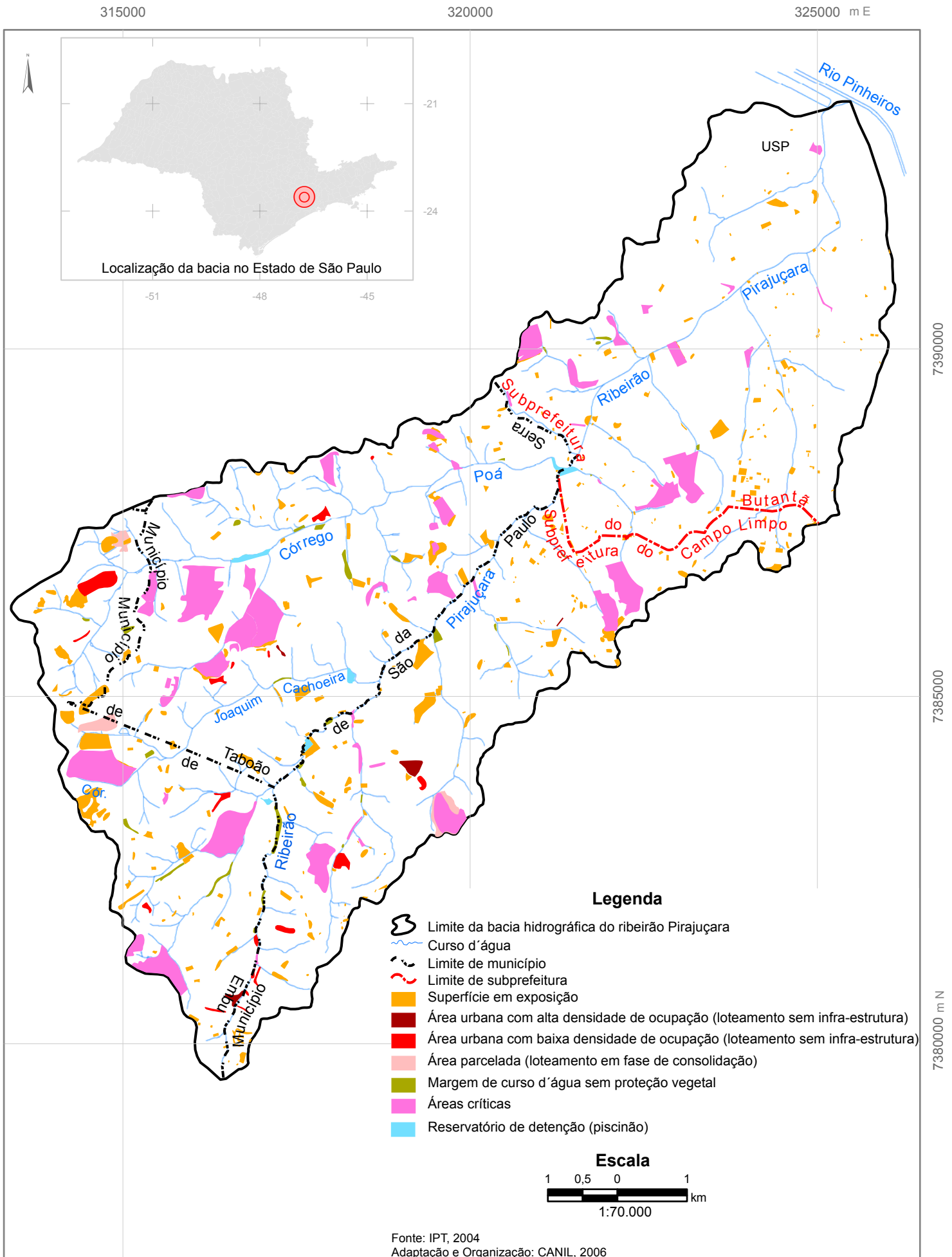


Figura 8 - Mapa de áreas de produção de sedimentos da bacia hidrográfica do ribeirão Pirajuçara.

2.2 A Propósito do Método de Abordagem

O desenvolvimento adequado de uma pesquisa pressupõe o conhecimento e a avaliação das possibilidades que um método específico oferece para a escolha, formulação ou reformulação de problemas e, o desenvolvimento de abordagens para tratar dos mesmos, as soluções, tentativas e as sucessivas aferições, até a avaliação final e sem perder de vista os objetivos do trabalho (ALVES-MAZZOTTI, GEWANDSZNAJDER, 2001). No presente caso, o universo de análise abrange o conhecimento teórico e experimental, já sistematizado e usualmente aplicado nas pesquisas das ciências da Terra, como a geografia “física” e a geologia.

2.2.1 Geomorfologia aplicada e transformação da paisagem

“Os processos geológicos e geomorfológicos atuam desde a origem da superfície da Terra e estabeleceram um cenário para o desenvolvimento da vida” (NIR, 1983, BERGER, 1998). A distribuição da radiação solar na superfície terrestre rege as variações climáticas que condicionam a atuação dos processos na superfície externa da litosfera, enquanto as forças regidas pelos fluxos de calor e energia internos atuam no interior da crosta. Quando a vida começou, as interações então existentes entre superfície sólida, hidrosfera e atmosfera que modificavam o relevo somaram-se às ações geradas pelos seres vivos. Com o decorrer do tempo e os avanços produzidos por sucessivas civilizações, tornaram, o homem, um agente geológico/geomorfológico, que atua na superfície terrestre, de forma mais intensa, acelerada e agressiva do que outras espécies fizeram no passado.

Para avaliar os impactos da atividade humana nas paisagens e desenvolver possíveis medidas de mitigação para as áreas afetadas, é necessário compreender as relações entre os processos geomorfológicos e hidrológicos que atuam no sistema terrestre (BERTRAND, 1971; SOTCHAVA, 1977). A unidade de análise varia com a escala de abordagem e pode ser a vertente, uma cabeceira de drenagem ou uma bacia hidrográfica.

A evolução das feições geomorfológicas é resultado das interações controladas pela gravidade entre os processos, a superfície sólida (formas e materiais) e a vegetação ao longo do tempo (TOY & HADLEY, 1987). Se a

superfície é alterada pela atividade humana, como por exemplo, a expansão urbana, ou práticas agrícolas, a vegetação é a primeira a ser afetada. A ausência da cobertura vegetal modifica o comportamento do escoamento superficial, e favorece o surgimento de feições erosivas que, em geral, evoluem de forma acelerada. No entanto, reconhece-se que, muitas dessas alterações podem ocorrer em pequena escala e ser transitórias e para a paisagem alterada pode ser adotado um plano de recuperação.

Para avaliar os efeitos dos processos nas áreas degradadas e propor formas de mitigação de impactos no relevo, requer-se o entendimento dos processos de modelado da paisagem, cuja natureza complexa resulta da interação entre processos da atmosfera, da hidrosfera, da litosfera e da biosfera com a superfície do relevo terrestre (CHORLEY, 1969; COOKE, 1974; TOY & HADLEY, 1987; DREW, 1989; CASSETI, 1991).

O conhecimento dos processos geomorfológicos é essencial para entender as conseqüências das intervenções antrópicas na degradação do meio ambiente e para formular programas de recuperação efetivos (GUIDUGLI, 1983; COLANGELO, 1997). O geomorfólogo fornece dados de relevo e informações relativas à hidrologia, aos solos e à agronomia, que interessam para o entendimento da dinâmica “natural” ou pré-intervenção a engenheiros e técnicos chamados a formular diagnósticos e desenhar a recuperação das áreas degradadas, além de colaborar com o papel dos engenheiros, estabelecendo o diagnóstico, identificando os processos que agem, e precisando, em cada unidade de superfície, a intensidade e a modalidade dos mesmos (TRICART, 1964; CHORLEY, 1975; NEVES, 1977; TOY & HADLEY, 1987).

Considerando o tema dessa pesquisa, que examina as alterações na paisagem com base na formação áreas produtoras de sedimentos e a ocorrência de inundações, a proposta de combate à erosão representa, igualmente, um dos domínios nos quais se exerce a atividade do geomorfólogo. Nesse caso, ele colabora com o papel dos engenheiros, estabelecendo o diagnóstico, delimitando os diversos processos que agem, e precisando, em cada unidade de superfície, a intensidade, e a modalidade dos mesmos (TRICART, 1964).

A dinâmica da superfície, referida acima, origina a retirada (erosão) e acumulação (deposição) de materiais e modifica, em consequência, o relevo. Dela participam também a cobertura vegetal e a fauna; a cobertura vegetal, por intermédio das raízes, interfere favoravelmente na circulação da água em subsuperfície e intervém no desenvolvimento dos solos mediante processos bioquímicos. Do ponto de vista físico, as plantas amenizam a energia da chuva e atuam como obstáculo ao escoamento pluvial. E a ação dos animais efetua-se por meio dos vermes (formação do solo), fuçadores (provocam escavação e deslocamento de partículas do solo), formigas (escavando o solo, facilitam a permeabilidade e infiltração da água no solo), entre outros (CHRISTOFOLETTI, 1974; IMESON, 1985).

Ao balanço dos processos pedogenéticos (situação de equilíbrio) e morfogenéticos (situação de desequilíbrio), (TRICART, 1968) soma-se a ação antrópica. A intervenção do homem na paisagem natural iniciou-se com sua presença na superfície terrestre já que, seus primeiros passos, assim como os demais seres vivos o faz agente das transformações que modelam a superfície. Contudo, em contraste com outras criaturas, o homem desenvolveu ferramentas que intensificam os efeitos de sua intervenção e que resultam diretamente do avanço tecnológico e econômico (NIR, 1983).

De acordo com NIR, 1983 essa intervenção apresenta dois aspectos: biológico e geomorfológico, uma vez que o homem interferiu, por meio das atividades de caça, pastagem e retirada da cobertura vegetal, nos processos biológicos desde os primeiros tempos (TRICART, 1968). Mais tarde, intervenções mais sofisticadas foram incluídas (criação de novas espécies de plantas e animais, introdução de plantas nativas em outros ambientes, etc.). Portanto, a partir do ambiente biológico original, um outro foi criado, ainda que sujeito, também às condições climáticas e topográficas dominantes na área (NIR, 1983). Do ponto de vista geomorfológico as intervenções antrópicas modificam o relevo, as rochas e solos, o regime hidrológico e a dinâmica dos processos erosivos em vários graus e, em consequência, a estabilidade da superfície (GRIGORIEV, 1968; GERASSIMOV, 1980).

Com decorrer do tempo, o efeito dessas atividades se acumulou e diversificou devido a explosão demográfica, a urbanização acelerada e os avanços da tecnologia que geraram impactos em larga planetária (TOY & HADLEY, 1987).

Com todas essas mudanças, a preocupação com a transformação da paisagem tornou-se o objeto da geomorfologia antrópica, que teve destaque após a Segunda Guerra Mundial. Naquela época foi realizada uma tentativa de dar a geomorfologia uma base científica apoiada e com ênfase na quantificação e na análise dos processos (CHORLEY, 1975; NIR, 1983).

O homem sozinho não altera a paisagem; porém ele não age individualmente, mas como parte de uma sociedade. Assim, a geomorfologia antrópica depende dos aspectos sociais. A pesquisa neste campo, avaliando a intensidade, volume e grau da intervenção humana, deveria considerar, segundo NIR, 1983, os seguintes aspectos:

- a) caracterização de cada tipo de atividade humana e seu impacto global na superfície, a partir do fator demográfico;
- b) intervalo de tempo em que essas atividades ocorrem: fator histórico;
- c) aumento da capacidade humana de modificar a paisagem com novas tecnologias e capital de investimento: fator econômico; e
- d) demanda crescente e necessidade de aumento do padrão de vida, que envolve a intervenção nos processos naturais: fator socioeconômico.

Embora os processos antropogeomorfológicos existiram desde a chegada do homem na Terra, os grandes impactos atuais resultam da escala de atuação. A explosão populacional deste século aumentou as necessidades de matéria primas para construção dos espaços urbanos, vias de circulação, etc. Todas essas atividades foram estimuladas pelas novas tecnologias, que moveram materiais da superfície em grandes quantidades (DOUGLAS, 1978).

Essa tendência tecnológica deve ser compreendida do ponto de vista da geomorfologia, pois de fato, toda atividade humana que atua na superfície da Terra causa uma reação no ambiente natural. A humanidade é parte do sistema e exerce papel importante nos processos geomorfológicos.

2.2.2 Geindicadores Ambientais

Diante da exposição do comportamento dos fenômenos erosivos, pode-se dizer que toda e qualquer modificação no modelado da paisagem, conforme já visto, é regida pela ação dos componentes naturais e antrópicos.

Essas preocupações tornam-se mais evidentes a partir dos anos 80 quando as situações de degradação ambiental se espalham de maneira geral em todos os continentes. A mudança na escala da interferência humana no ambiente natural é refletida pela quantidade de materiais e recursos da superfície que são direta ou indiretamente utilizadas pelo homem. De acordo com SEIBOLT (1990), nos países industrializados, cerca de 20 toneladas de materiais da superfície da Terra são utilizados/consumidos, por pessoa por ano. Para a população total mundial essa quantia chega a 20 toneladas por ano. Isso significa que os problemas ambientais não param nas fronteiras nacionais; eles são de natureza mundial e necessitam de uma abordagem internacional, bem como a participação dos “geocientistas” que lidam com os problemas ambientais. Na comunidade científica houve um aumento do número de geocientistas que se envolveram durante os anos 70, 80 e 90 em programas internacionais bem sucedidos, como o International Geological Correlation Programme (IGCP) e o International Geosphere-Biosphere Programme (IGBP), e os projetos da International Union of Geological Sciences’ (ICSU),. Muitos deles contribuíram em nível internacional e global para a Década Internacional das Nações Unidas para Redução de Desastres Naturais.

Em finais dos anos 80, essas discussões sobre o tema foram ganhando forças, por meio da International Union of Geological Sciences (IUGS) e em 1990 foi formada a Commission of Geological Sciences for Environmental Planning (COGEOENVIRONMENT). Durante a primeira reunião oficial em Breukelen (Holanda) foi elaborado o Termo de Referência com ênfase no conhecimento científico potencial para o desenvolvimento e sustentabilidade ambiental para prevenção, previsão e mitigação dos problemas ambientais, considerando o público geral (planejadores, políticos e engenheiros) e entre a comunidade científica (MULDER, 1995). Vários projetos surgiram como frutos de várias reuniões e interesses comuns, além do estabelecimento de alguns grupos de trabalho. Assim,

na reunião do COGEOENVIRONMENT em Pereira (Colômbia), em 1992 foi instituído o International Working Group on Environmental Geo-Indicators com objetivo de introduzir indicadores de processos geológicos de curta duração na lista dos indicadores aceitos internacionalmente para serem aplicados no monitoramento do estado do meio ambiente. Tais indicadores são essenciais à observação das mudanças ambientais, especialmente para analisar os resultados das políticas ambientais regional, nacional e internacional.

Mais tarde, em 1994, a partir de um workshop internacional, coordenado pelo grupo de trabalho, foi proposta uma série de geoindicadores com objetivo de observar os processos geológicos que ocorrem na superfície terrestre, que podem significar mudanças na magnitude, freqüência e taxas por períodos inferiores há cem anos. Muitas dessas mudanças podem causar degradação irreversível no ecossistema em várias escalas. Os geoindicadores medem tanto os eventos catastróficos quanto aqueles que ocorrem mais lentamente, porém perceptíveis em escala de curto prazo (BERGER & IAMS, 1996).

A definição dos geoindicadores, apresentada acima, está baseada em método de análise, diagnóstico e procedimento para o monitoramento. É uma tentativa para se mostrar a importância de incluir os processos e alterações, geológico/geomorfológicas, aceleradas na avaliação ambiental. Depois de uma extensa revisão de parâmetros significativos para áreas terrestres e costeiras a IUGS selecionou 27 geoindicadores (BERGER, 1996); sistematizados na Tabela 1, segundo COLTRINARI (2001). Essa tabela ilustra, de forma geral, os papéis relativos das mudanças naturais e induzidas pelo homem na modificação das paisagens e os sistemas geológicos.

Tabela 1: Geoindicadores: influências naturais x influências humanas (modificado de BERGER, 1996).

Geoindicador	Influência Natural	Influência Humana
Química e padrões de crescimento dos corais	*	*
Crostas e fissuras na superfície do deserto	*	+
Formação e reativação de dunas	*	+
Magnitude, duração e frequência das tempestades de poeira	*	+
Atividade em solos congelados	*	+
Flutuações das geleiras	*	-
Qualidade da água subterrânea	+	*
Química da água subterrânea na zona não saturada	*	*
Nível da água subterrânea	+	*
Atividade Cárstica	*	+
Nível e salinidade dos lagos	*	*
Nível relativo do mar	*	+
Seqüência e composição dos sedimentos	*	*
Sismicidade	*	+
Posição na linha de costa	*	*
Colapso das vertentes (escorregamentos)	*	*
Erosão dos solos e sedimentos	*	*
Qualidade do solo	+	*
Fluxo fluvial	*	*
Morfologia dos canais fluviais	*	*
Acumulação e carga de sedimentos nos rios	*	*
Regime da temperatura em sub-superfície	*	+
Deslocamento da superfície	*	+
Qualidade da água superficial	*	*
Atividade vulcânica	*	-
Extensão, estrutura e hidrologia das áreas úmidas	*	*
Erosão eólica	*	+

Fonte: COLTRINARI, 2001.

* muito influenciado (a) por, ou muito útil para;

+ pode ser influenciado (a) por, ou serve para;

- não é importante ou não tem utilidade.

A lista dos geoindicadores resume as formas de transformação da paisagem, sejam quais forem suas causas. Pode ser muito difícil distinguir as mudanças induzidas pela ação antrópica daquelas que podem acontecer pelos processos naturais (BERGER, 1996). Por exemplo, uma mudança particular na forma e dimensão dos canais fluviais ou na capacidade dos rios de armazenar ou transportar sedimentos pode ser um resultado de uma intervenção antrópica (construção de

uma ponte ou barragem para represar a água); ou também pode ser o resultado da chuva que aumenta o escoamento concentrado, influenciando na produção e transporte de sedimentos.

Portanto, os geoindicadores podem ajudar a fornecer respostas à algumas perguntas: o que precisa ser investigado e monitorado no meio ambiente (áreas urbanas e rurais)? Em que componentes abióticos da paisagem os gerenciadores do ambiente deveriam manter sua atenção? Por que determinados impactos estão ocorrendo? Por que é significativo? O que se está fazendo a respeito disso? Qual a meta para controle dos processos? Como deve ser aplicado na política ambiental? (EEA, 1999a; BERGER, 1998). Assim, o COGEOENVIRONMENT (1995), apresenta uma breve descrição das características gerais de cada indicador:

- a) Nome (se aplica a um único indicador);
- b) Breve descrição (como é o indicador? Como expressa os processos e fenômenos geológicos?);
- c) Importância (por que é importante monitorar esse indicador? Como suas variações refletem nos impactos produzidos pela agricultura, reflorestamento, assentamentos humanos, como assim por outros setores da economia e atividades antrópicas?);
- d) Causa humana e natural (pode esse indicador ser usado para distinguir se suas variações são produto de processos naturais ou antrópicos? Como? Esse aspecto explicita a facilidade ou dificuldade de separar mudanças humanas das naturais, uma consideração fundamental ao se avaliar as modificações ambientais);
- e) Ambiente onde se aplica (em que tipo de paisagem e sítio se poderia usar esse geoindicator, por exemplo: desertos, áreas costeiras, etc.) Esse aspecto facilita a identificação dos indicadores com referência a um ambiente particular;
- f) Área de monitoramento (onde deve ser medido esse indicador? Em que sítio especificamente?);
- g) Escala Espacial (em que escala deve-se monitorar esse indicador? Qual a escala a ser considerada?);

- h) Métodos de medição (como se pode medir no campo esse indicador? Que técnicas de laboratório estão incluídas? O trabalho de campo é um requerimento básico para estudar a maioria dos geoindicadores. Também se faz referências especiais a novas ferramentas e tecnologias, tal como *Global Positioning Systems*, GPS. Imagens de satélite adequadamente processadas, podem fornecer informação de grande valor nos estudos regionais, devido ao conteúdo dos dados espaciais que podem proporcionar informação que de outra maneira não estará disponível. Os sistemas de informação geográfica (SIG) constituem uma tecnologia em rápido desenvolvimento. Permitem organizar e manejar bases de dados espacialmente relacionadas de maneira muito eficaz e fornecem uma ferramenta analítica para corroborar os modelos de relevo e desenvolver novas hipóteses;
- i) Freqüência de medidas (a cada quanto tempo deve-se medir um geoindicador específico no campo, para assim estabelecer uma série temporal apropriada e uma tendência de referência? Essas são as linhas gerais para a maioria dos casos, pois a natureza do sítio de localização e as características do ambiente a ser investigado determinarão a freqüência das medições sucessivas. Para alguns sistemas terrestres, quanto mais continuamente se mede um geoindicador mais fácil será investigá-lo. Os geoindicadores deveriam ser monitorados todos os anos na mesma época. Não obstante, deve-se ter em conta que muitos geoindicadores permanecem estáveis por períodos de tempo consideráveis e experimentam uma mudança, principalmente durante eventos extremos pouco freqüentes, tais como inundações, deslizamentos de taludes, entre outros);
- j) Limitações dos dados e do monitoramento (que dificuldades importantes existem ao se adquirir dados de campo e laboratório e aplicá-los a um determinado indicador? Em muitos casos, os dados de campo e outros dados analíticos podem ter limitada sua aplicação devido uma ampla

categoria de influências externas - complexidade espacial e temporal dos processos terrestres ao que os sistemas naturais estão expostos);

- k) Aplicações ao passado e ao futuro (como os geoindicadores podem ser aplicados à análise paleoambiental? Que potencial de previsão possuem? A maioria dos sistemas terrestres funcionaram durante longos períodos de tempo, evoluindo a velocidades que estão além da experiência humana. Portanto, os registros dos eventos ambientais e naturais passados são essenciais para compreender as tendências e direções das transformações da paisagem. As previsões e os prognósticos requerem um completo entendimento tanto da dinâmica do comportamento dos sistemas terrestres como das direções como as que se desenvolveram nos últimos anos. Os estudos das evidências preservadas são de fundamental importância;
- l) Possíveis valores de referência (a partir de que valores limites haverá mudanças drásticas no ambiente ou ameaças para a saúde humana e da biodiversidade? A princípio admite-se que, para todos os indicadores o limite é ultrapassado quando as variações afetam os ecossistemas e a saúde humana. Esses limites são claramente uma questão de percepção: alguns podem ver uma variação do geoindicador como sem importância, enquanto que outros, proveitoso ou prejudicial. Portanto, a questão aqui é determinar esse limite sobre a base de parâmetros físicos que regem o comportamento do sistema).

Considerando esses aspectos, os geoindicadores tornam-se “instrumentos de pesquisa e conhecimento das condições do ambiente e das mudanças que nele acontecem, assim como dos efeitos que essas modificações causam no ambiente e/ou seus habitantes e, ainda, suas implicações para o planejamento e a definição de políticas ambientais” (BERGER, 1996 apud COLTRINARI, 2001; EEA, 1999b).

O que se sabe é que faltam respostas adequadas para a avaliação dos impactos nos processos atuais, à identificação das contribuições das dinâmicas natural e antrópica e à formulação de prognósticos relativos às mudanças derivadas da intervenção humana nos sistemas naturais.

Essas limitações se acentuam na zona tropical, onde a intervenção antrópica e seus efeitos são mais evidentes e há necessidade de testar metodologias que permitam desenvolver e aplicar geoindicadores específicos para as áreas urbanas e industriais, onde se encontram as maiores concentrações urbanas e as pressões sobre o ambiente natural são mais intensas. No caso das bacias hidrográficas totalmente ocupadas por área urbana, os indicadores específicos que atuam nos processos geomorfológicos decorrem de intervenções realizadas nesse ambiente, desde a retirada da cobertura vegetal, exposição do material das vertentes, execução de cortes e aterros para implementação de conjuntos habitacionais e até mesmo em áreas clandestinas, obras de infra-estrutura urbana, que inclui abertura de avenidas, canalização de córregos, etc. Não apenas os processos naturais criam e modificam as formas (feições geomorfológicas), na paisagem urbana, mas as intervenções antrópicas atuam de forma dinâmica e acelerada. Os trabalhos de campo realizados em períodos de até um mês de intervalo são muitas vezes suficientes para demonstrar as mudanças geomorfológicas na paisagem. As extensas áreas de terraplenagem são um bom exemplo disso. A dinâmica natural apenas trata de manter o contínuo remodelamento das feições geomorfológicas modificadas.

2.3 Materiais e Técnicas Utilizadas

Para a análise das áreas de produção de sedimentos e para configurar uma proposta de indicadores desse fenômeno (processos erosivos) foram realizadas atividades de fotointerpretação, atividades de campo e análise de laboratório, conforme descritas a seguir.

A seleção dos parâmetros de análise para caracterização das áreas produtoras de sedimentos baseia-se nos condicionantes naturais, como por exemplo, litologia, declividade do terreno, forma das vertentes, etc. e dos condicionantes antrópicos (tipologia do uso e ocupação do solo), constituindo-se nos geoindicadores.

O roteiro de desenvolvimento da pesquisa, após a seleção dos parâmetros de análise, inicia-se com a identificação das áreas produtoras de sedimento, a partir de fotografias aéreas e descrição dos processos reconhecidos. Na seqüência foram

realizados trabalhos de campo para caracterização dessas áreas. Em seguida, as áreas críticas foram definidas com base nos indicadores. As informações de cada área estarão sistematizadas em banco de dados, após caracterização e indicações gerais de prevenção e controle dos processos em cada uma delas. Essas áreas serão plotadas em base cartográfica 1:10.000, constituindo-se dessa forma o mapa de áreas de produção de sedimento, que estará apresentado na escala 1:25.000. A utilização do Sistema de Informação Geográfica (SIG) por meio de softwares será importante para apresentar a correlação entre o dado espacial e as informações contidas no banco. Esse sistema permite a atualização contínua das informações. Estão apresentadas também as correlações entre eventos ocorridos na área da bacia e respectivos índices pluviométricos ocorridos na área, bem como os volumes retirados da limpeza dos piscinões.

2.3.1 Documentação Cartográfica

Os documentos cartográficos utilizados para a confecção dos mapas e cartas de análise consistem em:

- a) base cartográfica em escala 1:10.000, São Paulo Protege, 2002, fornecida pela Prefeitura Municipal de São Paulo;
- b) carta topográfica 1:10.000, EMPLASA (19xx), folhas Taboão da Serra, Pinheirinho, Capão Redondo, Jardim São Bento, Vila Campo Belo, Santo Amaro, Vila Santo Antônio e Embu, que serviram para complementar o restante da área da bacia que se situa nos municípios de Embu e Taboão da Serra; e
- c) fotografias aéreas, escala 1:25.000, dos anos de 1962 e 1972 com recobrimento para o município de Taboão da Serra; fotografias aéreas, escala 1:10.000 com recobrimento para o município de Taboão da Serra; fotografias aéreas, escala 1:6.000, do ano de 2000 (PMSP - RESOLO), com recobrimento para o município de São Paulo; fotografias aéreas, escala 1:15.000 (MULTIESPECTRAL, 2001), para recobrimento da bacia nos municípios de São Paulo, Embu e Taboão da Serra; fotografias aéreas, escala 1:5.000, do ano de 2004, (BASE), com recobrimento para o município de Taboão da Serra; e

- d) Imagem IKONOS, 2002/2003 (coordenadas cartesianas – UTM, datum WGS/84).

2.3.2 Programas de Softwares

Os programas de softwares utilizados na elaboração dos produtos cartográficos foram:

- a) *Scan Smith/ Anatech* para escanização das cartas topográficas 1:10.000;
- b) *Microstation*, módulo *IRAS B* (para tratamento da imagem raster) e módulo *IGEOVEC* (vetorizador semi-automático)/ Bentley, 95.
- c) *Autocad 2000/ AutoDesk*
- d) *Arc View* versão 8.3 e *ArcInfo* versão 7.1.2/ *ESRI* e *MapInfo Professional*, versão 6.5 para

2.3.3 Uso e ocupação do solo

O mapeamento do uso e ocupação foi realizado a partir de fotointerpretação das fotografias aéreas e imagem de satélite, conforme citadas anteriormente. Em linhas gerais as categorias de uso do solo foram adotadas segundo o trabalho de ALMEIDA e FREITAS (1996), sintonizadas com a realidade da bacia ora enfocada, a saber:

- a) *Cobertura Vegetal Natural*: inclui áreas cobertas principalmente por matas. Nas áreas urbanas encontram-se em áreas restritas, onde o relevo é mais enérgico ou nas áreas de preservação;
- b) *Reflorestamento*: formações florestais artificiais, disciplinadas e homogêneas. Ocorrem em talhões isolados, podendo formar pequenos bosques junto a estruturas rurais;
- c) *Pastagens*: áreas onde predomina vegetação herbácea, com alguns arbustos e árvores esparsas, desprovidas de cuidados. Localizam-se em áreas rurais e em áreas de expansão urbana;
- d) *Área Urbana Consolidada*: caracteriza-se por ser densamente ocupada, e pela disponibilidade de infra-estrutura básica e equipamentos, atividades de comércio e serviços, etc;

- e) *Área Urbana em Consolidação*: constitui áreas com densidade de ocupação média/alta, apresentando ainda alguns vazios urbanos, e infraestrutura e equipamentos restritos. Destacam-se nessas áreas grandes loteamentos e sistemas de auto-construção;
- f) *Área Urbana Parcelada*: corresponde à ocupação periférica com densidade média/baixa, caracterizada por loteamentos em implantação, destinados à classe social menos favorecida, em que há falta de infra-estrutura e equipamentos urbanos;
- g) *Disposição de Resíduos*: locais para destinação final do lixo urbano, na forma de aterro sanitário, lixão ou aterro controlado;
- h) *Áreas Industriais*: são especificadas quanto aos tipos de atividades que possam causar danos ao meio, como por poluentes atmosféricos, do solo e hídricos.

2.3.4 Dados pluviométricos

O estudo dos processos morfogenéticos demonstra a importância que o fator climático assume no condicionamento para a esculturação das formas do relevo. Particularmente na área urbana, os eventos pluviais concentrados e suas repercussões espaciais devem ser tratados no âmbito da análise tempo-espacial dos eventos e a análise específica dos episódios considerados críticos (SANT'ANNA NETO, 1995; CABRAL, 2002).

Para correlacionar os eventos pluviométricos com a produção de sedimentos e ocorrência de enchentes, foi necessário o levantamento de dados de chuva diários da bacia, pesquisas em jornais (documentação da ocorrência dos eventos) e dados obtidos a partir de postos sedimentométricos.

2.3.5 Medidas de transporte de sedimentos

Para acompanhar as alterações que as bacias sofrem ao longo do tempo é necessário considerar os indicadores já estabelecidos.

Foram realizadas medidas de transporte de sedimentos de suspensão em cinco pontos da bacia. O objetivo é obter dados da vazão e da descarga sólida de

sedimentos em suspensão. Para aplicação do método, foi possível realizar a medição durante o período de medição de 12 meses, contemplando o comportamento desses parâmetros durante o período de um ano.

A descarga sólida de sedimentos varia com o aumento das taxas de erosão na bacia e o potencial transporte desses sedimentos para os cursos d'água.

O trabalho não se propõe a medir taxas de erosão, mas considerar os indicadores que caracterizam as áreas de produção de sedimentos e realizar medições apenas ao longo dos cursos d'água para verificar a carga sólida fluvial em suspensão. Vale lembrar, segundo (FERRAZ, 2002), que a concentração de matéria em suspensão pode variar consideravelmente entre as margens e com a profundidade, o que dificulta a representatividade da amostragem.

Para a avaliação da intensidade da erosão mecânica levou-se em conta a medida da carga sólida fluvial em suspensão, tarefa delicada, uma vez que a concentração de matéria em suspensão pode variar consideravelmente entre as margens e com a profundidade, o que dificulta a representatividade da amostragem (FERRAZ, 2002).

A análise do comportamento do material permite observar que os sedimentos finos se deslocam com a mesma velocidade das águas dos rios (MORTATTI e PROBST 1998), enquanto aqueles com partículas de maior granulometria são transportados mais lentamente e podem permanecer em um mesmo local por um período maior de tempo, dependendo da vazão dos cursos d'água. Dessa forma, o sedimento em suspensão pode apresentar uma distribuição variável na direção vertical da coluna d'água quando da realização da amostragem. Os sedimentos localizados próximos ao leito do rio, tendem a apresentar partículas maiores, enquanto as amostragens realizadas junto à superfície apresentariam predominância de partículas finas.

Quanto aos equipamentos, nos rios de médio e pequeno porte estão sendo utilizados amostradores pontuais, um tipo de amostrador por integração, que são de fácil operação e permitem amostragem de um mesmo local seguidamente.

Os materiais utilizados constituem-se em:

- a) Amostrador US-DH-48;

- b) Molinete Valeport;
- c) Garrafas plásticas com capacidade para 1000ml; e
- d) GPS III Plus – Garmin.

2.3.5.1 Amostrador US-DH-48

Os amostradores por integração são equipamentos utilizados para coleta de amostras de sedimentos em suspensão que acumulam em um recipiente uma mistura de água/sedimento durante um certo período de tempo adequado para ser considerada uma amostra representativa. Essa amostra é retirada do fluxo do curso d'água, por um pequeno bico ou bocal.

Esses equipamentos podem ser movimentados por meio do fluxo do canal e, dessa maneira, amostrar em mais de um ponto. Não requerem energia para seu funcionamento ou complicados sensores de velocidade e equipamentos de ajustagens.

O amostrador US-DH-48 (Foto 5 e 6), é do tipo integrador na vertical, isto é, adquire a amostra enquanto é movido em velocidade de trânsito uniforme ao longo da coluna vertical do curso d'água. São feitos em alumínio, de forma hidrodinâmica e utilizam uma garrafa de vidro, presa por mola, sendo este, calibrado com um bico de 1/4". Esse equipamento é do tipo leve, pesando o conjunto cerca de 3,0kg, e pode ser operado com haste ou cabo manual a vau, de canoa ou de ponte de pequena altura (IPT, 2005).

A haste é graduada e serve para a suspensão do equipamento. Existem adaptações desse amostrador, com uso de sapata ou de um lastro e cauda alongada, para uso com guincho.



IPT 2005

Foto 5: Amostrador US-DH-48.



IPT 2005

Foto 6: Exemplo de amostragem de campo.

2.3.5.2 Molinete Valeport

O Molinete Valeport é um dispositivo eletromecânico de natureza hidrodinâmica, projetado para a medição da velocidade média do curso d'água em rios, canais e lagos. Contém um sensor do tipo hélice que, associado a seu dispositivo transdutor, proporciona a geração de pulsos elétricos.

O comportamento hidrodinâmico do sensor é observado, matematicamente, por meio de sua equação de aferição, que traduz em valor a velocidade média do curso d'água, em razão do número de rotações por unidade de tempo.

Esse sensor é montado em eixo horizontal, apoiado por mancais de rolamentos de precisão e instalado no corpo do molinete que contém, em sua extremidade oposta, cauda e estabilizador, de modo a favorecer a horizontalidade do conjunto a diversas profundidades (IPT, 2005). O molinete utilizado nesse projeto é da marca Valeport e modelo BFM002 (Fotos 7,8,9,10).



IPT 2005

Foto 7: Molinete Valeport conjunto completo.



IPT 2005

Foto 8: Molinete Valeport.



IPT 2005

Foto 9: Detalhe do equipamento



IPT 2005

Foto 10: Exemplo de amostragem de campo.

2.3.5.3 Determinação dos locais e frequência de amostragem

Para selecionar os pontos de amostragem foi realizada uma análise geral da bacia do rio Pirajuçara, considerando alguns indicadores importantes, de acordo com as várias escalas de abordagem. Assim, foram selecionados cinco pontos (Figura 9), a saber:

- a) Pira 1: rio Pirajuçara - à montante da confluência com o córrego Poá; próximo à estrada do Campo Limpo
- b) Pira 2: rio Pirajuçara – Ponte próxima à entrada da Cidade Universitária;
- c) Poá 1: córrego Poá - á montante da confluência com o rio Pirajuçara – rua Thereza Luizetto;
- d) Poá 2: foz do afluente da margem esquerda do córrego Poá, início da estrada Maria Aparecida Nicoletti (a montante do piscinão Portuguesinha);
- e) Poá 3: foz do afluente da margem direita do córrego Poá, Rua (a montante do piscinão Portuguesinha).

Os critérios de escolha e os indicadores utilizados para selecionar os pontos, considerando que a bacia situa-se me área urbana, levou em conta o acesso aos locais selecionados não dificultando o trabalho para a coleta das amostras dos sedimentos em suspensão e a demarcação exata dos perfis de coleta.

Outra questão importante a se levantar é com referência às escalas de análise, ou seja quais são os indicadores possíveis de se monitorar em escalas de detalhe (local) e escalas mais genéricas (regional) e para quais propósitos esses indicadores devem servir. Sendo assim, foram consideradas três níveis de escala:

a) Primeira escala de abordagem 1:50.000 (bacia do rio Pirajuçara), complexidade de uso e ocupação e diversos tipos de intervenções, considerar o comportamento a montante da confluência com o córrego Poá, que é seu principal afluente;

b) Segunda escala de abordagem 1:25.000 (bacia do córrego Poá): é o principal afluente do rio Pirajuçara. De acordo com o uso e ocupação do solo, existem áreas extensas com cobertura vegetal e também áreas em franco processo de expansão e usos mal planejados; e

c) Terceira escala de abordagem 1:5.000 (afluentes de primeira ordem, que drenam diretamente para o córrego Poá). Para a aplicação dos indicadores e análise da produção de sedimentos foram selecionadas duas bacias que apresentam diferentes tipos de uso e ocupação do solo: a primeira é praticamente toda coberta por vegetação e a segunda é caracterizada por assentamentos urbanos precários sem infra-estrutura, com significativas áreas com superfície em exposição, com alto potencial favorável à produção de sedimentos.

Nesses pontos, foram medidas as larguras dos cursos d'água, profundidade das verticais e determinadas as topografias do fundo dos canais, definindo assim a área da seção estudada. Foram calculadas as vazões e realizadas as campanhas de amostragem de sedimentos em suspensão nas verticais definidas.

A amostragem dos sedimentos foi realizada por meio do *Método de Amostragem por Integração Vertical*, descrito no item 2.3.5.4, numa malha regular de amostragem a uma profundidade de 10cm do fundo do canal, utilizando-se do amostrador US-DH-48.

2.3.5.4 Amostragem por Integração Vertical

A distribuição de sedimentos em uma seção transversal é variável de um lado para o outro, sendo, melhor expressa em termos de concentração. A concentração é variável em função da velocidade da corrente, da disponibilidade de sedimentos e da granulometria. Considerando que, a velocidade do fluxo de água é menor próximo às margens, a concentração do material transportado também será. Porém, tendem a aumentar, quanto mais para o centro do canal.

A amostragem por integração vertical é a mais utilizada nas medições rotineiras e permite uma boa precisão nos resultados. Na amostragem por integração vertical o amostrador é deslocado ao longo da vertical de amostragem com uma velocidade a mais constante possível e próxima a um valor previamente calculado, tanto na descida como na subida (SANTOS et al., 2001). No processo de amostragem por integração vertical, cada garrafa deve sempre ser examinada após a coleta, para verificar se não há excesso de partículas, o que ocorre quando a garrafa toca o leito do rio. Os equipamentos de amostragem por integração, mais utilizados, são do tipo de garrafa, de saca compressível e de bombeamento.

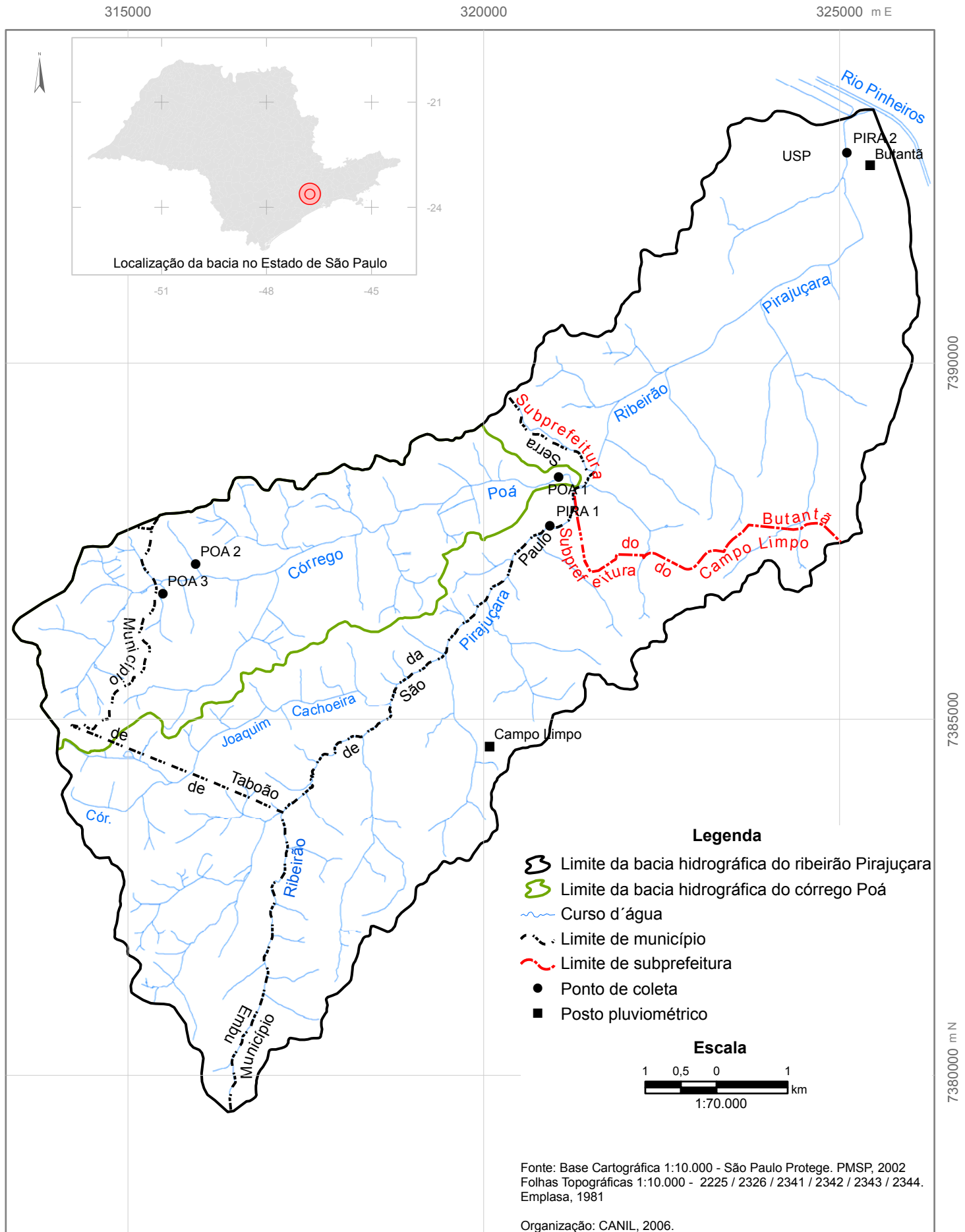


Figura 9 - Pontos de coleta e amostragem de sedimentos nas bacias hidrográficas do ribeirão Pirajuçara e córrego Poá.

Os amostradores por integração vertical usam bicos calibrados, com diâmetros de 1/8", 3/16" e 1/4", que possuem áreas de 0,079173 cm², 0,178139 cm² e 0,316692 cm², respectivamente.

Cada bico possui uma razão de trânsito - RT específica, a qual corresponde à velocidade de percurso ideal em função da velocidade da corrente na vertical de medição a ser amostrada. A razão de trânsito máxima - $RT_{máx}$ é a maior velocidade para que o equipamento desça e suba, ao longo da vertical de medição, em posição adequada. A razão de trânsito é calculada para cada diâmetro de bico como sendo:

$$RT_{máx} = c \cdot \bar{v} \text{ , onde:}$$

\bar{v} – velocidade média do fluxo na vertical (m/s); e

c – constante para cada diâmetro de bico, sendo 0,2 para o bico 1/8" e 0,4 para os bicos 3/16" e 1/4" .

A velocidade média do fluxo na vertical é calculada por meio de molinete do tipo Valeport. São tomadas duas medidas da velocidade, a 20% e 80% da profundidade total da vertical a ser amostrada e, então, é obtida a média das velocidades.

O tempo mínimo de amostragem ($T_{mín}$) é o tempo mínimo necessário para uma boa amostragem naquelas condições de velocidade e profundidade e é definido, para cada bico, dividindo-se o dobro da profundidade amostrada (P_a) da vertical em questão, pela $RT_{máx}$.

$$T_{mín} = \frac{(2 \times P_a)}{RT_{máx}}$$

Para a escolha do bico, no entanto, é necessária a verificação do tempo de enchimento da garrafa para cada bico naquela condição de velocidade. Para tanto, pode-se consultar o gráfico da Figura 10 que fornece, de forma aproximada, o tempo máximo ($T_{máx}$) de amostragem em função da velocidade média na vertical e do bico utilizado. Deve-se escolher o bico em que o $T_{máx}$ seja maior que o $T_{mín}$ e proceder a amostragem em um tempo compreendido entre esses limites.

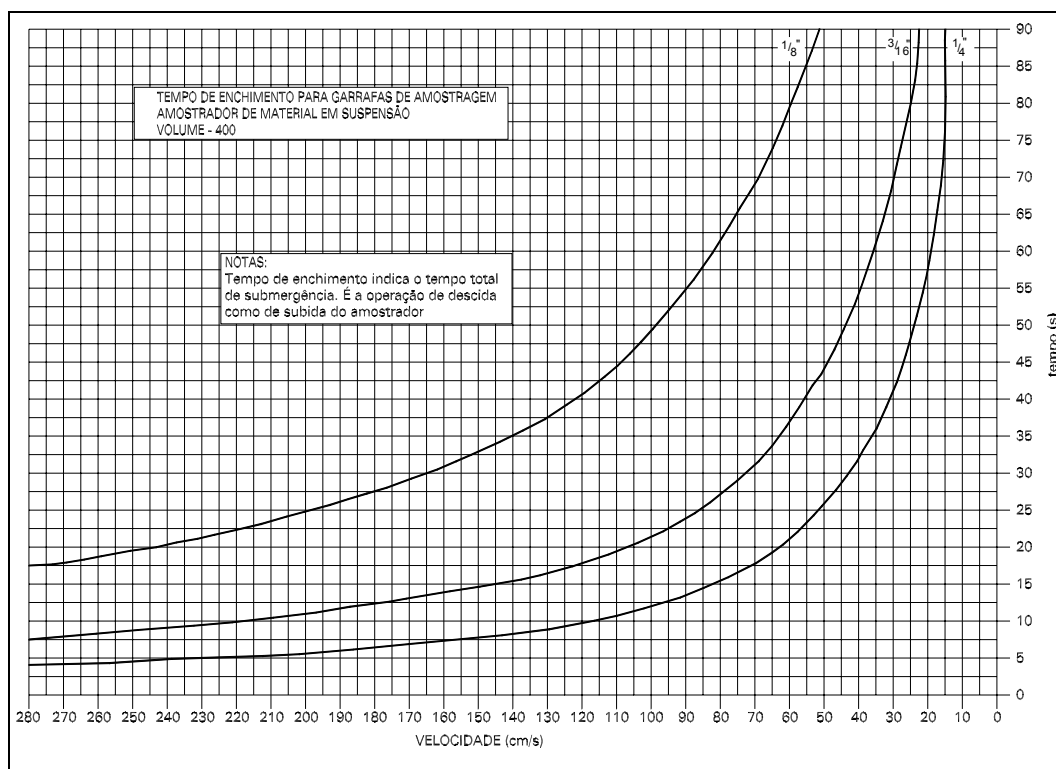


Figura 10: Gráfico utilizado para determinação do tempo de enchimento da garrafa, com volume de 400 cm^3 , durante o processo de amostragem de sedimentos em suspensão (IPT, 2005 apud CEMIG, 1965).

Durante o trabalho de campo foram coletadas amostras com volume de aproximadamente 1000ml, uma vez que a mínima quantidade necessária para a determinação da quantidade de sedimentos transportados em suspensão é de 400ml (FOTOS 11 e 12).



IPT 2005

Foto 11: Garrafas para amostragem com capacidade total para 1.000ml.



IPT 2005

Foto 12: Exemplo da identificação das amostras coletadas.

2.3.5.5 Ensaios laboratoriais para obtenção do teor de sedimentos e concentração de sedimentos por volume

As amostras coletadas durante o trabalho de campo foram encaminhadas para o Laboratório de Petrologia e Tecnologia de Rochas (LPTR) e Laboratório de Física do Solo (LFS) do IPT, que realizou os ensaios para determinação do teor de sedimentos e o ensaio de concentração por volume. Os valores de concentração por volume são utilizados para que se possa calcular o valor da descarga sólida dos sedimentos em suspensão. Não foi considerada a descarga sólida dos sólidos dissolvidos (carga dissolvida).

A carga sólida dissolvida é composta pelos constituintes intemperizados das rochas, transportados em solução química principalmente pelo escoamento subterrâneo. Entretanto, existem situações em que o escoamento superficial pode contribuir significativamente para a carga dissolvida, principalmente no carreamento de fertilizantes (poluição difusa). Existe ainda o aporte de cargas dissolvidas em função de fontes poluidoras pontuais, indústrias e esgotos, que lançam materiais dissolvidos nos rios, lagos, estuários e reservatórios. Embora não seja visível, a carga dissolvida pode representar parcela importante da descarga sólida em suspensão (Santos et al., 2001).

2.3.5.5.1 Concentração em volume e peso do sedimento

Para a determinação da concentração de sais solúveis (sólidos totais dissolvidos), retiram-se das amostras, da parte isenta de material em suspensão (água sobrenadante após 96 horas de repouso) duas alíquotas (pipetagem) de 50ml cada, que são colocadas em cadinhos de porcelana e levadas para estufa a 105⁰C para secagem por 24 horas. Em seguida foram pesadas para que se obtivesse o peso seco total. Não foi considerada a carga dissolvida.

A análise da concentração do material em suspensão é realizada pelo método de evaporação, com prévia redução de volume após a amostra permanecer em repouso por 96 horas. A amostra água-sedimento reduzida na sua quantidade de água a 100ml é, então, colocada em recipiente adequado (Becker 250ml) e levada à estufa a 65⁰C para secagem por 48 horas. Tanto para a determinação de sais solúveis como concentração do material em suspensão, após a secagem, as

amostras permanecem na estufa desligada por mais duas horas e são levadas ao dessecador até a atingir a temperatura ambiente para, então, serem encaminhadas para pesagem.

2.3.5.5.2 Descarga sólida em suspensão

As partículas de granulometria reduzida, como argila, silte e algumas de areia são pequenas o suficiente para que sejam transportadas pelo fluxo turbulento e são misturadas à água na forma de uma solução heterogênea, constituindo a carga de sedimentos em suspensão. A distinção entre a carga em suspensão e carga do leito baseia-se mais no mecanismo de transporte do que no tamanho da partícula, ou seja, partículas transportadas em suspensão em um rio de alta declividade podem constituir carga de leito para rios de planície. A carga em suspensão é a parte do transporte de sedimentos mais bem estudada, em função de sua importância relativamente à carga dissolvida, e pela facilidade de medição em campo, comparativamente aos métodos de medição da carga de leito.

A descarga em suspensão representa a maior quantidade da carga sólida total do curso d'água, podendo corresponder, em média, entre 70 e 95% da descarga sólida total, sendo isso função da posição da seção transversal no curso d'água e outros fatores. No entanto, medições sucessivas demonstraram que pode haver rios com descarga sólida de arrasto de maior valor, em determinada posição do rio, ocorrendo casos que igualam ou superam a descarga sólida em suspensão (CARVALHO, et al., 2000).

O cálculo do valor da *Descarga Sólida em Suspensão* (Q_{ss}) é feito levando em consideração que os sedimentos se movimentam com a velocidade da corrente em toda a seção transversal. A concentração corresponde ao valor médio na seção, sendo a descarga sólida em suspensão igual ao produto da descarga líquida pela concentração seguindo a fórmula:

$Q_{SS} = 0,0864Q \times C$, onde:

Q_{SS} = descarga sólida em suspensão (t/dia, kg/dia, g/s),

Q = descarga líquida (m³/s, l/s) e,

C = concentração média (mg/l, g/l)

OBS. A constante se refere ao fator de transformação de unidades.

A partir dos métodos descritos, para cada ponto de amostragem foram medidas a largura e a profundidade do rio e a velocidade da corrente. Após o levantamento da seção, foi calculada a área da seção, as vazões e realizadas as amostragens dos sedimentos em suspensão. Foi elaborada uma ficha guia para ser preenchida em campo, com os dados como: localização, data e equipe de trabalho, distância amostrada, velocidades, perfil aproximado da drenagem, valores de vazão, identificação das amostras, dados pluviométricos e fotos, conforme ilustrado na Figura 11.

CAPÍTULO 3

INDICADORES DE SITUAÇÃO DE EQUILÍBRIO, INTERVENÇÕES ANTROPOGÊNICAS, DINÂMICA DE VERTENTE E DINÂMICA FLUVIAL, NA BACIA DO RIBEIRÃO PIRAJUÇARA

Os indicadores das intervenções antropogênicas, ou seja os tipos de uso e ocupação do solo, observados na bacia estão assentados sobre superfície predominantemente composta por rochas intemperizadas do embasamento cristalino (micaxistos, granitos e migmatitos) que sustentam formas de relevo de colinas e morrotes (amplitudes topográficas de até 60m e declividade variando entre 20 e 30%) recobertos por materiais inconsolidados.

A presença de cobertura vegetal em uma superfície que apresenta essas características significa a manutenção do equilíbrio entre morfogênese e pedogênese. Não obstante ao constatar o atual estágio das intervenções antropogênicas, na área de pesquisa, verificam-se também alterações no comportamento dos processos morfodinâmicos. Entenda-se processos de erosão, transporte (escoamento superficial), deposição e inundação. Os efeitos desses processos relacionados ao escoamento descontínuo/concentrado produzem graus de instabilidade distintos da superfície (TRICART, 1966) e conforme a taxonomia proposta por TRICART (1977) são denominados de meios estáveis, intergrades, e meios fortemente instáveis.

Iniciando a análise do relevo da bacia do ribeirão Pirajuçara, pelas áreas onde a cobertura vegetal ainda existe, admite-se a condição de equilíbrio da superfície e o predomínio de processos pedogenéticos.

Nos primórdios da década de 50, quando a área da bacia ainda apresentava vegetação de mata densa significativa exercia papel fundamental na estabilidade das vertentes por meio da redistribuição da água proveniente das chuvas. A copa das árvores impede, em parte, o impacto direto da chuva na superfície do terreno restringindo a erosividade, retarda e diminui a quantidade efetiva de água que infiltra no solo, atenuando assim a perda de coesão aparente dos agregados e o aumento do peso específico, pelo menos quando se trata de eventos de precipitação pluviométrica de pequena intensidade

e curta duração (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1990). Outro efeito favorável é proporcionado pelo aumento de resistência do solo por ação das raízes, tanto por reforço mecânico (transferência parcial da tensão cisalhante atuante no solo para as raízes), como por escoramento, principalmente para espécies com raízes profundas e pivotantes (CARSON & KIRKBY, 1972).

Contrário à estabilidade tem-se o efeito alavanca o qual decorre da ação do vento nos troncos, e o efeito cunha, causado pelas raízes ao penetrar fendas, fissuras e canais do solo e da rocha. Um terceiro efeito, a sobrecarga vertical sobre a vertente causada pelo peso das árvores, atua principalmente quando da existência de florestas densas e de processos que geram a instabilidade da superfície de ruptura em solos de pouca espessura. Este efeito pode ter uma ação benéfica ou não na estabilidade, em função da declividade e das características do solo (CARSON & KIRKBY, 1972).

Considerando a importância relativa deste conjunto de efeitos da cobertura vegetal na estabilidade das vertentes pode-se dizer que as vertentes com vegetação mais desenvolvida (florestas) estão menos sujeitas à instabilidade em função do efeito de redistribuição da água proveniente das chuvas, que é o principal agente desencadeador dos processos morfogenéticos (leia-se no caso erosão e escorregamentos), (BACARO, 1990; CERRI, 1993).

Contudo a partir do primeiro estágio de intervenção com a retirada da vegetação original, a superfície do relevo fica exposta à ação dos agentes climáticos, em especial à chuva, iniciando-se o processo de deslocamento e desagregação das partículas do horizonte superior do solo que são transportadas, ao longo do tempo, pelo escoamento superficial até aos cursos d'água (BACARO, 1990; SALOMÃO, 1999). O processo de retirada do material se acelera quando há concentração do escoamento superficial sobre as vertentes. Ressalta-se que a magnitude e a frequência desses processos são comandadas pelas características dos materiais e da morfometria do relevo.

No caso da bacia do ribeirão Pirajuçara conforme anteriormente mencionado, as características dos materiais do substrato apresentam boa resistência aos processos morfogenéticos. No entanto, se expostos continuamente e dependendo

do tipo do perfil e da declividade das vertentes, das características dos materiais da cobertura, esta pode ser afetada pela erosão.

No caso da erosão linear, as incisões instalam-se a partir do momento em que a velocidade do fluxo superficial vence a resistência mecânica do solo e consegue escavar a superfície. fazer incisões no terreno. O fluxo deixa de ser laminar e descontínuo, concentrando-se em filetes cuja velocidade da água é maior. A concentração do escoamento tende a ocorrer em linhas preferenciais que quando persistentes dão origem a sulcos e feições de maior porte, tais como ravinas e boçorocas, que compõem o conjunto de feições originadas pela erosão linear (Fotos 13 e 14), (RUELLAN, 1953; SALOMÃO, 1994; CANIL, 2000).

Em função das mudanças na quantidade de água infiltrada e de sua circulação promovidas pelas intervenções antropogênicas na superfície do relevo, os cursos d'água passam a receber mais rapidamente e de forma mais intensa as enxurradas, que promovem a erosão das margens, inundações nas várzeas e o assoreamento dos canais que perdem portanto, a profundidade.

O solapamento das margens fluviais é o processo erosivo que ocorre ao longo das planícies aluviais quaternárias e atinge os cursos d'água de todas as ordens cuja ação interfere tanto na retirada dos materiais que compõem a planície quanto no retrabalhamento dos sedimentos depositados nos fundos de vale e bancos artificiais originados pelo assoreamento recente (CANIL, 2004). Desencadeado pelo atrito entre a água e os materiais do leito, o solapamento se intensifica nos períodos em que ocorrem as maiores vazões fluviais, em particular onde não existe mata galeria ou outro tipo de proteção das margens (Fotos 15 e 16).



Canil, 2004

Foto 13: Após a retirada da cobertura vegetal, originam-se as primeiras feições erosivas, (município de Taboão da Serra).



Canil, 2005

Foto 14: Ravina em superfície em exposição, (município de Taboão da Serra).



Canil, 2004

Foto 15: Solapamento de margem fluvial, em afluente do ribeirão Pirajuçara, atingindo moradias de baixo padrão construtivo.



Canil, 2005

Foto 16: Margens fluviais desprotegidas de afluente do ribeirão Pirajuçara, (bairro Butantã, município de São Paulo).

Quanto aos escorregamentos, relacionados à dinâmica das vertentes, são processos rápidos, que podem ocorrer de formas diferentes, conforme o tipo de solo e rocha, das formas e da declividade do relevo, etc. Nas superfícies onde ocorrem moradias de baixo padrão construtivo é comum observar o sistema de construção corte/aterro, que cria condição de instabilidade na vertente e aumenta a suscetibilidade para ocorrências de escorregamentos, contribuindo em consequência para o aumento da produção de sedimentos (Fotos 17 e 18).



Canil, K. 2004

Foto 17: Talude de corte, em loteamento em fase de construção.



Canil, K. 2005

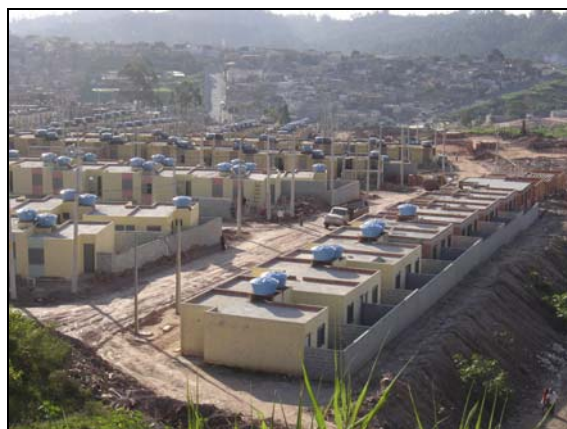
Foto 18: Escorregamento em vertente de alta declividade, com deslocamento de material superficial inconsolidado, lixo e entulho

De acordo com os indicadores antropogênicos, as formas de uso do solo e suas características, também interferem nesses processos morfodinâmicos em formas e graus diferentes. Após a retirada da vegetação e o início do processo de expansão urbana há cada vez mais a superfícies expostas aos movimentos de terra para construção das edificações e do sistema viário (PELOGGIA, 1998, CARVALHO & PRANDINI, 1998; CARVALHO, 1999). Dessa forma, o relevo fica exposto aos processos erosivos, tais como sulcos, ravinas e escorregamentos em vertentes de declividade mais acentuada. Considerando as fases de ocupação desde o parcelamento dos terrenos até o término do estágio de consolidação observa-se o aumento progressivo de superfícies impermeabilizadas devido à instalação progressiva da pavimentação das vias de circulação, do sistema de drenagem de águas pluviais, e da construção de edificações: casas, indústrias, estabelecimentos comerciais, além da canalização dos córregos, construção de piscinões e outras obras de infra-estrutura urbana) (Fotos 19, 20, 21 e 22).



Canil, 2004

Foto 19: Superfície de solo em exposição durante obras de construção de edificações (município de Taboão da Serra).



Canil, 2004

Foto 20: Fase de construção de conjunto habitacional, Jardim Record (Taboão da Serra).



Canil, 2004

Foto 21: Obra de canalização de afluente do ribeirão Pirajuçara, próximo à divisa entre os municípios de São Paulo e Embu.



Canil, 2004

Foto 22: Fase de construção do piscinão do Largo do Taboão, divisa entre os municípios de São Paulo e Taboão da Serra.

Com a consolidação da urbanização diminuem as áreas de superfície em exposição. No entanto as áreas ainda em consolidação e com infra-estrutura precária, sobretudo as localizadas nas cabeceiras do ribeirão Pirajuçara e seus principais afluentes, ainda apresentam alta capacidade de produção de sedimentos derivados de cortes de taludes, aterros, pequenas reformas domésticas, etc. Neste panorama, o escoamento superficial atua com maior intensidade elevando o risco de ocorrência de inundações nas áreas mais planas da bacia do ribeirão Pirajuçara; eventos que trazem consigo não só as águas da chuva mas também todos os sedimentos produzidos pelas superfícies em exposição e a poluição por esgotos

doméstico e industrial lançados diretamente nos cursos d'água e que contribuem para o assoreamento destes, incluindo os pisciões (Fotos 23, 24, 25 e 26).



Canil, 2005

Foto 23: Piscinão Portuguesinha, (município de Taboão da Serra). Situação após evento pluviométrico que provocou áreas de inundação na bacia do córrego Poá.



Canil, 2005

Foto 24: Automóvel trazido pelas águas da inundação do córrego Poá, cerca de 300 m antes da confluência com o ribeirão Pirajuçara/Piscinão do Taboão.



Canil, 2005

Foto 25: Situação após inundação e rebaixamento das águas do córrego Poá, a montante da confluência com o ribeirão Pirajuçara, (município de Taboão da Serra). Observar a marca da altura da inundação.



Canil, 2005

Foto 26: Detalhe da área atingida pela inundação. Observar a grande quantidade de sedimento e lixo carreado pela enxurrada e a altura da inundação.

Considerando os indicadores de intervenções antropogênicas, dinâmica das vertentes e a dinâmica fluvial, de acordo com as hipóteses iniciais deste trabalho será apresentada a seguir a análise desses indicadores para a bacia do ribeirão Pirajuçara em três escalas de análise, quais sejam: primeiro nível, bacia do ribeirão Pirajuçara (1:50.000), segundo nível, sub-bacia do córrego Poá (Poá 1, 1:25.000) e terceiro nível, sub-bacias afluentes do córrego Poá (Poá 2 e Poá 3, 1:5.000).

A leitura das áreas de produção de sedimentos será portanto realizada conforme as escalas de abordagem. Dependendo da escala de análise alguns indicadores podem ser mais apropriados para o monitoramento das áreas de produção de sedimentos, bem como para a análise de suas relações transporte dos materiais por escoamento superficial, assoreamento e inundação.

3.1 Escala de Análise: Primeiro Nível

Adotando-se como indicadores de áreas de produção de sedimentos as diversas formas de intervenções antropogênicas baseadas nas categorias de uso e ocupação do solo (ALMEIDA & FREITAS, 1996), detalhadas de acordo com a realidade, a área encontra-se urbanizada, ainda que, com graus de urbanização distintos.

Os indicadores do uso e ocupação do solo que refletem diretamente as relações entre produção de sedimentos e comportamento do escoamento superficial (DUNNE, 1979; OLIVEIRA, 1994) na bacia foram sistematizados com base em ordem de grandeza, possibilidade de representação cartográfica e monitoramento.

A análise dessas formas de intervenção antropogênica foi realizada com base na imagem Ikonos (2002/2003), e foram realizados trabalhos de atualização em campo nos anos de 2005 e 2006.

Dos tipos de uso do solo identificados na bacia (Tabela 2 e Figura 12), observa-se que a área urbana consolidada, com padrão construtivo médio, pouca cobertura vegetal e alta densidade de ocupação compreende o uso mais representativo em área na bacia, com cerca de 22,05km², cerca de 30,03% da área total (Foto 27). Esse tipo de uso predomina no trecho médio do rio Pirajuçara, abrangendo os municípios de São Paulo e Taboão da Serra.

O segundo tipo de uso predominante na bacia corresponde à área urbana consolidada com baixo padrão construtivo, sem cobertura vegetal e alta densidade de ocupação, representando cerca de 17,20 km², ou seja, 23,42% (Foto 28). Abrange praticamente as cabeceiras do rio Pirajuçara e seus afluentes, entre os municípios de São Paulo, Embu e Taboão da Serra. São áreas que correspondem a assentamentos urbanos precários (favelas) e são consideradas áreas de risco de escorregamentos e de processos de solapamento de margens fluviais (Fotos 29 e 30).

O terceiro lugar corresponde à área urbana consolidada com médio padrão construtivo, média cobertura vegetal e média densidade de ocupação, abrangendo cerca de 8,81km², isto é, 12% (Foto 31). Ocorre na área a jusante da bacia, na região dos bairros Butantã e Vila Sonia, no município de São Paulo. Abrange apenas 2,60km² da área (3,54%), é ocupada pela área urbana de alto padrão construtivo, com cobertura vegetal significativa e média densidade de ocupação, correspondendo ao bairro do Morumbi no município de São Paulo (Foto 32).

As categorias de área urbana em consolidação, com alta e média densidade de ocupação, abrangem 3,8km² (5,17%) e estão distribuídas principalmente nas cabeceiras de drenagem dos afluentes do córrego Poá e do ribeirão Pirajuçara. As áreas de superfície em exposição (Foto 33), distribuídas ao longo de toda a bacia, entremeadas pelas áreas urbanas consolidadas representam 2,64km² (3,6%). As áreas parceladas com 2,03km² (2,76%) ocorrem predominantemente nas cabeceiras, em poucos terrenos que estão disponíveis para a expansão urbana (Foto 34).

Apenas 5,16 km² (7,03%) correspondem às áreas com cobertura vegetal na bacia e situam-se predominantemente no município de Taboão da Serra. Destaca-se a reserva gerenciada pela Polícia Militar, na margem esquerda do ribeirão Poá e com acesso pela Estrada Maria Aparecida Nicoletti (Foto 35). Pequenas porções isoladas de áreas com cobertura vegetal estão distribuídas por toda a bacia. No entanto, ao longo dos cursos d'água, a mata ciliar é escassa. Áreas de campo (gramíneas) e chácaras ocorrem em 2,03km² (2,76%) e 0,91km² (1,24%) respectivamente.

As áreas institucionais possíveis de se identificar na escala da imagem correspondem a hospitais, indústrias, shoppings, universidade, piscinões, etc, e totalizam 7,88km² (10,73%) do total da área da bacia (Foto 36). Ocorrem com maior frequência, na bacia do córrego Poá (município de Taboão da Serra), excetuando a Cidade Universitária que está instalada no município de São Paulo (região da Subprefeitura do Butantã).

Tabela 2: Categorias de uso e ocupação do solo/intervenções antropogênicas da bacia do ribeirão Pirajuçara

Categoria	Área (km²)	(%)
Cobertura vegetal (mata)	5,16	7,0
Cobertura vegetal degradada	-	-
Campo	2,03	2,8
Área urbana consolidada com alto padrão construtivo, com cobertura vegetal significativa e média densidade de ocupação	2,60	3,5
Área urbana consolidada com médio padrão construtivo, média cobertura vegetal, média densidade de ocupação	8,81	12,0
Área urbana consolidada com médio padrão construtivo, pouca cobertura vegetal, alta densidade de ocupação	22,01	30,0
Área urbana consolidada com baixo padrão construtivo, sem cobertura vegetal, alta densidade de ocupação	17,18	23,4
Área Institucional	7,99	10,9
Chácaras	0,90	1,2
Área urbana em consolidação com alta densidade de ocupação	2,33	3,2
Área urbana em consolidação com média densidade de ocupação	1,47	2,0
Área parcelada	0,35	0,5
Superfície em exposição	2,59	3,5
Área da bacia	73,43	100

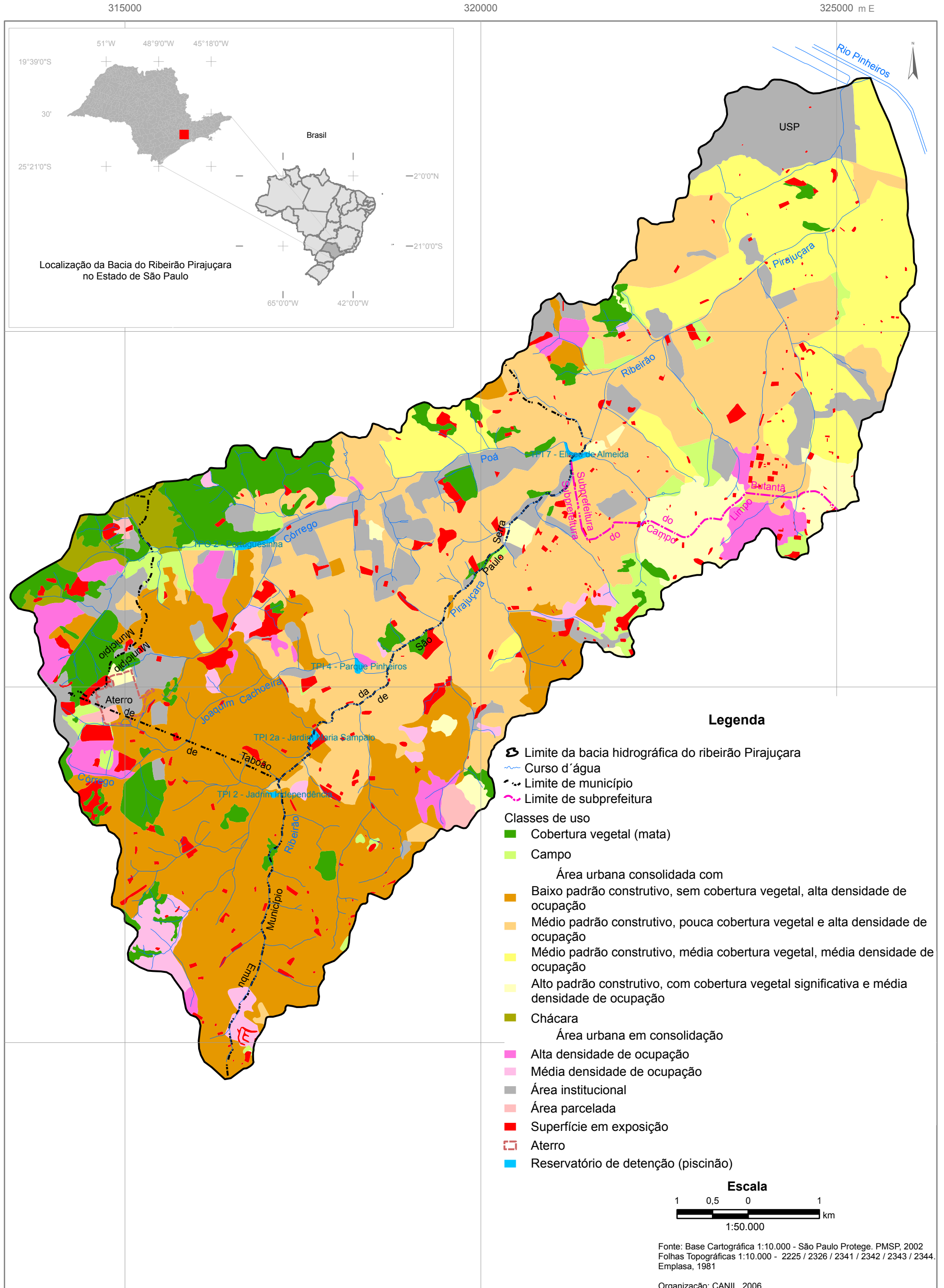


Figura 12 - Mapa de uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do ribeirão Pirajuçara.



Canil, 2006

Foto 27: Área urbana consolidada com médio padrão construtivo, pouca cobertura vegetal, alta densidade de ocupação.



Canil, 2006

Foto 28: Área urbana consolidada com baixo padrão construtivo, sem cobertura vegetal, alta densidade de ocupação.



Canil, 2005

Foto 29: Assentamento urbano precário. Corresponde à área urbana em consolidação com média densidade de ocupação.



Canil, 2005

Foto 30: Assentamento urbano precário em área de ocorrência de inundação e processos de solapamento de margem fluvial.



Canil, 2006

Foto 31: Vista de área urbana consolidada com médio padrão construtivo, média cobertura vegetal e média densidade de ocupação, ao fundo bairro da Vila Sonia/Butantã, (município de São Paulo).



Canil, 2006

Foto 32: Vista parcial do Bairro do Morumbi, município de São Paulo. IPT, 2005.



Canil, 2004

Foto 33: Superfície em exposição no município de Taboão da Serra.



Canil, 2004

Foto 34: Área parcelada. Início de abertura de loteamento 4no município de Taboão da Serra.



Canil, 2006

Foto 35: Área com cobertura vegetal, ao longo do córrego Poá.



Canil, 2006

Foto 36: Área institucional – construção do pátio de manobra do Metrô Vila Sonia.

3.1.1 Análise pluviométrica da bacia

Para compreender as relações entre erosão, transporte de sedimentos, assoreamento e inundação é necessário avaliar o comportamento da chuva como agente desencadeador desses processos morfodinâmicos (HORTON, 1945; WILSON, 1968; WOLMAN & MILLER, 1974; MILDNER, 1982).

A magnitude e a freqüência da chuva constituem parâmetros essenciais na análise da deflagração e evolução dos processos erosivos. A intensidade dessa ação também depende das características do relevo, tais como, forma e declividade das vertentes, tipos de materiais intemperizados, materiais superficiais, da presença ou ausência de cobertura vegetal, e das intervenções antropogênicas (DOUGLAS & SPENCER, 1985). Uma chuva de mesma intensidade tem capacidade de acelerar de forma mais acentuada os processos de dinâmica superficial em terrenos arenosos com alta declividade e sem cobertura vegetal, do que em terrenos planos e com vegetação.

Os resultados da ação da chuva na superfície do solo podem ser representados tanto pela desagregação das partículas, que contribuem para a produção de sedimentos, quanto pelo aumento da energia do escoamento superficial que ocasiona inundações nas áreas de baixadas (BERTONI & LOMBARDI, 1990). Acrescenta-se ainda a ação combinada de erosão, transporte e

acumulação do material proveniente das áreas de produção de sedimentos pelo escoamento superficial, que acarreta também o assoreamento dos cursos d'água e piscinões (Fotos 37 e 38).



Canil, 2004

Foto 37: Transporte de sedimentos pelo escoamento superficial durante períodos de chuvas intensas (verão).



Canil, 2004

Foto 38: Assoreamento do piscinão do Parque Pinheiros, Taboão da Serra.

Para avaliar a ação da chuva na área da bacia do ribeirão Pirajuçara foram levantados e sistematizados os dados das alturas de chuva no período 2000 – 2005 a partir dos postos pluviométricos do Butantã e Campo Limpo. Os dados foram fornecidos pelo Centro de Gerenciamento de Emergências (CGE), da Prefeitura do município de São Paulo. Considerando a carência e falhas no sistema de coleta de dados pluviométricos de anos anteriores apresentam-se a seguir as respectivas alturas de chuvas mensais e anuais dos últimos seis anos (2000 – 2005).

A Tabela 3 exibe os totais pluviométricos mensais e anuais do período citado, para o Posto Butantã. Observa-se que o ano de 2005 apresentou o maior total pluviométrico do período, destacando o mês de janeiro com 410,7 mm e o registro de várias ocorrências de inundações na bacia. Bem como no ano de 2004, no mês de fevereiro foram registrados 238,5 mm, destacando-se a inundação ocorrida no dia 02 de fevereiro, que atingiu áreas até então nunca inundadas, tais como o Estádio do Morumbi, no município de São Paulo. Em 2002 verificou-se o menor total anual do período, mas ainda com alturas significativas nos meses de janeiro e fevereiro.

As Figuras 13, 14, 15, 16, 17 e 18 mostram a comparação entre a média do período 2000 – 2005 e os totais mensais dos anos de 2000, 2001, 2002, 2003, 2004 e 2005, para o Posto Butantã.

Pela distribuição das chuvas ao longo do ano, considerando a localização da área ser na zona tropical nota-se que as precipitações de maior intensidade se concentram no período primavera-verão e estão associadas, à maior instabilidade atmosférica, e às épocas mais quentes e úmidas do ano. No ano de 2000 destacam-se os meses de fevereiro, novembro e dezembro com totais acima da média do período, enquanto no ano de 2001 os meses acima da média foram março, outubro e dezembro.

Já nos anos de 2002 e 2003 os totais estiveram abaixo da média do período, exceto no mês de janeiro de 2003, quando foram registradas alturas bem acima da média do período. Os anos de 2004 e 2005 apresentaram totais pluviométricos acima da média em quase todos os meses e, conseqüentemente, um grande número de episódios de inundações.

Tabela 3: Totais pluviométricos mensais e anuais, do período 2000 – 2005 - Posto Butantã. Fonte: Centro de Gerenciamento de Emergências (CGE), 2006.

Ano Meses	2000 (mm)	2001 (mm)	2002 (mm)	2003 (mm)	2004 (mm)	2005 (mm)
Janeiro	254	154,4	318,2	403,7	202,5	410,7
Fevereiro	274,2	177	207,3	134,6	238,5	156,8
Março	132,8	215,2	157,3	135,1	111,4	152,2
Abril	6,4	55,1	3	76,1	98,1	150,3
Mai	14	86,4	67,6	23,5	109,3	144,7
Junho	12,4	21,1	0	7,9	49,9	22,4
Julho	61,2	47	35,6	13,6	107,2	20
Agosto	72,8	27,7	32,3	25,4	3,1	13,9
Setembro	98,1	49,1	58,8	30,6	54,7	116,3
Outubro	114,9	202,5	116,7	71,3	116,5	166,8
Novembro	219,4	138	176,2	83,6	238,7	93,5
Dezembro	195,3	229,2	108,1	125,3	208,4	197,2
Total	1455,5	1402,7	1281,1	1130,7	1538,3	1644,8

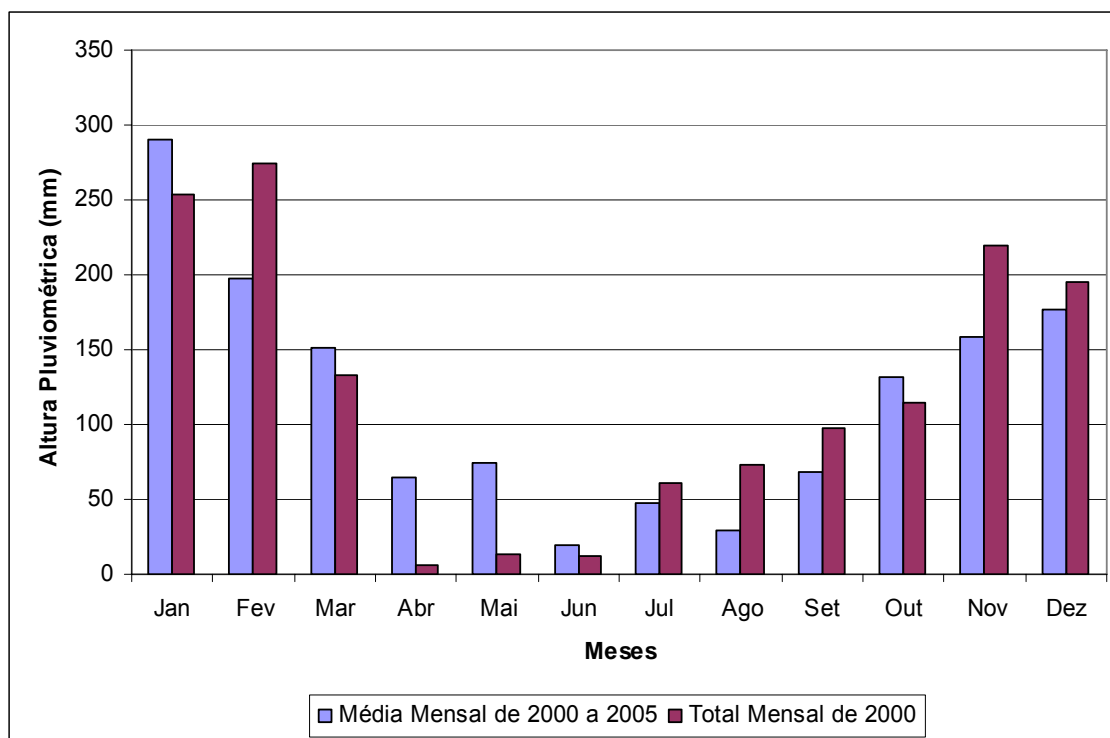


Figura 13: Totais pluviométricos mensais do Posto Butantã – Comparativo 2000x2005 – 2000. Fonte CGE, 2006.

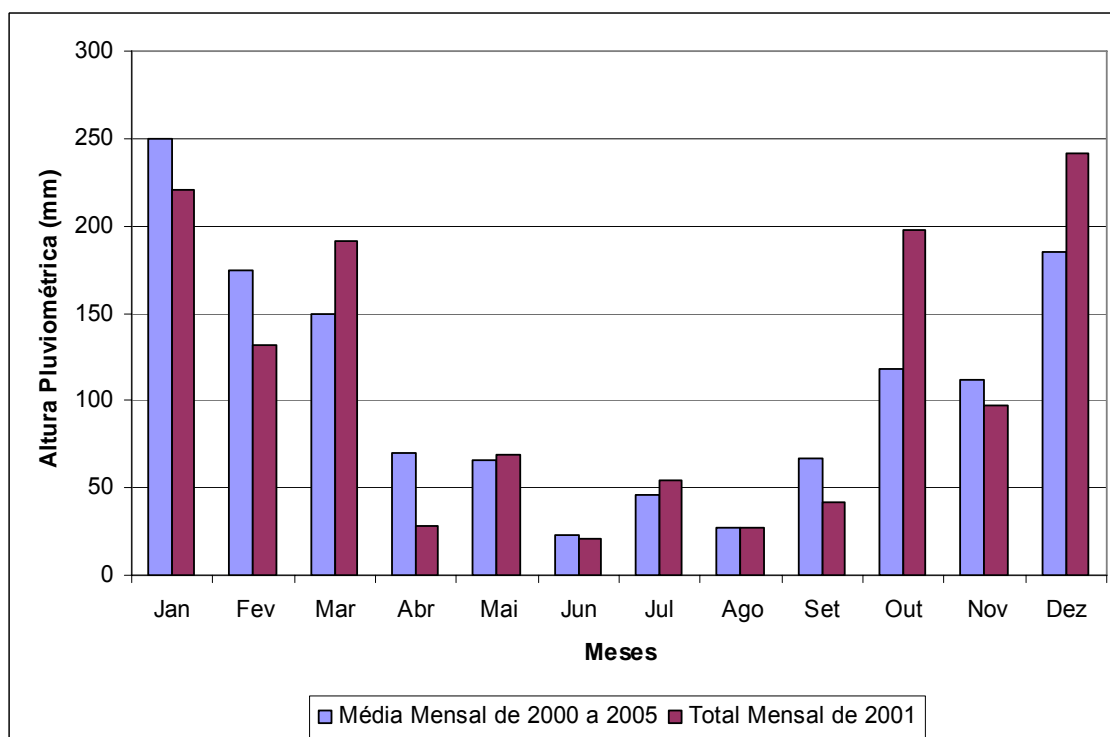


Figura 14: Totais pluviométricos mensais do Posto Butantã – Comparativo 2000x2005 – 2001. Fonte CGE, 2006.

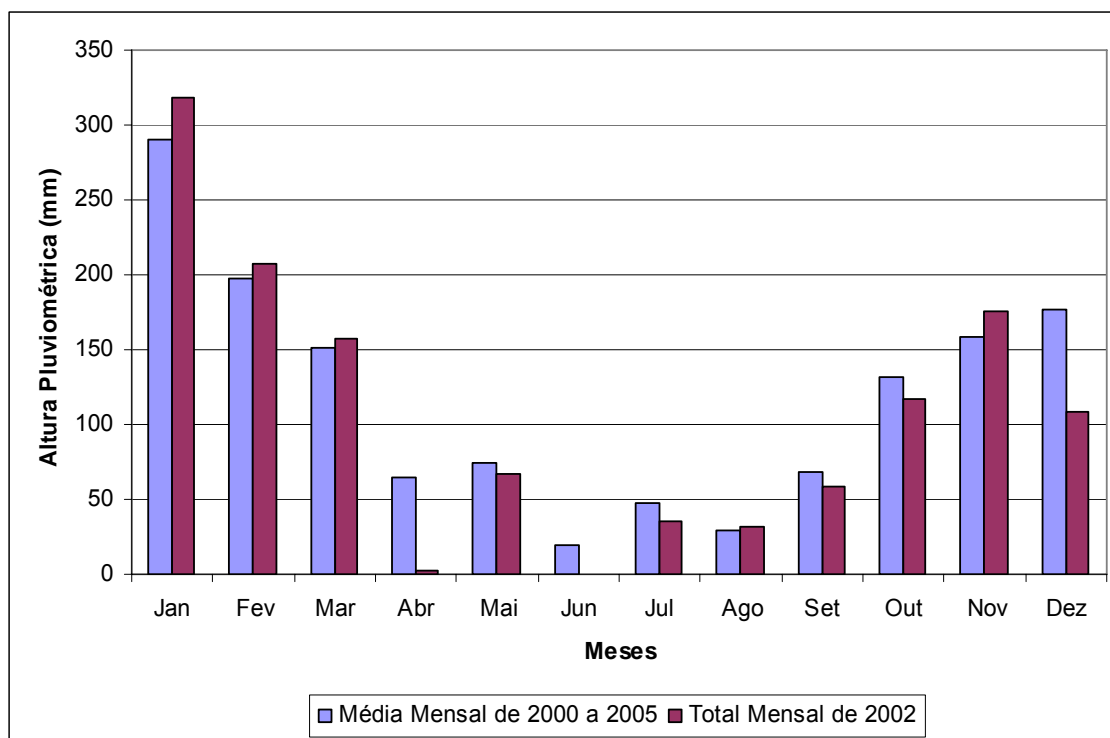


Figura 15: Totais pluviométricos mensais do Posto Butantã – Comparativo 2000x2005 – 2002. Fonte CGE, 2006.

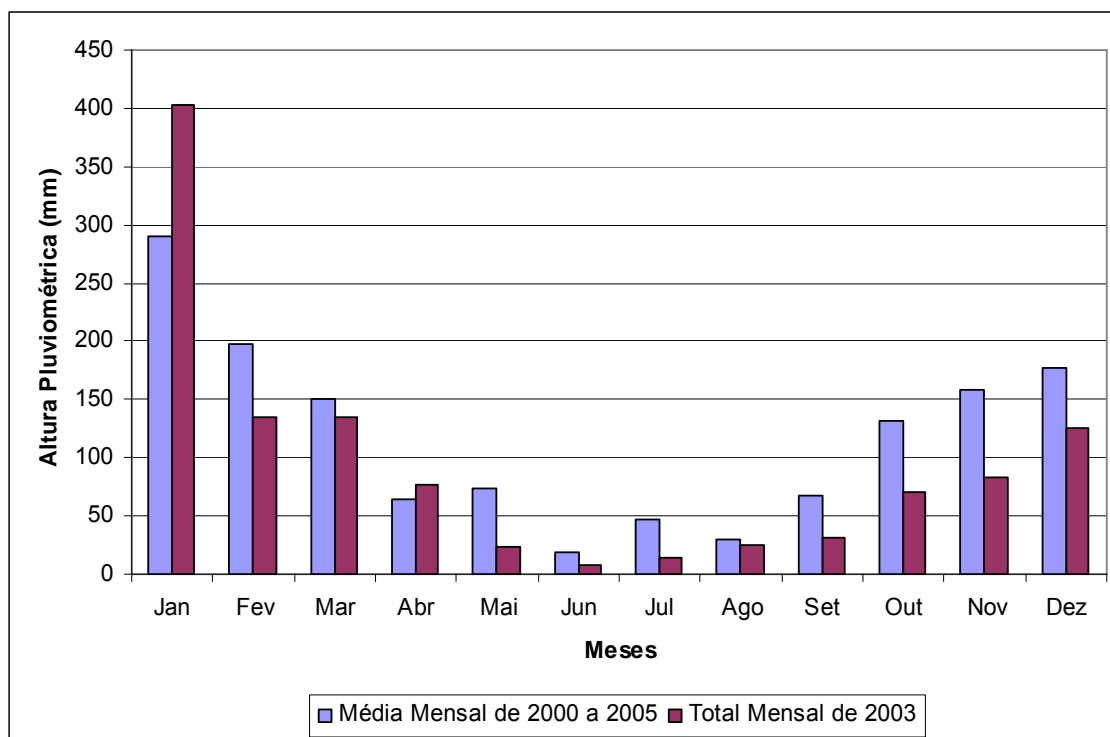


Figura 16: Totais pluviométricos mensais do Posto Butantã – Comparativo 2000x2005 – 2003. Fonte CGE, 2006.

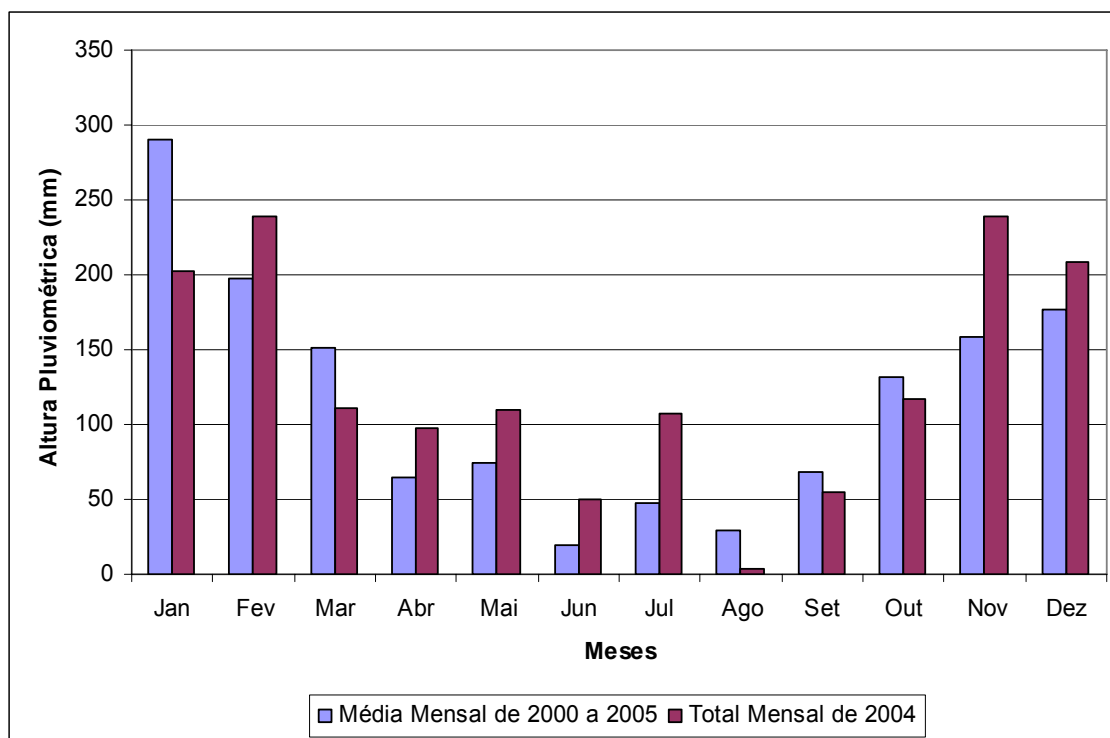


Figura 17: Totais pluviométricos mensais do Posto Butantã – Comparativo 2000x2005 – 2004. Fonte CGE, 2006.

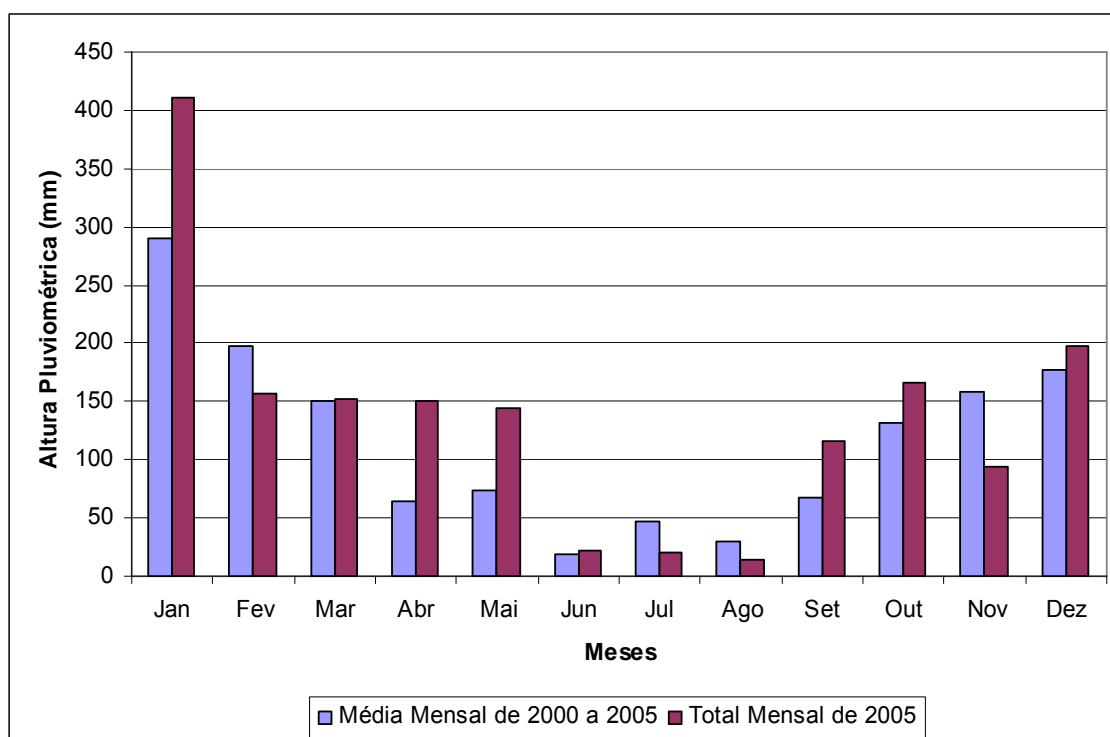


Figura 18: Totais pluviométricos mensais do Posto Butantã – Comparativo 2000x2005 – 2005. Fonte CGE, 2006.

A Tabela 4 exibe os totais pluviométricos mensais e anuais do período 2000 – 2005 para o posto Campo Limpo. Assim como para os dados observados no posto Butantã, mantiveram-se as tendências do comportamento da série pluviométrica em análise. Ressalta-se, porém, que os valores dos totais anuais de todos os anos ficaram abaixo dos valores obtidos para o posto do Butantã.

As Figuras 19, 20, 21, 22, 23 e 24 exibem a comparação entre comportamento anual e a média do período. Observa-se no ano de 2000 que os meses de fevereiro, setembro, novembro e dezembro ficaram acima da média do período. Da mesma forma que para o posto Butantã, no ano de 2001 os meses acima da média foram março, outubro e dezembro.

Os anos de 2002 e 2003 estiveram abaixo da média do período, exceto os meses de janeiro e março de 2003, quando foram registradas alturas acima da média do período. Em 2004, os meses de abril, maio, junho e julho apresentam os totais acima da média do período, correspondendo justamente ao período seco. Assim como em 2005, os meses de março, abril e maio apresentaram totais pluviométricos acima da média, destacando alguns episódios como a chuva de 25 de maio que provocou um dia de caos urbano, impedindo o trânsito nas principais vias de acesso da capital paulista, as marginais dos rios Pinheiros e Tietê.

Tabela 4: Totais pluviométricos mensais e anuais do período 2000 – 2005 – Posto Campo Limpo. Fonte: Centro de Gerenciamento de Emergências – CGE, 2006.

Ano Meses	2000 (mm)	2001 (mm)	2002 (mm)	2003 (mm)	2004 (mm)	2005 (mm)
Janeiro	239,5	220,3	256	333,2	181,1	267,2
Fevereiro	271,2	131,8	135,7	113,8	235,8	160
Março	93,2	191,6	143,8	174,2	96,9	199,8
Abril	1	28	7	85,6	136,2	165,3
Maio	5,4	68,6	71,5	21,2	83,5	142,7
Junho	28,6	21	2,9	19,2	53	12,7
Julho	51,8	54,6	38,9	12,8	96,3	20,9
Agosto	67,5	27,3	31,8	26,7	0,2	8,1
Setembro	116,9	42	56	30,5	46,3	112
Outubro	54	197,1	106,5	70,4	109,1	174,1
Novembro	130,2	97,1	114,8	72	166,5	89,4
Dezembro	329,9	241,9	67,5	96,6	172,4	203,2
Total	1389,2	1321,3	1032,4	1056,2	1377,3	1555,4

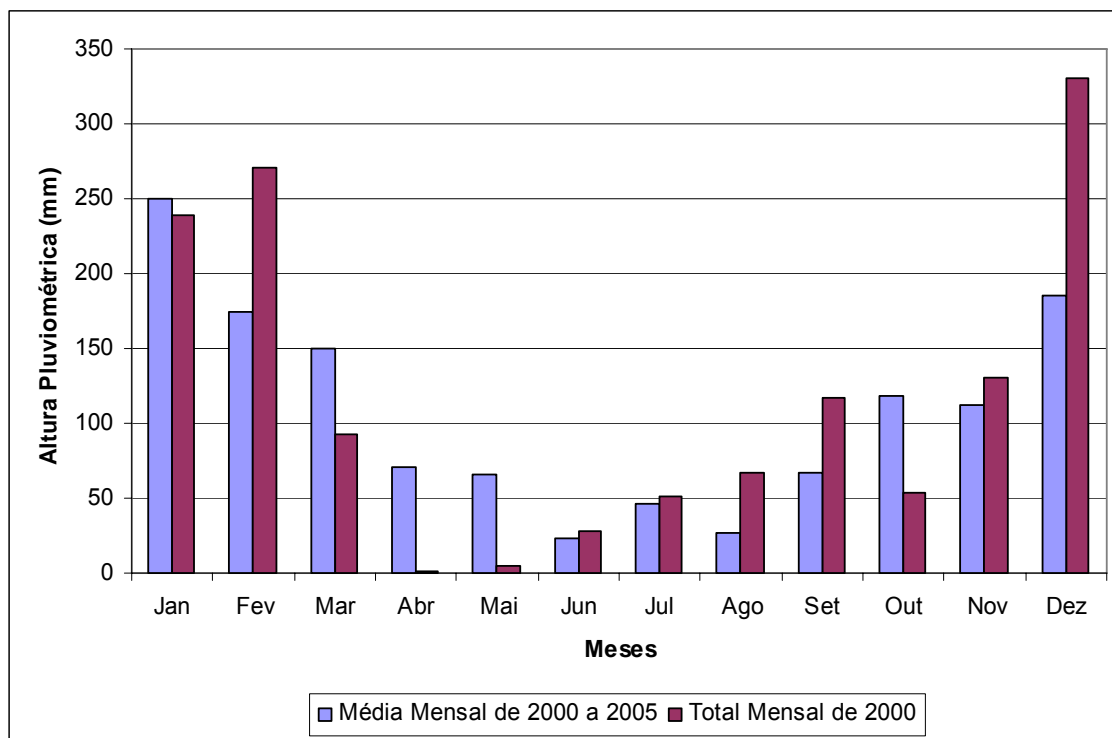


Figura 19: Totais pluviométricos mensais do Posto Campo Limpo – Comparativo 2000x2005 – 2000. Fonte CGE, 2006.

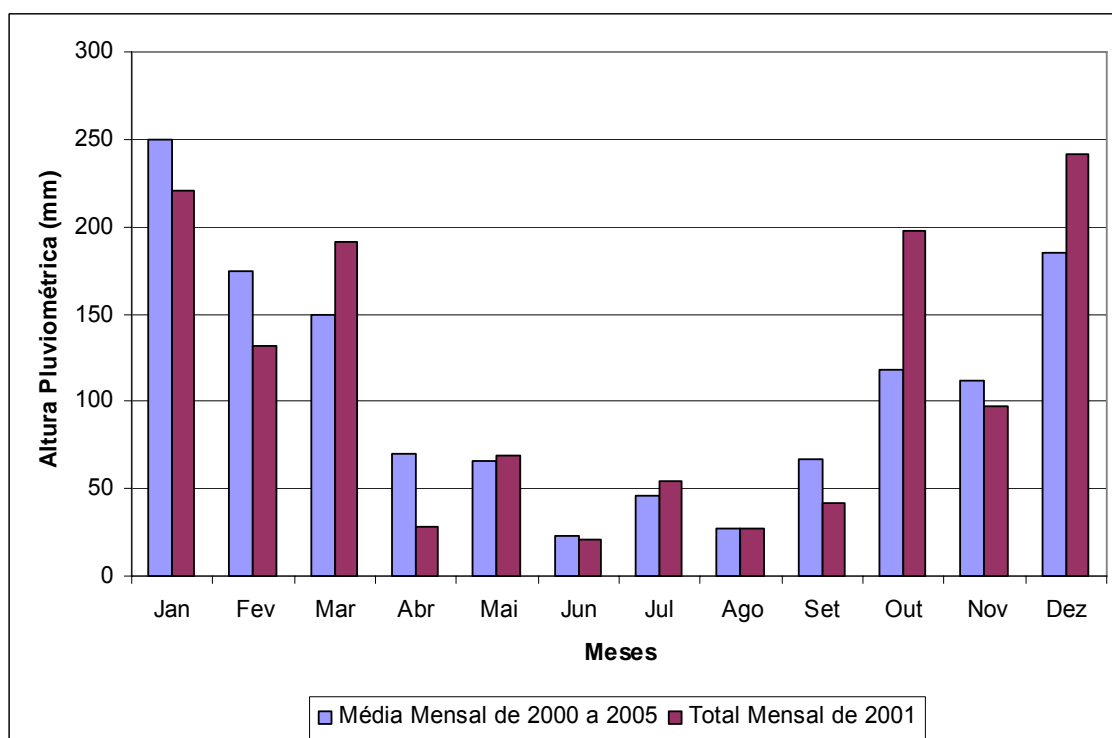


Figura 20: Totais pluviométricos mensais do Posto Campo Limpo – Comparativo 2000x2005 – 2001. Fonte CGE, 2006.

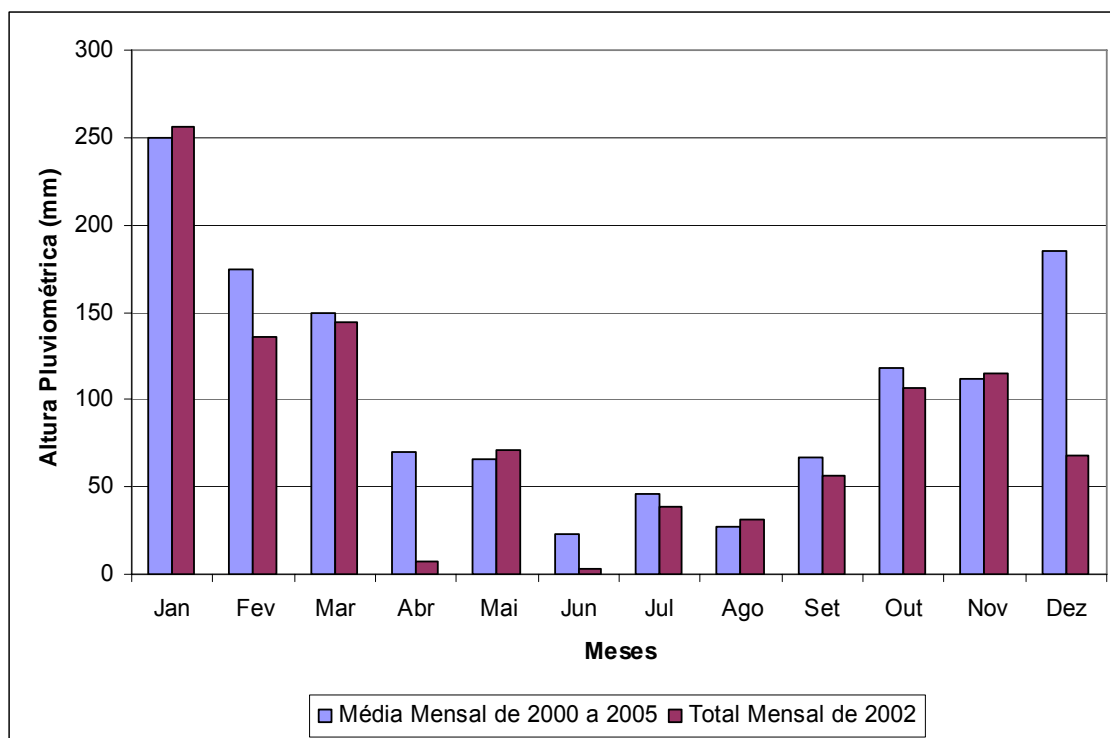


Figura 21: Totais pluviométricos mensais do Posto Campo Limpo – Comparativo 2000x2005 – 2002. Fonte CGE, 2006.

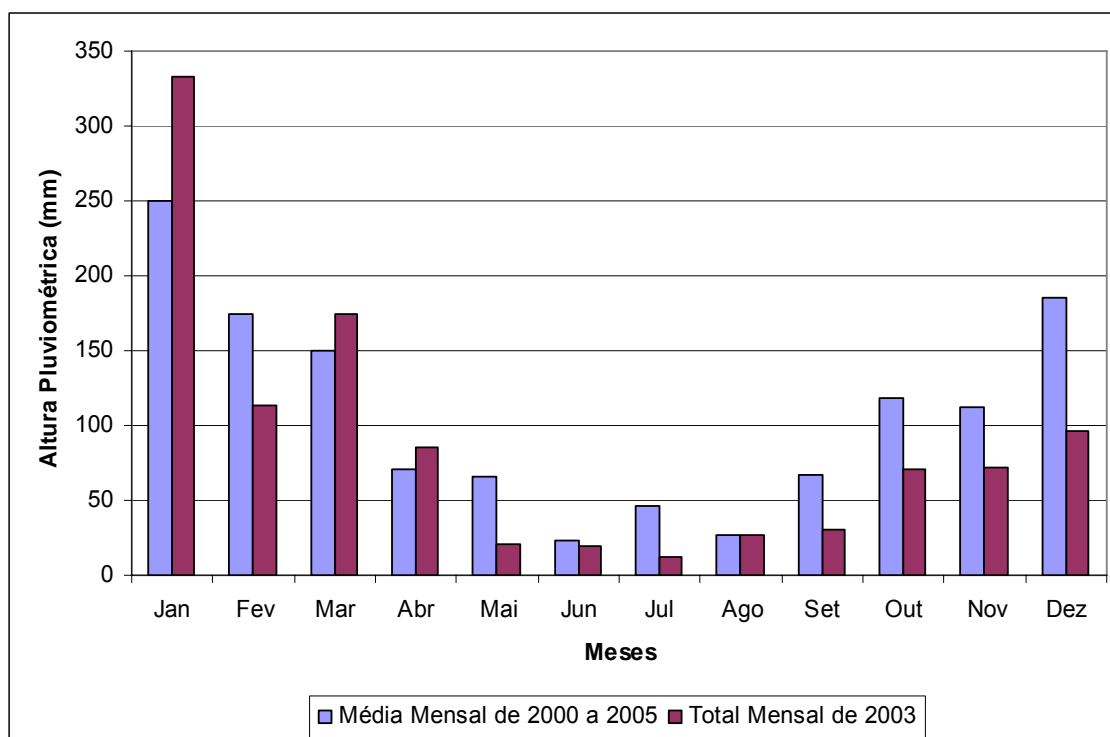


Figura 22: Totais pluviométricos mensais do Posto Campo Limpo – Comparativo 2000x2005 – 2003. Fonte CGE, 2006.

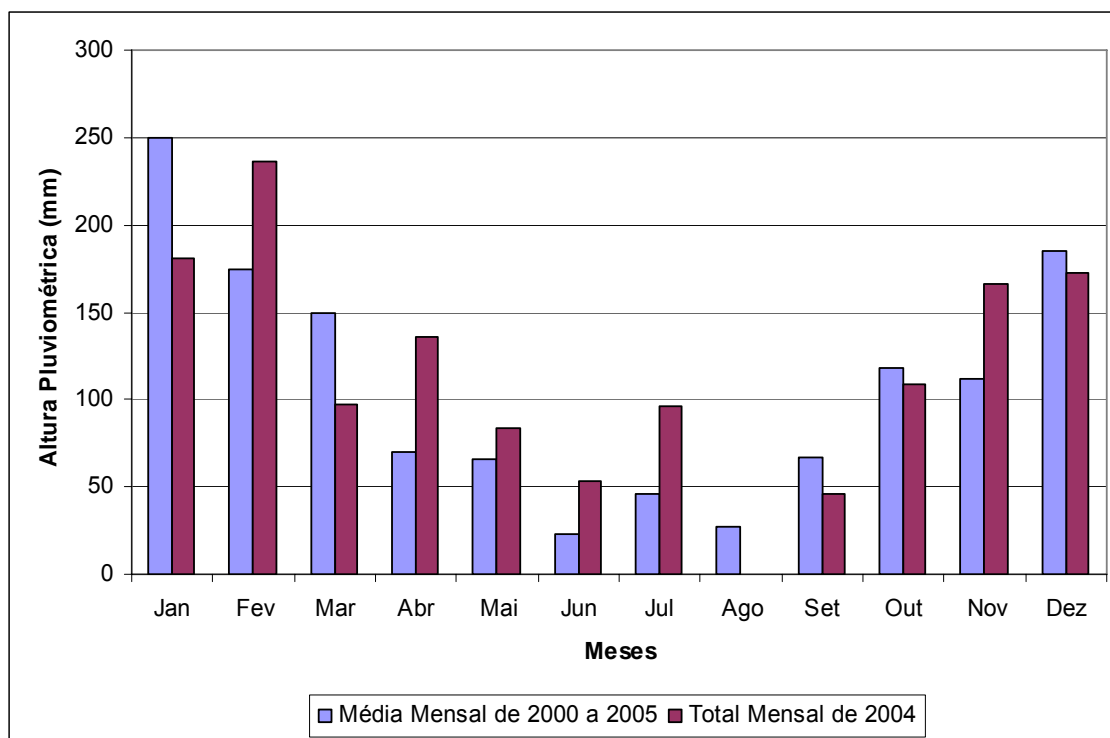


Figura 23: Totais pluviométricos mensais do Posto Campo Limpo – Comparativo 2000x2005 – 2004. Fonte CGE, 2006.

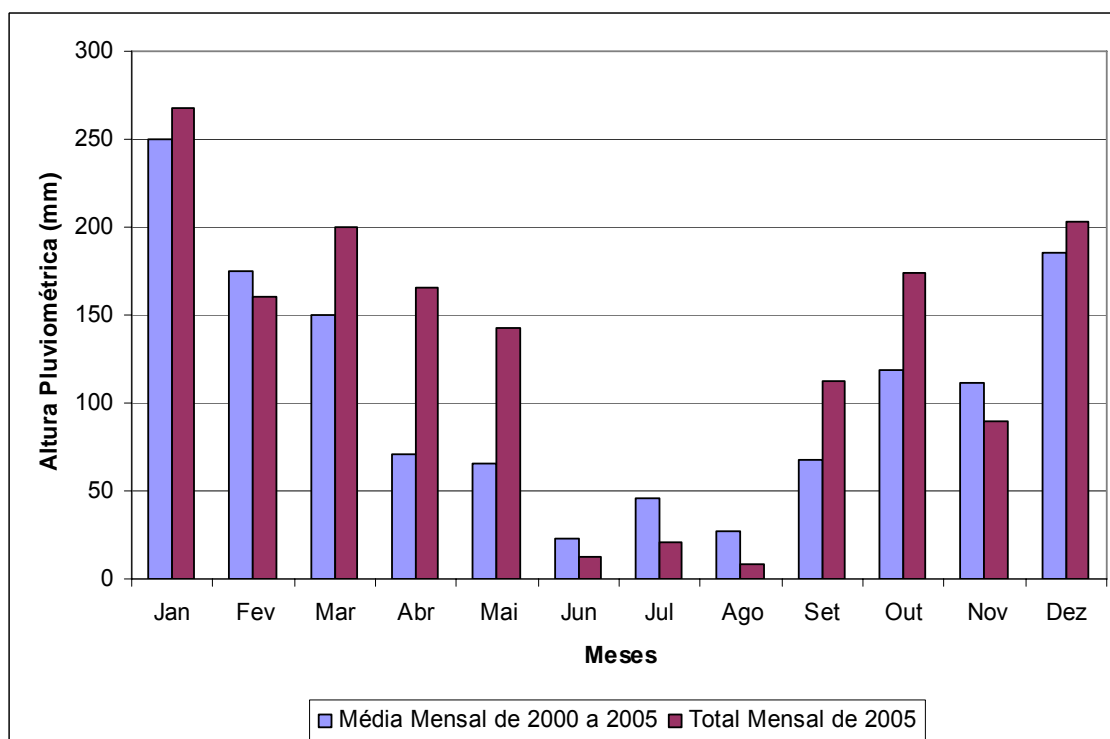


Figura 24: Totais pluviométricos mensais do Posto Campo Limpo – Comparativo 2000x2005 – 2005. Fonte CGE, 2006.

Cabe ressaltar que a distância entre os postos, bem como sua localização, altitude e posição na vertente pode significar diferenças nos valores diários apresentados e, portanto, a ação da chuva na superfície, comandando os processos morfodinâmicos não será uniforme em toda a bacia.

3.1.2 Análise comparativa entre valores de precipitação, vazão, concentração e descarga sólida

Os canais fluviais são produtos da morfogênese e estão sujeitos às mudanças na morfologia em resposta ao comportamento dos fluxos de escoamento, resultante das variações climáticas, ou seja, da ação da precipitação (OSTERKAMP, 2002, RODRIGUES, 2005). Pode-se considerar portanto, que os indicadores para o sistema fluvial dependem do padrão de escoamento, do transporte dos materiais provenientes das áreas de produção de sedimentos, e das medidas de vazão e carga sólida (CHRISTOFOLETTI, 1996).

A obtenção de registros contínuos dos dados de chuva e vazão do canal permite a avaliação das relações entre alturas pluviométricas e escoamento, possibilitando a análise dos fluxos e da frequência da inundação. Alterações nos valores obtidos a partir de medidas de campo mostram se e de que maneira a capacidade do rio transportar a carga sólida mudou (EVANS, 1986; OSTERKAMP, 2002). Essas alterações podem decorrer de mudanças climáticas ou de intervenções antropogênicas na superfície.

Para realizar o monitoramento desses indicadores na bacia do ribeirão Pirajuçara foi preciso selecionar áreas representativas da morfodinâmica da bacia, relacionada aos agentes naturais e antropogênicos. Assim, foram selecionados dois pontos de amostragem: Pira 1 (a montante da confluência com o córrego Poá) e Pira 2 (próximo à foz Ribeirão Pirajuçara no Rio Pinheiros), (Figura 9, Capítulo 2).

Nesses pontos foram realizadas medidas das vazões e coleta de sedimentos para cálculo da concentração do material e da descarga sólida, bem como suas correlações com o comportamento da chuva na bacia. Para o Pira 1 foram utilizados os dados de chuva do posto Campo Limpo, devido sua proximidade à área de amostragem, enquanto que para o Pira 2 foram utilizados os dados do posto Butantã.

A ficha adotada para a coleta de dados do ponto Pira 1 sintetiza o método adotado para a coleta e tratamento das medidas, bem como a sistematização dos resultados das análises da concentração e descarga sólida. Apresenta também o perfil da seção do rio em que foram realizadas as medidas de vazão e coletadas as amostras de sedimentos (Figura 25).

A Tabela 5 compõe a síntese da coleta de dados (chuva e vazão) e os resultados obtidos em laboratório (concentração e descarga sólida), para o período compreendido entre 30/03/2005 e 30/03/2006. As coletas foram realizadas a cada 15 dias, exceto para os meses mais secos, junho, julho e agosto. A precipitação total corresponde ao período anterior a uma semana da medição da vazão e coleta dos sedimentos. Ao efetuar as correlações entre os dados levantados, deve-se levar em conta que a análise se refere a uma bacia hidrográfica em ambiente antropizado em sua totalidade. Portanto, as características do solo e vegetação não exercem sua função de controlar a capacidade de infiltração de água na superfície em sua plenitude. Assim, quando as condições da superfície minimizam a infiltração, verifica-se maior eficiência do escoamento superficial.

Considerando esses aspectos na análise da correlação entre vazão e precipitação do ponto Pira 1 (Figura 26), nem sempre o total da precipitação ocorrido em uma semana, anterior a data da medição, significa o aumento diretamente proporcional à vazão, como também foram registradas vazões altas onde o valor da precipitação total foi baixo.

Em relação às intervenções antropogênicas, a montante do ponto de medição ocorrem predominantemente área urbana consolidada de baixo padrão construtivo, sem cobertura vegetal e muito adensada em toda a região que engloba as cabeceiras do ribeirão Pirajuçara, entre os municípios de São Paulo, Embu e Taboão da Serra. Do trecho médio para jusante predomina área urbana consolidada de médio padrão construtivo, pouca cobertura vegetal e alta densidade de ocupação.

Nesse contexto, podem-se reconhecer os seguintes cenários para a correlação entre precipitação e vazão: 1) quando o total da chuva na semana for elevado e com algum registro de evento pluviométrico intenso, a vazão é bem elevada, como pode se verificar pela medição da vazão no dia 25/05/05 e 06/01/06,

também acarretando em inundações em diversos trechos da bacia; 2) quando o total pluviométrico é alto e a vazão se mantém na média, com por exemplo na medição do dia 06/04/05 e 30/03/06; e 3) quando o total pluviométrico é baixo mas a vazão se mantém na média, que corresponde normalmente aos meses do período seco, entre abril e outubro.

Em relação aos valores da vazão e a concentração (Figura 27), não se pode afirmar que há um aumento diretamente proporcional, exceto quando, tanto a vazão, quanto a precipitação ultrapassam os valores bem acima do nível normal, como nos eventos extremos ocorridos na segunda quinzena dos meses de maio de 2005 e janeiro de 2006. Nas situações em que a concentração é alta, embora a vazão mantenha-se na média, o aumento pode estar relacionado ao lançamento de efluentes diretamente nos cursos d'água.

Também se observa que, em picos de vazão, há um aumento bastante significativo da descarga sólida (Figura 28). Esse cenário indica o transporte dos materiais das áreas de produção de sedimentos, bem como o retrabalhamento daqueles acumulados ao longo das planícies fluviais. Quando ocorrem eventos de grande magnitude intensificam-se os processos morfodinâmicos sendo responsáveis pelas mudanças na morfologia dos canais.

Essas discontinuidades nos processos morfodinâmicos dificultam o estabelecimento de método para a interpretação mais precisa das alterações na superfície (CRUZ, 1985).

Tabela 5: Síntese da coleta de dados (chuva, vazão e sedimentos em suspensão) e os resultados obtidos em laboratório do Ponto Pira 1 (Período 30/03/2005 a 30/03/2006).

Data de Coleta das Amostras	Período de Medição da Precipitação	Precipitação Total (mm) *	Vazão (m³/s)	Concentração (g/l)	Descarga Sólida (g/s)	Identificação da Amostra
30/mar/05	23/mar/05 a 29/mar/05	28.4	2.088	0.1450	26.1585	PIRA 1.04-01
06/abr/05	30/mar/05 a 05/abr/05	104.8	2.291	0.1258	24.9012	PIRA 1.05-01
14/abr/05	07/abr/05 a 13/abr/05	25.6	1.955	0.1233	20.8268	PIRA 1.06-01
20/abr/05	13/abr/05 a 19/abr/05	2.1	2.013	0.0985	17.1314	PIRA 1.07-01
27/abr/05	20/abr/05 a 26/abr/05	25.4	1.958	0.0511	8.6446	PIRA 1.08-01
20/mai/05	13/mai/05 a 19/mai/05	0	2.105	0.2154	39.1752	PIRA 1.09-01
25/mai/05	18/mai/05 a 24/mai/05	86.2	5.053	0.3232	141.1024	PIRA 1.10-01
17/jun/05	10/jun/05 a 16/jun/05	0	1.973	0.2300	39.2075	PIRA 1.11-01
22/jul/05	15/jul/05 a 21/jul/05	2.8	1.837	0.1340	21.2681	PIRA 1.12-01
19/ago/05	12/ago/05 a 18/ago/05	0	1.250	0.0970	10.476	PIRA 1.13-01
23/set/05	17/set/05 a 23/set/05	17.3	1.651	0.0640	9.1294	PIRA 1.14-01
21/out/05	14/out/05 a 20/out/05	27.6	1.651	**	**	PIRA 1.15-01
10/nov/05	03/nov/05 a 09/nov/05	23.6	1.603	0.0850	11.7724	PIRA 1.16-01
28/nov/05	22/nov/05 a 27/nov/05	25.4	2.064	0.1420	25.3228	PIRA 1.17-01
09/dez/05	03/dez/05 a 09/dez/05	16.8	2.091	0.0820	14.8143	PIRA 1.18-01
22/dez/05	16/dez/05 a 22/dez/05	97	1.651	0.0630	8.9867	PIRA 1.19-01
06/jan/06	31/dez/05 a 06/jan/06	171.8	3.830	0.1210	40.0404	PIRA 1.20-01
19/jan/06	13/jan/06 a 19/jan/06	1.1	1.539	0.0440	5.8507	PIRA 1.21-01
13/fev/06	07/fev/06 a 13/fev/06	142.1	2.746	0.1650	39.1470	PIRA 1.22-01
23/fev/06	17/fev/06 a 23/fev/06	26.4	2.880	0.0630	15.6764	PIRA 1.23-01
16/mar/06	10/mar/06 a 16/mar/06	28.4	3.009	0.0410	10.6591	PIRA 1.24-01
30/mar/06	24/mar/06 a 30/mar/06	136.8	2.667	0.0810	18.6647	PIRA 1.25-01

* Fonte: CGE, 2006.

** Equipamento em manutenção.

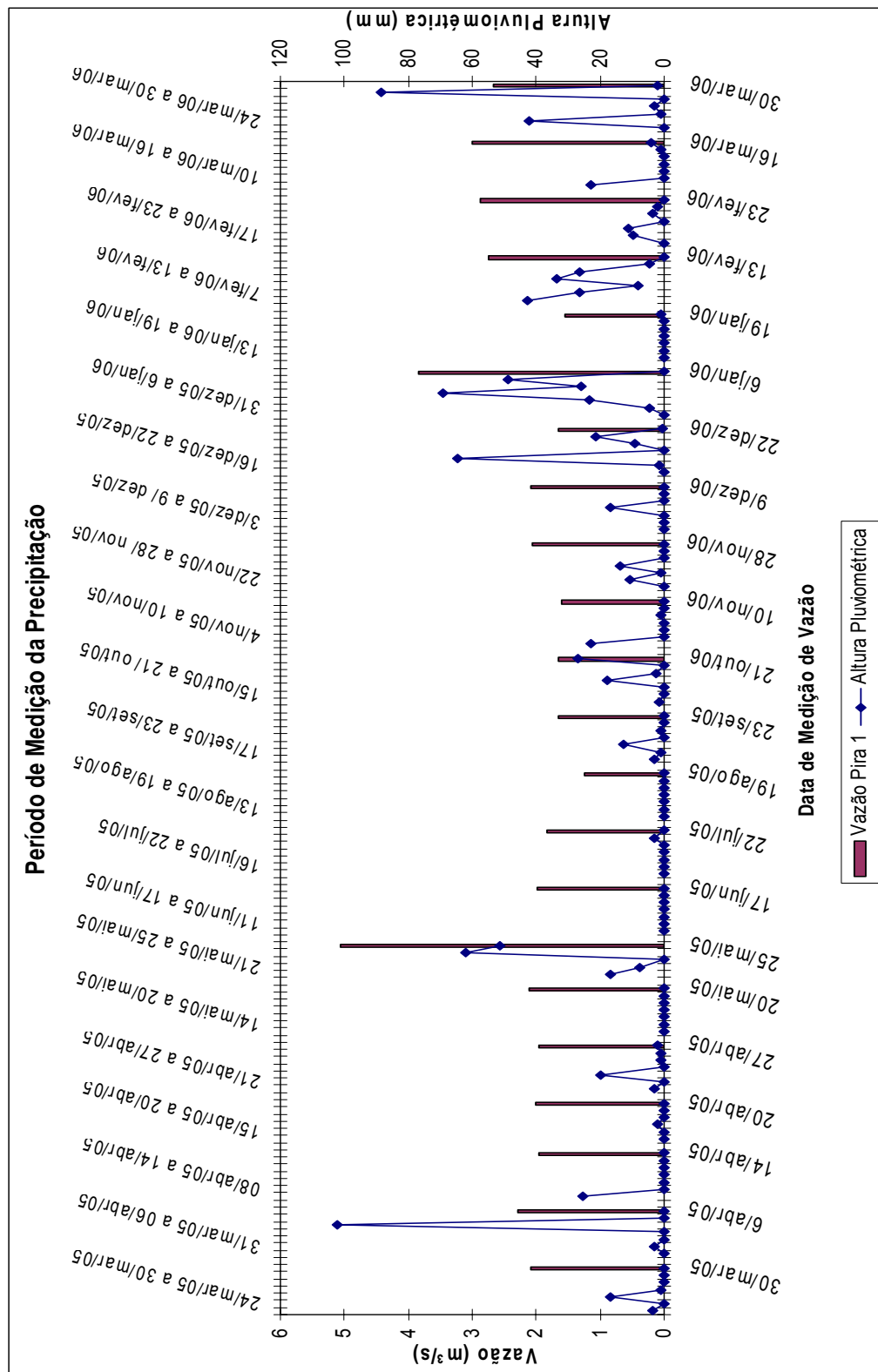


Figura 26: Correlação entre vazão e precipitação do ponto Pira 1 – Bacia do ribeirão Pirajuçara.

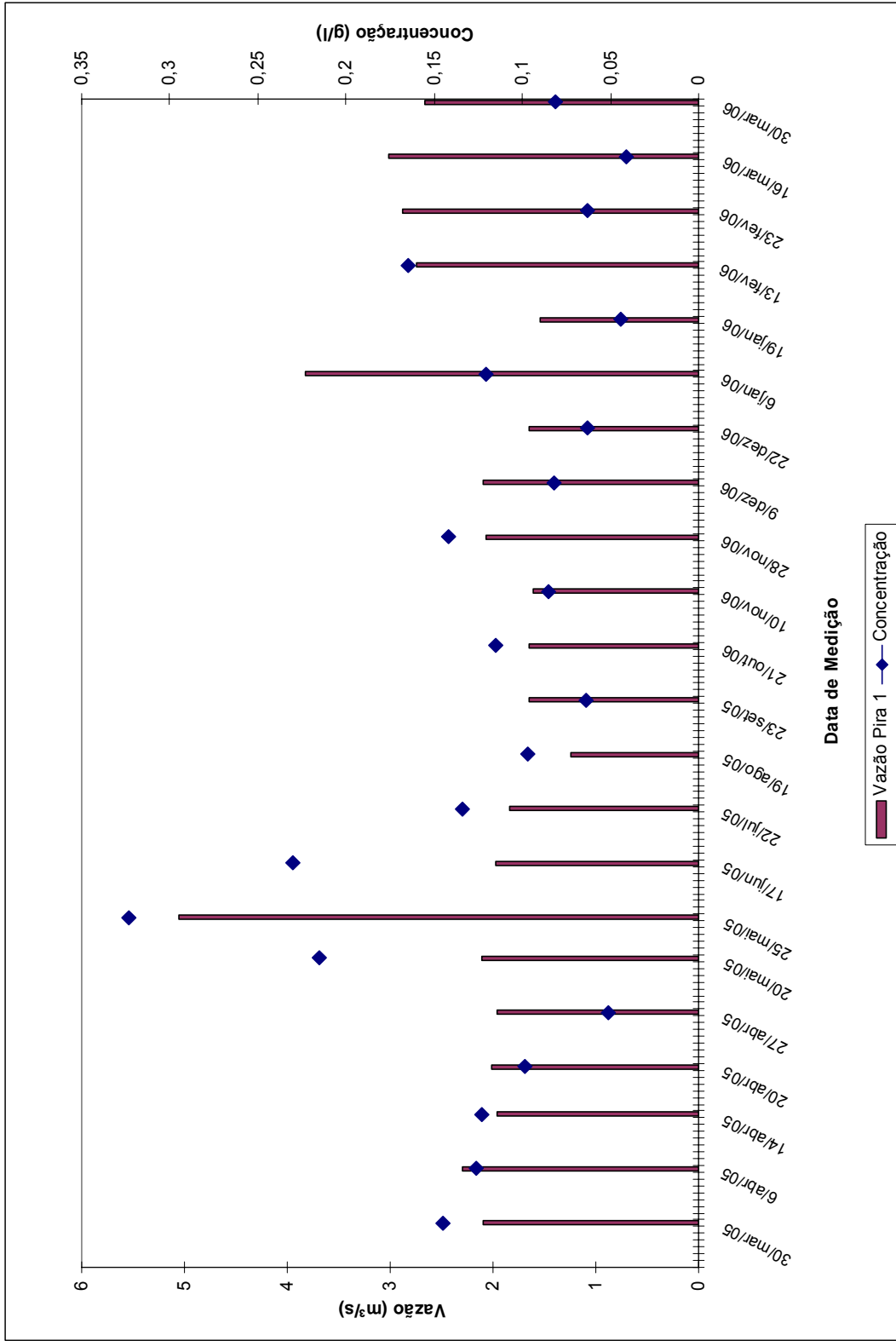


Figura 27: Correlação entre vazão e concentração do ponto Pira 1 – Bacia do ribeirão Piraçuçara.

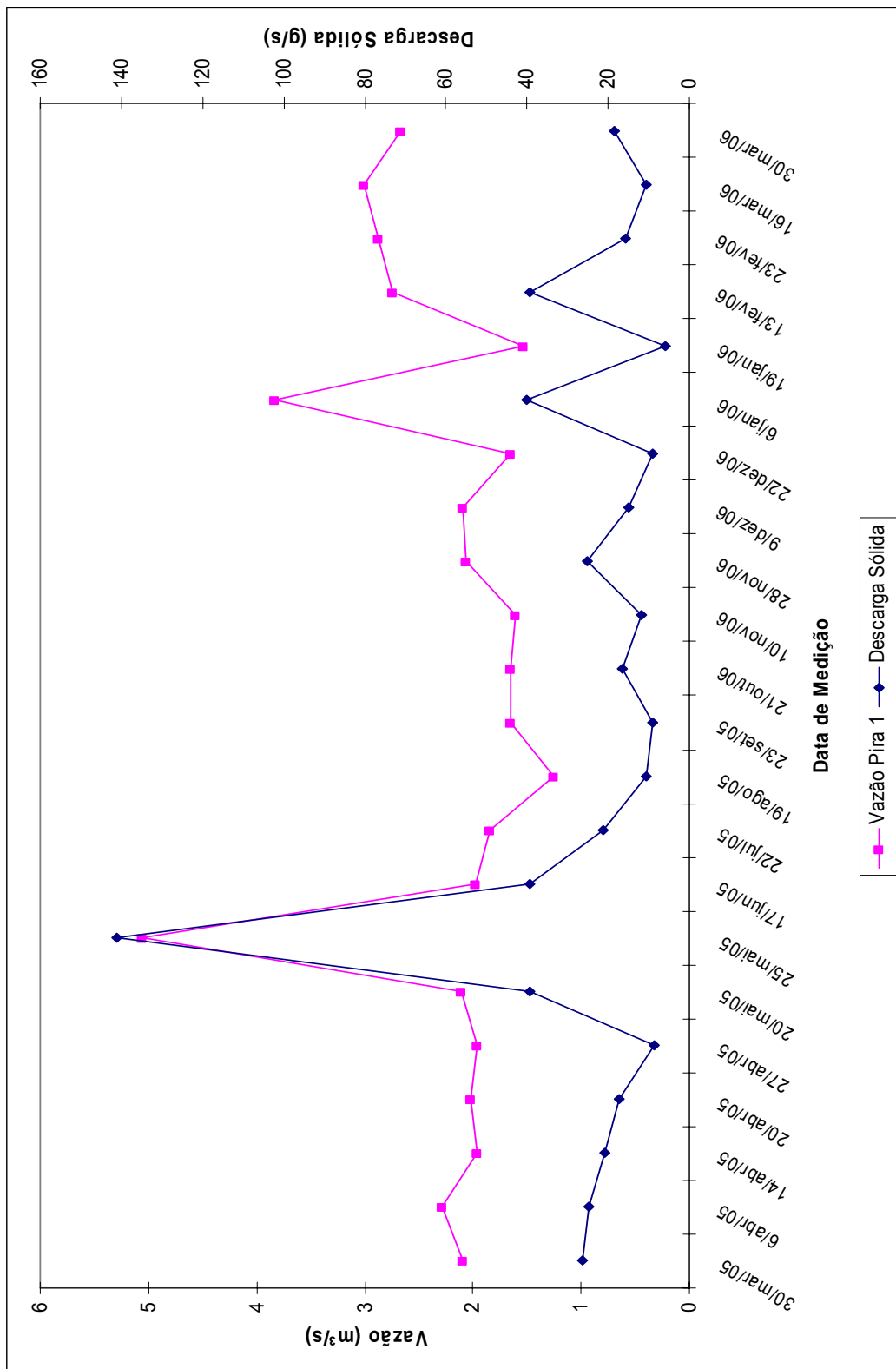


Figura 28: Correlação entre vazão e descarga sólida do ponto Pira 1 – Bacia do ribeirão Pirajuçara.

Assim como para o ponto Pira 1, o mesmo modelo de ficha foi adotado para o ponto Pira 2. O perfil da seção do rio em que foram realizadas as medidas de vazão e coletadas as amostras de sedimentos podem ser observados na Figura 29. A síntese dos dados de precipitação, vazão, concentração e descarga sólida e os respectivos períodos de medição estão apresentados na Tabela 6.

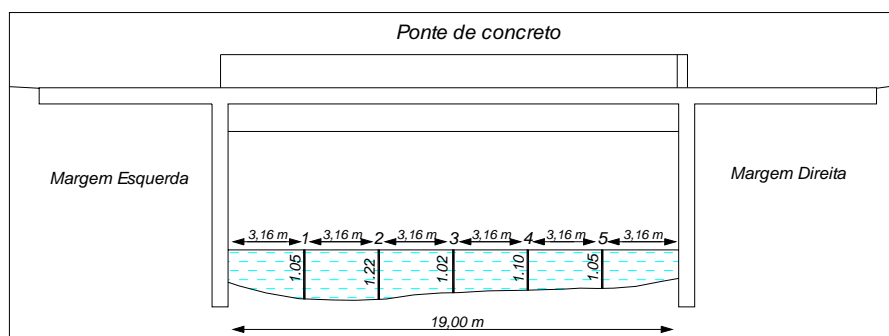
Os dados obtidos neste ponto resultam da somatória de intervenções antropogênicas a montante da bacia, considerando todas as formas de uso e ocupação do solo, obras de canalização e reservatórios de contenção de cheias (piscinões).

Após receber toda a contribuição do córrego Poá, mesmo mantendo os totais pluviométricos os valores de vazão chegam a ser cerca de duas vezes maiores do que no ponto Pira 1, destacando sempre que em eventos pluviométricos intensos essa resposta acentua-se bruscamente (Figura 30), confirmando assim, a eficiência do escoamento superficial. Por outro lado, os valores de concentração diminuem com o aumento da vazão (Figura 31). Em relação à descarga sólida nota-se que os valores aumentam proporcionalmente à vazão, mas mantém-se estáveis no período seco, inclusive com valores abaixo daqueles registrados no Pira 1. Entretanto, no período chuvoso a descarga sólida aumenta significativamente (Figura 32).

FICHA DE CAMPO: MEDIÇÃO DE VAZÃO E COLETA DE SEDIMENTOS										
BACIA Ribeirão Pirajuçara		RIO Ribeirão Pirajuçara		LOCAL Academia de Polícia			COORDENADAS 325.100 m E 7.392.954 m N			
PONTO DE AMOSTRAGEM: <i>PIRA 2</i>				TIPO DE MEDIÇÃO: Ponte de concreto			LARGURA DO RIO: 19,00 m			
MOLINETE: VALEPORT				TEMPO: 120 s			LOCAL DE INÍCIO: Margem esquerda			

VERT.	DIST. AMOSTRADA (m)	PROF (m)	POSIÇÃO MOLINETE. (m)	VELOC. (m/s)	VELOC. MÉDIA (m/s)	VAZÃO LOCAL (m ³ /s)	VAZÃO TOTAL (m ³ /s)	CONCENTRAÇÃO (g/l)	DESCARGA SÓLIDA (g/s)	IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA

PERFIL APROXIMADO:



Vista do ponto de medição do Pira 2.



Medição de vazão e coleta de sedimentos do Pira 2.

OBSERVAÇÕES:

Figura 29: Ficha de campo para medição de vazão e coleta de sedimentos do ribeirão Pirajuçara (Ponto Pira 2).

Tabela 6: Síntese da coleta de dados (chuva, vazão e sedimentos em suspensão) e os resultados obtidos em laboratório do Ponto Pira 2 (Período 30/03/2005 a 30/03/2006).

Data de Coleta das Amostras	Período de Medição da Precipitação	Precipitação Total (mm)	Vazão (m³/s)	Concentração (g/l)	Descarga Sólida (g/s)	Identificação da Amostra
30/mar/05	23/mar/05 a 29/mar/05	5.3	3.757	0.0935	30.3505	PIRA 2.04-01
06/abr/05	30/mar/05 a 05/abr/05	92.0	5.288	0.0913	41.7134	PIRA 2.05-01
14/abr/05	07/abr/05 a 13/abr/05	42.2	4.333	0.0688	25.7567	PIRA 2.06-01
20/abr/05	13/abr/05 a 19/abr/05	0	3.349	0.1	28.9354	PIRA 2.07-01
27/abr/05	20/abr/05 a 26/abr/05	6.3	3.492	0.0534	16.1112	PIRA 2.08-01
20/mai/05	13/mai/05 a 19/mai/05	0	3.351	0.117	33.8746	PIRA 2.09-01
25/mai/05	18/mai/05 a 24/mai/05	97.5	10.324	0.3512	313.2682	PIRA 2.10-01
17/jun/05	10/jun/05 a 16/jun/05	0	2.540	0.021	4.6086	PIRA 2.11-01
22/jul/05	15/jul/05 a 21/jul/05	1.1	3.850	0.094	31.2682	PIRA 2.12-01
19/ago/05	12/ago/05 a 18/ago/05	0	2.979	0.079	20.3335	PIRA 2.13-01
23/set/05	17/set/05 a 23/set/05	15.1	2.756	0.012	2.8574	PIRA 2.14-01
21/out/05	14/out/05 a 20/out/05	24.2	3.671			PIRA 2.15-01
10/nov/05	03/nov/05 a 09/nov/05	3.6	3.592	0.043	13.345	PIRA 2.16-01
28/nov/05	22/nov/05 a 27/nov/05	61.3	3.816	0.222	73.1939	PIRA 2.17-01
09/dez/05	03/dez/05 a 09/dez/05	14.4	3.841	0.095	31.5269	PIRA 2.18-01
22/dez/05	16/dez/05 a 22/dez/05	101.7	4.061	0.03	10.5261	PIRA 2.19-01
06/jan/06	31/dez/05 a 06/jan/06	142.9	7.922	0.211	144.4212	PIRA 2.20-01
19/jan/06	13/jan/06 a 19/jan/06	37.1	4.065	0.142	49.8727	PIRA 2.21-01
13/fev/06	07/fev/06 a 13/fev/06	128.8	4.867	0.017	7.1486	PIRA 2.22-01
23/fev/06	17/fev/06 a 23/fev/06	13.8	4.813	0.048	19.9605	PIRA 2.23-01
16/mar/06	10/mar/06 a 16/mar/06	49.9	3.709	0.064	20.5093	PIRA 2.24-01
30/mar/06	24/mar/06 a 30/mar/06	112.1	7.047	0.092	56.0152	PIRA 2.25-01

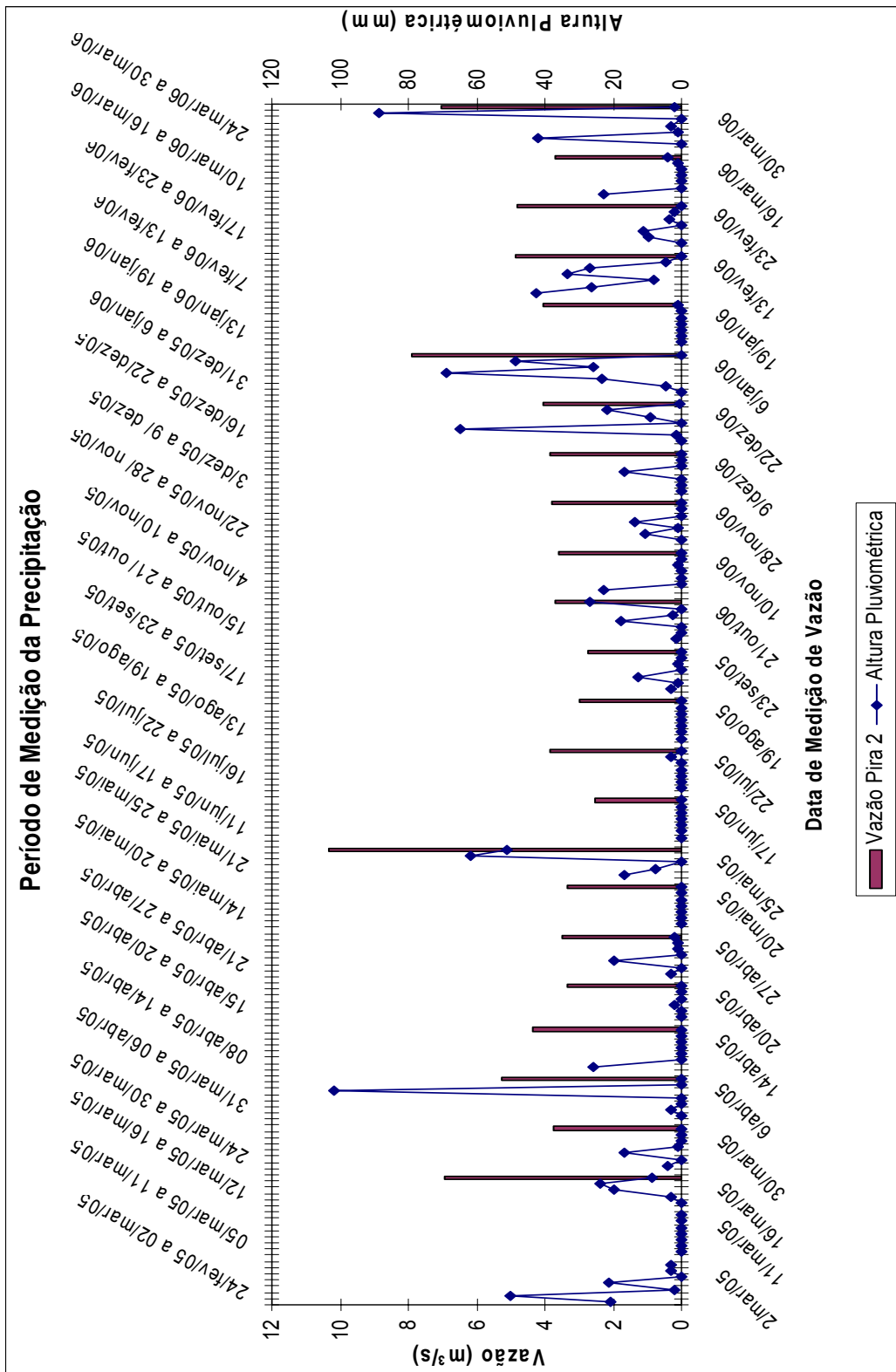


Figura 30: Correlação entre vazão e precipitação do ponto Pira 2 – Bacia do ribeirão Pirajuçara

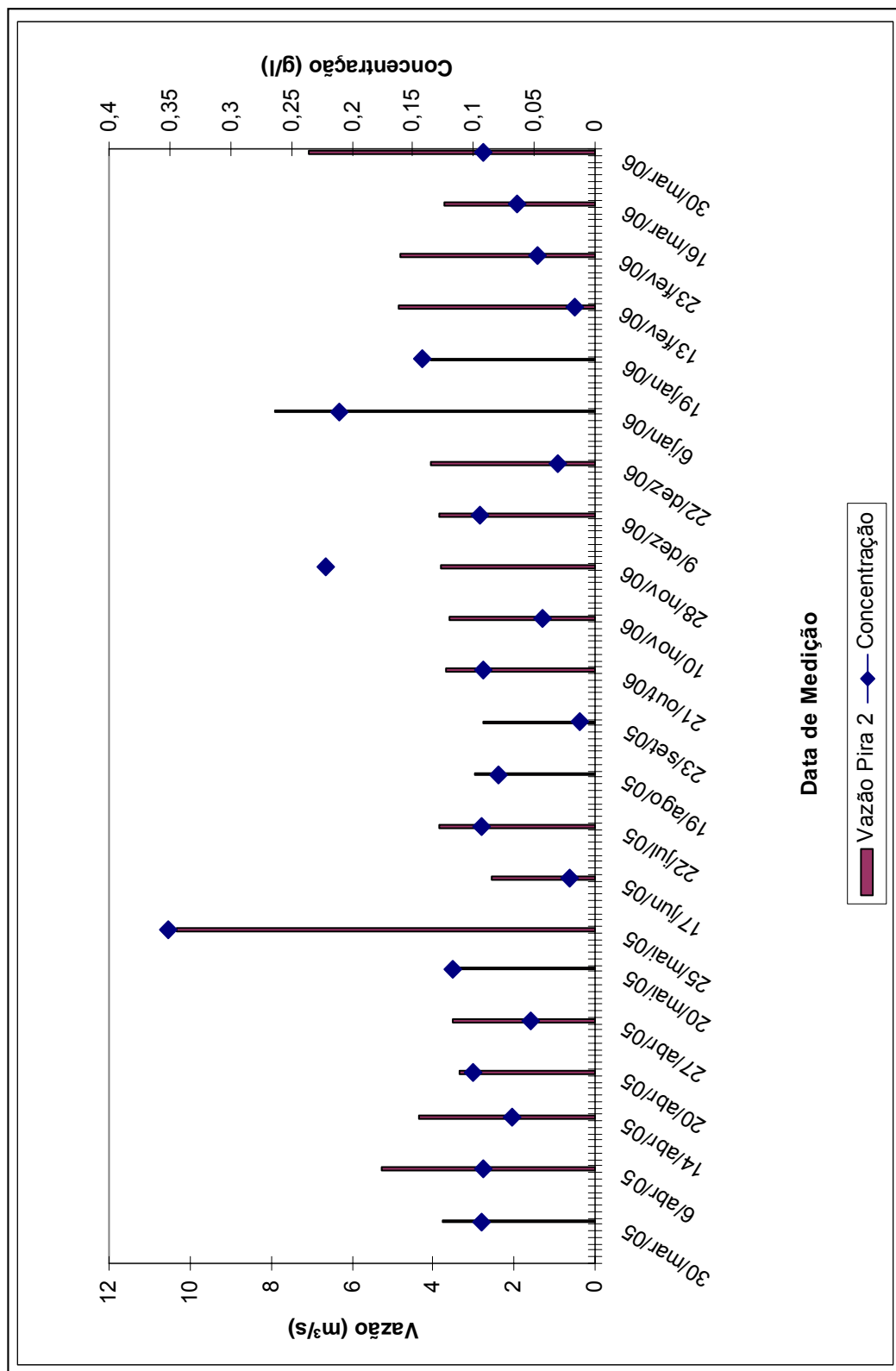


Figura 31: Correlação entre vazão e concentração do ponto Pira 2 – Bacia do ribeirão Pirajuçara.

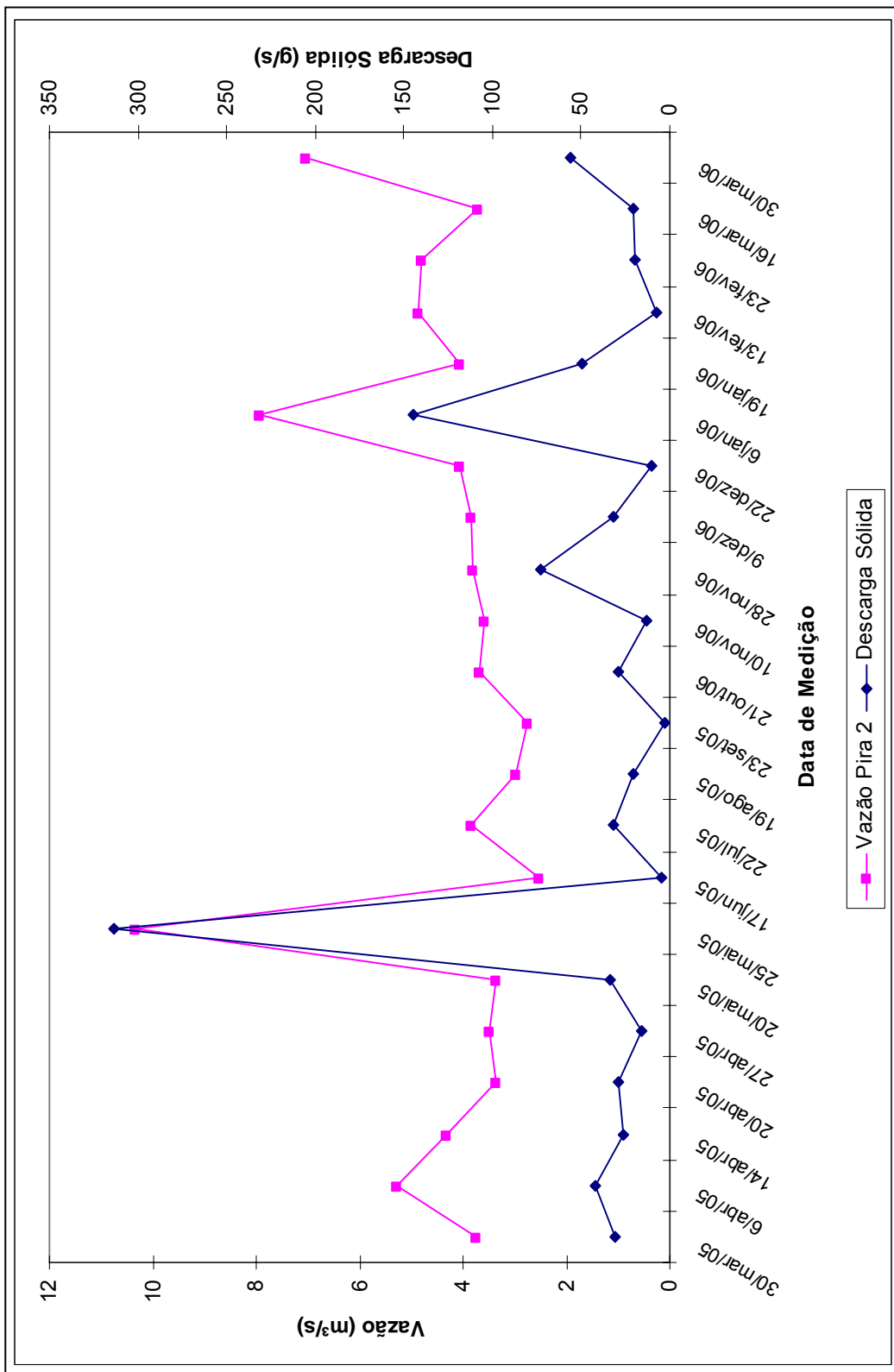


Figura 32: Correlação entre vazão e descarga sólida do ponto Pira 2 – Bacia do ribeirão Pirajuçara.

3.2 Escala de Análise: Segundo Nível

Assim como para a bacia do ribeirão Pirajuçara, foram identificadas na bacia do córrego Poá, as intervenções antropogênicas que caracterizam as áreas de produção de sedimentos. Nessa segunda escala de análise, buscou-se comparar a evolução dessas intervenções por meio de fotografias áreas disponíveis na área da bacia, dos anos de 1962, 1972 e 1987, além da imagem Ikonos 2002/2003, com atualização de campo. O recorte, destacando a bacia do córrego Poá, deveu-se aos contrastes das atuais formas de uso e ocupação do solo, mas em particular, à presença significativa de cobertura vegetal ainda preservada na bacia.

Mantidas as mesmas categorias de intervenções antropogênicas adotadas para a bacia do ribeirão Pirajuçara, observa-se pelos primeiros registros aerofotogramétricos disponíveis que datam de 1962 (Figura 33) que em 8,4 km² da área da bacia (51,5%) predominava a cobertura vegetal, principalmente nas cabeceiras dos afluentes da margem direita e esquerda do ribeirão Poá. Na margem esquerda a cobertura vegetal se estende ao longo de todo o trecho do ribeirão Poá, desde as cabeceiras até próximo a foz no rio Pirajuçara, quando deixa de ser expressiva. As áreas de cobertura vegetal degradada e campo com aproximadamente 1,7km² (10,4%) e 1,59km² (9,7%) respectivamente predominam significativamente na margem esquerda do ribeirão Poá, ao longo do médio curso. As áreas parceladas com um total de 1,77km² (10,9%) podem ser diferenciadas em dois graus de degradação da superfície: a primeira com cobertura vegetal (1,25km²), significa que apesar da abertura do sistema viário, delimitação de arruamento e demarcação de lotes, ainda há presença de cobertura vegetal protegendo a superfície do solo, enquanto não se iniciam as obras de implementação de loteamento ou outras construções; a segunda sem cobertura vegetal (0,52km²) apresenta as mesmas características de área parcelada, porém a superfície do solo encontra-se em exposição, o que significa uma área com maior potencial de produção de sedimentos. Pequenas áreas com superfícies de solo em exposição ocorrem de forma dispersa e toda a bacia, porém estão localizadas mais próximas ao curso d'água do Poá e configuram cerca de 0,89km² (5,5%) da área total da bacia. As chácaras de lazer, pouco expressivas em área, também se concentram ao

longo do ribeirão Poá, assim como áreas de culturas temporárias e perfazem no total 1,34 km² (8,3%). Em relação à categoria de área urbana, foram identificadas aquelas em consolidação que representam 0,60km² (3,7%) e correspondem às áreas sem infra-estrutura urbana e baixa densidade de ocupação; enquanto que áreas consolidadas correspondem àquelas com infra-estrutura e que em 1962 ocupavam apenas 0,03km² (0,2%) da área da bacia. Verifica-se que nesse período as coberturas naturais prevaleciam significativamente em relação aos outros usos da bacia.

De acordo com a documentação fotográfica de 1972 (Figura 34) a cobertura vegetal diminuiu cerca de 50%, configurando uma área de 25,18km² (4,11%), prevalecendo ao longo da margem esquerda do ribeirão Poá e porções de seus afluentes de cabeceira. As áreas de cobertura vegetal degradada 1,5km² (9,19%) também diminuem e as áreas de campos aumentam para 2,66 km² (16,30%), predominando nas cabeceiras dos afluentes da margem direita do ribeirão Poá. As áreas de chácaras ocorrem de forma mais expressiva ao longo de todo ribeirão Poá e nos envoltos de alguns afluentes de cabeceiras. Pequenas manchas de superfície de solo em exposição ocorrem de forma dispersa na bacia. Em relação à área urbana, observa-se o crescimento de áreas consolidadas que também ocorrem em diversos trechos da bacia mas concentradas na margem direita do ribeirão Poá, excetuando área expressiva identificada na margem esquerda de suas cabeceiras.

Em 1987 (Figura 35), observa-se que a cobertura vegetal predomina apenas nas cabeceiras dos afluentes ao longo do trecho médio do córrego Poá, com 4,09 km² (25,06%). As áreas de campo concentram-se em trecho de montante da margem esquerda da bacia. Superfícies de solo em exposição ocorrem de forma mais significativa ao longo do médio curso do córrego Poá. As áreas parceladas, que representam 1,22km² (7,48%) são observadas no trecho de jusante da margem esquerda do córrego Poá e ao longo de um de seus principais afluentes. Nota-se que as áreas urbanas em consolidação com 1,65km² (10,11%) situam-se predominantemente nas cabeceiras do córrego Poá. As áreas urbanas consolidadas, representadas por 3,95km² (24,20%) na margem direita do trecho médio para a jusante do ribeirão Poá.

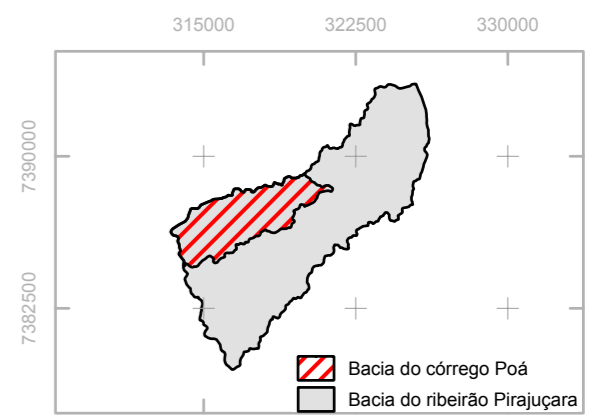
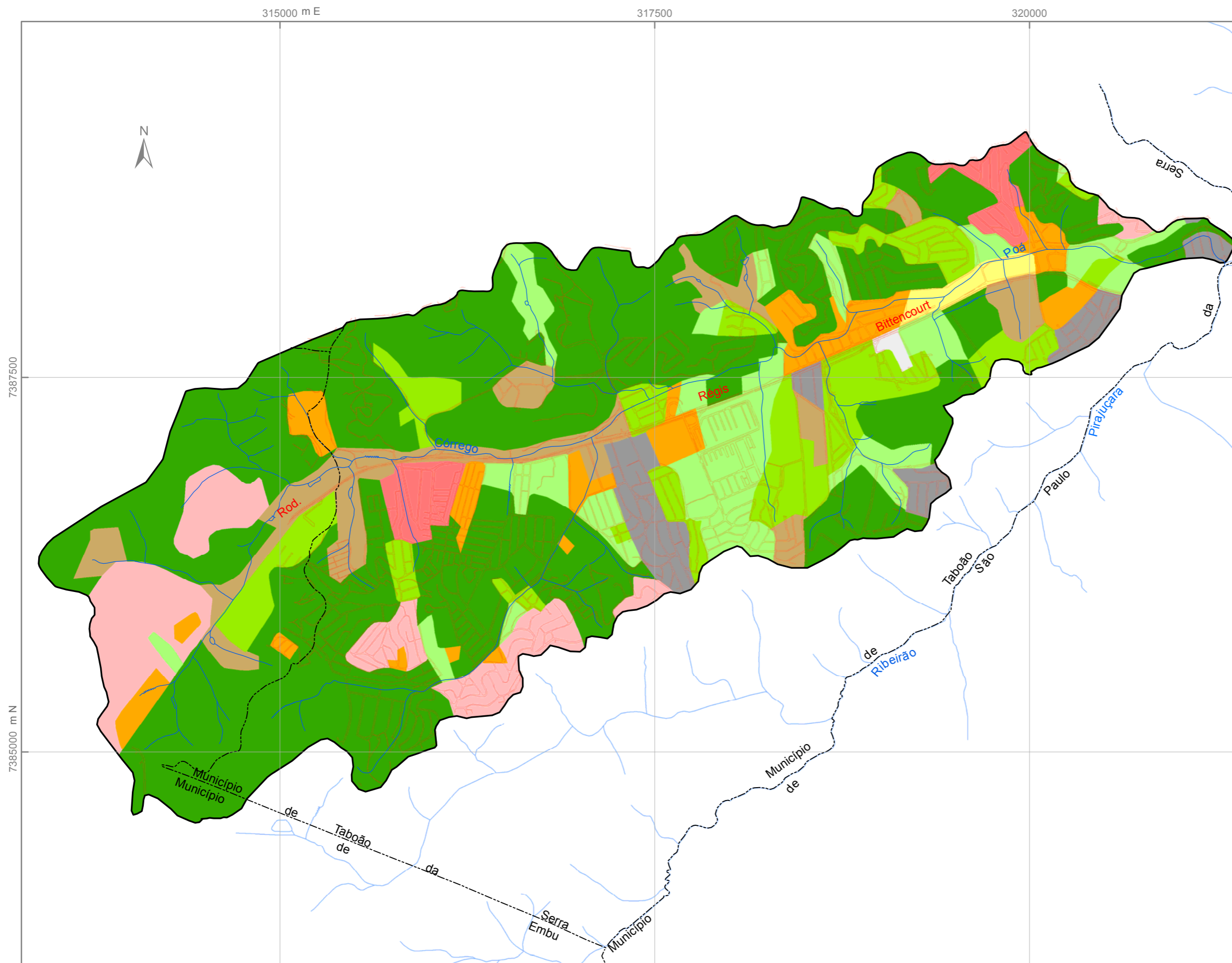
Por fim, para o ano de 2003 (Figura 36), dos principais tipos de uso do solo que caracterizam a bacia do córrego Poá, as áreas urbanas consolidadas, incluindo as áreas institucionais, perfazem um total de 9,38 km² (57,5%) e predominam próximo aos limites com o município de São Paulo (Foto 39). A cobertura vegetal abrange uma área de 3,49km² (21,4%), correspondendo à montante da margem esquerda do córrego Poá (Foto 40). As áreas urbanas em consolidação significam 1,04km² (4,4%) e as superfícies em exposição 0,84 km² (5,1%).

Por meio da Tabela 7 é possível acompanhar a evolução do uso e ocupação solo, que caracterizam as intervenções antropogênicas na área da bacia. Em relação à cobertura vegetal, observa-se redução de aproximadamente 60% no período de 40 anos. O mesmo cenário foi registrado para as áreas de cobertura vegetal degradada, campo, cultura temporária e chácaras de lazer. Em 1962 a área urbana consolidada era praticamente inexistente, aumentando progressivamente no período de dez anos, quando passou a representar 7,35% da área da bacia. Porém em 1987, nota-se um expressivo aumento dessas áreas, configurando 24,2 da bacia. Após quinze anos, em 2003, os dados indicam a consolidação do estágio de urbanização abrangendo quase 60% da área total da bacia. É justamente no período entre 1987 e 2003 que se registraram os eventos de inundação de maior magnitude na bacia, e, que somente se atenuaram parcialmente com a construção de piscinões.

Quanto às intervenções antropogênicas, representadas pelas áreas parceladas e superfícies em exposição, embora sejam as maiores contribuintes na produção de sedimentos, é preciso lembrar que o período em que se mantêm nesse estado é relativamente curto e por isso não são representativas em área. No entanto, durante o período de quinze anos, se considerar a fase mais intensa do processo acelerado de expansão urbana, muitas superfícies ficaram em exposição até a consolidação de um tipo de uso definitivo (Fotos 41 e 42), exemplificando as descontinuidades espaciais e temporais das intervenções antropogênicas.

Tabela 7: Categorias de uso e ocupação do solo/intervenções antropogênicas da bacia do córrego Poá (período 1962-2003).

Categoria de uso	1962		1972		1987		2003	
	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%
Cobertura Vegetal (mata)	8,40	51,5	4,11	25,18	4,09	25,06	3,49	21,4
Cobertura Vegetal degradada (mata degradada)	1,70	10,4	1,5	9,19	1,05	6,43	-	-
Campo (gramínea)	1,59	9,7	2,66	16,30	2,62	16,05	0,59	3,6
Cultura Temporária	0,14	0,9	-	-	0,04	0,25	-	-
Chácaras de Lazer	1,20	7,4	2,84	17,40	0,25	1,53	0,90	5,5
Área urbana consolidada	0,03	0,2	1,20	7,35	3,95	24,20	-	-
Área urbana consolidada com alto padrão construtivo, com cobertura vegetal significativa e média densidade de ocupação	-	-	-	-	-	-	0,12	0,7
Área urbana consolidada com médio padrão construtivo, média cobertura vegetal, média densidade de ocupação	-	-	-	-	-	-	0,96	5,9
Área urbana consolidada com médio padrão construtivo, pouca cobertura vegetal, alta densidade de ocupação	-	-	-	-	-	-	3,43	21,0
Área urbana consolidada com baixo padrão construtivo, sem cobertura vegetal, alta densidade de ocupação	-	-	-	-	-	-	1,74	10,7
Área Institucional	-	-	-	-	-	-	3,13	19,2
Área urbana em consolidação	0,60	3,7	1,69	10,36	1,65	10,11	-	-
Área urbana em consolidação com alta densidade de ocupação	-	-	-	-	-	-	0,85	5,2
Área urbana em consolidação com média densidade de ocupação	-	-	-	-	-	-	0,19	1,2
Área parcelada (com cobertura vegetal)	1,25	7,7	0,15	0,92	-	-	-	-
Área parcelada (sem cobertura vegetal)	0,52	3,2	1,21	7,41	1,22	7,48	-	-
Área parcelada							0,08	0,5
Superfície em exposição	0,89	5,5	0,96	5,88	1,45	8,88	0,84	5,1
Área Total da Bacia	16,32	100	16,32	100	16,32	100	16,32	100

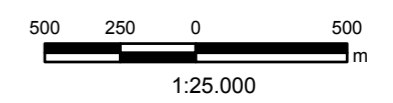


Localização da bacia hidrográfica do córrego Poá

Legenda

- Limite de bacia
 - Curso d'água
 - Sistema viário principal
 - Limite municipal
- Classes de uso
- Cobertura vegetal (mata)
 - Cobertura vegetal (mata degradada)
 - Campo
 - Cultura temporária
 - Chácara de lazer (com cultivo)
 - Área urbana consolidada
 - Área urbana em consolidação
 - Área parcelada (com cobertura vegetal)
 - Área parcelada (sem cobertura vegetal)
 - Superfície em exposição

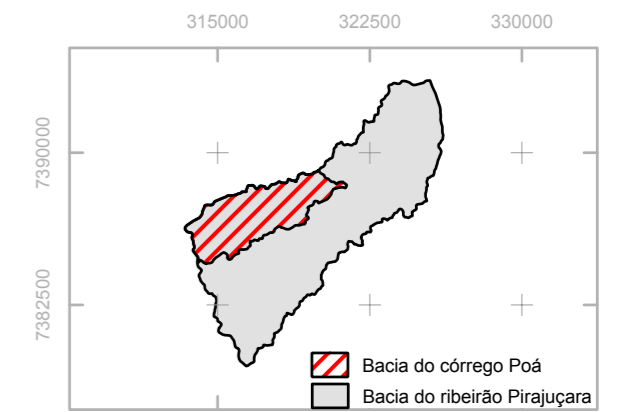
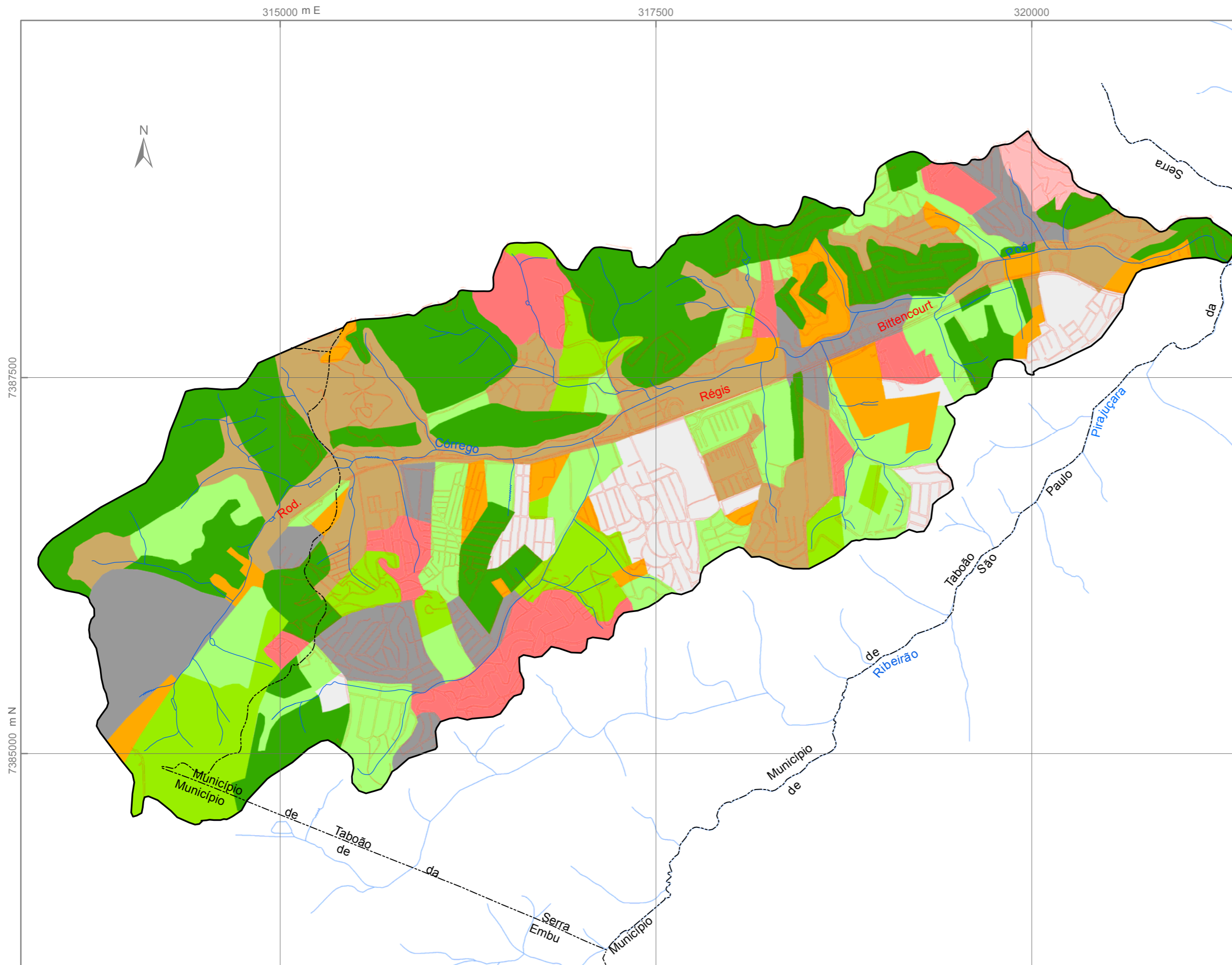
Escala



Fonte:
Fotografias aéreas 1:25.000 - IBC - 1962

Organização: CANIL, 2006.

Figura 33 - Mapa de uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do córrego Poá (1962).

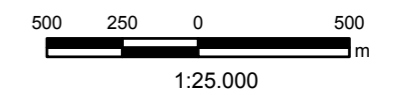


Localização da bacia hidrográfica do córrego Poá

Legenda

- Limite de bacia
 - Curso d'água
 - Sistema viário principal
 - Limite municipal
- Classes de uso**
- Cobertura vegetal (mata)
 - Cobertura vegetal (mata degradada)
 - Campo
 - Chácara de lazer (com cultivo)
 - Área urbana consolidada
 - Área urbana em consolidação
 - Área parcelada (com cobertura vegetal)
 - Área parcelada (sem cobertura vegetal)
 - Superfície em exposição

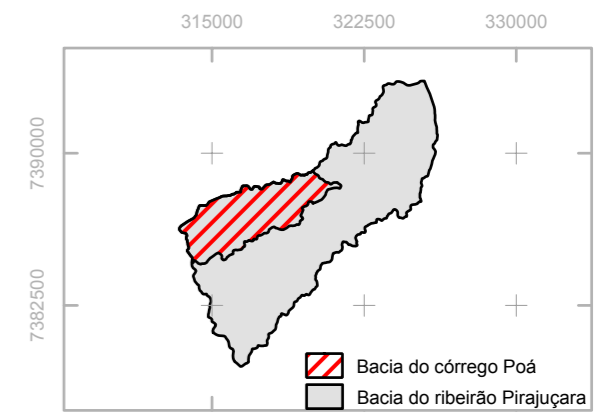
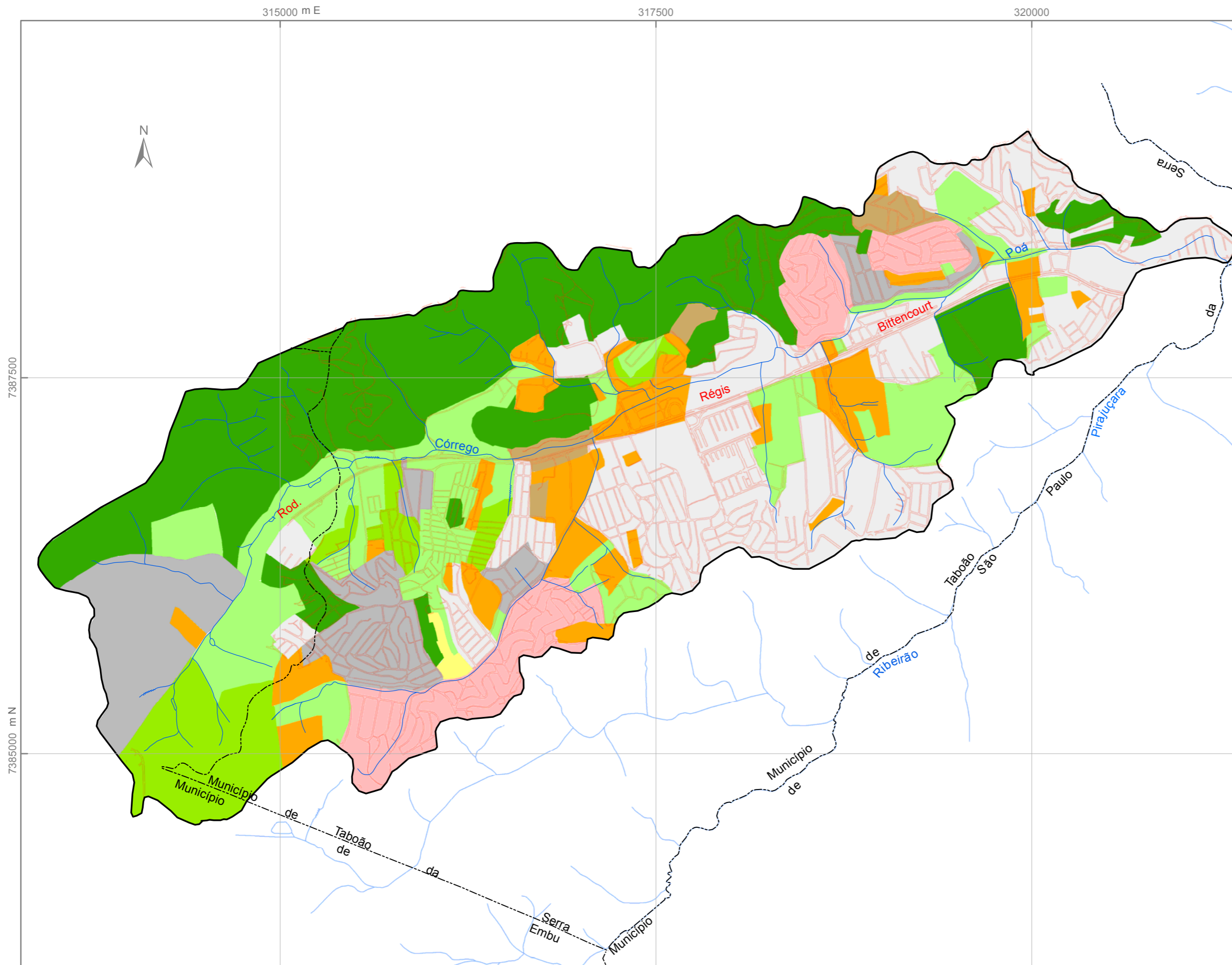
Escala



Fonte:
Fotografias aéreas 1:10.000 - Eletropaulo (1972)

Organização: CANIL, 2006.

Figura 34 - Mapa de uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do córrego Poá (1972).

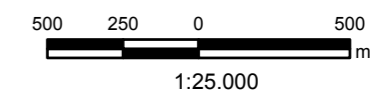


Localização da bacia hidrográfica do córrego Poá

Legenda

- Limite de bacia
 - Curso d'água
 - Sistema viário principal
 - Limite municipal
- Classes de uso**
- Cobertura vegetal (mata)
 - Cobertura vegetal (mata degradada)
 - Campo
 - Cultura temporária
 - Chácara de lazer (com cultivo)
 - Área urbana consolidada
 - Área urbana em consolidação
 - Área parcelada (com cobertura vegetal)
 - Superfície em exposição

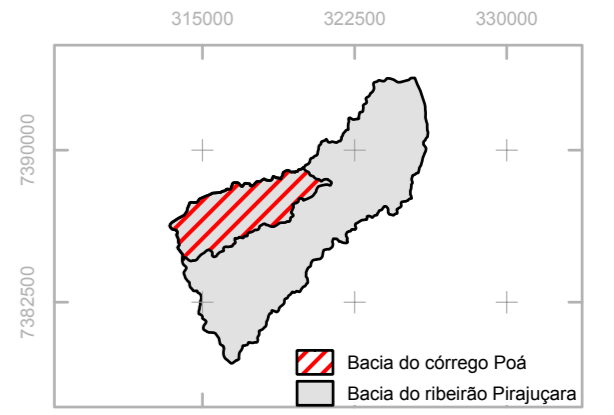
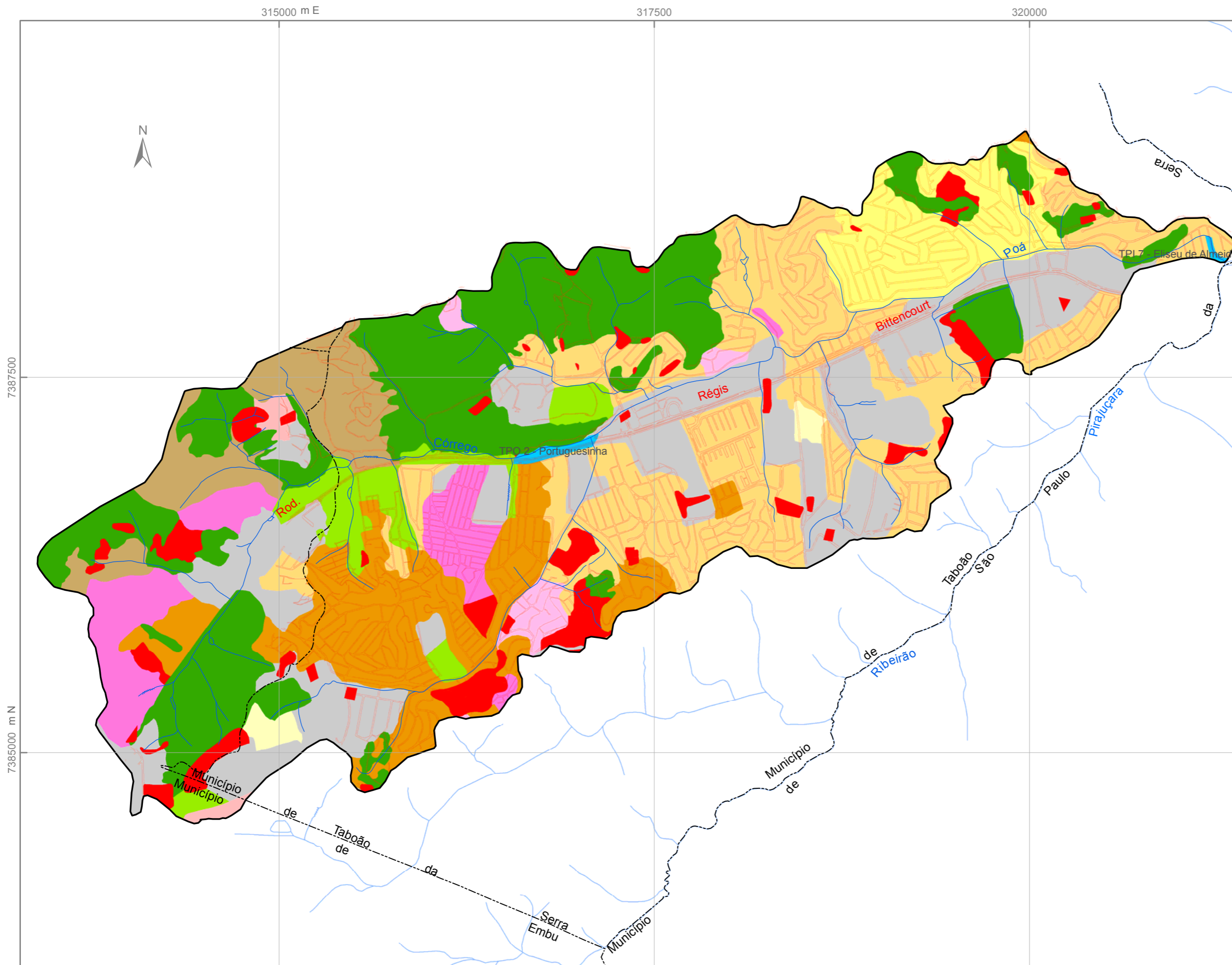
Escala



Fonte:
Fotografias aéreas 1:35.000. Emplasa (1987)

Organização: CANIL, 2006.

Figura 35 - Mapa de uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do córrego Poá (1987).



Localização da bacia hidrográfica do córrego Poá

Legenda

- Limite de bacia
 - Curso d'água
 - Sistema viário principal
 - Limite municipal
- Classes de uso
- Cobertura vegetal (mata)
 - Campo
 - Área urbana consolidada
 - Alto padrão construtivo, com cobertura vegetal significativa e média densidade de ocupação.
 - Médio padrão construtivo, média cobertura vegetal, média densidade de ocupação
 - Médio padrão construtivo, pouca cobertura vegetal e alta densidade de ocupação
 - Baixo padrão construtivo, sem cobertura vegetal, alta densidade de ocupação
 - Chácara de lazer (com cultivo)
 - Área urbana em consolidação
 - Média densidade de ocupação
 - Alta densidade de ocupação
 - Área parcelada
 - Superfície em exposição
 - Área institucional
 - Reservatório de detenção (piscinão)

Escala



Fonte:
Funcate, 2003 - Imagens de satélite IKONOS

Organização: CANIL, 2006.

Figura 36 - Mapa de uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do córrego Poá (2002).



Canil, 2004

Foto 39: Vista de área urbana consolidada, município de Taboão da Serra. No centro da foto, o piscinão do Parque Pinheiros.



Canil, 2004

Foto 40: Vista da área de cobertura vegetal, com acesso pela Estrada Maria Aparecida Nicoletti (município de Taboão da Serra).



Canil,out/2005

Foto 41: Exemplo de área de superfície em exposição (município de Taboão da Serra).



Canil, ago 2006

Foto 42: A mesma área em processo de consolidação, município de Taboão da Serra.

3.2.1 Análise comparativa entre valores de precipitação, vazão, concentração e descarga sólida

Assim, como a análise realizada para o ribeirão Pirajuçara, foram efetuadas as correlações entre precipitação, vazão e descarga sólida para o córrego Poá. Os dados atuais exprimem o comportamento dos indicadores de dinâmica fluvial que caracterizam os impactos por assoreamento e inundação na bacia; e para tanto o ponto de amostragem selecionado (Poá 1) corresponde às proximidades da foz do córrego Poá (Figura 9, Capítulo 2). Tem-se como hipótese que este ponto reflete o conjunto das alterações morfodinâmicas na bacia. A Figura 37 apresenta o modelo

de ficha de coleta e resultados de dados, com a representação esquemática da seção do canal em que foram realizados os levantamentos de campo.

Considerando a proximidade do posto pluviométrico em relação à área da bacia, o posto Campo Limpo, situado no município de São Paulo foi adotado para realização das análises das correlações propostas.

De acordo com a Tabela 8 apresenta-se a síntese da coleta de dados (chuva e vazão) e os resultados obtidos em laboratório (concentração e descarga sólida) para o período, também compreendido entre 30/03/2005 e 30/03/2006. O método de medição e coleta seguiu as mesmas diretrizes adotadas para a bacia do ribeirão Pirajuçara: realização de coletas a cada 15 dias, exceto para os meses mais secos, junho, julho e agosto e a precipitação total corresponde ao período anterior a uma semana da medição da vazão e coleta dos sedimentos.

O estado atual do uso e ocupação do solo da bacia interfere diretamente no comportamento dos fluxos de escoamento na bacia. Assim, as áreas com cobertura vegetal favorecem a infiltração de água na subsuperfície, aumentando a ação dos processos pedogenéticos, enquanto as áreas consolidadas, impermeabilizadas favorecem o escoamento superficial intensificando os processos morfoгенéticos.

Ao correlacionar a precipitação com a vazão (Figura 38), nota-se que em situações onde os registros de valores de chuva são significativos mas o índice de vazão se mantém na média, pode denotar que a chuva ocorreu em um ponto muito distante do ponto de medição. Por outro lado, se na área do posto, a precipitação total registrada foi baixa, mas a vazão foi alta, pode exprimir que a chuva ocorreu com maior intensidade nas proximidades do ponto de medição. Daí a necessidade da instalação de equipamentos adequados junto aos pontos em que se pretende monitorar o comportamento desses indicadores. Há uma tendência também à diminuição da vazão no período seco. No entanto, quando uma chuva é bem distribuída e de alta intensidade, os picos de vazão sempre se elevam, como nos eventos pluviométricos ocorridos no período de 18 a 24 de maio de 2005 e de 24 a 30 de março de 2006, já citados anteriormente.

A tendência dos valores de concentração (Figura 39) é aumentar ou diminuir em função da vazão. Contudo, durante o período seco, quando a vazão diminui a concentração apresenta os valores mais altos.

Em relação ao ribeirão Pirajuçara, o córrego Poá apresenta um comportamento mais uniforme nas relações de vazão e descarga sólida. Na bacia do córrego Poá, o aumento da descarga sólida é correspondente ao aumento da vazão, assim como nos meses mais secos a vazão diminui, a carga sólida também (Figura 40). Porém em eventos muito extremos, que ocorrem sobremaneira no período do verão, a descarga sólida também apresenta valores muito altos, indicando forte atuação dos processos morfodinâmicos. A sazonalidade portanto, pode ser um indicador das discontinuidades temporais e espaciais do transporte dos materiais no sistema fluvial.

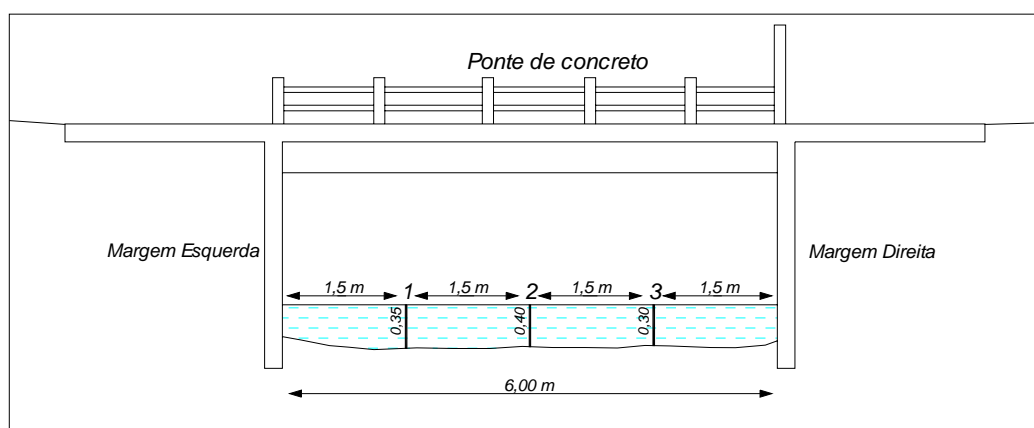
Considerando a evolução do uso e ocupação na área da bacia do córrego Poá, para o terceiro nível de escala de análise foram selecionadas duas sub-bacias que apresentaram intervenções antropogênicas distintas, para estabelecer as correlações entre esses indicadores e os indicadores da dinâmica fluvial. Essas sub-bacias encontram-se em dois contextos, a saber: sub-bacia Poá 2 que apresenta 81% de cobertura vegetal e sub-bacia Poá 3 com cerca de 82% da área em vários graus de urbanização.

Os documentos cartográficos utilizados consistiram em fotografias aéreas, 1:5.000, do ano de 2004 para mapear unidades de área inferior à 1km².

FICHA DE CAMPO: MEDIÇÃO DE VAZÃO E COLETA DE SEDIMENTOS				
BACIA	RIO	LOCAL		COORDENADAS
Ribeirão Pirajuçara	Córrego Poá	Rua Thereza Maria Luizetto		321.051 m E 7.388.399 m N
PONTO DE AMOSTRAGEM:		TIPO DE MEDIÇÃO:		LARGURA DO RIO:
POA 1		Ponte de concreto		6,00 m
MOLINETE:		TEMPO:		LOCAL DE INÍCIO:
VALEPORT		120 s		Margem esquerda

VERT.	DIST. AMOSTRADA (m)	PROF. (m)	POSIÇÃO MOLINETE (m)	VELOC. (m/s)	VELOC. MÉDIA (m/s)	VAZÃO LOCAL (m³/s)	VAZÃO TOTAL (m³/s)	CONCENTRAÇÃO (g/l)	DESCARGA SÓLIDA (g/s)	IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA

PERFIL APROXIMADO:



Localização do ponto de coleta. Vista de jusante para montante, córrego Poá.

Medição de vazão do córrego Poá.

OBSERVAÇÕES:

Figura 37: Ficha de campo para medição de vazão e coleta de sedimentos do córrego Poá (Ponto Poá 1).

Tabela 8: Síntese da coleta de dados (chuva, vazão e sedimentos em suspensão) e os resultados obtidos em laboratório do Ponto Poá 1 (Período 30/03/2005 a 30/03/2006).

Data de Coleta das Amostras	Período de Medição da Precipitação	Precipitação Total (mm)	Vazão (m³/s)	Concentração (g/l)	Descarga Sólida (g/s)	Identificação da Amostra
30/mar/05	23/mar/05 a 29/mar/05	28.4	0.537	0.1469	6.8157	POA 1.04-01
06/abr/05	30/mar/05 a 05/abr/05	104.8	1.237	0.2065	22.0701	POA 1.05-01
14/abr/05	07/abr/05 a 13/abr/05	25.6	0.707	0.0791	4.8318	POA 1.06-01
20/abr/05	13/abr/05 a 19/abr/05	2.1	0.608	0.0771	4.0502	POA 1.07-01
27/abr/05	20/abr/05 a 26/abr/05	25.4	0.746	0.0915	5.8976	POA 1.08-01
20/mai/05	13/mai/05 a 19/mai/05	0	0.468	0.0868	3.5098	POA 1.09-01
25/mai/05	18/mai/05 a 24/mai/05	86.2	1.516	0.4594	60.1733	POA 1.10-01
17/jun/05	10/jun/05 a 16/jun/05	0	0.437	0.0020	0.0755	POA 1.11-01
22/jul/05	15/jul/05 a 21/jul/05	2.8	0.458	0.0130	0.5144	POA 1.12-01
19/ago/05	12/ago/05 a 18/ago/05	0	0.392	0.0970	3.2853	POA 1.13-01
23/set/05	17/set/05 a 23/set/05	17.3	0.452	0.0740	2.8899	POA 1.14-01
21/out/05	14/out/05 a 20/out/05	27.6	0.52			POA 1.15-01
10/nov/05	03/nov/05 a 09/nov/05	23.6	0.438	0.0240	0.9082	POA 1.16-01
28/nov/05	22/nov/05 a 27/nov/05	25.4	0.748	0.1510	9.7587	POA 1.17-01
09/dez/05	03/dez/05 a 09/dez/05	16.8	0.562	0.0560	2.7192	POA 1.18-01
22/dez/05	16/dez/05 a 22/dez/05	97	0.623	0.0180	0.9689	POA 1.19-01
06/jan/06	31/dez/05 a 06/jan/06	171.8	1.812	0.6100	95.4996	POA 1.20-01
19/jan/06	13/jan/06 a 19/jan/06	1.1	0.464	0.0390	1.5635	POA 1.21-01
13/fev/06	07/fev/06 a 13/fev/06	142.1	0.792	0.0110	0.7527	POA 1.22-01
23/fev/06	17/fev/06 a 23/fev/06	26.4	0.691	0.0290	1.7314	POA 1.23-01
16/mar/06	10/mar/06 a 16/mar/06	28.4	0.494	0.0280	1.1951	POA 1.24-01
30/mar/06	24/mar/06 a 30/mar/06	136.8	1.215	0.2880	30.2331	POA 1.25-01

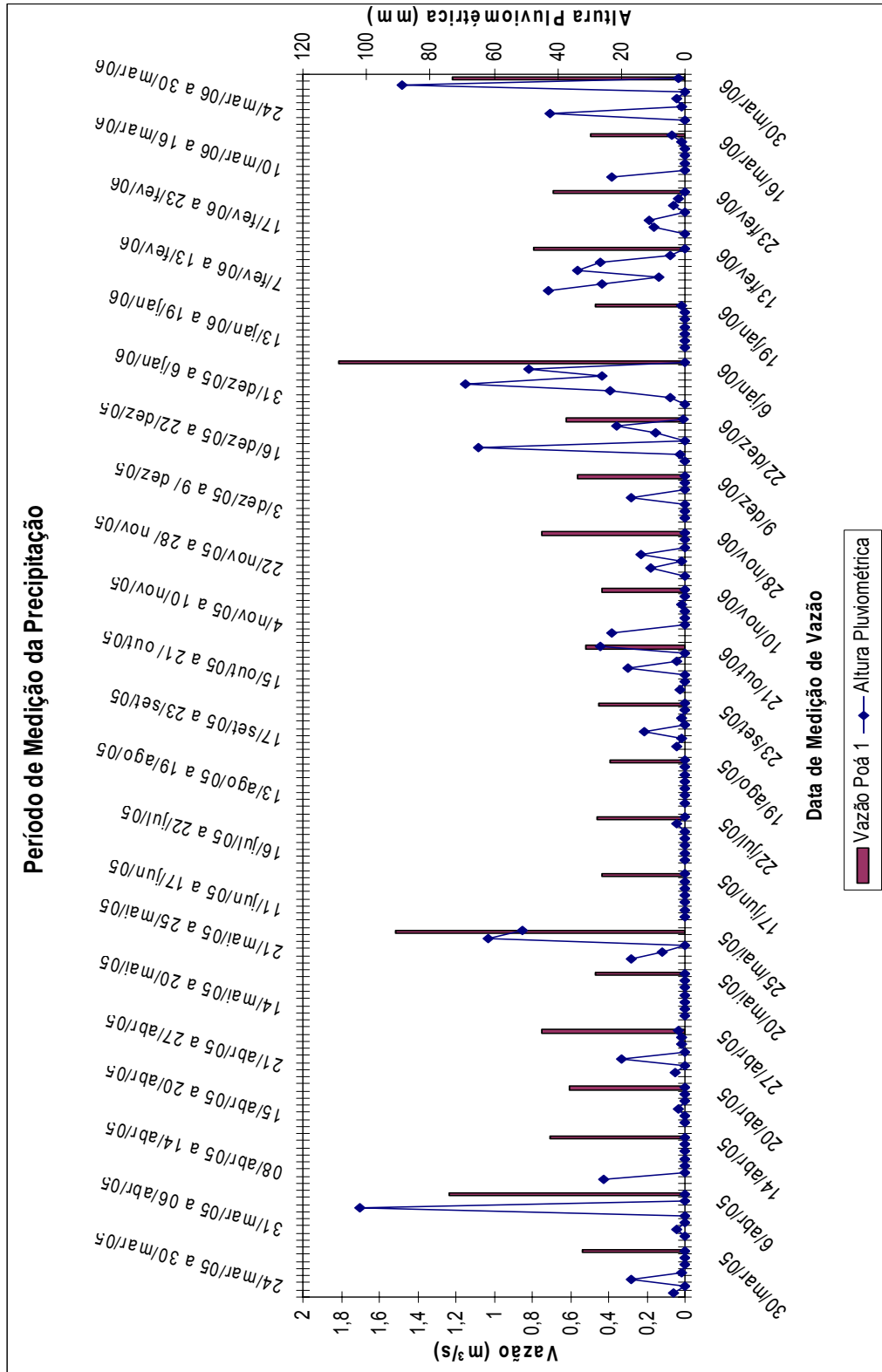


Figura 38: Correlação entre vazão e precipitação do ponto Poá 1— Bacia do córrego Poá.

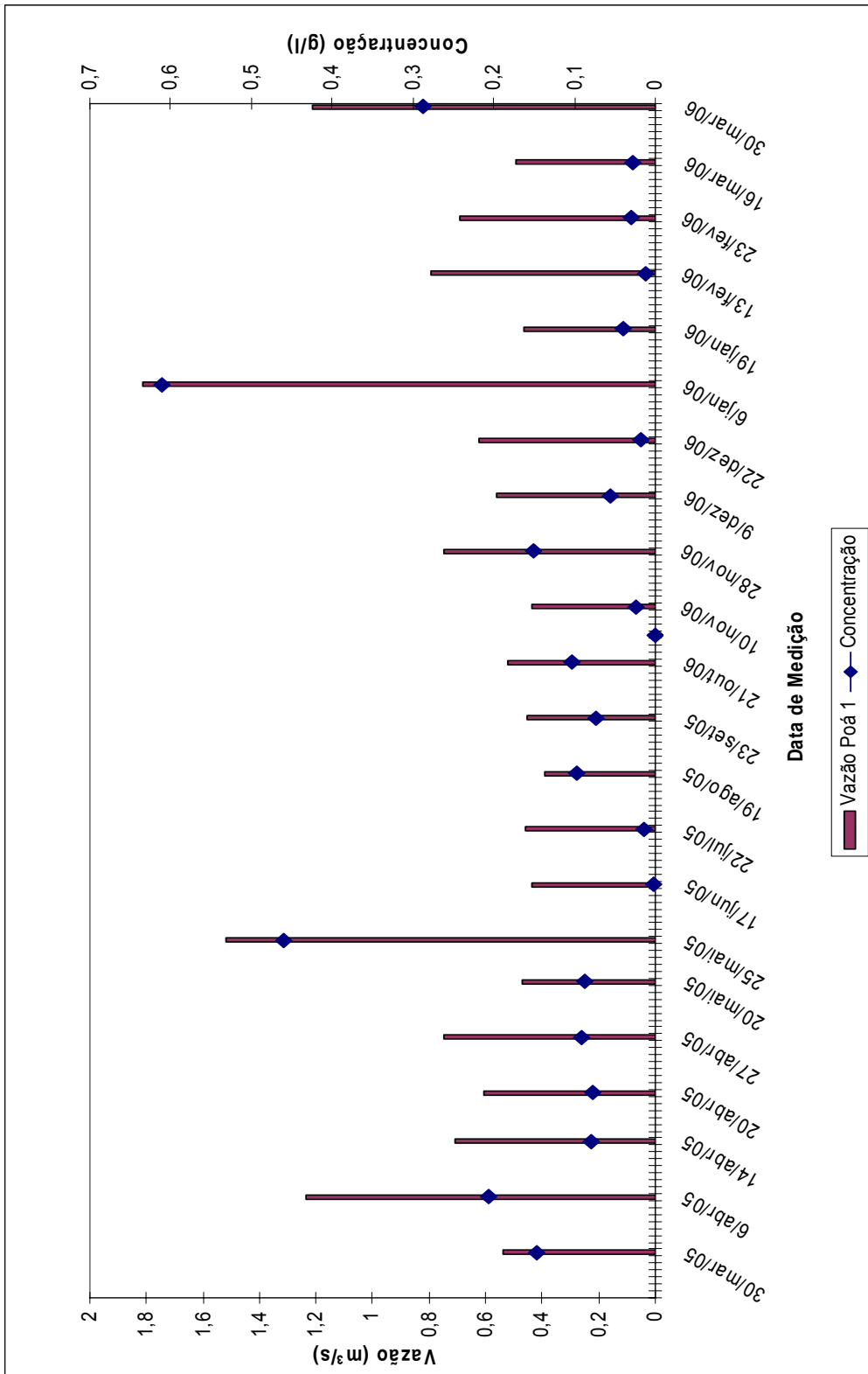


Figura 39: Correlação entre vazão e concentração do ponto Poá 1 – Bacia do córrego Poá.

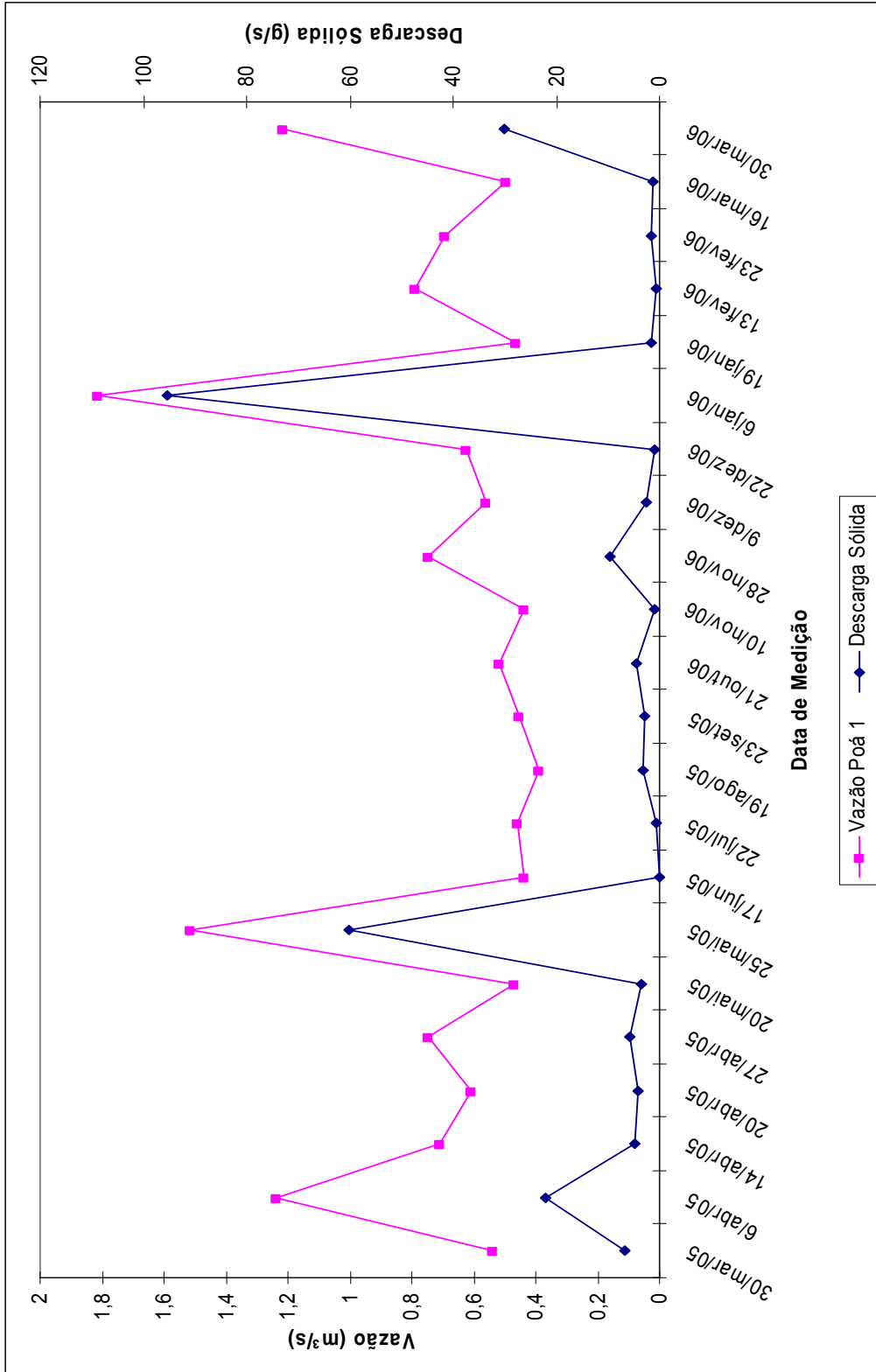


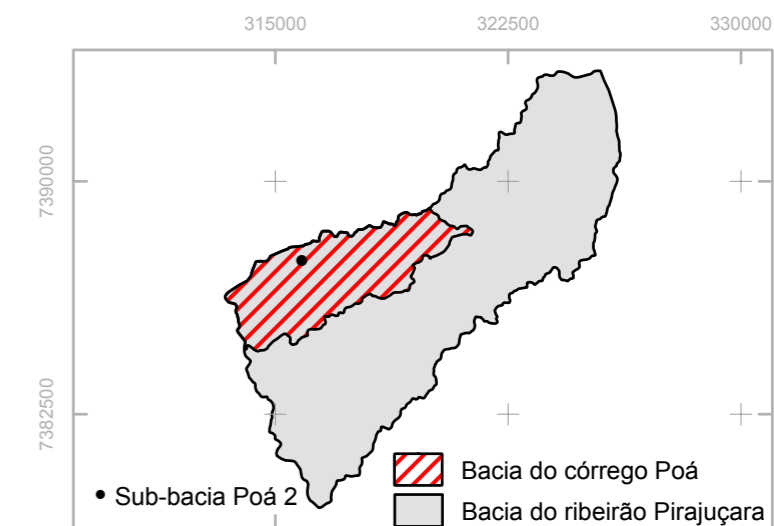
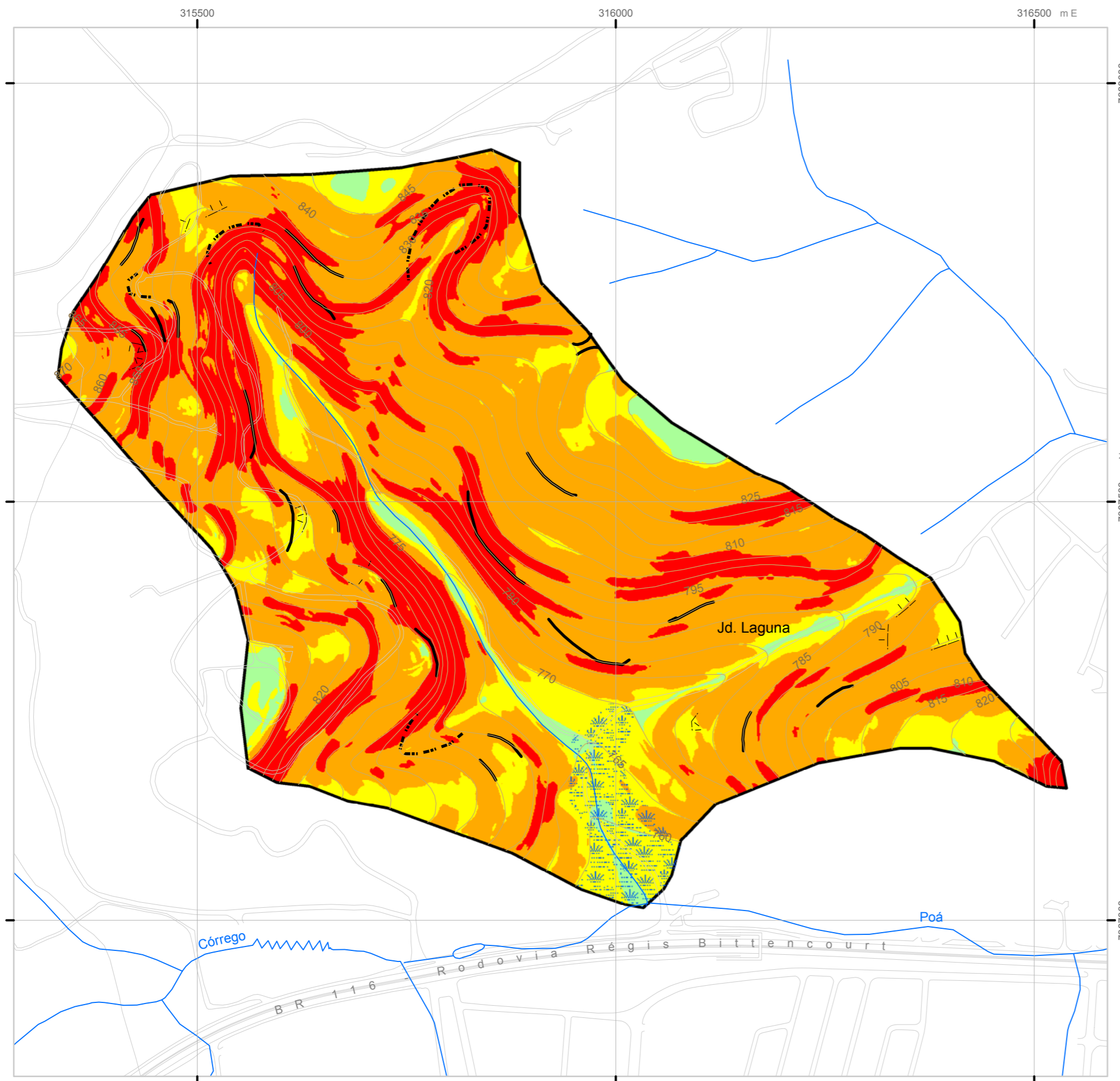
Figura 40: Correlação entre vazão e descarga sólida do ponto Poá 1 – Bacia do córrego Poá.

3.3 Escala de Análise: Terceiro nível, Poá 2

A sub-bacia do Poá 2, com 0,56 km², corresponde ao afluente da margem esquerda do córrego Poá, em trecho a montante do piscinão Portuguesinha, situado ao longo da Rodovia Regis Bittencourt km 323. Ocorrem na área migmatitos que sustentam o relevo de morrotes com declividades predominantes entre 20 e 30% (Figura 41). Devido à presença de densa cobertura vegetal, as feições geomorfológicas, possíveis de ser identificadas na fotografia aérea escala 1:5.000 (2004) permitem caracterizar nas cabeceiras de drenagem vertentes predominantemente convexas e côncavas. O vale do curso d'água principal é encaixado, porém nas proximidades de sua foz no córrego Poá, alarga-se formando uma planície fluvial de área considerável (Foto 43).

Quanto aos indicadores da dinâmica de vertente foram observadas feições erosivas lineares de pequeno porte (sulcos) associadas a alguns cortes originados por intervenções antropogênicas.

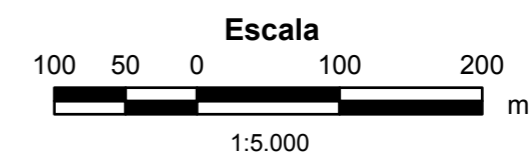
Em relação aos tipos de uso e ocupação do solo ou indicadores das intervenções antropogênicas, esses também foram identificados a partir da mesma documentação aerofotogramétrica, com atualização de trabalhos de campo no ano de 2006 (Figura 42). De acordo com a Tabela 9, observa-se que predomina em praticamente toda a área da bacia cobertura vegetal com 0,45km² (81%) do total da área da sub-bacia, sendo que na margem esquerda do curso d'água principal, ao longo da Estrada Maria Aparecida Nicolleti, a mata está preservada e é gerenciada/fiscalizada pela Polícia Militar (Foto 44). Ocorrem ainda algumas áreas de cobertura vegetal (mata degradada) 0,02km² (3%) e campo 0,06km² (11%). Na margem direita, observa-se que nos meandros da vegetação, foram estabelecidas chácaras de lazer com 0,01km² (2%). As áreas de superfície de solo em exposição correspondem a 0,02km² (3%), situadas próximas à jusante da bacia.



Localização da sub-bacia Poá 2

Legenda

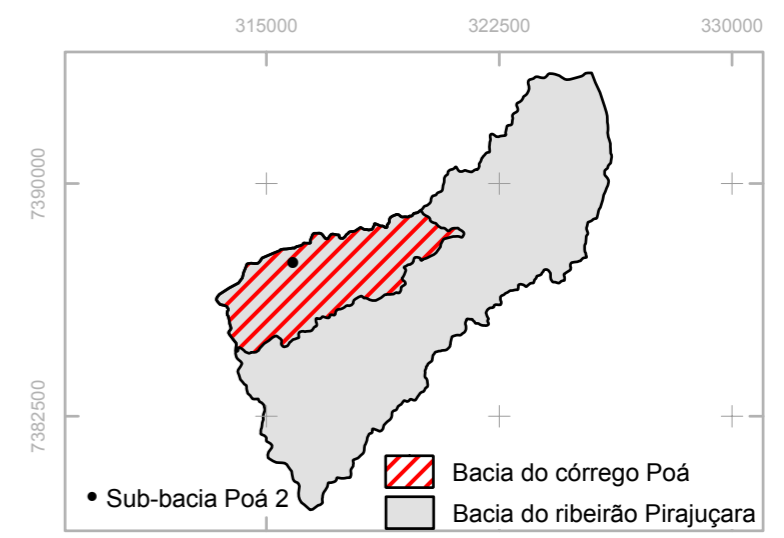
- Limite de bacia
 - Curso d'água
 - Curva de nível
 - Sistema viário principal
- | Feições geomorfológicas | Classes de declividade |
|-------------------------|------------------------|
| Vertente côncava | < 6% (< 3°) |
| Vertente convexa | 6% - 12% (3° - 7°) |
| Feição erosiva (corte) | 12% - 20% (7° - 11°) |
| Colo (cela) | 20% - 30% (11° - 17°) |
| Planície fluvial | > 30% (> 17°) |



Fonte: SEMUDUH - Prefeitura do Município de Taboão da Serra. 1:5.000 (fev/2004)










Organização: CANIL, 2006.

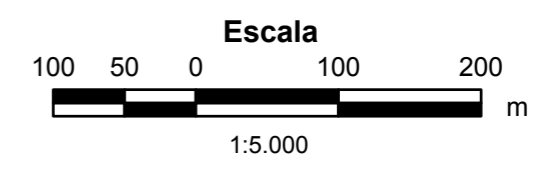
Figura 41 - Mapa clinográfico e feições geomorfológicas da sub-bacia Poá 2.



Localização da sub-bacia Poá 2

Legenda

-  Limite de bacia
 -  Curso d'água
 -  Curva de nível
 -  Sistema viário principal
- Classes de uso
-  Cobertura vegetal (mata)
 -  Cobertura vegetal (mata degradada)
 -  Campo
 -  Superfície em exposição
 -  Unidade domiciliar (casa)



Fonte: SEMUDUH - Prefeitura do Município de Taboão da Serra. 1:5.000 (fev/2004)

Organização: CANIL, 2006.

Figura 42 - Mapa de uso e ocupação do solo da sub-bacia Poá 2.

Tabela 9: Categorias de uso e ocupação do solo/intervenções antropogênicas da sub-bacia Poá 2.

Categoria de uso	km²	%
Cobertura Vegetal (mata)	0,45	81
Cobertura Vegetal degradada (mata degradada)	0,02	3
Campo (gramínea)	0,06	11
Cultura Temporária	-	-
Chácaras de Lazer	0,01	2
Área urbana consolidada	-	-
Área urbana em consolidação	-	-
Área parcelada (com cobertura vegetal)	-	-
Área parcelada (sem cobertura vegetal)	-	-
Superfície em exposição	0,02	3
Área Total	0,56	100



Canil,out/2005

Foto 43: Planície fluvial a jusante do curso d'água, próximo à foz no córrego Poá (município de Taboão da Serra).



Canil, ago,2006

Foto 44: Vista da Estrada Maria Aparecida Nicolleti, acesso para a área de cobertura vegetal conservada (município de Taboão da Serra).

3.3.1 Análise comparativa entre valores de precipitação, vazão, concentração e descarga sólida

Assim como o método adotado para a bacia do ribeirão Pirajuçara e do córrego Poá, manteve-se o mesmo procedimento para a sub-bacia do afluente do córrego Poá (Poá 2). Embora em escala de detalhe, a ausência de um posto pluviométrico instalado na bacia dificulta algumas leituras das correlações entre os

dados de precipitação, vazão, concentração e descarga sólida. Porém é possível inferir algumas interpretações a partir dos resultados obtidos em relação aos indicadores de intervenções antropogênicas, dinâmica de vertentes e dinâmica fluvial.

A Figura 43 apresenta o modelo de ficha de coleta e resultados de dados, com a representação esquemática da seção do canal em que foram realizados os levantamentos de campo. Ressalta-se que foram utilizados dados pluviométricos do posto Campo Limpo, por sua proximidade da área da bacia.

Na Tabela 10 estão apresentados a síntese da coleta de dados (chuva e vazão) e os resultados obtidos em laboratório (concentração e descarga sólida) para o período, também compreendido entre 30/03/2005 e 30/03/2006. O método de medição e coleta seguiu as mesmas diretrizes adotadas para as bacias do ribeirão Pirajuçara e córrego Poá: realização de coletas a cada 15 dias, exceto para os meses mais secos, junho, julho e agosto, e a precipitação total corresponde ao período anterior a uma semana da medição da vazão e coleta dos sedimentos.

A predominância da cobertura vegetal na área da bacia exerce função fundamental no equilíbrio pedogênese/morfogênese, favorecendo maior infiltração de água da chuva no solo e influenciando indiretamente o comportamento da vazão (TRICART, 1968).

Quando se observam os eventos extremos, isto é, chuvas intensas com alturas elevadas, há tendência também à elevação dos valores da vazão, concentração e descarga sólida. No entanto, normalmente as vazões aumentam de modo pouco significativo durante o período chuvoso (Figura 44), isto porque prevalece maior infiltração de água no solo devido à presença da cobertura vegetal. No período seco, a vazão apresenta comportamento constante.

Outra observação diz respeito aos valores de vazão, concentração e descarga sólida quando apresentam totais mais elevados nos períodos em que a precipitação total diminui. Isso pode significar que a chuva ocorreu apenas na bacia ou em suas imediações não sendo registrada no pluviômetro adotado como referência para a região.

Quando os valores de vazão se mantêm, verifica-se porém o aumento significativo da concentração e da descarga sólida, fato que pode significar algum tipo de intervenção antropogênica na bacia (Figuras 45 e 46). Entretanto é preciso investigar em que local ocorreu essa intervenção, o que não é tarefa fácil e nem sempre possível de se executar.

Em relação à descarga sólida, nota-se que seu comportamento acompanha o ritmo dos valores de vazão, com picos mais acentuados em episódios de chuvas intensas. Isso é um indicador de que os processos de dinâmica fluvial com capacidade para alterar a morfologia dos canais e retrabalhar os sedimentos das planícies estão diretamente relacionados aos eventos de grande magnitude, mesmo em bacias onde prevalecem condições de cobertura vegetal natural.

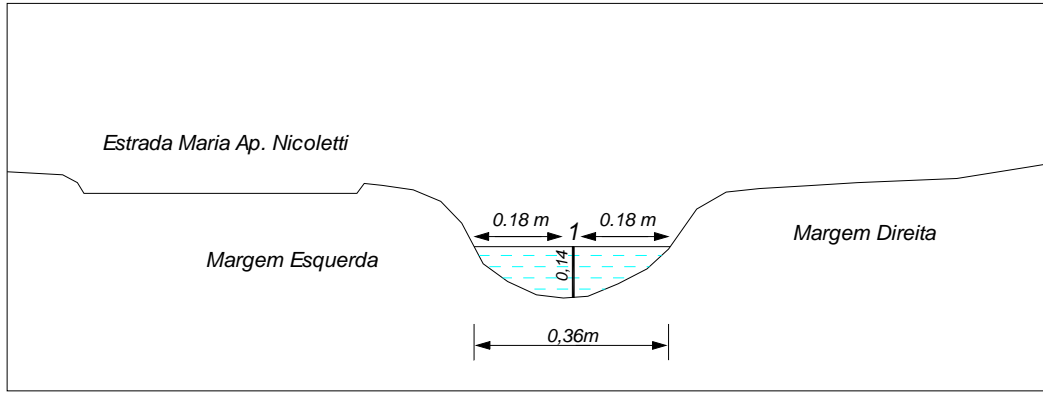

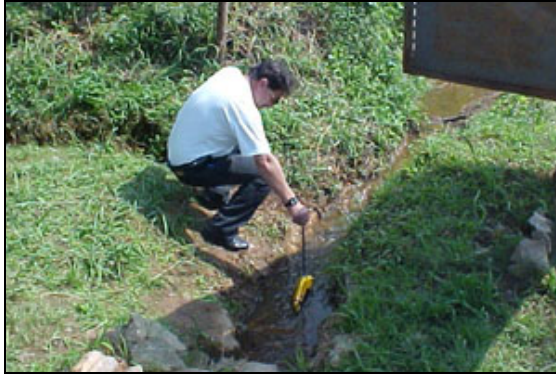
FICHA DE CAMPO: MEDIÇÃO DE VAZÃO E COLETA DE SEDIMENTOS										
BACIA Ribeirão Pirajuçara		RIO Afluente do Córrego Poá		LOCAL Estrada Maria Ap. Nicoletti 361			COORDENADAS 315.951 m E 7.387.181 m N			
PONTO DE AMOSTRAGEM: <i>POA 2</i>				TIPO DE MEDIÇÃO: A vau			LARGURA DO RIO: 0,36 m			
MOLINETE: VALEPORT				TEMPO: 120 s			LOCAL DE INÍCIO: Centro			
VERT.	DIST. AMOSTRADA (m)	PROF. (m)	POSIÇÃO MOLINETE (m)	VELOC. (m/s)	VELOC. MÉDIA (m/s)	VAZÃO LOCAL (m ³ /s)	VAZÃO TOTAL (m ³ /s)	CONCENTRAÇÃO (g/l)	DESCARGA SÓLIDA (g/s)	IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA
PERFIL APROXIMADO:										
										
 										
Ponto de Amostragem do Poá 2						Medição da vazão do Poá 2.				
OBSERVAÇÕES:										

Figura 43: Ficha de campo para medição de vazão e coleta de sedimentos do afluente do córrego Poá (Ponto Poá 2).

Tabela 10: Síntese da coleta de dados (chuva, vazão e sedimentos em suspensão) e os resultados obtidos em laboratório do Ponto Poá 2 (Período 30/03/2005 a 30/03/2006).

Data de Coleta das Amostras	Período de Medição da Precipitação	Precipitação Total (mm)	Vazão (m³/s)	Concentração (g/l)	Descarga Sólida (g/s)	Identificação da Amostra
30/mar/05	23/mar/05 a 29/mar/05	28.4	0.006	0.0627	0.0325	POA 2.04-01
06/abr/05	30/mar/05 a 05/abr/05	104.8	0.007	0.0182	0.0110	POA 2.05-01
14/abr/05	07/abr/05 a 13/abr/05	25.6	0.008	0.0188	0.0130	POA 2.06-01
20/abr/05	13/abr/05 a 19/abr/05	2.1	0.009	0.0153	0.0119	POA 2.07-01
27/abr/05	20/abr/05 a 26/abr/05	25.4	0.006	0.0106	0.0055	POA 2.08-01
20/mai/05	13/mai/05 a 19/mai/05	0	0.006	0.0373	0.0193	POA 2.09-01
25/mai/05	18/mai/05 a 24/mai/05	86.2	0.051	0.0946	0.4168	POA 2.10-01
17/jun/05	10/jun/05 a 16/jun/05	0	0.005	0.0100	0.0043	POA 2.11-01
22/jul/05	15/jul/05 a 21/jul/05	2.8	0.006	0.0110	0.0057	POA 2.12-01
19/ago/05	12/ago/05 a 18/ago/05	0	0.006	0.0480	0.0249	POA 2.13-01
23/set/05	17/set/05 a 23/set/05	17.3	0.005	0.1100	0.0475	POA 2.14-01
21/out/05	14/out/05 a 20/out/05	27.6	0.004			POA 2.15-01
10/nov/05	03/nov/05 a 09/nov/05	23.6	0.007	0.0060	0.0036	POA 2.16-01
28/nov/05	22/nov/05 a 27/nov/05	25.4	0.007	0.0170	0.0103	POA 2.17-01
09/dez/05	03/dez/05 a 09/dez/05	16.8	0.015	0.0300	0.0389	POA 2.18-01
22/dez/05	16/dez/05 a 22/dez/05	97	0.019	0.0170	0.0279	POA 2.19-01
06/jan/06	31/dez/05 a 06/jan/06	171.8	0.035	0.0360	0.1089	POA 2.20-01
19/jan/06	13/jan/06 a 19/jan/06	1.1	0.014	0.0400	0.0484	POA 2.21-01
13/fev/06	07/fev/06 a 13/fev/06	142.1	0.075	0.0010	0.0065	POA 2.22-01
23/fev/06	17/fev/06 a 23/fev/06	26.4		0.0470	0	POA 2.23-01
16/mar/06	10/mar/06 a 16/mar/06	28.4	0.012	0.0090	0.0093	POA 2.24-01
30/mar/06	24/mar/06 a 30/mar/06	136.8	0.017	0.0040	0.0059	POA 2.25-01

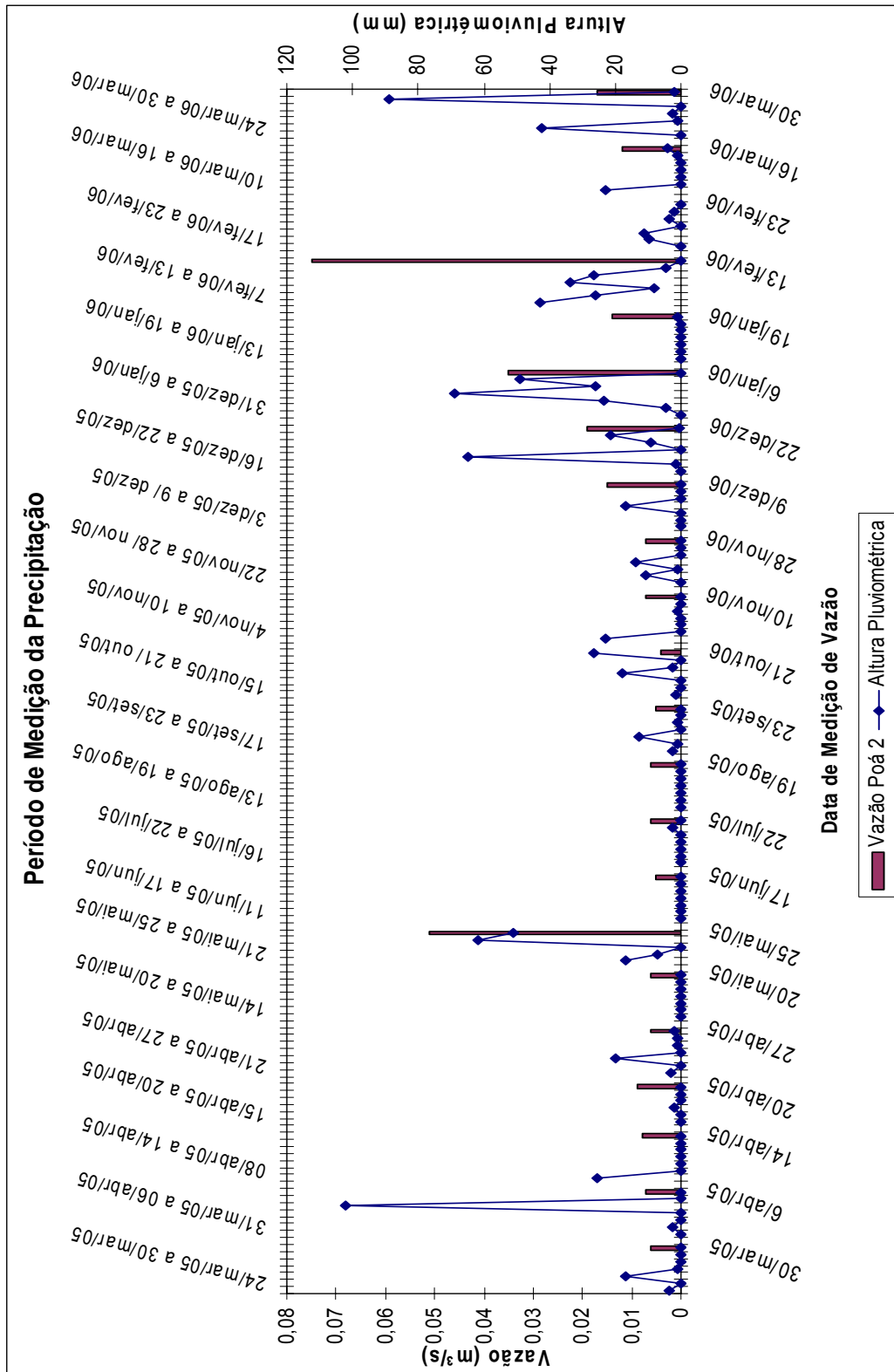


Figura 44: Correlação entre vazão e precipitação do ponto Poá 2– Bacia do córrego Poá.

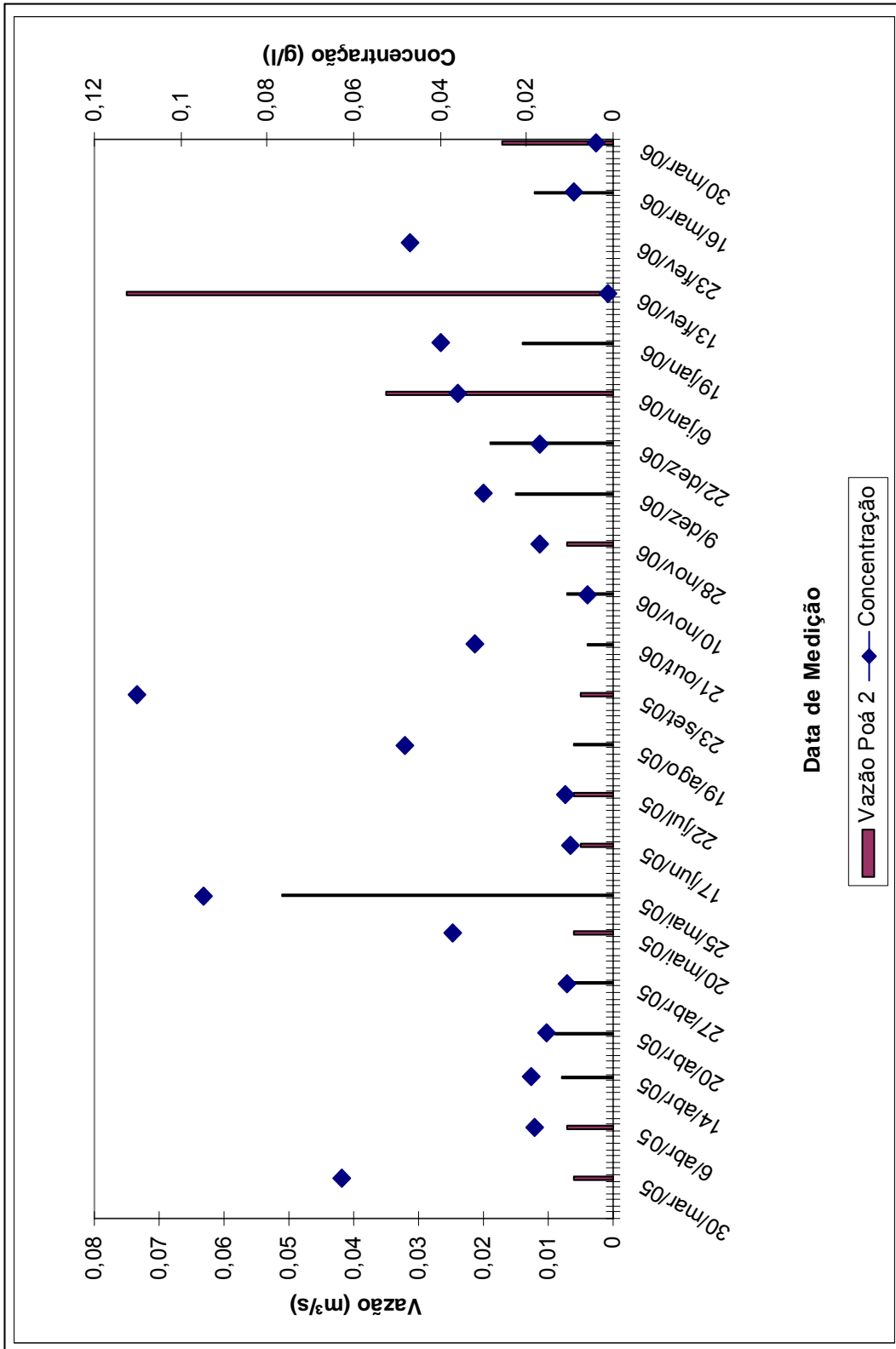


Figura 45: Correlação entre vazão e concentração do ponto Poá 2 – Bacia do córrego Poá.

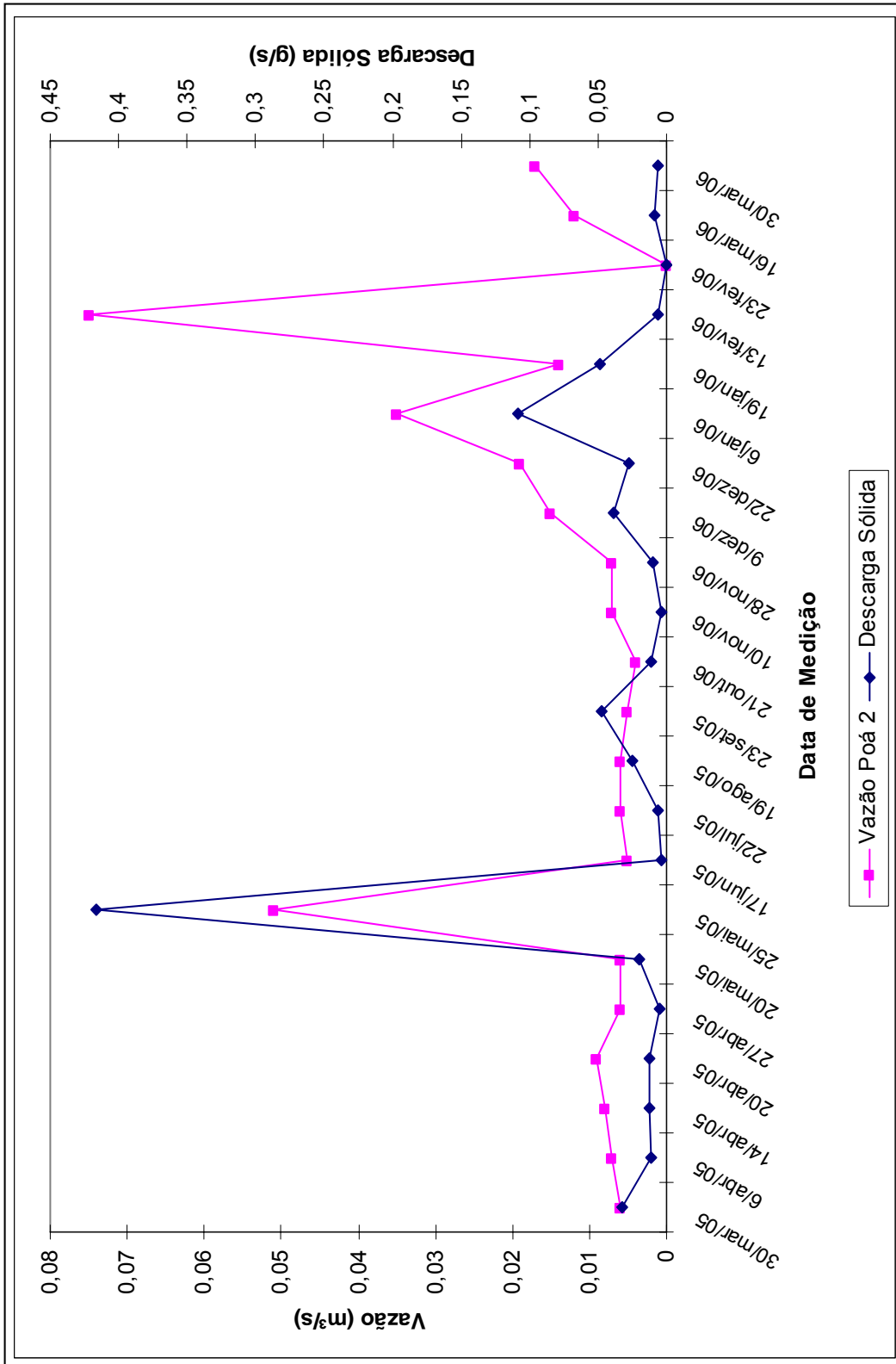


Figura 46: Correlação entre vazão e descarga sólida do ponto Poá 2– Bacia do córrego Poá.

3.4 Escala de Análise: Terceiro nível, Poá 3

Em contexto diferenciado, a sub-bacia do Poá 3 corresponde ao afluente da margem direita do córrego Poá, localizado também em trecho a montante do piscinão Portuguesinha, situado ao longo da Rodovia Regis Bittencourt km 323. Ocorrem na área migmatitos e micaxistos que sustentam o relevo de colinas médias e morrotes com declividades entre 12 e 20% e predominantemente entre 20 e 30% (Figura 47).

Também foram utilizadas as fotografias aéreas antes citadas para a identificação das feições geomorfológicas. As cabeceiras de drenagem da bacia apresentam vertentes côncavas, enquanto as formas convexas são observadas no terço médio e inferior da vertente. O vale fluvial é mais encaixado no trecho a montante e alarga-se a partir do trecho médio do canal. Dos indicadores da dinâmica das vertentes destacam-se erosões dos tipos sulco e ravina em vertentes com superfície em exposição, localizados a partir do trecho jusante do vale fluvial.

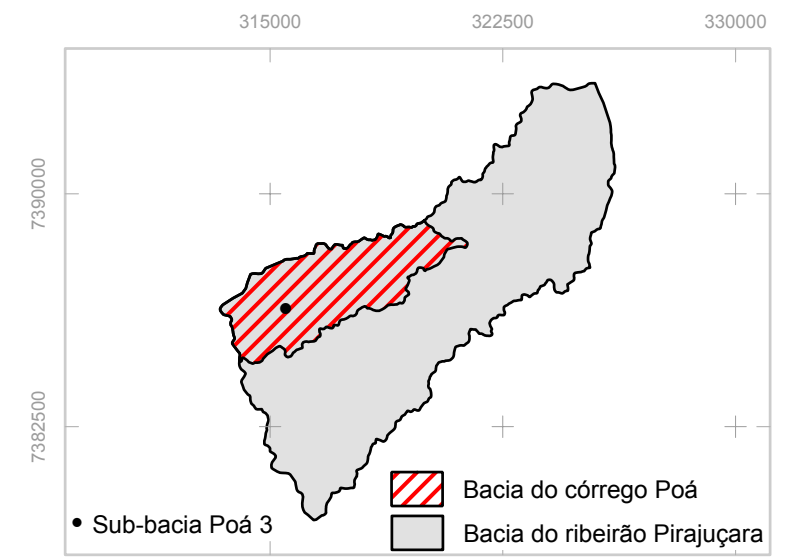
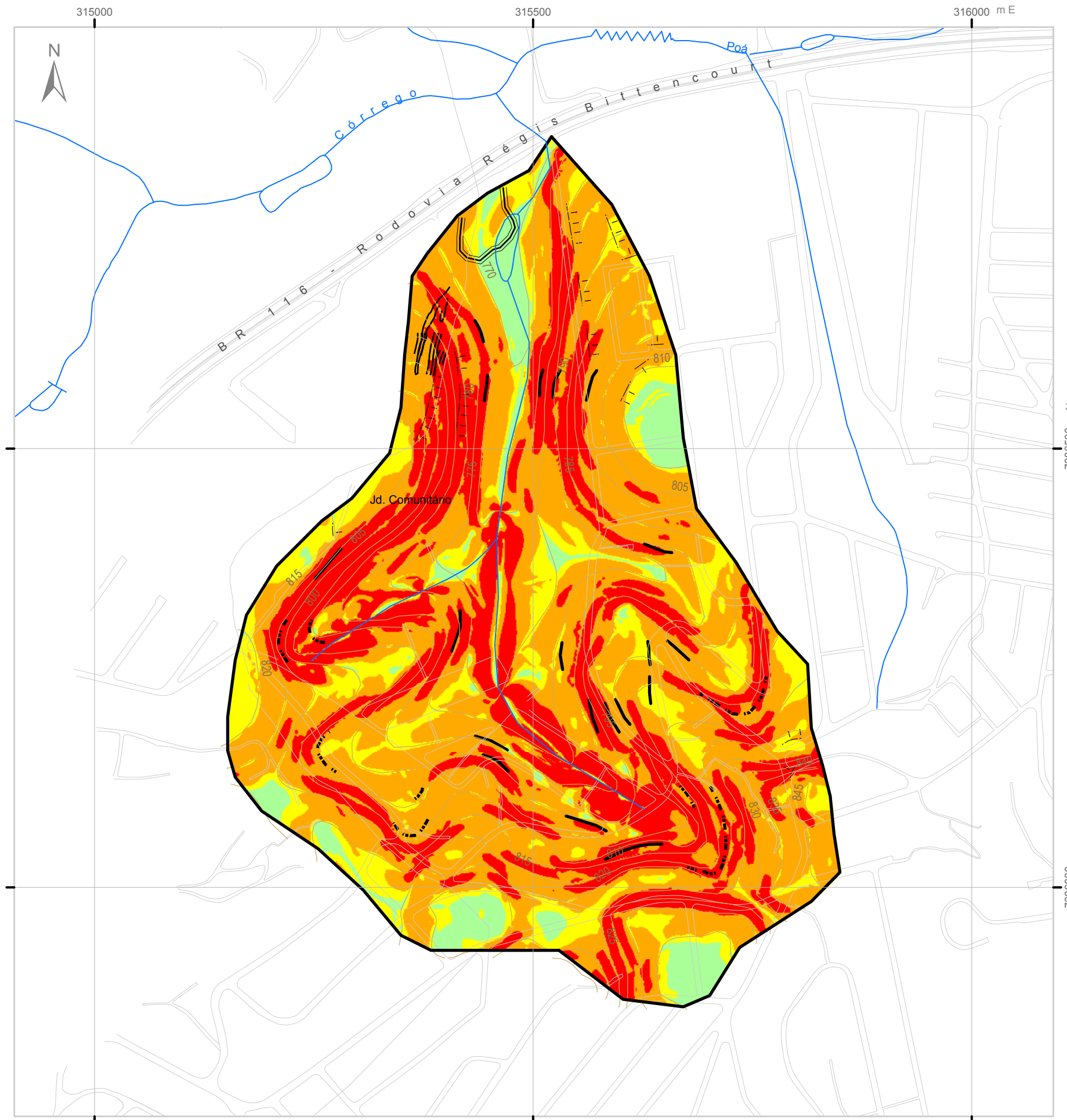
De acordo com o uso e ocupação do solo ou indicadores das intervenções antropogênicas (Tabela 11, Figura 48), observa-se que, dos 0,42 km² da área da bacia, a área urbana consolidada, adensada, com moradias de baixo a médio padrão construtivo corresponde a 0,1km² (24,66%), abrangendo os bairros da Vila Indiana e parcialmente o Jardim Comunitário (Foto 45). O restante da área do Jardim Comunitário é caracterizado por área urbana em consolidação muito adensada e com moradias de baixo padrão construtivo ocupando 0,14km² (33,13%). O acesso à área se faz por via de asfalto; porém, para percorrer o interior da área, o acesso é feito por vielas. Apesar da dificuldade de interpretação das fotografias aéreas, embora seja uma escala de resolução de detalhes, não é possível cartografar grande número de cortes dos taludes que potencializam a ação dos indicadores dos processos de vertente (movimentos de massa/ escorregamentos). Outro setor do Jardim Comunitário corresponde à área urbana em consolidação e muito adensada, sem infra-estrutura, com moradias muito precárias ocupando 0,07 km²(17,9%) da área (Foto 46); todo acesso à área é feito por vias sem pavimentação e constitui um dos trechos mais críticos da bacia em relação à exposição da superfície. Os campos que ocorrem à jusante da bacia ocupam 0,05km² (11,25%) da área total. Foram ainda

identificadas algumas áreas com superfície de solo em exposição (0,03km²), que correspondem a 6,66%.

Essa sub-bacia representa qual das 3 coisas um dos cenários mais críticos de toda a bacia do córrego Poá. A ausência de infra-estrutura urbana é um dos agravantes da degradação do solo e da água. O longo período em que as superfícies em exposição e os terrenos das moradias ficam sujeitos à ação dos eventos pluviométricos, favorece e acentua as condições de produção de sedimentos na bacia.

Tabela 11: Categorias de uso e ocupação do solo/intervenções antropogênicas da sub-bacia Poá 3.

Categoria de uso	km²	%
Cobertura Vegetal (mata)	0,02	4,95
Cobertura Vegetal degradada (mata degradada)	0,01	1,45
Campo (gramínea)	0,05	11,25
Cultura Temporária	-	-
Chácaras de Lazer	-	-
Área urbana consolidada	0,10	24,66
Área urbana em consolidação		
Área urbana em consolidação muito adensada (acesso por via de asfalto)	0,14	33,13
Área urbana em consolidação muito adensada (acesso por via sem pavimentação)	0,07	17,90
Área parcelada (com cobertura vegetal)	-	-
Área parcelada (sem cobertura vegetal)	-	-
Superfície em exposição	0,03	6,66
Área Total	0,42	100



Localização da sub-bacia Poá 3

Legenda

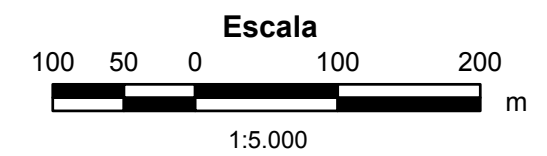
- Limite de bacia
- Curso d'água
- Curva de nível
- Sistema viário principal

Feições geomorfológicas

- Sulco
- Feição erosiva (ravina)
- Vertente côncava
- Bota-fora
- Feição erosiva (corte)
- Vertente convexa

Classes de declividade

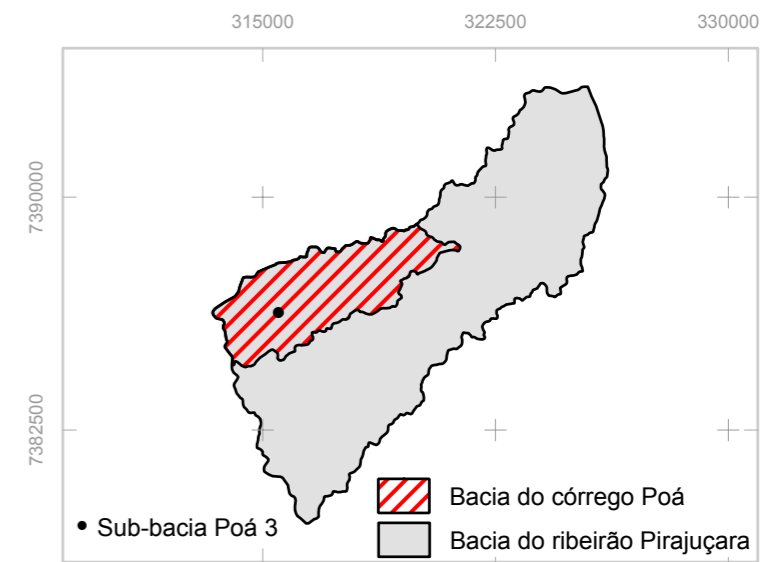
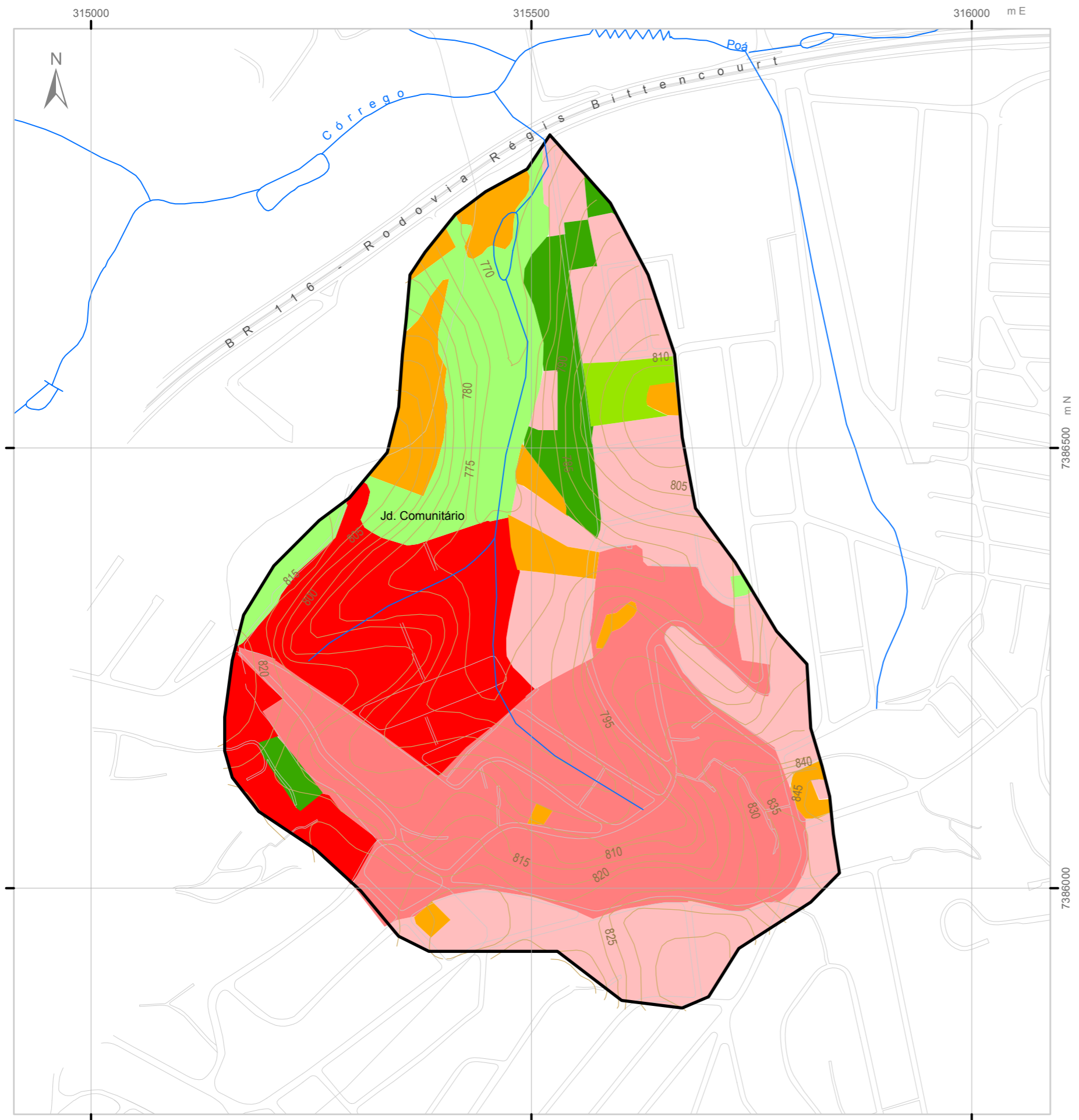
- < 6% (< 3°)
- 6% - 12% (3° - 7°)
- 12% - 20% (7° - 11°)
- 20% - 30% (11° - 17°)
- > 30% (> 17°)



Fonte: SEMUDUH - Prefeitura do Município de Taboão da Serra. 1:5.000 (fev/2004)

Organização: CANIL, 2006.

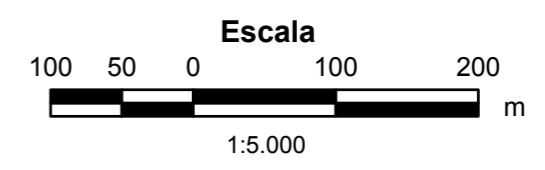
Figura 47 - Mapa clinográfico e feições geomorfológicas da sub-bacia Poá 3.



Localização da sub-bacia Poá 3

Legenda

- Limite de bacia
- Curso d'água
- Curva de nível
- Sistema viário principal
- Cobertura vegetal (mata)
- Cobertura vegetal (mata degradada)
- Campo
- Superfície em exposição
- Área urbana em consolidação (1)
- Área urbana em consolidação (2)
- Área urbana consolidada (3)



Fonte: SEMUDUH - Prefeitura do Município de Taboão da Serra. 1:5.000 (fev/2004)

Organização: CANIL, 2006.

Figura 48 - Mapa de uso e ocupação do solo da sub-bacia Poá 3.



Canil,out/2005

Foto 45: Vista da área urbana consolidada, adensada, com moradias de baixo a médio padrão construtivo (município de Taboão da Serra).



Canil,ago/2006

Foto 46: Vista da área urbana em consolidação e muito adensada, sem infraestrutura, com moradias muito precárias (município de Taboão da Serra).

3.4.1 Análise comparativa entre valores de precipitação, vazão, concentração e descarga sólida

A análise das relações entre pluviometria, vazão, concentração e descarga sólida contou também com o método adotado para as bacias descritas anteriormente. Considerando a adoção do posto pluviométrico do Campo Limpo – situado distante da área de medição, mas o único disponível –, a dificuldade para fazer a leitura das correlações entre os dados limita sua análise objetiva.

O perfil do canal onde a amostragem foi realizada está representado na Figura 49. A Tabela 12 apresenta a síntese da coleta de dados (chuva e vazão) e os resultados obtidos em laboratório (concentração e descarga sólida) para o período, também compreendido entre 30/03/2005 e 30/03/2006, executado nas mesmas condições de que para as bacias anteriores.

Ao analisar esses dados à luz das características dos indicadores de intervenções antropogênicas, e considerando que o predomínio das categorias de uso e ocupação do solo configuram áreas de baixo padrão construtivo muito adensadas, em consolidação e sem cobertura vegetal, o cenário que se tem é favorável para a atuação dos processos morfogenéticos. Há uma condição que favorece o escoamento superficial, promovendo a desagregação e a remoção dos materiais superficiais para os cursos d'água; além disso, a ausência de infraestrutura

urbana e falta de saneamento básico levam ao lançamento direto de dejetos e esgoto doméstico para os canais fluviais.

Neste sentido, tais intervenções alteram o equilíbrio dinâmico da superfície e influenciam fortemente nos resultados das análises das correlações entre chuva, vazão, concentração e descarga sólida e sua compreensão é muito mais complexa.

Pela Figura 50 observa-se que o aumento da vazão dá-se nas condições onde as alturas pluviométricas obtidas no intervalo de uma semana anterior à data de medição também são elevadas, e principalmente quando foram registrados eventos extremos. No caso em que os valores pluviométricos são baixos e as vazões são mais elevadas podem-se ter duas hipóteses: a chuva pode ter ocorrido somente na área da sub-bacia e não ter sido registrada no posto adotado para a correlação dos dados e, no outro caso e/ou pode ter ocorrido lançamento de água direto na superfície provocado por rompimento de tubulações do sistema de água, perfuração de poços, etc.

Da mesma forma, essa leitura é válida para as correlações entre os dados de concentração e descarga sólida (Figuras 51 e 52). Se houver aumento desses indicadores, sem alteração de chuva e/ou vazão é porque houve algum tipo de intervenção antropogênica bastante significativa na superfície, o que não é de se surpreender por conta da própria dinâmica de uso e ocupação do solo na bacia.

De qualquer modo, entende-se que em bacias pequenas e fortemente antropizadas, mas com alto grau de exposição da superfície os valores de concentração e descarga sólida são elevados e colaboram para o aumento significativo da produção de sedimentos.

FICHA DE CAMPO: MEDIÇÃO DE VAZÃO E COLETA DE SEDIMENTOS										
BACIA Ribeirão Pirajuçara		RIO Afluente do Córrego Poá		LOCAL Motel Morumbi			COORDENADAS 315.492 m E 7.386.764 m N			
PONTO DE AMOSTRAGEM: <i>POA 3</i>				TIPO DE MEDIÇÃO: A vau			LARGURA DO RIO: 0.60 m			
MOLINETE: VALEPORT				TEMPO: 120 s			LOCAL DE INÍCIO: Centro			

VERT.	DIST. AMOSTRADA (m)	PROF (m)	POSIÇÃO MOLINETE (m)	VELOC. (m/s)	VELOC. MÉDIA (m/s)	VAZÃO LOCAL (m³/s)	VAZÃO TOTAL (m³/s)	CONCENTRAÇÃO (g/l)	DESCARGA SÓLIDA (g/s)	IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA

PERFIL APROXIMADO

Vista para montante do Poá 3.	Medição da vazão e coleta de sedimentos no Poá 3.
OBSERVAÇÕES:	

Figura 49: Ficha de campo para medição de vazão e coleta de sedimentos do afluente do córrego Poá (Ponto Poá 3).

Tabela 12: Síntese da coleta de dados (chuva, vazão e sedimentos em suspensão) e os resultados obtidos em laboratório do Ponto Poá (Período 30/03/2005 a 30/03/2006).

Data de Coleta das Amostras	Período de Medição da Precipitação *	Precipitação Total (mm)	Vazão (m³/s)	Concentração (g/l)	Descarga Sólida (g/s)	Identificação da Amostra
30/mar/05	23/mar/05 a 29/mar/05	28.4	0.051	0.1060	0.4671	POA 3.04-01
06/abr/05	30/mar/05 a 05/abr/05	104.8	0.068	0.0741	0.4354	POA 3.05-01
14/abr/05	07/abr/05 a 13/abr/05	25.6	0.055	0.1040	0.4942	POA 3.06-01
20/abr/05	13/abr/05 a 19/abr/05	2.1	0.036	0.1010	0.3142	POA 3.07-01
27/abr/05	20/abr/05 a 26/abr/05	25.4	0.042	0.6660	0.2395	POA 3.08-01
20/mai/05	13/mai/05 a 19/mai/05	0	0.053	0.1678	0.7684	POA 3.09-01
25/mai/05	18/mai/05 a 24/mai/05	86.2	0.066	0.0647	0.3689	POA 3.10-01
17/jun/05	10/jun/05 a 16/jun/05	0	0.044	0.0840	0.3193	POA 3.11-01
22/jul/05	15/jul/05 a 21/jul/05	2.8	0.019	0.0760	0.1248	POA 3.12-01
19/ago/05	12/ago/05 a 18/ago/05	0	0.061	0.1460	0.7695	POA 3.13-01
23/set/05	17/set/05 a 23/set/05	17.3	0.048	0.0220	0.0912	POA 3.14-01
21/out/05	14/out/05 a 20/out/05	27.6	0.049	**	**	POA 3.15-01
10/nov/05	03/nov/05 a 09/nov/05	23.6	0.073	0.0040	0.0252	POA 3.16-01
28/nov/05	22/nov/05 a 27/nov/05	25.4	0.090	0.0210	0.1633	POA 3.17-01
09/dez/05	03/dez/05 a 09/dez/05	16.8	0.071	0.0220	0.135	POA 3.18-01
22/dez/05	16/dez/05 a 22/dez/05	97	0.131	0.0070	0.0792	POA 3.19-01
06/jan/06	31/dez/05 a 06/jan/06	171.8	0.062	0.0005	0.0268	POA 3.20-01
19/jan/06	13/jan/06 a 19/jan/06	1.1	0.036	0.0040	0.0124	POA 3.21-01
13/fev/06	07/fev/06 a 13/fev/06	142.1	0.081	0.0000	0.0000	POA 3.22-01
23/fev/06	17/fev/06 a 23/fev/06	26.4	0.136	0.0140	0.1645	POA 3.23-01
16/mar/06	10/mar/06 a 16/mar/06	28.4	0.085	0.0720	0.5288	POA 3.24-01
30/mar/06	24/mar/06 a 30/mar/06	136.8	0.063	0.0820	0.4463	POA 3.25-01

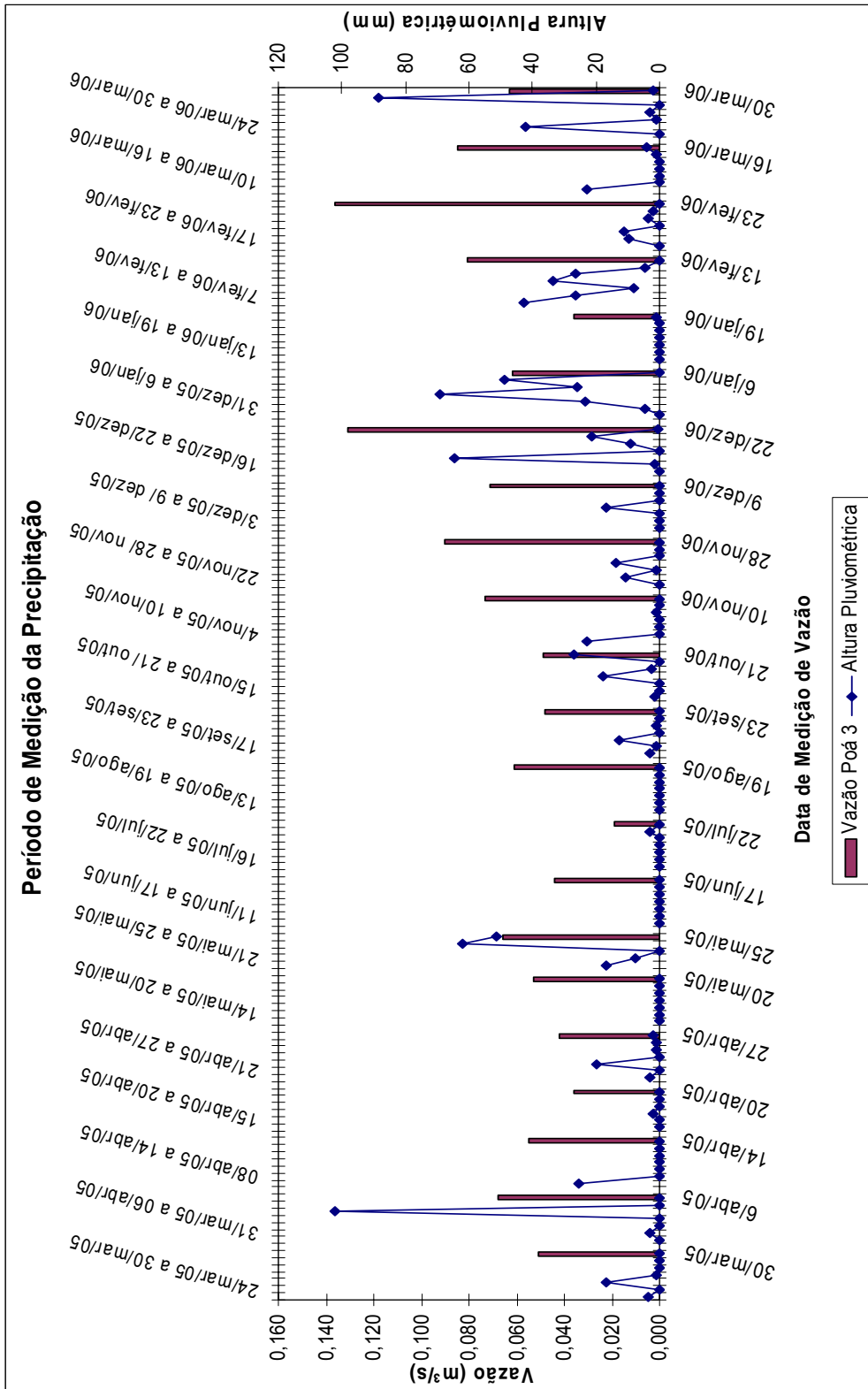


Figura 50: Correlação entre vazão e precipitação do ponto Poá 3– Bacia do córrego Poá.

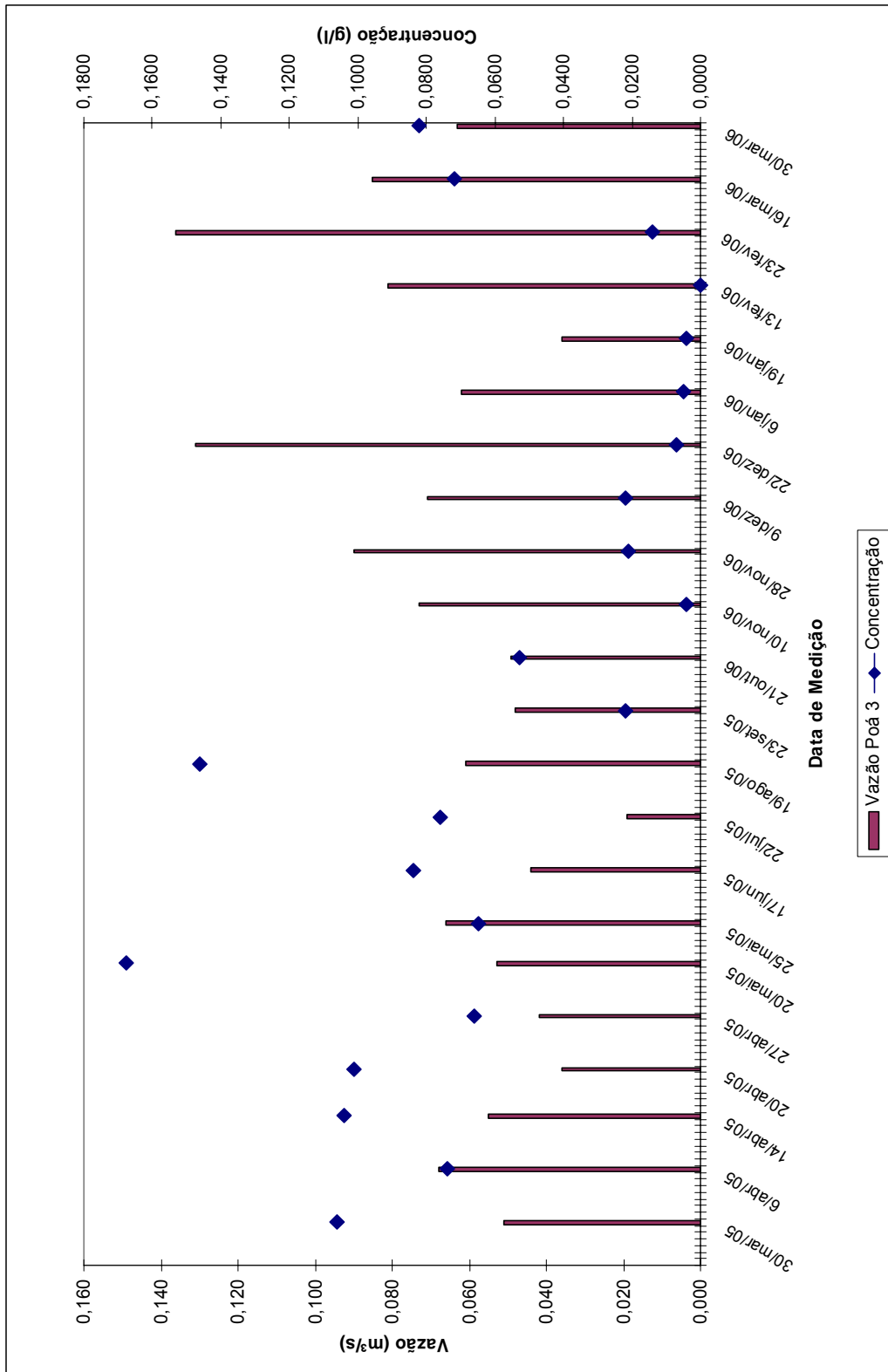


Figura 51: Correlação entre vazão e concentração do ponto Poá 3 – Bacia do córrego Poá.

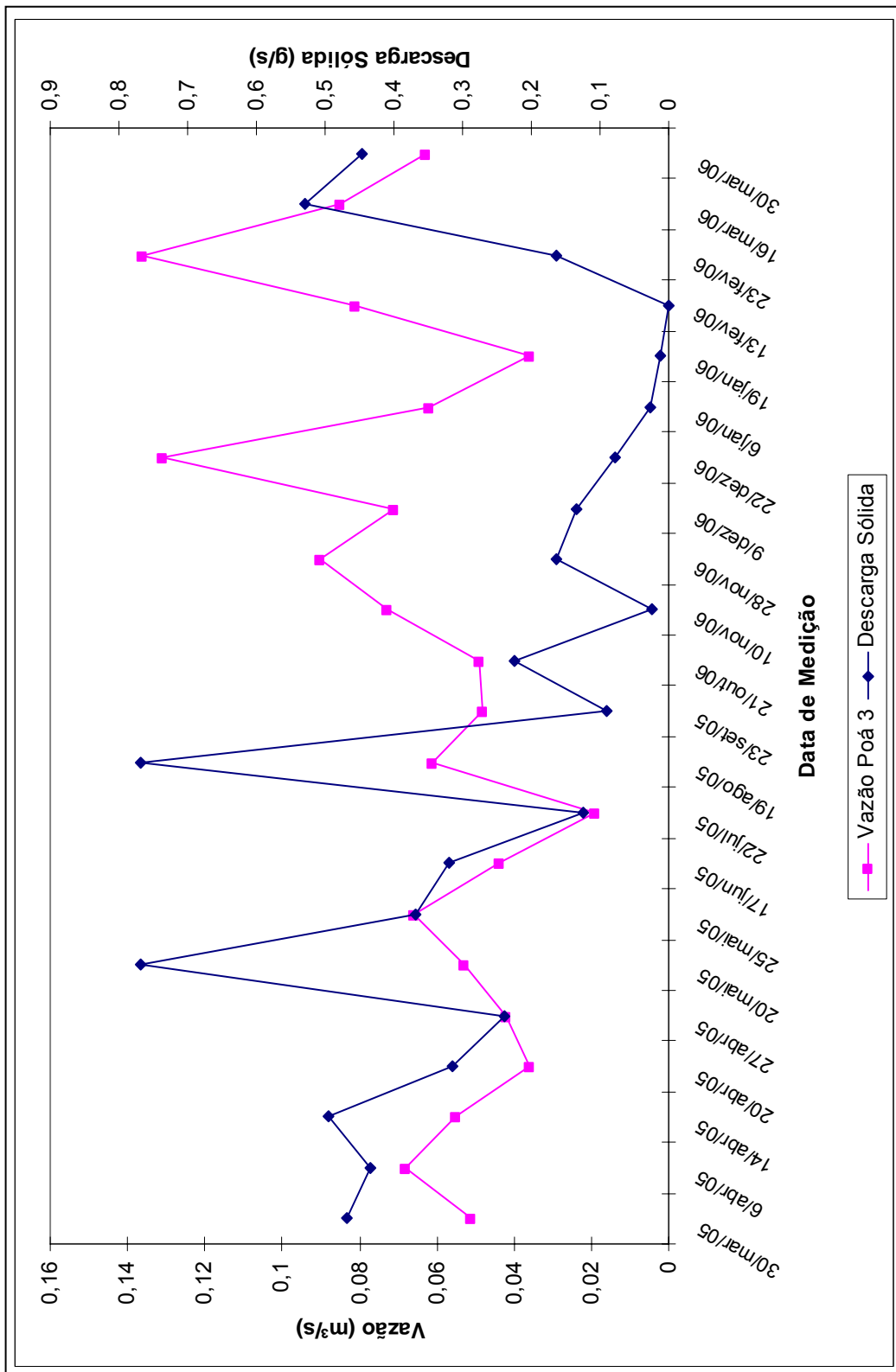


Figura 52: Correlação entre vazão e descarga sólida do ponto Poá 3– Bacia do córrego Poá.

CAPÍTULO 4

PROPOSTA DE INDICADORES PARA O MONITORAMENTO DOS PROCESSOS MORFODINÂMICOS NA BACIA DO RIBEIRÃO PIRAJUÇARA

A abordagem, apresentada no capítulo 2, constitui a base para a formulação e sistematização dos indicadores para o monitoramento dos processos morfodinâmicos (das áreas de produção de sedimentos e dos processos de erosão, transporte, assoreamento e inundação), aplicados à bacia do ribeirão Pirajuçara em diversas escalas de análise (ANEXO 1).

Para caracterizar cada indicador seguiu-se o modelo de questões proposto pelo COGEOENVIRONMENT (1995), adaptado para este trabalho conforme os conceitos desenvolvidos por TRICART (1968, 1977), sobre morfodinâmica (relações entre processos pedogenéticos e morfogenéticos), aos que foram somados os resultados dessa pesquisa obtidos com base no do método (COGEOENVIRONMENT op.cit) aplicado à bacia do ribeirão Pirajuçara, conforme apresentados nos capítulos anteriores.

Considerando os diversos níveis de análise envolvidos, optou-se para a análise dessa dinâmica, pela simples escolha de indicadores tendo em vista que o termo geoindicadores aplica-se especificamente aos processos de natureza física/abiótica do que aos de origem antropogênica (BERGER, 1996). Com base nessa consideração, os indicadores foram classificados em quatro categorias que correspondem a:

- a) Situação de equilíbrio;
- b) Intervenções antropogênicas;
- c) Dinâmica das vertentes; e
- d) Dinâmica fluvial.

Para cada uma dessas categorias foram selecionados os indicadores que, ao longo da pesquisa, mais contribuíram, à compreensão da dinâmica dos processos morfodinâmicos (erosão, transporte e acumulação nas vertentes e fundos de vale e inundação nas planícies fluviais) sempre levando em conta a aplicação do estudo da bacia do ribeirão Pirajucara.

O indicador da *situação de equilíbrio* é a cobertura vegetal e significa que a área em análise ainda se mantém sob ou próximas das condições naturais ou seja inalterada.

As *intervenções antropogênicas* se referem aos tipos de uso e ocupação do solo, ou seja à forma de ocupação da superfície pelas atividades humanas. Caracterizam-se como áreas de produção de sedimentos que foram classificadas como: área desmatada, campos, culturas temporárias, superfície em exposição, área de mineração, área de empréstimo, movimento de terra, área parcelada, assentamento urbano precário sem infra-estrutura muito adensado, assentamento urbano precário sem infra-estrutura pouco adensado, bota-fora, área de disposição de resíduos (aterro), área urbanizada (inclui infra-estrutura, áreas institucionais e equipamentos urbanos).

Os processos morfodinâmicos decorrem, na área da pesquisa, da interação entre a circulação da água superficial e subsuperficial e os materiais da superfície sólida (solos e rochas), e da qual resultam, por uma parte, os movimentos gravitacionais de massa (escorregamentos) e, por outra, a erosão hídrica (sulcos, ravinas e bocorocas), que, junto com a forma da bacia de drenagem correspondem aos indicadores da *dinâmica das vertentes*. No que se refere à *dinâmica fluvial*, os indicadores relevantes são: a planície fluvial, a morfologia do canal, o escoamento, o solapamento de margens fluviais, o assoreamento e a inundação.

Para cada um desses indicadores foram selecionados os parâmetros de registro com o objetivo de verificar a efetividade de cada indicador na análise dos processos erosão-transporte-acumulação-inundação e estão apresentados a seguir:

- a) Descrição: qual o estado atual do indicador e como se caracteriza na paisagem;
- b) Materiais e técnicas de levantamento e monitoramento: quais os levantamentos de campo, quais as fontes para obtenção dos materiais, incluindo referências bibliográficas, documentação cartográfica, etc. são utilizados para sua descrição e interpretação; bem como as técnicas de amostragem de campo, medições e ensaios laboratoriais;

- c) Significado geodinâmico: a descrição do estado do indicador, permite inferir ou deduzir se a situação é de equilíbrio ou desequilíbrio entre morfogênese e pedogênese;
- d) Escala de representação cartográfica: qual/ quais a(s) escala(s) adequadas ao monitoramento do indicador;
- e) Limitação para obtenção de dados e de realização do monitoramento: quais as dificuldades na aquisição de documentação bibliográfica, cartográfica, amostragem de campo, análises laboratoriais. Ressaltam-se as variações temporais e espaciais que dificultam tanto o diagnóstico quanto o prognóstico;
- f) Políticas públicas e instrumentos de gestão do uso e ocupação do solo e dos recursos hídricos: qual/quais os instrumentos legais existentes que contemplam essa questão e/ou políticas públicas em que tais indicadores poderiam ser incluídos; importante no gerenciamento da bacia hidrográfica;
- g) Lacunas do conhecimento científico/aplicado: o que é necessário para melhorar a utilização desses indicadores no monitoramento dos processos morfodinâmicos tanto no campo dos recursos humanos quanto tecnológicos.

Em relação às questões aplicações ao passado e ao futuro, e quanto aos possíveis valores de referência de cada indicador, também propostas pelo COGEOENVIRONMENT (1995), mas que não foram consideradas como parâmetros dos indicadores aplicados à bacia do ribeirão Pirajuçara, tece-se o seguinte comentário: na aplicação dos indicadores para a análise do passado e do futuro, considera-se que os indicadores atendem à avaliação de mudanças no período de cem anos ou menos, enquanto os indicadores propostos nesta pesquisa correspondem a mudanças observadas em períodos curtos, até inferiores à dez anos, portanto não haveria condições da aplicação ser realizada. O diagnóstico apresentado neste trabalho já reflete o atual estágio de degradação da bacia por processos erosivos, de acumulação (assoreamento) e inundação. A dinâmica dos indicadores de intervenções antropogênicas mostra que a evolução das transformações na bacia ocorre em escala temporal de curto período, tendendo

cada vez mais à ocorrências críticas (aumento da magnitude e frequência dos processos morfodinâmicos), caso medidas de prevenção e controle do aporte de sedimentos para os cursos d'água não sejam adotadas e implementadas. O diagnóstico e o prognóstico requerem a compreensão dos indicadores, bem como a adoção das melhores práticas para seu monitoramento.

Quanto aos possíveis valores de referência, isto é, a partir de quais valores limites haverá mudanças bruscas no ambiente ou ameaças à saúde humana e à biodiversidade, os dados levantados e interpretados para a bacia do ribeirão Pirajuçara mostram-se adequados para sustentar a proposta dos indicadores aqui apresentada. Porém proporciona a caracterização do nível de degradação da bacia, de forma mais qualitativa do que quantitativa, justamente pela falta de equipamentos de medições para o monitoramento de alguns dos indicadores propostos. Por outro lado, seria necessário um período de tempo mais longo e com documentação cartográfica, instrumentação, recursos financeiros e mão de obra qualificada, para equacionar de forma mais precisa o papel desses indicadores, seja nas mudanças da superfície e nos fundos de vales/canais fluviais contribuindo para o conhecimento preciso da magnitude e frequência dos processos, seja para avaliar a efetividade das obras realizadas para o controle dos processos morfodinâmicos, tais como proteção das superfícies expostas (vertentes e margens fluviais) e, construção de piscinões, entre outras.

A sistematização dos indicadores em forma de tabela, resultante de toda a pesquisa realizada na bacia do ribeirão Pirajuçara (Anexo 1) constitui um roteiro básico que pode ser aplicado a outras bacias hidrográficas em ambientes urbanos e/ou adaptado às áreas rurais.

4.1 A importância/efetividade dos indicadores no gerenciamento dos processos erosão-transporte-acumulação na bacia do Ribeirão Pirajuçara

As reflexões a partir dos produtos e resultados alcançados tiveram como base inicial o mapa de áreas de produção de sedimentos (Figura 8, Capítulo 2), (IPT, 2004), que indentifica as áreas críticas quanto à produção de sedimentos na bacia do ribeirão Pirajuçara, bem como algumas categorias de uso e ocupação do solo (aqui denominadas de intervenções antropogênicas). Esse produto teve como

principal objetivo apontar as áreas prioritárias para a implementação de medidas de intervenção para o controle dos processos erosivos na bacia. Além disso foram descritas as principais tipologias de intervenção para cada área crítica (DAEE, 1990; ALMEIDA FILHO, 1997). Constituiu documento de referência fundamental e ponto de partida para a elaboração dessa pesquisa, pois lançou o desafio de buscar formular e sistematizar de maneira organizada uma lista de indicadores que orientasse a formulação de um plano de gerenciamento e monitoramento dos processos atuantes na bacia do ribeirão Pirajuçara, como demonstração do avanço científico/teórico na leitura dos problemas identificados.

Os indicadores podem, portanto orientar o gerenciamento de um número de variáveis a ser identificadas, bem como podem ser peças chaves na compreensão das causas das mudanças naturais e ou antrópicas nos sistemas que estão em análise. São também adequados aos programas de monitoramento em escalas de curto período de tempo e também em longo prazo, isto é, relevantes para o planejamento e gerenciamento do meio ambiente.

A sistematização dos indicadores conforme apresentado auxilia a identificação e compreensão das relações entre erosão – transporte – acumulação – inundação. Utilizando a tabela proposta para a bacia do ribeirão Pirajuçara, tem-se um produto adequado para o gerenciamento desses processos na bacia, podendo também ser criados modelos com base no sistema de informação geográfica (SIG), ferramenta importante para elaboração e gestão de banco de dados, além de facilitar a divulgação destes para os gestores públicos e usuários em geral.

No recorte espacial da bacia estão apresentados os tipos de uso e ocupação do solo (intervenções antropogênicas) que, em graus diferenciados, contribuem para a produção de sedimentos e formação de depósitos tecnogênicos (PELOGGIA, 1988; OLIVEIRA, 1994). No entanto, são informações de período determinado e, portanto sua aplicabilidade é limitada, uma vez que revelam apenas o estado da superfície naquele dado momento. A dificuldade em gerenciar os dados está no recorte temporal e na disponibilidade de documentação cartográfica que atenda às necessidades do monitoramento.

Se tomar como exemplo as áreas desmatadas, sabe-se que a retirada da vegetação é a primeira causa de modificações na superfície em diferentes escalas espaciais e temporais. Contudo, avaliar as mudanças nos processos morfodinâmicos a partir da degradação da cobertura vegetal não é fácil de fazer, principalmente porque os dados sobre as mudanças passadas e recentes da vegetação são compilados com base em diferentes fontes, raramente padronizadas. Avaliação semelhante pode ser feita para as áreas de superfície em exposição que apresentam variabilidade temporal e espacial difícil de monitorar. São áreas de dinâmica acelerada onde seria preciso monitoramento durante períodos muito curtos para acompanhar essas mudanças e sua influência nos processos morfodinâmicos.

Em relação aos indicadores da dinâmica das vertentes, admite-se que conhecer taxas passadas de erosão do solo sob condições de equilíbrio constitui base para o entendimento das formas e processos a jusante do canal e da vertente. Quando a superfície encontra-se perturbada, a informação de taxas de erosão, atuais e futuras servem de base para reduzir os efeitos da erosão do solo acelerada. No entanto, a erosão é um processo de distribuição e evolução irregulares e descontínuas no tempo e no espaço e com difícil previsão de situações particulares representativas. Seria necessária instrumentação adequada durante períodos prolongados para medir essas taxas, o que não foi possível durante o desenvolvimento dessa pesquisa (RENFRO, 1975; SHOUTEN & KING, 1984; CRUZ, 1985).

Em relação às escalas adotadas para a aplicação do método pode-se dizer que as mais adequadas são 1:50.000 e 1:25.000 para a elaboração de um plano de prevenção e controle dos processos estudados nas bacias do ribeirão Pirajuçara e córrego Poá. O recorte em escala maior, 1:5.000, é mais apropriado para a investigação dos indicadores, permitindo uma interpretação mais precisa dos processos morfodinâmicos e a elaboração de projetos de obras de intervenção adequadas à prevenção e controle desses processos.

A dinâmica de transporte dos materiais foi avaliada a princípio com base nas correlações entre chuva, vazão e descarga sólida. Considerando a alta densidade de drenagem da bacia do rio Pirajuçara, observa-se que há uma alta eficiência no

transporte (dados das medições) e um alto pico de descarga e os valores acentuam-se bastante quando ocorrem eventos pluviométricos de grande magnitude. Mudanças bruscas nas descargas de água e sedimento (carga sólida) em períodos curtos podem decorrer de eventos pluviométricos intensos enquanto as mudanças na seção do canal, especialmente na largura, pode indicar modificações nas características da descarga (conforme dados de observações e/ou registros). Portanto medidas da morfologia do canal podem levar indiretamente a estimativas de mudanças de descarga e/ou potencializar a ocorrência de inundações em intervalos específicos de recorrência. Daí a necessidade de monitorar a ação de eventos pluviométricos com capacidade de alterar a morfologia dos canais, bem como as obras de intervenção, como canalizações e construção de piscinões.

Apesar da construção dos cinco piscinões que estão em operação nas bacias do ribeirão Pirajuçara e o córrego Poá, que têm contribuído para o controle e minimização das inundações, sua funcionalidade está comprometida. No projeto de obra está prevista a limpeza obrigatória após chuvas de alta intensidade que carregam grandes quantidades de sedimentos e lixo para seu interior mas ocorre que não se tem acesso aos dados de limpeza e remoção do material, importantes como indicadores do monitoramento. Até porque o custo da manutenção é elevado, o material é contaminado por lançamentos de esgotos clandestinos e lixo, e é preciso obter licença junto aos órgãos estaduais para remoção e disposição em local adequado e seguro. Cabe ressaltar que o assoreamento corresponde à carga (descarga, toneladas/ano) ou produção (toneladas/km²/ano) de sedimentos (em suspensão e como carga de fundo), transportados pelos cursos d'água, e reflete a erosão do relevo produzida nos setores localizados à montante na bacia. Os sedimentos remobilizados são depositados nas partes mais baixas da bacia. As variações na produção de sedimentos refletem alterações ocasionadas pelas intervenções antropogênicas na bacia. Neste sentido, apesar dos esforços da pesquisa em coletar dados de sedimentos, não foi possível correlacionar com a quantidade de material retida nos piscinões.

Ainda em relação aos dados de chuvas, apesar da precariedade de postos pluviométricos instalados na região da bacia, as informações de aproximação de

chuvas de alta intensidade que podem provocar inundações na área da bacia devem, de alguma maneira ser transmitidas aos moradores da bacia com certa antecedência para que medidas de sistemas de alerta sejam tomadas. Como é o caso do Sr. Djalma, morador na bacia, que ao ser informado pelo Centro de Gerenciamento de Emergências - CGE (da Prefeitura de São Paulo) da possibilidade de chuva forte, coloca em operação uma sirene que alerta os moradores do seu bairro. Um sistema de baixo custo, mas que tem sua funcionalidade.

Por último, uma questão importante refere-se ao papel da legislação e as políticas públicas no tratamento dos indicadores dos processos erosão – transporte – acumulação – inundação. Existem várias leis que abordam o tema de modo superficial e assim torna-se difícil a efetividade na prevenção e controle desses processos (JUNGSTEDT, 1999; MMA, 2004a, 2004b). Embora se tenha conseguido alguns avanços por meio de leis municipais, há uma longa distância entre o previsto e o executado. Ainda é preciso dar maior ênfase e sensibilizar os gestores públicos na validade de um velho ditado: prevenir é melhor do que remediar, que para a ação política significa muito mais uma mudança de paradigma na gestão dos problemas ambientais.

4.2 Leitura dos Indicadores para o contexto das Bacias do Pirajuçara (São Paulo, Brasil) e *Black Creek* (Toronto, Canadá)

A semelhança de outros exemplos de gestão de bacias hidrográficas em diversas partes do mundo, observa-se que os indicadores utilizados para a leitura dos problemas antes analisados têm muito em comum. Com certeza nem sempre sistematizados da mesma maneira, mas o que importa é como são aplicados e monitorados de forma a melhorar a qualidade da gestão dos processos ora em discussão.

A seleção da bacia do rio Black Creek no Canadá para fazer o cotejo com a bacia do ribeirão Pirajuçara foi motivada pela experiência de participação, nos últimos quatro meses da fase de conclusão da tese, em um projeto de intercâmbio chamado Bacias Irmãs, fruto de parceria entre a Universidade de São Paulo e a

Universidade de York em Toronto, que tem como objetivo principal a participação da sociedade na gestão compartilhada dos recursos hídricos.

No entanto ao tomar conhecimento do contexto global da bacia do *Black Creek* (WAHL, 2002, TRCA, 2006) observou-se que, além dos problemas ambientais gerados por lixo e poluição do manancial, a erosão fluvial e a inundação também causam impactos na bacia. Assim, buscou-se investigar quais são os indicadores utilizados na leitura desses processos e quais as medidas de gerenciamento adotadas no controle da erosão e inundação que têm surtido resultados positivos nas perspectivas de recuperação ambiental da bacia.

A bacia do rio *Black Creek* tem uma área de 66 km² (semelhante à área do ribeirão Pirajuçara). Este é um dos afluentes do rio Humber que drena para o Lago Ontario. Comparando a bacia do *Black Creek* e a bacia do ribeirão Pirajuçara, observa-se que ambas estão situadas em ambiente urbano, fazem parte de dois e três municípios respectivamente e enfrentam o problema de erosão e inundação. No entanto, se encontram em contexto geológico-geomorfológico, bem como social e econômico e de gerenciamento muito distintos. Neste sentido, o objetivo aqui é atentar para a leitura dos indicadores que caracterizam os processos na bacia do *Black Creek* e destacar os exemplos positivos para a prevenção e controle dos processos erosivos e das inundações.

Iniciando pela leitura do indicador da situação de equilíbrio, nota-se que na bacia do ribeirão Pirajuçara existe apenas uma área significativa de cobertura vegetal, situada no município de Taboão da Serra, enquanto na bacia do *Black Creek* existe um número maior dessas áreas em diversos trechos da bacia.

Em relação aos indicadores de intervenções antropogênicas pode-se destacar os tipos de ocupação nas cabeceiras das duas bacias hidrográficas: enquanto na bacia do *Black Creek*, verificam-se loteamentos de alto padrão com infra-estrutura, aumentando a superfície de área impermeabilizada e contribuindo conseqüentemente para o aumento do escoamento superficial concentrado, por outro lado, nas cabeceiras do ribeirão Pirajuçara, predominam assentamentos urbanos precários que, além do seu adensamento, caracterizam o aumento da superfície impermeabilizada, também pela falta de infra-estrutura e constituem-se

em significativas áreas de produção de sedimentos. Neste caso, não só são responsáveis pelo aumento do escoamento superficial como também pela contribuição de sedimentos para os canais fluviais (Fotos 47 e 48).



Canil, 2005

Foto 47: Tipo de ocupação predominante nas cabeceiras do ribeirão Pirajuçara, São Paulo, Brasil



Guintoli, 2006

Foto 48: Tipo de ocupação predominante nas cabeceiras do *Black Creek*, Toronto, Canadá.

Em relação aos indicadores dos processos de vertentes, na bacia do *Black Creek* não ocorrem processos de movimentos de massa e erosão hídrica, porque constitui uma área plana, de baixa declividade. É uma superfície que foi modelada sobre sedimentos depositados pelas geleiras há aproximadamente 14.000 anos. O material que sustenta a superfície é siltoso, de cor cinza e muito fino, e sobre ele se originaram os vales com perfis côncavos em cujo fundo a água escavou os cursos d'água, como o *Black Creek* dentre outros rios da região.

Diferentemente, na bacia do ribeirão Pirajuçara ocorrem feições erosivas lineares em superfícies expostas e de declividade abaixo de 20% e escorregamentos em taludes de corte e aterro em superfícies com declividade acima de 20%. Ou seja, o potencial para produção de sedimentos nesta bacia é extremamente elevado e conseqüentemente há tendência de acumulação dos sedimentos nos fundos de vale, dificultando e ou obstruindo o escoamento das águas fluviais em eventos pluviométricos de alta intensidade.

Dos indicadores da dinâmica fluvial destaca-se a o solapamento de margens que ocorrem nas duas bacias e são potencializados pelo aumento da energia do

escoamento superficial que atinge os fundos de vale mais rapidamente após as fortes chuvas (Fotos 49 e 50).



Canil, 2005

Foto 49: Processo de solapamento de margem fluvial no ribeirão Pirajuçara, São Paulo, Brasil



<http://www.hazards.ca> Acesso em set.2006

Foto 50: Processo erosivo ocorrido Av. Finch, no ano de 2005. Bacia do *Black Creek*, Toronto, Canadá.

Enquanto na bacia do ribeirão Pirajuçara predominam a ocupação das margens fluviais pelas diversas intervenções antropogênicas e as obras de canalização dos fundos de vale (Fotos 51 e 52), na bacia do *Black Creek* apenas 25% da extensão do rio é canalizada e todo o restante das margens fluviais são protegidas por corredores de vegetação e parques públicos (Fotos 53 e 54).



IPT, 2005

Foto 51: Trecho do ribeirão Pirajuçara em fase de obra de canalização.



IPT, 2005

Foto 52: Ocupação ao longo das margens do ribeirão Pirajuçara.



Canil, 2004

Foto 53: Trecho canalizado da bacia do *Black Creek*, Toronto, Canadá.



Canil, 2006

Foto 54: Exemplo de parque público ao longo do *Black Creek*, Toronto, Canadá.

Parece que os problemas são muito semelhantes mas em escalas diferentes. Mesmo assim, observa-se no caso do *Black Creek* uma preocupação maior e mais efetiva na tomada de decisão. Por exemplo, há um programa para recuperação do *Black Creek* existente desde 2002, gerenciado pelo *Toronto Region Conservation Authority* (TRCA). Ao reconhecer a complexidade do problema, enfatiza a necessidade de compreender profundamente as relações entre os diversos componentes do sistema. Além disso, valoriza a prevenção das causas da degradação, isto é, reduzindo ou contendo os problemas nas áreas fonte mais do que simplesmente mitigar as causas. E é disso que depende um bom monitoramento dos indicadores estabelecidos.

CONCLUSÕES

Os resultados alcançados nesta pesquisa, apresentados nos capítulos precedentes, foram fundamentados na base teórico-conceitual dos geoindicadores e somados à experiência e aos conhecimentos adquiridos previamente no desenvolvimento de projetos aplicados inclusive na própria bacia do ribeirão Pirajuçara. É com base neles que se propõem as seguintes conclusões:

1. O trabalho desenvolvido procurou sistematizar as variáveis que auxiliam a identificação e a caracterização dos indicadores, e seu monitoramento com o objetivo de obter dados quantitativos e qualitativos. Nem todos os indicadores identificados na bacia do ribeirão Pirajuçara foram suficientemente explorados por falta de dados disponíveis devido; entre outras causas, às diferenças nas respectivas escalas temporais e espaciais que dificultaram observações e registros e, em consequência, o monitoramento e a interpretação dos dados. Essa limitação aponta a necessidade de planejamento de uma rede de informações, dados e instrumentação, adequados ao monitoramento dos processos morfodinâmicos na bacia.
2. A aplicação dos indicadores em diferentes escalas de análise também foi importante para definir, aqueles mais adequados a cada uma das escalas, de acordo com a disponibilidade de dados, os objetivos da investigação dos processos morfodinâmicos bem como da possibilidade de realização do monitoramento.
3. Quanto à hipótese da pesquisa, que considera o acúmulo de materiais provenientes das áreas de produção de sedimentos que assoreiam os cursos d'água como fator potencializador das inundações, que se somaria às chuvas de alta intensidade e à ocupação imprópria dos fundos de vales, não foi possível confirmar quantitativamente os valores de referência, devido à ausência de dados disponíveis, como, por exemplo, dados quantitativos do volume de desassoreamento dos cursos d'água e dos pisciões instalados há cerca de três anos na bacia.

4. Com base em outros indicadores, como os registros pluviométricos, de vazão e descarga sólida, observou-se que, pela correlação entre esses dados, é possível avaliar os processos morfodinâmicos. Assim, se os valores de descarga sólida são altos observa-se que, além da ação efetiva do escoamento fluvial, é significativa também a ação dos processos erosivos, das áreas de produção de sedimentos (leia-se intervenções antropogênicas) e do retrabalhamento dos materiais depositados ao longo das planícies fluviais.
5. A partir dos registros aerofotogramétricos disponíveis pôde-se também avaliar quantitativa e qualitativamente a evolução das tipologias de uso e ocupação do solo (intervenções antropogênicas), ainda que com restrições de escalas temporais e espaciais.

Conclui-se portanto, que as limitações para melhor utilização dos indicadores para monitoramento dos processos morfodinâmicos estão no recorte temporal e espacial e na disponibilidade de dados, amostragens automatizadas em tempo real, recursos humanos qualificados e apoio financeiro. Ou seja, ainda é preciso superar essas lacunas de conhecimento.

6. Perante as dificuldades a resolver, essa pesquisa pondera também algumas questões fundamentais para a utilização dos indicadores, tais como a continuidade da investigação científica e a adoção de inovações tecnológicas para obtenção de resultados que realmente contribuam para o aprimoramento do arcabouço teórico-conceitual e possam dar suporte aos projetos de caráter aplicado. A identificação e a sistematização de indicadores podem constituir insumos técnico-científicos para formulação de novas políticas públicas; nesse caso, para o gerenciamento dos processos morfodinâmicos da bacia do Ribeirão Pirajuçara.
7. Outra questão a ser resolvida é a difusão do conhecimento apreendido para exercer a interlocução entre pesquisadores e técnicos entre si e com os gestores públicos no que diz respeito ao do uso e ocupação do solo e/ou das bacias hidrográficas, para que os indicadores e o método proposto para sua

utilização sejam adotados. Acredita-se, desse modo, na melhoria das condições de monitoramento dos processos morfodinâmicos em bacias hidrográficas, com o objetivo de minimizar e/ou reduzir os efeitos e impactos observados, assim como já se realiza em outras bacias hidrográficas em países que exercem ação mais efetiva no gerenciamento dos recursos hídricos, como a bacia do *Black Creek*, na cidade de Toronto, no Canadá. Salvaguardadas as diferenças entre os ambientes tropical e temperado, as condições sociais e econômicas, o modelo de gestão e de conservação dos fundos de vale naquele país é um bom exemplo a ser seguido.

8. Por fim, fazendo uma analogia entre o conceito dos geoindicadores, — e lembrando que esses permitem avaliar a evolução de processos que ocorrem na superfície terrestre e que correspondem a mudanças de magnitude e frequência em períodos inferiores a cem anos — com a pergunta lançada na internet, em julho de 2006 por Stephen Hawking: “Num mundo político, social e ambientalmente caótico, como a raça humana poderá se manter por mais 100 (cem) anos?” e sua resposta: “*Não sei a resposta. Foi por isso que fiz a pergunta*”, pode-se também indagar qual a validade dos indicadores propostos para o monitoramento dos processos morfodinâmicos, considerando que ainda existem limitações para sua utilização. Mais ainda: será que num período inferior a cem anos, os cientistas e os gestores públicos conseguirão reverter ou pelo menos reduzir significativamente os impactos ambientais para garantir a manutenção dos recursos naturais e a continuidade da raça humana?

Essas certamente são perguntas difíceis de responder, mas com a contribuição das pesquisas e as inovações tecnológicas abrem-se caminhos tanto para a busca de respostas, mas mais ainda para a proposição e implementação de ações para a redução dos impactos decorrentes dos processos morfodinâmicos, a exemplo da aplicação no contexto da bacia do ribeirão Pirajuçara e, *Black Creek*, entre outros.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AB'SABER, A. N. **Geomorfologia do Sítio Urbano de São Paulo**. 1957. Tese (Doutorado) - Departamento de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1957.

AB'SABER, A. N. **São Paulo: ensaios entreveros**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo/ Imprensa Oficial do Estado de São Paulo, 2004.

AB'SABER, A. N. Súmula geomorfológica do Planalto Paulistano. In: MESA REDONDA ASPECTOS GEOLÓGICOS E GEOTÉCNICOS DA BACIA SEDIMENTAR DE SÃO PAULO, 1980, São Paulo. **Publicação Especial...** São Paulo: ABGE/ SBG, 1980. p. 33-36.

ALMEIDA, F. F. M. de. Fundamentos geológicos do relevo paulista. **Boletim Instituto Geográfico e Geológico**, v. 41, p. 169-263, São Paulo, 1964.

ALMEIDA, M. C. J. de, FREITAS, C. G. L. de. Uso do solo urbano: suas relações com o meio físico e problemas decorrentes. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA, 2., 1996, São Carlos. **Anais...** São Paulo: ABGE, 1996. p. 195-200.

ALMEIDA FILHO, G. S de et al. Diretrizes para projeto de controle de erosão em áreas urbanas. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS, 12., 1997, Vitória. **Anais...** São Paulo: Associação Brasileira de Recursos Hídricos - ABRH, 1997. v. 3, p. 167-171.

ALVES-MAZZOTTI, A. J.; GEWANDSZNAJDER, F. **O método nas ciências naturais e sociais**: pesquisa quantitativa e qualitativa. São Paulo: Pioneira Thompson Learning, 2001.

BACCARO, C. A. D. **Estudos dos processos geomorfológicos de escoamento fluvial em área de cerrado - Uberlândia/ MG**. Tese (Doutorado) - Departamento de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1990.

BERGER, A. R. The geoinicator concept and its application: an introduction. In: BERGER, A. R; IAMS, W. J. (Ed.). **Geoindicators**: assessing rapid environmental changes in Earth systems. Rotterdam: A.A. Balkema/Brookfield, 1996. p. 1-14.

BERGER, A. R. Environmental change, geoindicators, and the autonomy of nature. **GSA Today**, v. 8, jan., 1998.

BERTONI, J. E., LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. Piracicaba: Livrocetes, 1990. 392p.

BERTRAND, G. Paisagem e geografia física global: esboço metodológico. **Cadernos de Ciências da Terra**, n.13, p.1-23, 1971.

BRASIL. **Estatuto da Cidade**. Organizado por José Guilherme Soares Filho. Rio de Janeiro: D P&A, 2001.

CABRAL, E. **Tendências e Variabilidade do fenômeno pluvial na Região Metropolitana de São Paulo, e possíveis vinculações com o processo de urbanização**. Tese (Doutorado), Departamento de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

CAMPAGNOLI, F. **A aplicação do assoreamento na definição de geoindicadores ambientais em áreas urbanas: exemplo na bacia do Alto Tietê**. 2002. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

CANHOLI, A. P. **Drenagem urbana e controle de enchentes**. São Paulo: Oficina de Textos, 2005.

CANHOLI, A. P. **Soluções estruturais não convencionais em drenagem urbana**. 1995. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

CANIL, K.; ALAMEDDINE, N.; OLIVEIRA, R.A. Caracterização de áreas de produção de sedimentos no ribeirão Pirajussara, S.P., visando a prevenção de enchentes. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE DESASTRES NATURAIS, I., 2004, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: GEDN/UFSC, 2004. p.434-442 (CD-ROM)

CANIL, K. **Processos erosivos e planejamento urbano: carta de risco de erosão das áreas urbana e periurbana do município de Franca, SP**. 2000. 96 f. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

CARLSTRON FILHO, C.; PRANDINI, F. L. A ocupação humana e o assoreamento de reservatórios de abastecimento da Região Metropolitana de São Paulo, SP - Reservatórios de Isolina Superior e Inferior. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 4., 1984, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: ABGE, 1984.

CARSON, M. A., KIRKBY, M. J. **Hillslope form and process**. London: Cambridge Press, 1972. 475 p.

CARVALHO, E. T. de. **Geologia urbana para todos: uma visão de Belo Horizonte**. Belo Horizonte, 1999. 176 p.

CARVALHO, E. T. de.; PRANDINI, F. L. Áreas urbanas. In: OLIVEIRA, A. M. dos S.; BRITO, S. N. A. de. (Ed.). **Geologia de engenharia**. São Paulo: ABGE, 1998. cap. 31, p. 487-497.

CARVALHO, N. O. **Guia de práticas sedimentométricas**. Brasília, DF: SIH/ANEEL, 2000. 154 p.

CASSETTI, V. **Ambiente e apropriação do relevo**. São Paulo: Ed. Contexto, 1991. 146 p.

CERRI, L. E. da S. **Riscos geológicos associados a escorregamentos**: uma proposta para a prevenção de acidentes. 1993. 197 f. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1993.

CHORLEY, R. J. Modelos em geomorfologia. In: CHORLEY, R. J.; HAGGET, P. **Modelos físicos e de informação em Geografia**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos; São Paulo: Edusp, 1975. 60 p.

CHORLEY, R. J. **Water, earth and man**. London: Methuen & Co Ltd, 1969. 588 p.

CHRISTOFOLETTI, A. As teorias geomorfológicas. **Notícia Geomorfológica**, Campinas, n. 25, 1973.

CHRISTOFOLETTI, A. Caracterização de indicadores geomorfológicos para a análise da sustentabilidade ambiental. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, 1., 1996, Uberlândia. **Sociedade & Natureza...** Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, Departamento de Geografia, 1996. v. 8, n. 15.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Ed. Blücher, 1974. 149 p.

CINTRA, F. A. et al. Avaliação do transporte sólido na Bacia do Alto Tietê - trecho cidade de São Paulo, visando otimizar sistema permanente de drenagem. In: SIMPÓSIO SOBRE CONTROLE DE EROSÃO, 2., 1981, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABGE, 1981. v. 2, p. 117-136.

COGEOENVIRONMENT. **Geoindicator Checklist**. (IUGS) Working Group on Geoindicators. 1995. Disponível em: http://www.lgt.lt/geoin/doc.php?did=checklist_expl. Acesso em: outubro, 2005.

COLÂNGELO, A. C. Metodologia em geografia física: ciência, tecnologia e geomorfologia experimental. **Revista do Departamento de Geografia**, n.11, p.47-56, 1997.

COLTRINARI, L. Cartas geomorfológicas. **Orientação**, n. 5, p.96-99, 1984.

COLTRINARI, L. Natural and antropogenic interactions in the Brazilian tropics. In: BERGER, A. R.; IAMS, W. J. (Ed.). **Geoindicators**: assessing rapid environmental changes in Earth systems. Rotterdam: A.A. Balkema/Brookfield, 1996. p. 295-310. (Offprint).

COLTRINARI. 2001. Mudanças ambientais globais e geoindicadores. **Pesquisas em Geociências**, Instituto de Geociências, UFRGS, Porto Alegre, RS, Brasil. v. 28, n. 2, p. 307-314, 2001.

COOKE, R. U. Urban geomorphology. **The Geographical Journal**, v. 142. 1976.

COOKE, R. U.; DOORNKAMP, J. C. **Geomorphology in Environmental Management**: an introduction. Oxford, Clarendon Press, 1974.

CRUZ, O. **A escala temporal-espacial nos estudos dos processos geomorfológicos erosivos atuais**: uma questão de método. São Paulo, Instituto de Geografia USP, 1985. 6 p. (Geomorfologia, 33).

CUSTÓDIO, V. **A persistência das inundações na Grande São Paulo**. 2001. Tese (Doutorado) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, 2001.

DEMEK, J. (Ed.). **Manual of detailed geomorphological mapping**. Praga: IGU Comm. on Geomorphological Survey Mapping, 1972. 372 p.

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA - DAEE. 1990. **Controle de erosão**: bases conceituais e técnicas, diretrizes para planejamento urbano e regional; orientação para o controle de boçorocas urbanas. 2^a ed. São Paulo: DAEE/IPT. 92 p.

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA – DAEE. FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE HIDRÁULICA - FCTH. **Banco de dados pluviométricos do Estado de São Paulo**. São Paulo: DAEE, 1998. 1 CDROM.

DINIZ, N. C. A geo-environmental data base due to elaborate geoindicators scenarios of São Paulo state based on engineering-geological criteria. In: INTERNATIONAL GEOLOGICAL CONGRESS, 31., 2000, Rio de Janeiro, Brasil. **Anais...** Rio de Janeiro, 2000.

DOUGLAS, I.; SPENCER T. Present-day processes as a key to the effects of environmental change. In: DOUGLAS, I; SPENCER, (Ed.) **Environmental change and tropical geomorphology**. London: Allen an Unwin, 1985. p. 39-73.

DOUGLAS, I. Tropical geomorphology: present problems and future prospects. In: EMBLETON, C.; BRUNSDEN, D.; JONES, D. K. C. (Ed.). **Geomorphology - present problems and future prospects**. Oxford: Oxford University Press, 1978. p.162-184.

DOUGLAS, I. **The urban environment**. London: Edward Arnold, 1983.

DREW, D. **Processos interativos homem-meio ambiente**. Trad. J. A. dos Santos. 2^a ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1989. 206 p.

DUNNE, T. Sediment yield and land use in tropical catchments. **Journal of Hidrology**, v. 42, p. 281-300, 1979.

DYLIK, J. Notion du versant em géomorphologie. **Bulletin de l'Académie Polonaise des Sciences**, Série des Sciences Géologique et Géographique, v. 16, n. 2, p. 125-132, 1968.

EMPRESA METROPOLITANA DE PLANEJAMENTO DA GRANDE SÃO PAULO - EMPLASA. **O problema das inundações na Grande São Paulo**: situação atual e implementação de diretrizes metropolitanas de drenagem. São Paulo: EMPLASA, 1985. 152 p.

EMPRESA METROPOLITANA DE PLANEJAMENTO DA GRANDE SÃO PAULO – EMPLASA. **Carta Geológica da Região Metropolitana de São Paulo, escala 1:100.000**. São Paulo: EMPLASA/ SNM, 1980. 2 mapas.

EUROPEAN ENVIRONMENTAL AGENCY - EEA. **Environmental indicators: typology and overview**. Copenhagen: E.E.A, 1999. (Technical Report, 25). Disponível em: http://www.eea.eu.int/TEC25/en/tech_25_text.pdf. Acesso em: maio, 2006.

EUROPEAN ENVIRONMENTAL AGENCY - EEA. A checklist for state of the environment reporting. Copenhagen: E.E.A, 1999. Disponível em: <http://www.eea.eu.int>. Acesso em: maio, 2006.

EVANS, R. Mechanics of water erosion and their spatial and temporal controls: an empirical view point. In: KIRKBY, M. J.; MORGAN, R. P. C. (Ed.). **Soil erosion**. New York, John Wiley, 1986. p. 109-128.

FAIRBRIDGE, R. W. (Ed.). **The encyclopedia of geomorphology**. Stroudsburg: Ed. Dowden, Hutchinson, Ross. 1968. 1295 p. (Encyclopedia of Earth Sciences, 3).

FERRAZ, F. F. B. **Dinâmica dos sedimentos em suspensão na Bacia do Rio Piracicaba**. Piracicaba. 2002. 108 p. Tese (Doutorado) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

FORMAN, R. T. T., GODRON, M. **Landscape Ecology**. New York: John Wiley & Sons. 1986.

FOSTER, G. R. Process based modelling of soil erosion by water on agricultural land. In: BOARDMAN, J., FOSTER, G., DEARING, J. (Ed). **Soil Erosion on Agricultural Land**. New York, John Wiley & Sons Ltd, 1998. p. 429-445.

FREITAS, C. G. L. de. **Cartografia geotécnica de planejamento e gestão territorial**: proposta teórica e metodológica. 2000. 238 p. Tese (Doutorado) - Departamento de Geografia - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

FREITAS, C. G. L. de. (Coord.). **Habitação e Meio Ambiente**: abordagem integrada em empreendimentos de interesse social. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT, 2001. (Publicação, 2 768).

FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE HIDRÁULICA - FCTH. **Tietê/ Pinheiros, rios**: estudo sedimentológico na Região Metropolitana de São Paulo. São Paulo: DAEE/ EPUSP, 1992. 5 v. (Projeto r: relatório parcial n. RPV3).

GALLART, F. Balance de sedimentos. In: SALLA, M.; GALLART F. (Ed.). **Métodos y técnicas para la medición en el campo de procesos geomorfológicos**. Barcelona: Sociedad Española de Geomorfología, 1988. p. 95-97 (Monografía, 1).

GERASIMOV, T. P. 1980. Theoretical and methodological problems of studying anthropogenic impacts in natural ecosystems. In: SYMPOSIUM OF THE COMMISSION ON ENVIRONMENTAL PROBLEMS (Study and control of anthropogenic transformation of natural ecosystems), 1979, Moscow, USSR. **Proceedings...** Moscow: U.G.I. – Unesco, MAB, 1980.

GREGORY, K. J. **A natureza da geografia física**. Trad. A. Christofolletti. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1992.

GRIGORYEV, A. A. **The theoretical fundamentals of modern physical geography**. The interaction of sciences in the study of the Earth. Moscou, 1968.

GUIDUGLI, M. M. B. **Problemas geomorfológicos e ação humana: o caso de Marília**. 1983. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Geografia - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1983.

GUPTA, A; AHMAD, R. Geomorphology and the urban tropics; building an interface between research and usage. **Geomorphology**, n. 31, p. 133-149. Amsterdam, Elsevier Science B.V., 1999.

HART, M. G. **Geomorphology pure and applied**. London: Allen & Unwin, 1986. 228 p.

HOOKE, J. M. **Geomorphology in environmental planning**. Hampshire: John Wiley & Sons Ltd., 1988. 274 p.

HORTON, R. E. Erosional development of streams and their drainage basins; hydrophysical approach to quantitative morphology. **Bull. Geol. Soc. Na.**, v. 56, p. 275-70, 1945.

IMESON, A. L. Geomorphological processes, soil structure, and ecology. In: PITTY, A. (Ed.). **Themes on Geomorphology**. London: Croomhelm, 1985. p. 72-84.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - IPT. **Bases técnicas para prevenção e controle da erosão na bacia do ribeirão Pirajussara, municípios de São Paulo, Taboão da Serra e Embu - Projeto Erosão Zero**. São Paulo: IPT, 2004. (Relatório Técnico, 68 387).

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - IPT. **Erosão e assoreamento nas bacias dos rios Tietê e Pinheiros na Região Metropolitana de São Paulo: diagnóstico e diretrizes para a solução integrada do problema**. São Paulo: IPT, 1993. 3 v. (Relatório Técnico, 30 796).

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - IPT. **Monitoramento da erosão e do assoreamento nas bacias hidrográficas dos rios Taiaçupeba, Biritiba-Mirim e Paraitinga, SP.** São Paulo: IPT, 2005. 3 v. (Relatório Técnico, 81 999-205).

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - IPT. EMPRESA METROPOLITANA DE PLANEJAMENTO DA GRANDE SÃO PAULO - EMPLASA. **Carta de aptidão física ao assentamento urbano - 1:50.000: guia de utilização.** São Paulo: IPT/ EMPLASA, 1986.

IWASA, O. Y.; FENDRICH, R. Controle de erosão urbana. In: OLIVEIRA, A. M. dos S.; BRITO, S. N. A. de (Ed.). **Geologia de Engenharia.** São Paulo: ABGE, 1998. cap. 09, p.271-282.

JACOBI, P. R. **Cidade e Meio Ambiente:** percepções e práticas em São Paulo. São Paulo: Annablume, 2000.

JUNGSTEDT, L. O. C. **Direito Ambiental:** legislação. Rio de Janeiro: Thex Ed. 1999.

LACOSTE, Y. Os objetos geográficos. **Seleção de Textos**, n.18, p.1-16, 1988.

LIBAULT, A. **A geocartografia.** São Paulo: EDUSP, 1975.

LIMA, C. R. **Urbanização e intervenções no meio físico na borda da Bacia Sedimentar de São Paulo:** uma abordagem geomorfológica. 1990. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1990.

MEYER, R. M. P. **São Paulo Metrópole.** São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo/ Imprensa Oficial do Estado de São Paulo, 2004.

MILDNER, W. F. Erosion and sedimentation. **Bulletin of the Association of Engineering Geologists**, v. 19, n. 2, p. 161-166, 1982.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Cadernos MCidades: Saneamento Ambiental.** Brasília: MCidades, 2004a.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Cadernos MCidades Capacitação e Informação.** Brasília: MCidades, 2004b.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA; INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS - IBAMA; CONSÓRCIO PARCERIA 21. **Cidades Sustentáveis:** subsídios à elaboração da Agenda 21 Brasileira. Brasília: Ministério do Meio Ambiente/ Projeto 1 - BRA/94/016, 2000.

MONTEIRO, C. A. de F. Análises ambientais: perspectivas geográficas à interdisciplinaridade e problemas teórico-metodológicos. In: ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDOS SOBRE MEIO AMBIENTE, 1., 1986, Recife. **Anais...** Recife, 1986.

MONTEIRO, C. A. de F. Geografia & Ambiente. **Orientação**, São Paulo, Instituto de Geografia, USP n. 5, p. 19-27, 1984.

MORGAN, R.P.C. **Soil Erosion and Conservation**. New York, John Wiley & Sons Ltd, 1986.

MORTATTI, J.; PROBST, J. L. 1998. **Hidrogeoquímica de bacias de drenagem**. Piracicaba: CENA. 235 p. (Série Didática, 1).

MULDER, F. J. **Geosciences for environmental planning and management**. 1995. Disponível em: <http://www.sgu.se/hotell/cogeo/gepm.html>. Acesso em: maio, 2006.

NATURES SCIENCES SOCIÉTÉS. Desenvolvimento e Meio Ambiente: Riscos coletivos - ambiente e saúde. Curitiba, PR. Editora da UFPR, n. 5, 2002.

NEVES, G. R. Geomorfologia aplicada ao planejamento urbano. **Notícia Geomorfológica**, n. 34, p. 95-103, 1977.

NIR, D. **Man, a geomorphological agent**. Jerusalem, Israel: Keter Publishing House, 1983.

OLIVEIRA, A. M. dos S. **Depósitos tecnogênicos e assoreamento de reservatórios**. Exemplo do reservatório de Capivara, Rio Paranapanema, SP/PR. 1994. 2v. Tese (Doutorado) - Departamento de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994.

OSTERKAMP, W. R. Geoindicators for river and river-valley monitoring in the humid tropics. **Environmental Geology**, n. 42, p. 735-735, 2002. (Publisher: Springer Berlin / Heidelberg).

OSTROWSKY, M. de S. B. **Sistemática integrada para controle de inundações em sub-bacias hidrográficas urbanas**. Estudo de caso: A bacia do córrego Pirajuçara sob o enfoque da integração de obras com ações de educação e percepção ambiental. 2000. Tese (Doutorado) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

PANIZZA, M. Geomorphological hazards assessment and the analysis of geomorphological risk. In: GARDINER, V. (Ed.). **International Geomorphology 1986, part 1**. 1987.

PELOGGIA, A. **O homem e o ambiente geológico: geologia, sociedade e ocupação urbana no município de São Paulo**. São Paulo: Xamã, 1998. 271 p.

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O MEIO AMBIENTE - PNUMA. **Geo-América Latina y el Caribe: perspectivas del medio ambiente**, México: PNUMA, 2000.

RENFRO, G. W. Use of erosion equations and sediment delivery ratios, for predicting sediment yield. In: SEDIMENT YIELD WORKSHOP, 1975, Oxford, Mississippi. **Proceedings**... Oxford, USDA, 1975. p. 33-47. (USDA Publication, ARS – S – 40).

RIBEIRO, J. C J. **Indicadores ambientais**: avaliando a política de meio ambiente no Estado de Minas Gerais. Belo Horizonte: Semad, 2006. 304 p.

RIVAS, V. et al. Geomorphological indicators for environmental impact assessment: consumable and non-consumable geomorphological resources. **Geomorphology**, v. 18, n. 3-4, p. 169-182, 1997.

RODRIGUES, C. Morfologia original e morfologia antropogênica na definição de unidades espaciais de planejamento urbano: exemplo na metrópole paulista. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 17, p. 1001-1111, 2005.

ROSS, J. L. S. **Análise empírica das fragilidades dos ambientes naturais e antropizados**. São Paulo: Laboratório de Geomorfologia, Departamento de Geografia, FFLCH – USP, 1993.

RUELLAN, F. O papel das enxurradas no modelado do relevo brasileiro. **Boletim Paulista de Geografia**, n. 13, p. 5-18, 1953.

SALOMÃO, F. X. de T. **Processos erosivos lineares em Bauru (SP)**: regionalização cartográfica aplicada ao controle preventivo urbano e rural. São Paulo. 1994. 200 f. Tese (Doutorado) - Departamento de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994.

SALOMÃO, F. X. de T. Controle e prevenção dos processos erosivos. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S. da; BOTELHO, R. G. M. (Org.). **Erosão e conservação dos solos**: conceitos, temas e aplicações. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999. cap. 7, p. 229-267.

SANT'ANNA NETO, J. L. **As chuvas no Estado de São Paulo**: contribuição ao estudo da variabilidade e tendência da pluviosidade na perspectiva da análise geográfica. 1995. São Paulo. Tese (Doutorado) - Departamento de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

SANTOS, I. dos et al. Hidrometria Aplicada. LACTEC - Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento. Curitiba: Editora CEPAR, 2001. 372 p.

SANTOS, M. **A urbanização brasileira**. 2^a ed. São Paulo: Hucitec, 1994. 157 p. (Estudos Urbanos, 5).

SCHOUTEN, C. J.; KING, M. C. Measurement of gully erosion and the effects of soil conservation techniques in Puketurua Experimental Basin (New Zealand). **Z. Geomorphology N.F.**, v.49, p.151-164, 1984.

SCHUMM, S. A.; LICHTY, R. W. Tempo, espaço e causalidade em geomorfologia. **Notícia Geomorfológica**, v. 13, n. 25, p. 43-62, 1973.

SEABRA, O. C. de L. Os **meandros dos rios nos meandros do poder**. Tietê e Pinheiros: valorização dos rios e das várzeas na cidade de São Paulo. 1987. 323 f. Tese (Doutorado) - Departamento de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1987.

SEIBOLT, E. Geology and the Environment. **Engineering Geology**, v. 29, p. 273-277, 1990. (Keynote to EUG V Symposium 11).

SELBY, M. J. **Hillslope materials and processes**. Oxford: Oxford Press, 1982. 264 p.

SEWELL, W. R. D. Human response to floods. In: CHORLEY, R. (Ed.). **Water, Earth and Man**. London: Methuen Co. Ltd., 1969.

SHOEMAKER, D. **Cumulative environmental assessment**. Department of Geography. University of Waterloo, 1994.

SOTCHAVA, V. B. O estudo de geossistemas. **Métodos em Questão**, n.16, p.1-16, 1977.

SECRETARIA MUNICIPAL DO VERDE E DO MEIO AMBIENTE - SVMA; INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - IPT. **GEO cidade de São Paulo**: panorama do meio ambiente urbano. São Paulo: Prefeitura do Município de São Paulo/ SVMA; Brasília: PNUMA, 2004. 204 p.

THOMAS, M. F. **Geomorphology in the tropics**: a study of weathering and denudation in low latitudes. Chichester: Wiley, 1994. 460 p.

THORNBURY, W. D. **Princípios de geomorfologia**. 2^a ed. Buenos Aires: Kapelusz S.A., 1966. 643 p.

TOY, T. J.; HADLEY, R. F. **Geomorphology and reclamation of disturbed lands**. Orlando, Florida: Academic Press Inc., 1987.

TRICART, J. As discontinuidades nos fenômenos da erosão. **Notícia Geomorfológica**, v. 6, n. 12, p. 3-14, 1966.

TRICART, J. L'évolution des versants. **L'Information Géographique**, v. 21, p.108-116, 1957.

TRICART, J. Panorama da Geomorfologia aplicada no mundo (trad. de: Panorama de la Géomorphologie appliquée dans le monde). **Revue Générale des Sciences**, tome LXXI, n.11/12, p.345-361, 1964. (trad. de Lylían Coltrinari).

TRICART, J. **Principes et méthodes de la geomorphologie**. Paris: Ed. Masson, 1965. 496 p.

TRICART, J. Relações entre morfogênese e pedogênese. **Notícia Geomorfológica**, v.8, n. 15, 1968.

TRICART, J.; CAILLEUX, A. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: IBGE/ SUPREN, 1977. 97 p.

UNITED NATIONS DIVISION FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT. **Indicators of sustainable development framework and methodologies**. Nairobi: Commission on Sustainable Development - UNEP/DEIA, , 1996.

VARGAS, M. **Metodologia da pesquisa tecnológica**. Rio de Janeiro: Globo, 1985.

VARNES, D. J. Landslide hazard zonation: a review of principles and practice. **Natural Hazards**, n. 3, 61p., 1984. (Commission of Landslides of the IAEG, UNESCO).

WAHL, V. **Restoring a watershed with the Black Creek Project**. Dissertação (Mestrado). Faculty of Environmental Studies, York University, North York, Ontario, Canada, 2002.

WALLING, D. E. The sediment delivery problem. **Journal of Hydrology**, n. 65, p. 209-237. 1983.

WILKINSON, B.H. Humans as geologic agents: a deep time perspective. **Geology**, v. 33, n.3, p. 161-164, 2005. (Publisher: Geological Society of America).

WILSON, L. Dynamic geomorphology. In: FAIRBRIDGE, R. W. (Ed). **The Encyclopedia of Geomorphology**. New York: Reinhold Book Corporation, 1968. p. 297-301. (Encyclopedia Sciences Ser, v. 3).

WOLMAN, M. G.; MILLER, J. P. Magnitude e frequência das forças nos processos geomorfológicos. **Notícia Geomorfológica**, v. 14, n. 27/28, p. 3-43, 1974.

WORLD BANK. **Environmental performance indicators**. A second edition note. Washington, D. C.: World Bank. (Environmental Economic Series, Paper n. 71). Disponível em:<http://www-esd.worldbank.org/eei/>. Acesso em: maio, 2006.

Sítios Consultados

<http://www.dae.sp.gov.br/serviços/macrodrenagem/pirajussara/arquivoscap1-8.html>. Acesso em 28 de março de 2003.

http://www.trca.on.ca/water_protection/strategies/humber/default.asp. Acesso em 15 de setembro de 2006.

ANEXO 1

**INDICADORES PARA MONITORAMENTO DOS PROCESSOS
MORFODINAMICOS NA BACIA DO RIBEIRAO PIRAJUCARA .**

